

dr inż. Zbigniew BANASZAK  
Politechnika Wrocławska  
dr inż. Ryszard SAWWA  
Przemysłowy Instytut Automatyki  
i Pomiarów MERA—PIAP  
W a r s z a w a

## SYSTEMY KOMPLEKSOWEJ AUTOMATYZACJI DYSKRETNYCH PROCESÓW PRODUKCYJNYCH

*W artykule scharakteryzowano problemy kompleksowej automatyzacji dyskretnych systemów produkcyjnych oraz omówiono zasadnicze elementy systemów komputerowo zintegrowanego wytwarzania. Przedstawiono strukturę i omówiono podstawowe funkcje typowego elastycznego systemu produkcyjnego oraz systemów komputerowo wspomaganego projektowania, planowania i sterowania procesami produkcyjnymi w przemyśle maszynowym. Załączone przykłady ilustrują obecny stan rozwoju metod kompleksowej automatyzacji dyskretnych systemów produkcyjnych.*

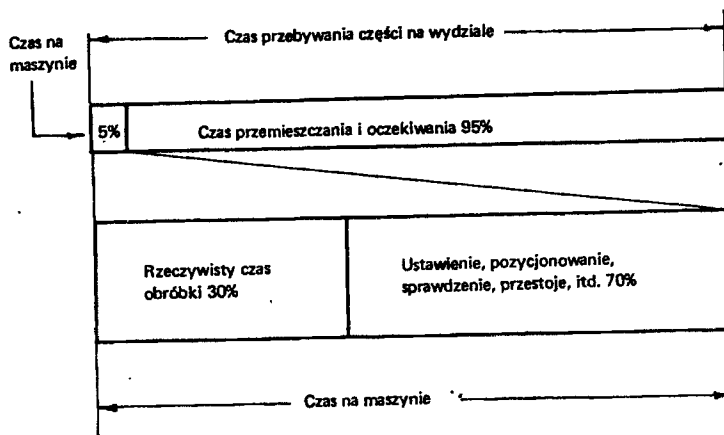
### 1. WPROWADZENIE

Obserwowany w ostatnim dziesięcioleciu szybki postęp w zakresie automatyzacji dyskretnych systemów produkcyjnych występujących w przemyśle budowy maszyn, przemyśle elektronicznym, hutnictwie itd., prowadzi do rozwoju nowych metod i środków wytwarzania. Rozwój ten obejmuje zarówno bazę techniczną, na którą składają się mikrokomputerowo sterowane centra obróbcze, roboty przemysłowe, zautomatyzowane magazyny wysokiego składowania, jak i nowoczesne techniki i technologie wytwarzania obejmujące technologie obróbki grupowej, techniki bezodpadowego wytwarzania, itd.

Postęp w dziedzinie skomputeryzowanych, programowalnych środków produkcji pozwala na zastąpienie automatyzacji sztywnej, której synonimem są automatyczne linie produkcyjne, automatyzacją elastyczną umożliwiającą osiągnięcie wysokiej wydajności w produkcji średnio i małoseryjnej, porównywalnej z wydajnością systemów

kompleksowo zautomatyzowanej produkcji ciągłej, przykładowo: rafinerii, cementowni, elektrowni itp. Odejście od koncepcji wytwarzania opartych na sztywno zautomatyzowanych liniach produkcyjnych zostało spowodowane wymaganiami i wieloasortymentowością produkcji średnio i małoseryjnej. Według niektórych danych [13, 20] 75% wszystkich części mechanicznych jest wykonywanych w seriach nie przekraczających 50 sztuk.

Elastyczna automatyzacja zmiennej i małoseryjnej produkcji ma na celu ograniczenie strat spowodowanych spadkiem wydajności produkcji oraz zmniejszeniem stopnia wykorzystania maszyn. Przyczyną tych strat są przestoje maszyn i urządzeń technologicznych, spowodowane koniecznością przeprowadzania częstych przestawień i przez-



Rys. 1. Bilans średniego czasu wykonania obróbki detalu w konwencjonalnym systemie produkcyjnym.

brojeń systemu produkcyjnego. Ilustracją omawianej sytuacji jest przedstawiony na rys. 1 [23], bilans średniego czasu wykonania operacji obróbki detalu w konwencjonalnym systemie produkcyjnym.

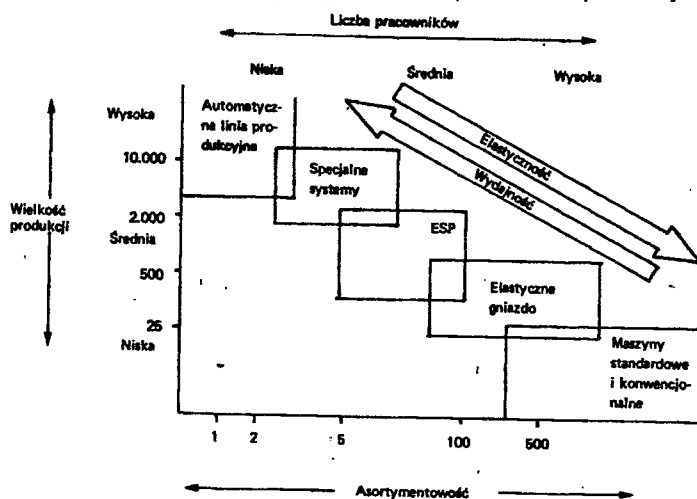
Z przedstawionego bilansu wynika, że z całkowitego czasu przebywania detalu na wydziale tylko 5% tego czasu stanowi czas pobytu detalu na maszynie, a rzeczywisty czas obróbki wynosi około 1,7% czasu produkcji detalu. Wprowadzenie metod kompleksowej automatyzacji [19] pozwala, w porównaniu z tradycyjnymi metodami organizacji produkcji, na:

- skrócenie cyklu produkcyjnego o 40%,
- zwiększenie stopnia wykorzystania maszyn i urządzeń technologicznych o 30%,
- zwiększenie wydajności pracy o ponad 10%,
- zmniejszenie zatrudnienia o 30%.

Przykładem kompleksowej automatyzacji są elastyczne systemy produkcyjne – ESP (ang. FMS – Flexible Manufacturing System), powstałe w wyniku skojarzenia organi-

zacji produkcji opartej na zasadach technologii grupowych z elastyczną, programowalną automatyzacją środków produkcji. ESP zawiera automatycznie sterowane urządzenia technologiczne, zautomatyzowane podsystemy transportu, załadunku i rozładunku oraz podsystem nadrzędnego sterowania i kontroli. Porównanie ESP z innymi systemami wytwarzania przedstawia rys. 2 [23]. Z tego porównania wynika, że optymalne wykorzystanie ESP uzyskiwane jest w produkcji mało i średnioseryjnej, o średnim poziomie asortymentowości.

Dalszy wzrost efektywności wiąże się z optymalnym wykorzystaniem ESP. Rozwiązanie tego problemu pociąga za sobą konieczność automatyzacji zadań realizowanych w ramach technologicznego przygotowania i planowania produkcji oraz operatywnego



Rys. 2. Systemy automatyzacji wytwarzania w dyskretnych procesach produkcyjnych

sterowania produkcją. Automatyzacja wymienionych zadań umożliwiła budowę komputerowo zintegrowanych systemów wytwórczych [1, 2, 16, 19], gdzie wszystkie fazy wytwarzania, począwszy od projektowania wyrobu, przez planowanie procesów technologicznych, na sterowaniu operatywnym skończywszy, rozwiązywane są w ramach jednego systemu komputerowego o rozproszonej architekturze.

Koncepcja komputerowo zintegrowanego wytwarzania, będąca wyższym poziomem kompleksowej automatyzacji dyskretnych systemów produkcyjnych, polega na integracji, w ramach wspólnej sieci komputerowej, podsystemu sterowania i kontroli ESP, systemów komputerowo wspomaganego projektowania i konstruowania [27, 30], planowania procesów technologicznych [7, 9], planowania i harmonogramowania produkcji [8, 25] oraz operatywnego sterowania procesami wytwarzania [8, 17].

Omówienie podstawowych funkcji wyżej wymienionych systemów oraz ukazanie ich wzajemnych powiązań i uzależnień jest głównym celem niniejszej pracy.

## 2. ELASTYCZNE SYSTEMY PRODUKCYJNE

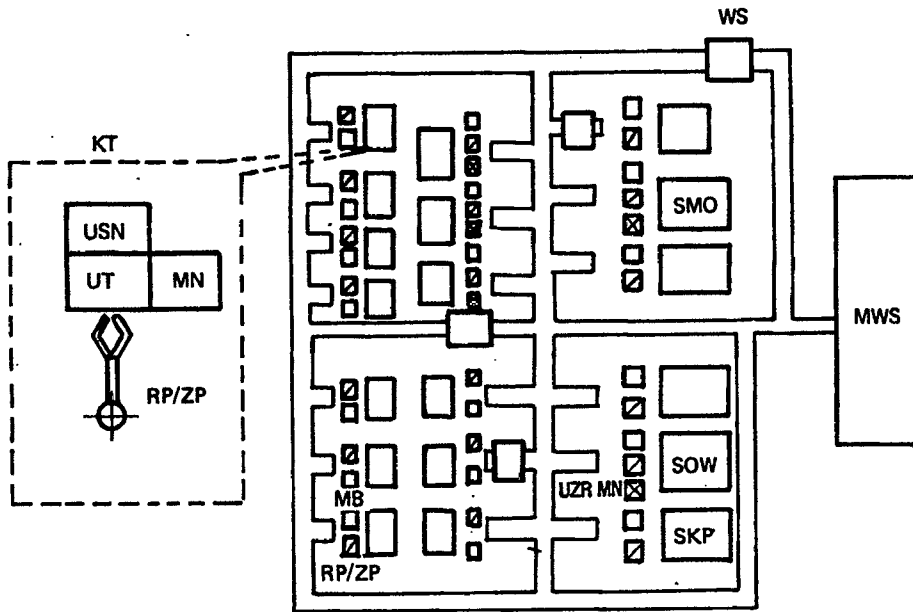
Zastosowania ESP obejmują w obecnej chwili wszystkie ważniejsze rodzaje procesów technologicznych związanych z obróbką skrawaniem, obróbką plastyczną, montażem, zgrzewaniem i spawaniem łukowym [11, 12, 23]. Struktura ESP (rodzaj i konfiguracja urządzeń technologicznych) uwarunkowana jest specyfiką realizowanych procesów technologicznych oraz przewidywanym asortymentem produkcji. W konfiguracji typowego ESP można wydzielić od kilku do kilkunastu stanowisk technologicznych sprzężonych wspólnym układem transportu międzystanowiskowego, których pracę koordynuje nadrzędny układ sterowania komputerowego.

W literaturze [20,22] znanych jest wiele różnych określeń i klasyfikacji ESP. Tak na przykład spośród podstawowych komponentów ESP wyróżnia się często podsystemy: obróbki, kontroli jakości, transportu międzystanowiskowego, składowania oraz sterowania. Na tę kwestię można również spojrzeć z innego punktu widzenia, wtedy widać, że funkcjonowanie ESP charakteryzują dwa typy współbieżnie przebiegających strumieni: strumienie materiałowe, tworzone przez potoki obrabianych detali, narzędzi, odpadów technologicznych itd., oraz strumienie informacji tworzone przez potoki danych, sygnały sterowania kontroli itd. Wyróżnienie podstawowych, jakościowo różnych typów strumieni, pozwala wyodrębnić w typowym ESP dwa zasadnicze podsystemy: podsystem technicznych środków produkcji, bezpośrednio uczestniczących w przepływie strumieni materiałowych oraz podsystem zautomatyzowanego sterowania i kontroli koordynujący przepływ tych strumieni.

### 2.1. Podsystem technicznych środków produkcji

Pierwszymi ESP były systemy obróbki skrawaniem. Systemy tego typu są też w chwili obecnej najbardziej rozpowszechnione [11, 20, 22, 23]. Podstawowymi elementami takich ESP są uniwersalne centra obróbcze, specjalizowane obrabiarki, maszyny pomiarowe, roboty przemysłowe, a także urządzenia do załadunku i rozładunku palet oraz magazyny buforowe. Wymienione elementy są formowane w oddzielne gniazda produkcyjne, których organizacja oparta jest na zasadzie technologii grupowych. Organizacja produkcji oparta na zasadzie technologii grupowych wiąże się z umieszczeniem w danej komórce technologicznej obrabiarek różnych typów w takim zestawie, jaki jest potrzebny do wykonania wyrobów należących do danej grupy podobieństwa technologicznego, np. wyrobów typu korpus, wałek czy tarcza. Wydzielone gniazda są sprzężone z układem zautomatyzowanego transportu i składo-

wania. Ważnym elementem układu są wózki samojezdne spełniające funkcje międzystanowiskowego transportu palet (z umieszczonymi na nich detalami) wzdłuż zadanych marszrut transportowych. Punktami początkowymi i końcowymi marszrut są bądź stanowiska ręcznego załadunku i rozładunku palet, bądź też magazyny wysokiego składowania, przechowujące elementy danego asortymentu produkcji w pojemnikach umieszczonych na regałach magazynu pod określonymi adresami.



Rys. 3. Podstawowa konfiguracja części produkcyjnej ESP. KT – komórka technologiczna, USN – układ sterowania numerycznego, UT – urządzenie technologiczne (np. centrum obróbcze, maszyna pomiarowa itp.), MN – magazyn narzędzi i/lub głowic technologicznych, RP/ZP – robot przemysłowy lub zmieniający palety, MB – magazyn buforowy, UZR – urządzenie załadowczo-rozładowcze palet, SKP – stanowisko kontroli pomiarów, SOW – stanowisko operacji wykańczających, SMO – stanowisko mycia i oczyszczania, WS – wózek samojezdny, MWS – magazyn wysokiego składowania.

Typową strukturę ESP przedstawia rys. 3. Dobór i rozmieszczenie przestrzenne komponentów pokazanych na rysunku jest podstawowym zadaniem projektowania ESP. Zadanie projektowania struktury ESP jest zadaniem optymalizacji wielokryterialnej rozwiązywanym przy ograniczeniach narzucających odpowiednie wymagania na podatność remontową ESP, a także zapewniające odpowiedni poziom elastyczności i niezawodności działania projektowanego systemu. Kombinatoryczny charakter

zadania narzuca konieczność stosowania heurystycznych metod poszukiwania rozwiązań projektowych opartych na wykorzystaniu technik komputerowo wspomaganego projektowego ESP [16, 25, 30].

Elastyczność systemu produkcyjnego, polegająca na możliwości łatwego i szybkiego przestawiania się systemu z wytwarzania jednego rodzaju wyrobu na drugi, uzyskiwana jest zarówno w wyniku odpowiedniego doboru urządzeń technologicznych (uniwersalnych centrów obróbczych, magazynów buforowych, robotów przemysłowych itp.), jak i odpowiedniego rozmieszczenia urządzeń oraz wyboru odpowiedniej konfiguracji systemu transportowego. Wykorzystanie wszystkich potencjalnych możliwości ukrytych w strukturze ESP jest możliwe dzięki zastosowaniu odpowiednich programowalnych, mikroprocesorowych układów sterowania zintegrowanych w ramach wspólnej sieci komputerowego sterowania i kontroli.

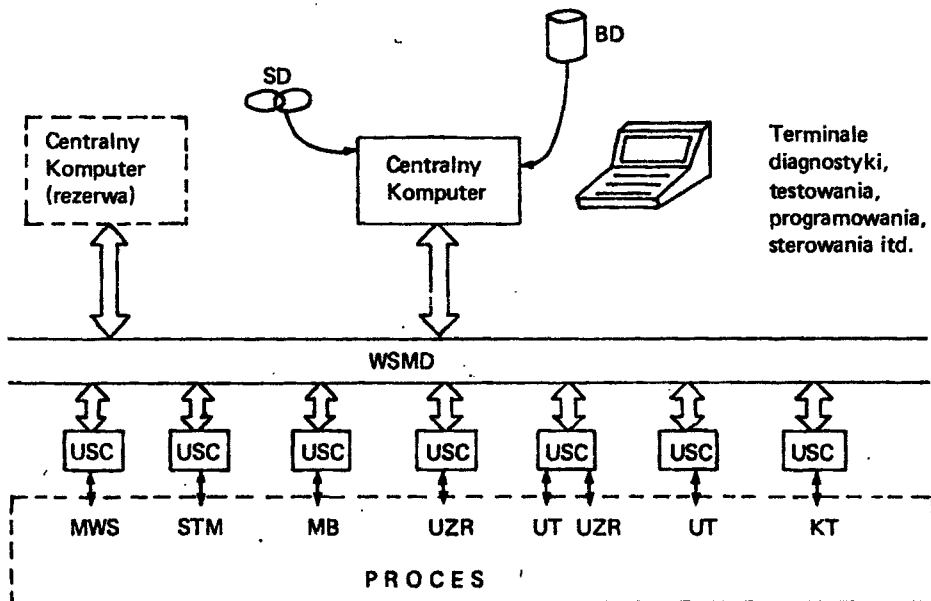
## 2.2. Podsystem zautomatyzowanego sterowania i kontroli

Systemy sterowania ESP składają się z sieci mikro i minikomputerów, inteligentnych terminali, programowalnych sterowników itd., współpracujących ze sobą przez wspólną, wielodostępną magistralę danych. Rozproszony charakter struktury układu sterowania zwiększa niezawodność działania ESP. Oznacza to w szczególności, że awarie oddzielnych urządzeń technologicznych nie wymuszają natychmiastowego zatrzymania pracy pozostałych, sprawnych jednostek.

Urządzenia technologiczne ESP są wyposażone w mikrokomputerowe układy sterowania cyfrowego, stanowiące integralną część struktury sieci komputerowej i umożliwiające autonomiczną pracę obiektów technologicznych. Koordynację działań poszczególnych urządzeń technologicznych, monitorowanie przebiegu procesu produkcyjnego oraz rejestrację i przetwarzanie danych zapewniają zdublowane, pracujące w trybie „z gorącą rezerwą”, komputery centralne. Centralny komputer sieci umożliwia sterowanie programami obróbki przechowywanymi w układach sterowania cyfrowego poszczególnych urządzeń technologicznych, nadzoruje w czasie rzeczywistym prawidłowy przebieg produkcji oraz jej jakość. Oprogramowanie komputera zarządzającego wraz ze wspomagającymi go urządzeniami peryferyjnymi (monitory graficzne, stacje dysków, drukarki itp.) zapewnia komunikację z operatorem umożliwiając monitorowanie i bieżącą dokumentację pracy ESP, kontrolę w sytuacjach związanych z rozruchem procesów technologicznych oraz operatywne sterowanie w sytuacjach awarii obiektów systemu i obserwowanych odstępstw realizowanych procesów od założonych harmonogramów produkcji.

Przykładową strukturę sieci systemu sterowania i kontroli produkcji przedstawia rys. 4.

Warto zauważyć, że w warunkach krajowych niezbędną bazę sprzętową do budowy systemów sterowania i kontroli ESP zapewnia zdecentralizowany, mikrokomputerowy system automatyki kompleksowej INTEL DIGIT-PROWAY. Ten system posiadający strukturę modułową, umożliwia centralną rejestrację i przetwarzanie danych, kontrolę



Rys. 4. Struktura zdecentralizowanego systemu kontroli i sterowania ESP. WSMD – wielodostępna szeregową magistrala danych; USC – układ sterowania cyfrowego; SD – stacja dysków; BD – baza danych oprogramowania użytkowego; MWS – magazyn wysokiego składowania; STM – system transportu międzystanowiskowego; MB – magazyn buforowy; UZR – urządzenia załadunku i rozładunku palet; UT – urządzenie technologiczne (centrum obróbcze, robot przemysłowy, maszyna pomiarowa itp.); KT – kółki technologiczne (mycia, obróbki wykańczającej itp.).

i sterowanie w procesach produkcyjnych oraz cyfrowe sterowanie maszyn, automatów i robotów przemysłowych.

Szczególnie ważnymi elementami oprogramowania systemowego są procedury monitorowania pracy i diagnostyki uszkodzeń systemu produkcyjnego. O ich znaczeniu świadczy fakt, że stanowią one około 70% całości oprogramowania systemów sterowania ESP.

Przykładem jednego z wcześniejszych rozwiązań problemu diagnostyki pracy ESP jest system komputerowo wspomaganego diagnozowania komponentów ESP opracowany

przez firmę Kearney and Trecker. W systemie tym, równolegle do obrabiarek, prowadzona jest linia telefoniczna. System sterowania ESP informuje pracownika obsługi o wykrytych przez siebie zakłóceniach w pracy obrabiarek. Otrzymawszy raport, pracownik ten, wyposażony w przenośny układ wprowadzania danych i przenośny telefon, podchodzi do niesprawnej maszyny i poprzez złącze linii telefonicznej wywołuje centrum komunikacji diagnostycznej firmy. Po wstępnej konsultacji z głównym diagnostykiem firmy pracownik obsługi łączy terminal obrabiarki przez układ wprowadzania danych i sieć telefoniczną z centrum diagnostycznym, gdzie specjalne komputery przejmują sterowanie obrabiarką przysyłając do niej standardowe procedury diagnostyczne i odczytując z nich raporty o stanie układu. Po zakończeniu fazy testowania pracownik ponownie łączy się z diagnostykiem firmy, z którym omawia wyniki testu. Według danych firmy K & T, przedstawione rozwiązanie pozwala zredukować czas identyfikacji uszkodzenia prawie o 95%.

Należy podkreślić, że przyjęcie rozproszonej struktury systemu kontroli i sterowania ESP umożliwia jego łatwą współpracę z innymi lokalnymi sieciami komputerowymi, a w szczególności z systemami komputerowo wspomaganego projektowania wyrobów, planowania procesów technologicznych oraz planowania i harmonogramowania produkcji. Opracowanie metod i technik umożliwiających współpracę wymienionych systemów stanowi główne zadanie komputerowo zintegrowanego wytwarzania.

### **3. SYSTEMY KOMPUTEROWO WSPOMAGANEGO TECHNOLOGICZNEGO I ORGANIZACYJNEGO PRZYGOTOWANIA PRODUKCJI**

Do podstawowych zadań technologicznego przygotowania produkcji należy projektowanie produkowanych wyrobów, planowanie procesów technologicznych oraz programowanie procedur cyfrowego sterowania wykonaniem poszczególnych operacji technologicznych. Realizacja tych zadań opiera się na systemach komputerowo wspomaganego projektowania i konstruowania (ang. CAD – Computer Aided Design) [5, 27] oraz komputerowo wspomaganego planowania procesów technologicznych (ang. CAPP – Computer Aided Process Planing) [3, 4, 6].

Znane już od ponad 30 lat techniki komputerowo wspomaganego projektowania i konstruowania umożliwiają projektowanie zarówno części wyrobów, specjalizowanych uchwytów, urządzeń mocujących itd., jak i projektowanie całych gniazd i linii produkcyjnych. Istniejące systemy pozwalają na ocenę różnych wariantów wyrobu w zakresie jego kształtu i wymiarów; wyprowadzanie szczegółowej dokumentacji technicznej oraz programów sterowania numerycznego dla maszyn kształtujących zadane powierzchnie wyrobu.

Wykorzystanie omawianych technik do projektowania elastycznych gniazd i linii



produkcyjnych sprowadza się do doboru i przestrzennego rozmieszczenia podstawowych elementów projektowanych systemów oraz oceny wybranych charakterystyk techniczno-ekonomicznych analizowanego wariantu. Ocenie podlegają parametry określające technologiczną przydatność dostępnych (np. skatalogowanych w odpowiednich bazach danych) obrabiarek, urządzeń transportowych, robotów, magazynów buforowych itp. oraz różne warianty wzajemnego rozmieszczenia urządzeń technologicznych.

Celem analiz jest sprawdzenie poprawności działania systemu przez zobrazowanie dynamicznej współpracy jego elementów, np. robotów, wózków samojezdnych itp. oraz wybór wariantu odpowiadającego wymaganiom odnośnie odpowiedniego poziomu elastyczności i niezawodności działania projektowanego stanowiska, kosztów jego budowy i eksploatacji, wydajności itd.

Zadania komputerowo wspomaganego projektowania struktur elastycznych komórek technologicznych wiążą się ściśle z zadaniami realizowanymi w systemach komputerowo wspomaganego planowania procesów technologicznych. Typowym zadaniem z zakresu planowania procesu technologicznego jest odpowiedź na pytanie: jakie operacje, w oparciu o jakie technologie, w jakiej kolejności i na jakich maszynach winny być wykonane, aby uzyskać dany typ wyrobu? Istota zadania sprowadza się do poszukiwania marszrut technologicznych, tj. sekwencji detalooperacji składających się na wykonanie wyrobu, optymalizujących takie typowe kryteria oceny pracy systemu jak jednostkowy koszt i czas wykonania wyrobu, stopień wykorzystania urządzeń technologicznych, poziom produkcji w toku itd. W procesie rozwiązywania analizowane są różne warianty porządków operacji technologicznych realizowanych przy zadanych ograniczeniach związanych z zestawem dostępnych urządzeń technologicznych.

Łatwo zauważyć wzajemne związki pomiędzy zadaniami projektowania wyrobu, projektowania struktury systemów produkcyjnych oraz planowania odpowiednich marszrut technologicznych. Kompleksowe rozwiązywanie tych zadań, np. w oparciu o zintegrowane systemy komputerowo wspomaganego technologicznego przygotowania produkcji umożliwiają w ogólnym przypadku, uzyskanie lepszych wartości wskaźników pracy systemu w porównaniu z metodami optymalnego, indywidualnego rozwiązywania zadań projektowania wyrobów, projektowania struktury systemu produkcyjnego oraz planowania procesów technologicznych.

Podstawowym zadaniem organizacyjnego przygotowania produkcji jest określenie wzajemnych przyporządkowań zadań produkcyjnych, charakteryzujących się wielkością, asortymentem, terminami ukończenia poszczególnych faz produkcji itd., do istniejących zasobów i mocy produkcyjnych systemu, ekstremalizujących wydajność systemu produkcyjnego. Istotnymi problemami organizacyjnego przygotowania produkcji są zadania planowania i harmonogramowania produkcji.

Zadanie planowania produkcji wiąże się z wyznaczaniem zmiennego w czasie poziomu produkcji, tj. długości serii produkcyjnych ekstremalizujących koszty produkcji,

związanych np. ze stopniem wykorzystania zasobów systemu, przy ograniczeniach na pojemności buforów i magazynów składowania międzystanowiskowego, liczby maszyn tego samego typu itd. Stosowane metody rozwiązywania tego typu zadań nie uwzględniają struktury technologicznej procesu i związanych z nią uwarunkowań czasowych pomiędzy poszczególnymi operacjami oraz własności dostępnego parku maszynowego.

Celem harmonogramowania produkcji jest poszukiwanie odpowiedzi na pytanie: jaki detal, w którym momencie i na jakiej maszynie powinien być obrabiany, tak aby zminimalizować czas ukończenia produkcji? Rozwiązanie tego zadania sprowadza się zwykle do wyznaczenia strategii obsługi zadań według zadanego kryterium jakości, np. wartość produkcji w toku, czas cyklu produkcyjnego itp. W konwencjonalnym podejściu oba wymienione typy zadań rozwiązywane są niezależnie. Prowadzi to do sytuacji, w której z jednej strony realizacja optymalnego harmonogramu produkcji wyznaczonego dla cyklicznie powtarzających się jednostkowych zadań produkcyjnych, nie uwzględnia podziału całego zlecenia na serie produkcyjne i ich rozkładu w czasie, z drugiej zaś strony optymalny plan produkcji, determinujący długość serii produkcyjnych i terminy ich wprowadzania nie uwzględnia specyfiki marszrut technologicznych i parametrów wykorzystywanych urządzeń technologicznych. Oznacza to, że dla optymalnej organizacji procesu produkcyjnego niezbędne jest kompleksowe rozwiązywanie zadań planowania i harmonogramowania produkcji. Podejście takie umożliwia systemy komputerowo wspomaganego organizacyjnego przygotowania produkcji.

Sytuacje nie przewidziane harmonogramem produkcji, tzn. awarie, nagłe zmiany asortymentu produkcji, odchyłki od przewidywanych terminów wykonania powodują konieczność bieżącej ingerencji operatora w przebieg procesu.

Do automatyzacji czynności operatora związanych z podejmowaniem decyzji o niezbędnych korektach harmonogramu produkcji wykorzystywane są coraz szerzej wchodzące do praktyki przemysłowej systemy ekspertowe [10, 15, 18]. Systemy te są wykorzystywane jako narzędzia komputerowo wspomaganego sterowania operatywnego w czasie rzeczywistym.

Obserwowana tendencja, będąca istotnym krokiem naprzód w zakresie automatyzacji obsługi systemów wspomaganego komputerowego, wiąże się z zastępowaniem metod programowania proceduralnego (w językach programowania uniwersalnych, tekstowych) metodami interakcyjnego programowania w problemowo zorientowanych, quasi-naturalnych językach komunikacji człowiek – maszyna. W metodach tych, opartych na standardowych procedurach podejmowania decyzji, czynności operatora sprowadzają się jedynie do wyboru jednej spośród przedstawianych w MENU systemu, opcji oraz wprowadzania odpowiednich, związanych z nią danych. Pozwala to na skrócenie czasu obsługi i zmniejsza wymagania odnośnie specjalistycznego przygotowania operatora w zakresie języków programowania oraz umożliwia jego pełną koncentrację na aktualnie podejmowanej decyzji.

Spośród wcześniej wymienionych metod komputerowo wspomaganego podejmowania decyzji, w procesie projektowania i eksploatacji ESP na szczególną uwagę zasługują, bardzo dynamicznie rozwijające się w ostatnich latach, systemy komputerowo wspomaganego planowania procesów technologicznych, planowania i harmonogramowania produkcji oraz operatywnego sterowania w czasie rzeczywistym.

### 3.1. Systemy komputerowo wspomaganego planowania procesów technologicznych

Planowanie procesów technologicznych obejmuje zadania: projektowanie marszrut technologicznych, tzn. wybór technologii, urządzeń produkcyjnych, wyodrębnienie podstawowych faz obróbki detalu itd., podział operacji na ustawienia i zabiegi oraz przygotowanie dokumentacji i programów sterowania numerycznego dla urządzeń technologicznych uczestniczących w procesie produkcyjnym. Na etapie planowania marszrut technologicznych, na przykład w procesach obróbki wiórowej, wyróżnia się m.in. następujące fazy:

- wybór powierzchni bazowych,
- określenie możliwych wariantów kolejności wykonania podstawowych operacji technologicznych,
- wybór elementów urządzeń technologicznych (obrabiarek, magazynów buforowych itd.),
- określenie alternatywnych wariantów marszrut technologicznych,
- wybór optymalnej marszruty,
- określenie kolejnych pośrednich etapów wykonania wyrobu (mycie, kontrola itd.),
- projektowanie specjalizowanych urządzeń mocujących, orientujących itd.,
- określenie schematu przebiegu procesu.

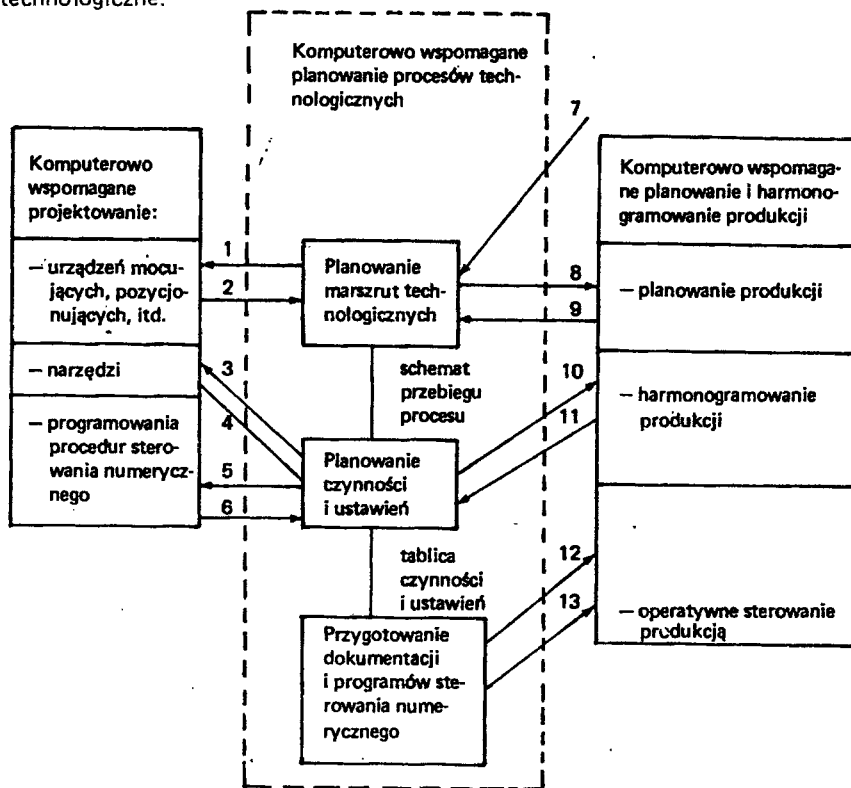
W fazie planowania podziału operacji na ustawienia i zabiegi dokonywany jest:

- wybór ustawień, zabiegów i czynności składających się na poszczególne operacje technologiczne,
- wybór rodzaju narzędzi i ich rozmieszczenie w magazynach narzędzi,
- określenie kolejności wykonania poszczególnych ustawień i zabiegów,
- wybór sposobu rozmieszczenia narzędzi w magazynach,
- określenie optymalnych parametrów obróbki np. głębokości i szybkości skrawania itd.,
- wybór trajektorii ruchu narzędzia i określenie norm czasowych wykonania poszczególnych operacji,
- tablice czynności i zabiegów poszczególnych operacji.

Przygotowanie dokumentacji projektowanego procesu obejmuje:

- schemat przebiegu procesu określający kolejność podstawowych faz wykonania wyrobu,

- tablice czynności i zabiegów wykonywanych na poszczególnych obrabiarkach określające kolejność i rodzaj wykorzystania narzędzi oraz odpowiednie normy czasowe,
- programy sterowania numerycznego dla maszyn realizujących poszczególne operacje technologiczne.



Rys. 5. Schemat procedury planowania procesów technologicznych. 1 – dane wyjściowe dla projektowanych urządzeń specjalistycznych, mocujących, orientujących itd.; 2 – projekt urządzeń mocujących; 3 – dane wyjściowe dla projektowanych narzędzi; 4 – projekt narzędzi; 5 – dane wejściowe dla wykonania programów sterowania numerycznego; 6 – programy sterowania numerycznego; 7 – zadania produkcyjne; 8 – zestaw wariantów marszrut technologicznych; 9 – marszruta optymalna; 10 – zestaw wariantów parametrów technologicznych wykonania operacji; 11 – optymalny wariant parametrów; 12 – dokumentacja marszrut technologicznych; 13 – pliki programów sterowania numerycznego.

Schemat podstawowej procedury planowania procesów technologicznych, uwzględniający interakcje z systemami komputerowo wspomaganego projektowania elementów konstrukcyjnych i planowania produkcji przedstawia rys. 5.

Istniejące systemy komputerowo wspomaganego planowania procesów technologicznych [5, 6, 9] różnią się między sobą zarówno zakresem realizowanych funkcji określających obszar ich zastosowań jak i wykorzystywanymi środkami techniki komputerowej. Typowym przykładem systemu tego rodzaju jest system TAUPROG [9] przeznaczony do automatyzacji planowania procesów technologicznych związanych z obróbką przedmiotów typu wałek. System ten opracowany został na komputer serii IBM 360/170 i jest stosowany w konwencjonalnych systemach produkcji średnio i małoseryjnej wyposażonych w uniwersalne obrabiarki sterowane numerycznie.

Oprogramowanie systemu umożliwia:

- rozwiązywanie zadań optymalizujących, np. związanych z wyborem optymalnych, w zakresie kosztów i wydajności, parametrów skrawania w procesach obróbki wiórowej,
- obsługę systemu w trybie interakcyjnym, na bazie problemowo zorientowanego języka programowania,
- dostęp do przedmiotowych baz danych, standardowych procedur składowania, modyfikacji i wyprowadzania danych opisujących narzędzia, obrabiarki, parametry operacji technologicznych itp.

Prowadzone obecnie prace rozwojowe z zakresu budowy i zastosowań systemów komputerowo wspomaganego planowania procesów technologicznych są ukierunkowane na nowoczesne technologie obróbki bezodpadowej (obróbka elektroerozyjna, laserowa, metalurgia proszkowa itp.) oraz procesy obróbki plastycznej, montażu, spawania itd. [14, 29].

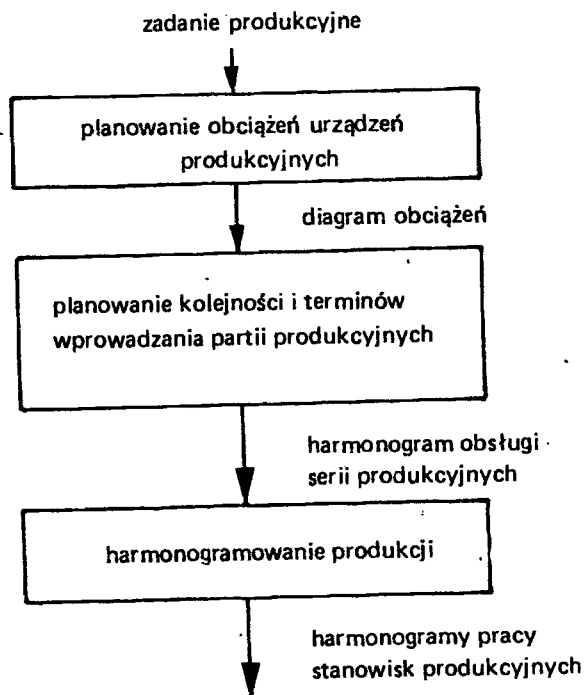
### **3.2. Systemy komputerowo wspomaganego planowania i harmonogramowania produkcji**

Działania skierowane na zwiększenie efektywności wykorzystania ESP, mające na celu pełne wykorzystanie jego mocy produkcyjnych, wymagają wprowadzenia nowych narzędzi umożliwiających automatyzację procesu podejmowania decyzji w zadaniach organizacyjnego przygotowania produkcji, związanych z planowaniem i harmonogramowaniem produkcji (ang. CAP — Computer Aided Production Planning) [17, 21, 30]. Podstawowym celem organizacyjnego przygotowania produkcji jest określenie warunków zapewniających optymalne wykonanie zadań produkcyjnych przy maksymalnym wykorzystaniu istniejących zasobów systemu. Obejmuje ono planowanie zapasów, kolejności obsługi zamówień, wielkości i terminów zakupów i sprzedaży, rozdziału zadań produkcyjnych pomiędzy zasobami systemu produkcyjnego, harmonogramowanie produkcji itd.

Podstawowy schemat procedury organizacyjnego przygotowania produkcji, przedsta-

wiony na rys. 6 obejmuje trzy zasadnicze fazy: planowanie obciążenia maszyn i urządzeń systemu, planowanie kolejności wykonania poszczególnych partii produkcyjnych oraz zestawianie harmonogramów produkcji.

W fazie planowania obciążeń jest wyznaczana wielkość serii produkcyjnych realizowanych na poszczególnych jednostkach wyposażenia technologicznego w zdanym



*Rys. 6. Schemat procedury organizacyjnego przygotowania produkcji*

horyzoncie czasu. Ocena alternatywnych rozwiązań jest przeprowadzana na podstawie kryteriów kosztu i/lub czasu ukończenia produkcji. Faza planowania kolejności wykonania partii produkcyjnych służy do określenia terminów i kolejności wprowadzania partii detali na poszczególne stanowiska produkcyjne. Rozważane zadanie sprowadza się do wyznaczenia dyscypliny obsługi zadań produkcyjnych, której zastosowanie ekstremalizuje zadane wskaźniki jakości pracy systemu, np. stopień wykorzystania zasobów systemu, wielkość produkcji w toku, maksymalne opóźnienie, średnią odchyłkę od zadanych terminów ukończenia produkcji itp.

Rezultatem fazy harmonogramowania produkcji są grafiki harmonogramów określające momenty rozpoczęcia i ukończenia obróbki każdego detalu serii produkcyjnej na poszczególnych stanowiskach pracy. Celem harmonogramowania jest budowa programów grupowego sterowania komponentami systemu produkcyjnego, ekstremalizujących, dla określonych czasów wykonania poszczególnych operacji, zadane kryteria np. czas ukończenia produkcji, średni czas pobytu detalu w systemie itd.

Konkretnym przykładem systemu komputerowo wspomaganego organizacyjnego przygotowania produkcji jest system PATRIARCH [3] wspomagający operatora w zadaniach perspektywicznego i operatywnego sterowania produkcją w ESP. System umożliwia:

- rozwiązywanie zadań planowania strategicznego związanych z określeniem wielkości i asortymentu produkcji,
- przeprowadzanie oceny scenariuszy zawierających różne poziomy zatrudnienia; współczynniki zmienności, wymagania określające niezbędne środki techniczne itp.; przy zadanych nakładach i terminach ich wykorzystania,
- harmonogramowanie produkcji mające na celu określenie długości serii produkcyjnych, kolejności i terminów wprowadzania serii lub oddzielnych detali różnych asortymentów itp., przy zadanych ograniczeniach zasobów systemu produkcyjnego i zadanych marszrutach technologicznych,
- sterowanie operatywne procesem produkcyjnym w czasie rzeczywistym realizowane poprzez wybór optymalnych w sensie zadanych kryteriów jakości, reguł określania priorytetów zadań i priorytetów przydziału zasobów.

System ten umożliwia w szczególności rozwiązywanie zadań harmonogramowania produkcji dla alternatywnych marszrut technologicznych przy różnych wydajnościach maszyn, porządkach wykonania operacji technologicznych oraz czasach wykonania operacji transportowych.

Ważną zaletą systemów wspomaganie komputerowego jest możliwość wykorzystania zarówno zbiorowego, zgromadzonego w tzw. bazach wiedzy, jak i indywidualnego np. operatora systemu, doświadczenia w podejmowaniu decyzji.

### **3.3. Systemy komputerowo wspomaganego operatywnego sterowania przebiegiem procesu produkcyjnego (ang. CAM – Computer Aided Manufacturing)**

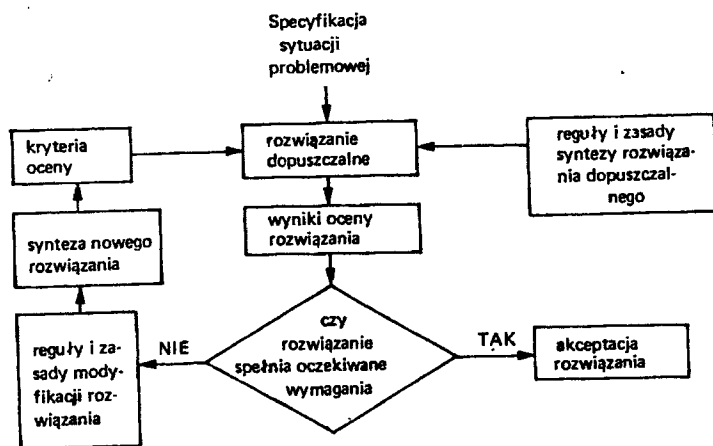
Problemem sterowania współbieżnie przebiegającymi strumieniami materiałowymi, konkurującymi o dostęp do wspólnie wykorzystywanych zasobów ESP, prowadzi do zadania wyboru dopuszczalnego wariantu realizacji procesu produkcyjnego spełniającego zadane wymagania w zakresie jakości funkcjonowania systemu. Zadania tego typu występują w sterowaniu operatywnym mającym na celu wypracowanie decyzji w zakresie określenia krótkoterminowych harmonogramów produkcji i zindywidualizo-

wanego sterowania urządzeniami technologicznymi, przy rozruchu i zakończeniu procesów produkcyjnych, w sytuacjach stanów awaryjnych i w sytuacjach związanych z dynamiczną zmianą priorytetów produkcji.

Wymienione zagadnienia decyzyjne, w ogólnym przypadku nie poddające się algorytmizacji, rozwiązywane są w praktyce przemysłowej w oparciu o subiektywne oceny i decyzje podejmowane przez operatorów i dyspozytorów produkcji. Złożoność zadań decyzyjnych, ich kombinatoryczny charakter oraz wymagania związane z podejmowaniem decyzji w czasie rzeczywistym, praktycznie uniemożliwiają wykorzystanie metod symulacji komputerowej. Oznacza to konieczność opracowania systemów generujących decyzje w trybie dialogu maszyna – operator, tzw. systemów ekspertowych.

W ostatnich latach obserwuje się wyraźne zwiększenie liczby systemów ekspertowych [18] wykorzystywanych w systemach produkcyjnych [24, 26, 28] jako narzędzia komputerowo wspomaganego podejmowania decyzji w czasie rzeczywistym. Systemy tego typu można określić jako programy, których głównym zadaniem jest symulowanie wiedzy w określonej, na ogół bardzo wąskiej dziedzinie. Działanie systemu ekspertowego jest oparte na koncepcji bazy wiedzy i systemu reguł wnioskowania. Elementy te umożliwiają zarówno gromadzenie i przechowywanie wiedzy, doświadczeń i umiejętności przekazanych przez grupę ekspertów, jak i jej przetwarzanie i wykorzystanie w poszukiwaniu rozwiązań problemów decyzyjnych.

Przemysłowe zastosowania systemów ekspertowych obejmują szeroką gamę zagadnień, od zadań projektowania wyrobów, urządzeń i stanowisk produkcyjnych począwszy, przez planowanie procesów technologicznych i harmonogramowanie produkcji, na zadaniach bieżącej kontroli i sterowania procesami produkcyjnymi skończywszy. Przykład procedury ilustrującej sposób wykorzystania systemu ekspertowego w zadaniach sterowania operatywnego przedstawia rys. 7.



Rys. 7. Procedura realizacji problemu decyzyjnego



Specyfikacja sytuacji problemowej, w zależności od przeznaczenia systemu ekspertowego, charakteryzuje rodzaj problemu decyzyjnego. Przykładowo, w systemach ekspertowych wykorzystywanych do diagnostyki systemu produkcyjnego, na podstawie zgromadzonych informacji o typowych nieprawidłowościach w funkcjonowaniu systemu produkcyjnego, jest rozwiązywany problem decyzyjny polegający na wyznaczeniu uszkodzonego elementu systemu i ewentualnym podaniu przyczyn powstania uszkodzenia oraz możliwości jego usunięcia.

Reguły i zasady syntezy rozwiązania dopuszczalnego (ewentualnych jego modyfikacji) stanowią w ogólnym przypadku zbiory heurystyk i mechanizmów wnioskowania umożliwiających stawianie hipotez, sugerujących postacie możliwych rozwiązań oraz ich weryfikację. Poszczególnym heurystykom odpowiadają standardowe procedury syntezy rozwiązań, a regułom wnioskowania strategię poszukiwania rozwiązań optymalnych. Kryteria oceny rozwiązań ustalane są zwykle przez operatora obsługującego dany system.

Przedstawiony przegląd systemów wspomaganie komputerowego, obejmujących wszystkie stadia procesu wytwarzania, tj. zagadnienia technologicznego i organizacyjnego przygotowania produkcji oraz kontroli i sterowania operatywnego w czasie rzeczywistym, potwierdza realność budowy systemów, komputerowo zintegrowanego wytwarzania. Wskazuje tym samym na możliwości budowy przedsiębiorstw, których cała działalność, łącznie z administracją i zarządzaniem, od przygotowania produkcji aż po usługi serwisowe, zostanie objęta wspólnym systemem zintegrowanego sterowania komputerowego.

#### **4. SYSTEMY KOMPUTEROWO ZINTEGROWANEGO WYTWARZANIA (ang. CIM – Computer Integrated Manufacturing)**

Komputerowa integracja całej działalności przedsiębiorstwa ma na celu zmniejszenie udziału człowieka w procesie wytwarzania. Realizacja tego zamierzenia jest uwarunkowana wdrożeniami nowych technologii wytwarzania oraz nowych środków techniki komputerowej, gwarantujących odpowiedni poziom elastyczności i niezawodności działania systemów produkcyjnych.

Nowe technologie winny z jednej strony zapewniać wysoką wydajność produkcji w rezultacie zmniejszenia materiałówochłonności i energochłonności produkcji, z drugiej zaś prostą i niezawodną kontrolę procesu technologicznego oraz możliwość elastycznego kształtowania jego przebiegu. Przykładem takich rozwiązań są technologie bezodpadowe, do których można zaliczyć: obróbkę laserową, obróbkę strumieniem cieczy podawanej pod wysokim ciśnieniem, obróbkę elektroerozyjną, elektrochemiczną itd. [14, 16, 29]. Wymienione rozwiązania upraszczają systemy produkcyjne, elimi-

Systemy komputerowo wspomaganego przygotowania, kontroli i sterowania wytwarzaniem							
Technologiczne przygotowanie produkcji		Organizacyjne przygotowanie produkcji			Sterowanie operatywne i monitorowanie		
KWP	KWPPT	KWPP	KWHP	KWSP	KWDP		
Środki techniki cyfrowej							
Centralny minikomputer	Rozproszone bazy danych	Konsole sterowania operatorskiego	Układy sterowania numerycznego	Sterowniki programowalne	Układy kontrolno-pomiarowe		
Techniczne środki produkcji							
CO	RP	STS	MP	MWS	MB	UZR	SM
Proces produkcyjny							
strumienie materiałów i półfabrykatów		strumienie narzędzi i uchwytów			strumienie odpadów technologicznych		

Rys. 8. Schemat organizacji komputerowo zintegrowanego wytwarzania. KWP (CAD) – system komputerowo wspomaganego projektowania; KWPPT (CAPP) – system komputerowo wspomaganego planowania procesów technologicznych; KWPP (CAP) – system komputerowo wspomaganego planowania produkcji; KWHP – system komputerowo wspomaganego harmonogramowania produkcji; KWSP (CAM) – system komputerowo wspomaganego sterowania operatywnego; KWDP – system komputerowo wspomaganego diagnozowania systemu produkcyjnego; CO – centra obróbcze; RP – roboty przemysłowe; STS – system transportu i składowania; MP – maszyny pomiarowe; MWS – magazyn wysokiego składowania; MB – magazyny buforowe; UZR – urządzenia załadowniczo-rozładownicze; SM – stanowisko mycia.

nując strumienie odpadów technologicznych i narzędzi, przyrządów i uchwytów, a także zwiększając niezawodność systemu, w wyniku eliminacji efektów związanych z uszkodzeniami i tępieniem się narzędzi.

Wdrożenie zasady komputerowej integracji całej działalności przedsiębiorstwa związanej z konstruowaniem, planowaniem, produkcją, zbytem, marketingiem, serwisem i zarządzaniem, wymaga nowych technik komputerowych i nowych metod przetwarzania informacji. Możliwości takie stwarzają komputery piątej generacji oparte na zasadach równoległego, symbolicznego przetwarzania informacji oraz metody sztucznej inteligencji implementujące doświadczenie i umiejętności człowieka w rozwiązywaniu problemów decyzyjnych nie poddających się formalizacji.

Do podstawowych problemów warunkujących rozwój systemów wytwórczych zintegrowanych komputerowo można zaliczyć zadania: budowę wspólnej bazy danych oraz opracowanie efektywnych metod kompleksowego rozwiązywania zadań technologicznego i organizacyjnego przygotowania produkcji a także sterowanie i kontrolę produkcji w czasie rzeczywistym. Budowa rozproszonego systemu bazy danych ma na celu opracowanie wspólnych struktur i systemów kodowania umożliwiających integrację, gromadzenie i modyfikację danych niezbędnych w procesie eksploatacji systemu produkcyjnego, np. danych o geometrii części, ich wykazach i numeracji, istniejących zasobach (wyrobów, materiałów, urządzeń technologicznych, narzędzi, uchwytów, urządzeń spełniających funkcje transportu i kontroli jakości itd.), procedurach projektowania, planowania i harmonogramowania, wynikach kontroli, testowania pracy urządzeń, stanu produkcji itd.

Podstawą kompleksowego rozwiązywania zadań przygotowania i realizacji produkcji są metody zautomatyzowanego modelowania i optymalizacji procesów technologicznych. Celem intensywnie rozwijanych w ostatnich latach badań jest stworzenie ogólnego modelu systemu produkcyjnego, umożliwiającego opracowanie algorytmów pozwalających na zindywidualizowanie i kompleksowe rozwiązywanie problemów decyzyjnych. Specyfika tych problemów wynika ze struktury i wzajemnych powiązań występujących pomiędzy podstawowymi blokami funkcjonalnymi systemu, wyodrębnionymi na rys. 8.

Przedstawiony schemat ilustruje wzajemne przenikanie się strumieni materiałowych i technicznych środków produkcji tworzących proces produkcyjny, technicznych środków produkcji ze środkami techniki cyfrowej stanowiących integralną część współcześnie wykorzystywanych urządzeń wytwórczych, a także wzajemne przenikanie się zadań programowania i realizacji procesów technologicznych będące wynikiem współpracy oprogramowania użytkowego i systemowego środków techniki cyfrowej. Na specjalną uwagę zasługują sprzężenia występujące pomiędzy poszczególnymi, przedmiotowo zorientowanymi systemami wspomaganiami komputerowego. Rozwiązania poszczególnych problemów decyzyjnych występujących w łańcuchu: projektowanie wyrobu — planowanie procesów technologicznych — planowanie i harmonogramowanie produkcji — kontrola przebiegu i sterowanie produkcją, wpływają wzajemnie na siebie i warunkują odpowiednie wskaźniki jakości pracy systemu. Oznacza to, że dla optymalnego wykorzystania zasobów systemu produkcyjnego niezbędne jest kompleksowe

rozwiązywanie zadań technologicznego i organizacyjnego przygotowania produkcji, uwzględniające wymagania stawiane systemom kontroli i sterowania w czasie rzeczywistym. Z uwagi na specyfikę zagadnienia, konwencjonalne podejście oparte na metodach wykorzystujących modele analityczne procesu oraz metodach symulacji komputerowej staje się mało efektywne w porównaniu z perspektywicznymi metodami opartymi na koncepcji systemów ekspertowych.

## 5. ZAKOŃCZENIE

Perspektywiczne uwarunkowania rozwoju systemów wytwarzania wiążą się z jednej strony z podniesieniem standardu życia społeczeństwa wymuszającym przesunięcie siły roboczej ze sfery produkcji do sfery usług, z drugiej zaś strony ze wzrostem poziomu wykształcenia powodującym spadek zainteresowania wykonywaniem prac prostych i monottonnych. W odpowiedzi na te oczekiwania, w ostatnim dwudziestolecu obserwuje się intensywny rozwój badań w zakresie kompleksowej automatyzacji dyskretnych procesów produkcyjnych. Celem tych badań jest rozwój metod i środków umożliwiających osiągnięcie w wielosortymentowej, średnio i małoseryjnej produkcji wydajności porównywalnej z osiąganą w przypadku ciągłych procesów technologicznych, występujących w energetyce czy przemyśle chemicznym. Ich dotychczasowe rezultaty pokazują, że cel ten może być osiągnięty z pomocą systemów komputerowo wspomaganego podejmowania decyzji. Rozwój kompleksowej automatyzacji dyskretnych procesów produkcyjnych uwarunkowany jest wdrażaniem nowych, wysokowydajnych, bezodpadowych technologii obróbki oraz komputerów nowych generacji umożliwiających implementację metod sztucznej inteligencji. Wymienione uwarunkowania implikują potrzebę dalszych badań w zakresie wysokowydajnych technologii wytwarzania zapewniających wysoką niezawodność pracy systemu produkcyjnego oraz w zakresie metod zautomatyzowanego modelowania i optymalizacji procesów wytwórczych umożliwiających optymalne wykorzystanie zasobów systemu produkcyjnego.

Jednym z ważniejszych efektów rozwoju automatyzacji wytwarzania jest usunięcie człowieka z bezpośredniej sfery produkcji, gdzie większość prac nie wymagających wysokich kwalifikacji wykonywana jest przez znacznie szybsze i dokładniejsze maszyny automatyczne. Oznacza to potrzebę dokończenia zawodowego, a niekiedy również przekwalifikowania się pracowników w okresie swej aktywności zawodowej. Sytuacja taka wymaga nowelizacji istniejących form kształcenia tak ogólnego jak i zawodowego w takim kierunku, aby nabyta wiedza i umiejętności pozwalały na samodzielne wyodrębnianie sytuacji problemowych i rozwiązywanie ich za pomocą dostępnych środków i metod opartych na technice komputerowej.

## Literatura

- [ 1 ] Modern problems of developing technology in computer-aided integrated machine manufacturing system. Prepr. of V IFAC/IFIP/IMACS/IFORS Symposium on Information Control Problems in Manufacturing Technology „Robotics and Flexible Manufacturing Systems“, Suzdal, April 22-24, 1986, [aut: Aleksandrov A.P., Tikhonov A.N. et al.]
- [ 2 ] Askin R.G., Paul E.M.: Decision support for production planning and process sequencing, [in] Computer-Based Factory Automation. Proc. of 11th Conf. on Production Research and Technology, May 21-23, Pittsburgh, Society of Manufacturing Engineers, 1984
- [ 3 ] Askin R.G., Subramanyam S.: Decision support algorithms for production planning, scheduling and control, [in] Advanced Systems for Manufacturing, Proc. of 12th Conf. on Production Research and Technology, May 14-17, Madison, Society of Manufacturing Engineers, 1985.
- [ 4 ] Bao H.: Computer aided process planning, [in] Robotics and Factories of the Future. Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 1984.
- [ 5 ] Chaharbaghi K., Dayies B.L.: Manufacturing systems simulation using DSSL. Computer-Aided Design. Vol. 18, No. 5, 1986.
- [ 6 ] Chang T.Ch., Wysk R.A.: An introduction to automated process planning systems. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1985.
- [ 7 ] Chong P.S.: Designing a prototype manufacturing resource planning decision support system. Proc. of the 12th Conf. on Production Research and Technology „Advanced Systems for Manufacturing“, Wisconsin, May 14-17, 1985.
- [ 8 ] Chryssolouris G., Chan S., Wright K.: MADEMA: a framework for decision making in manufacturing systems. Proc. of the 12th Conf. on Production Research and Technology „Advanced Systems for Manufacturing“, Wisconsin, May 14-17, 1985.
- [ 9 ] Cser I., Toth T.: Computer-aided technological process planning: methods, systems and application experiences, [in] Modeling and Design in Flexible Manufacturing Systems, Amsterdam, Elsevier, 1986.
- [10] Duda R.O.: Knowledge-based expert systems come of age. Byte, Vol. 6, No. 9, September 1981.
- [11] Grieve R.J., Smith G.W.: Machine and component specification for flexible manufacturing systems for metal cutting processes, [in] Flexible Manufacturing Systems: Methods and Studies, Amsterdam, North-Holland, 1986.
- [12] Hartley J.: Flexible automation in Japan. Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 1984
- [13] Hitomi K.: Manufacturing systems engineering (A unified approach to

- manufacturing technology and production management). London, Taylor and Francis Ltd., 1979.
- [14] Kaczmarczyk A., Banaszak Z.: *Fabryka przyszłości. Podstawowe problemy współczesnej techniki*. T. XXV, Warszawa, PWN, 1987.
- [15] Kinnucan P.: *Computers that think like experts*. High Technology, January 1984.
- [16] *CAM (Developments in Computer-Integrated Manufacturing)*. Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 1985.
- [17] Kolle J.: *PSK 2000: a new flexible and integrated system for production planning and control*, [in] *Toward the Factory of the Future. Proc. of 8th Int. Conf. on Production Research*, Berlin, Springer-Verlag, 1985.
- [18] Miller R.K.: *Artificial intelligence applications for manufacturing*. SEAI Technical Publ., Madison, 1985.
- [19] *Integrated manufacturing*. Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 1985.
- [20] *The FMS report*. Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 1984.
- [21] Morton T.E., Smunt T.L.: *A planning and scheduling system for flexible manufacturing*, [in] *Flexible Manufacturing Systems: Methods and Studies*. Amsterdam, North-Holland, 1986.
- [22] Ranky P.G.: *The design and operation of FMS*. Amsterdam, North-Holland Publ., Comp., 1983.
- [23] *Recent trends in flexible manufacturing*. New York, United Nations Publications, 1986.
- [24] Sauve B., Colliont A.: *An expert system for scheduling in a flexible manufacturing system*. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol. 3, No. 2, 1987.
- [25] Stanek W.: *Simulation - a common tool for design and control of FMS*. Prepr. of VIFAC/IFIP/IMACS/IFORS Symposium on Information Control Problems in Manufacturing Technology „Robotics and Flexible Manufacturing Systems”, Suzdal, April 22-25, 1986.
- [26] Subramanyam S., Askin R.G.: *An expert system approach to scheduling in flexible manufacturing systems*, [in] *Flexible Manufacturing Systems: Methods and Studies*, Amsterdam, North-Holland, 1986.
- [27] Swensen K.R.: *IBM's experience with CAD/CAM*. First Australian Conference on Computer Graphics, Sydney, 31 August - 2 September, 1983.
- [28] Turban E., Sepehri M.: *Application of decision support and expert systems in flexible manufacturing systems*, [in] *Modelling and Design of Flexible Manufacturing Systems*, Amsterdam, Elsevier, 1986.

- [29] Uetz H., Hardock G.: Flexible manufacturing with lasers: problems, machine concepts, system solutions and experiences, [in] *Toward the Factory of the Future*. Berlin, Haidelber, Springer-Verlag, 1985.
- [30] Wakai H., Kado S., Sata T.: KOSMO — a simulator for flexible manufacturing systems. *Annals of the CIRP*, Vol. 35, No. 1, 1986.

\*  
\* \*