

Mirosław Zaborowski  
Politechnika Świętokrzyska

SYSTEM OPERATYWNEGO STEROWANIA PRODUKCJA W PRZEDSIĘBIORSTWIE  
PRZEMYSŁOWYM\*

Streszczenie. W pracy przedstawiono strukturę hierarchicznego systemu operatywnego sterowania produkcją w przedsiębiorstwie przemysłowym. Omówiono kolejność czynności wykonywanych w jednostkach sterujących systemem oraz zasady działania programu zarządzającego, sterującego uruchamianiem poszczególnych programów informatycznego systemu sterowania produkcją.

1. Czynności wykonywane w systemie operatywnego sterowania produkcją

Informatyczny system operatywnego sterowania produkcją składa się z:

- programów realizujących algorytmy wypracowywania decyzji i raportowania o ich wykonaniu,
- zbiorów bazy danych przetwarzanych przez programy,
- programu zarządzającego, sterującego uruchamianiem poszczególnych programów w odpowiedniej kolejności.

Wypracowywanie decyzji obejmuje następujące czynności:

- 1) prognozowanie stanu początkowego oraz ograniczeń obowiązujących w poszczególnych okresach objętych horyzontem sterowania,
- 2) operatywne planowanie produkcji,
- 3) operatywne harmonogramowanie produkcji,
- 4) aktualizacja bieżących danych o obowiązujących decyzjach, stanie początkowym systemu, przewidywanym stanie końcowym systemu i innych wielkościach charakteryzujących bieżący okres planowania i kontroli.

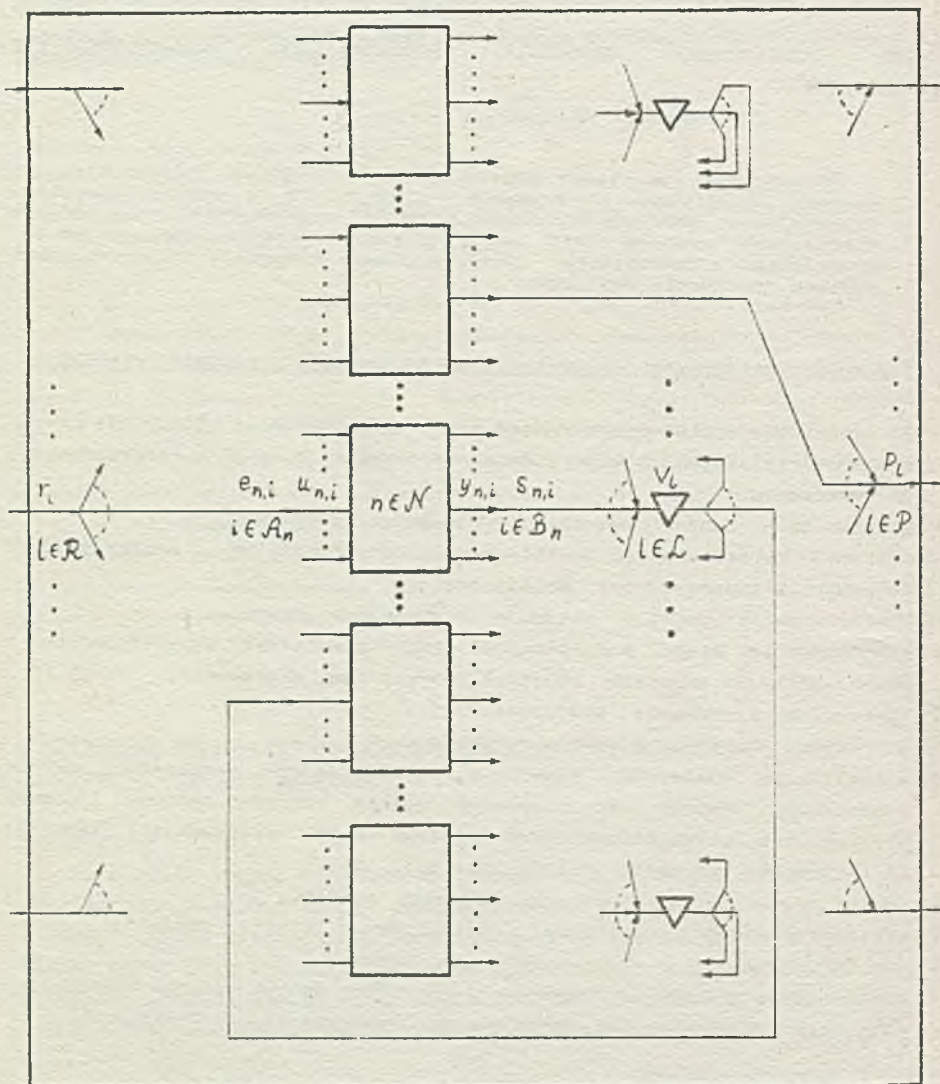
Na kontrole wykonania planów składają się:

- 1) odbiór raportów o stanie początkowym systemu,
- 2) odbiór raportów o wykonaniu operatywnych planów produkcji,
- 3) odbiór raportów o stanie końcowym systemu,
- 4) archiwizacja planów i raportów oraz innych danych charakteryzujących działanie systemu w kolejnych okresach planowania i kontroli.

\* Praca była częściowo finansowana przez RP.1.02 "Teoria sterowania i optymalizacji ciągłych układów dynamicznych i procesów dyskretnych"

## 2. Struktura systemu produkcyjnego

System produkcyjny (SP) jest zbiorem komórek (podsystemów) produkcyjnych (PS) i węzłów bilansowych (WB) powiązanych strumieniami materiałów przepływającymi między nimi [1]. Ponieważ każda wielkość występująca w bazie danych informatycznego systemu



Rys.1. Struktura systemu produkcyjnego

Fig.1 The production system structure

sterowania produkcja dotyczy określonej komórki produkcyjnej, węzła bilansowego albo strumienia materiałowego, struktura bazy danych powinna odzwierciedlać strukturę SP.

Punktem wyjścia do formalizacji struktury SP jest odpowiednio uporządkowany schemat przepływu materiałów (rys.1). Zbiory bazy danych można podzielić na grupy odpowiadające widocznym na tym schemacie grupom elementów struktury SP:

- komórki produkcyjne
- węzły bilansowe
- strumienie wejściowe SP
- strumienie wyjściowe SP
- strumienie wejściowe PS
- strumienie wyjściowe PS

Poszczególne komórki produkcyjne są okresowo odstawiane do remontu lub zatrzymywane w celu wykonania innych czynności konserwacyjnych. Niektóre z nich mogą pracować na zmianę w różnych wariantach technologicznych różniących się asortymentem zużywanych bądź wytwarzanych materiałów. Wszystkie tego typu stany ogólne komórek produkcyjnych nazywa się wariantami produkcyjnymi. Wielkości, które je charakteryzują, są zgrupowane w oddzielnych zbiorach bazy danych, ponieważ nie dotyczą komórek produkcyjnych jako całości.

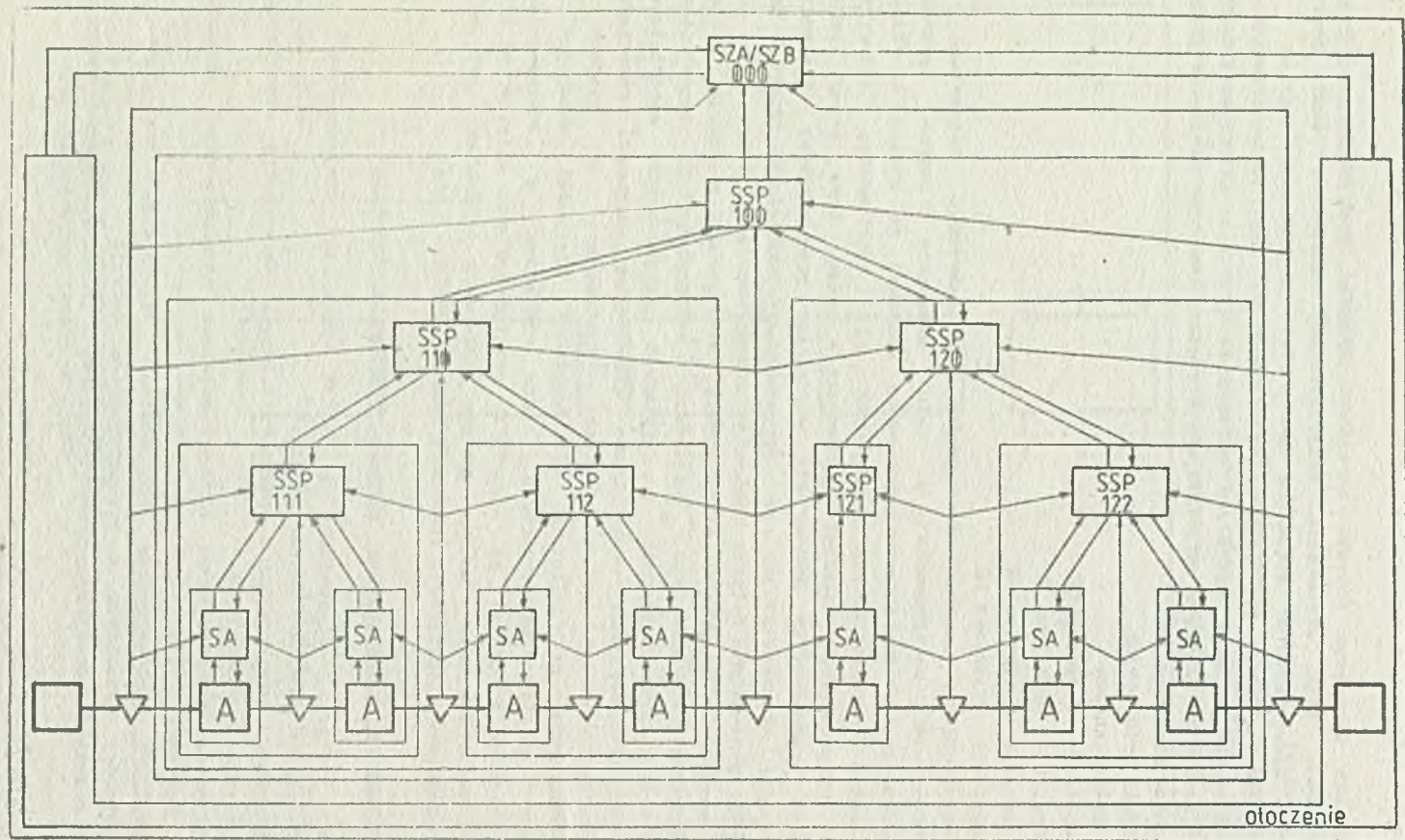
Decyzje wypracowywane w systemie sterowania produkcją dotyczą bezpośrednio tylko tzw. wielkości wiodących. Są to ilości materiałów przepływających w wiodących strumieniach materiałowych komórek produkcyjnych albo tempo wykonywania czynności remontowych (konserwacyjnych). Inne wielkości występujące w planach i harmonogramach są obliczane na podstawie wielkości wiodących za pomocą modeli matematycznych. Dane związane z poszczególnymi wielkościami wiodącymi są zawarte w ostatniej z grup zbiorów, na które można podzielić bazę danych systemu sterowania produkcją, przyjmując jako podstawę klasyfikacji strukturę systemu produkcyjnego.

### 3. Struktura hierarchiczna systemu sterowania produkcją

W systemie sterowania produkcją występują równocześnie trzy współzależne struktury hierarchiczne:

- struktura wielopoziomowa odzwierciedlająca hierarchię organizacyjną systemów produkcyjnych,
- struktura wielowarstwowa odzwierciedlająca różnokresowość planowania i kontroli,
- struktura wielowarstwowa funkcjonalna, odzwierciedlająca hierarchię czynności związanych z wypracowywaniem decyzji.

Dla przykładu rozpatrzmy przedsiębiorstwo o trzech poziomach sterowania:



Rys.2. Przykład struktury wielopoziomowej

Fig.2. An example of a multilevel structure

- 1) poziom przedsiębiorstwa rozpatrywanego jako SP zakładów,
- 2) poziom zakładów rozpatrywanych jako SP swoich wydziałów,
- 3) poziom wydziałów jako SP swoich agregatów produkcyjnych.

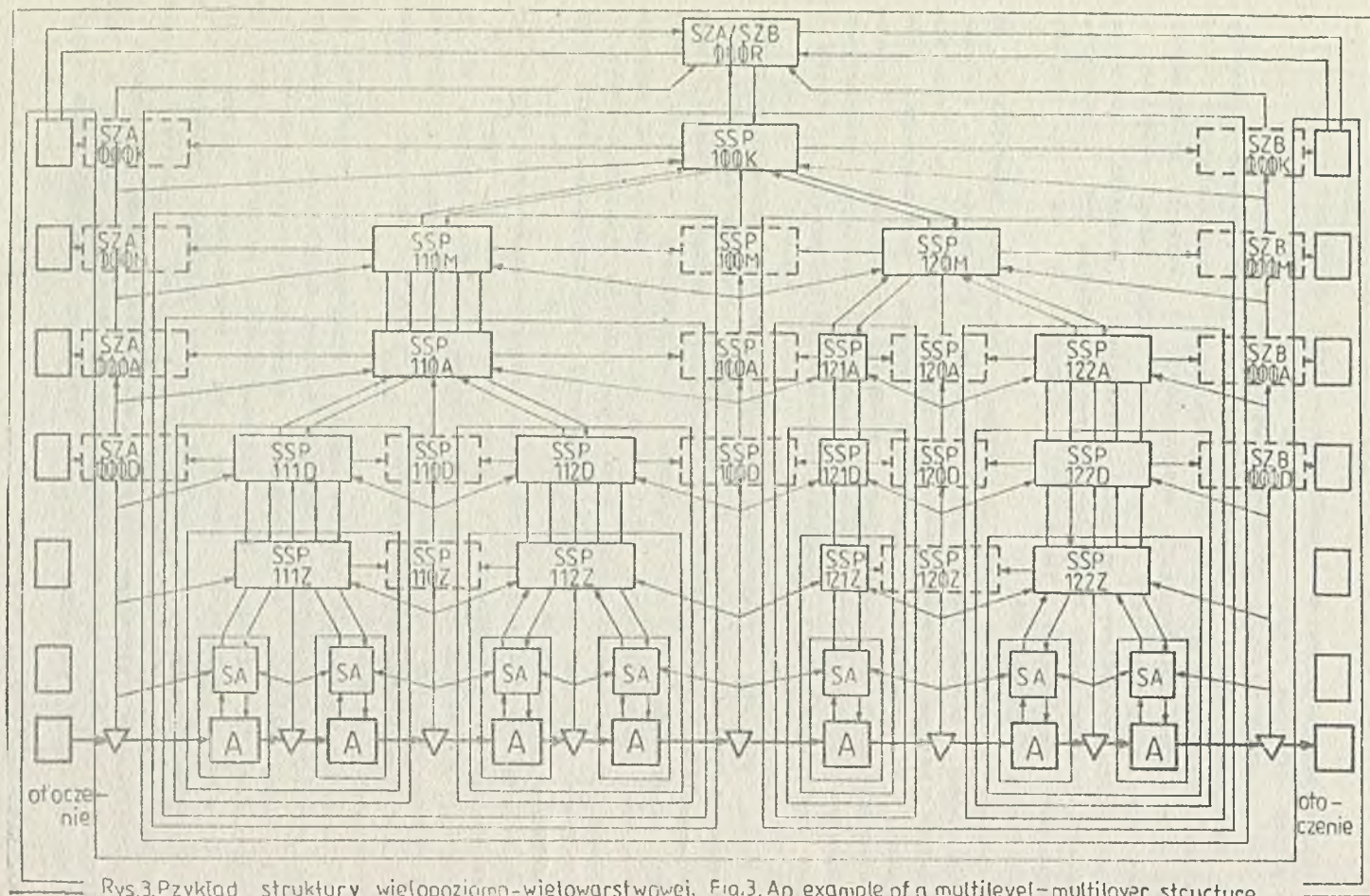
Dla ilustracji struktury trójpoziomowej na rys.2 pokazano strukturę systemu sterowania produkcją nierzeczywistego przedsiębiorstwa o szeregowo połączonych komórkach produkcyjnych i węzłach bilansowych, przy czym każdy z tych elementów ma tylko jeden wejściowy i tylko jeden wyjściowy strumień materiałowy. Jednostki sterujące systemów produkcyjnych oznaczono na rys.2 symbolem SSP, elementarne podsystemy produkcyjne (agregaty) - symbolem A, a ich układy sterujące - symbolem SA.

Systemy produkcyjne wraz ze swoimi jednostkami sterującymi są podsystemami produkcyjnymi, czyli obiektami sterowania w systemie wyższego poziomu. Przedsiębiorstwo i jego otoczenie są formalnie uważane za podsystemy nadrzędnego systemu produkcyjnego, nie posiadającego żadnych zewnętrznych strumieni materiałowych. Z punktu widzenia przedsiębiorstwa sterowanie nadrzędnym systemem produkcyjnym jest realizowane przez jednostkę sterującą zaopatrzeniem i zbytem - SZA/SZB.

Każda wielkość występująca w bazie danych systemu sterowania produkcją dotyczy określonego SP pierwszego, drugiego albo trzeciego poziomu, więc by umożliwić jej odpowiednie przyporządkowanie, musi być zaopatrzona w trzy indeksy identyfikujące P1,P2,P3. P1-1 odpowiada przedsiębiorstwu, P1-2 jego otoczeniu, indeks P2 numeruje zakłady w przedsiębiorstwie, P3 - wydziały w zakładzie (rys.2). Elementarne komórki produkcyjne (agregaty) są rozróżniane tylko jako podsystemy w swoich SP.

Dla ustalenia uwagi przyjmijmy, że w rozpatrywanym systemie stosuje się następujące okresy planowania i kontroli: R - rok, K - kwartał, M - miesiąc, A - dekada, D - doba, Z - zmiana. Ponadto założymy, że SP pierwszego poziomu (przedsiębiorstwo) jest kontrolowane z okresami K,M,A,D, drugiego poziomu (zakłady) - M,A,D,Z, trzeciego poziomu (wydziały) - A,D,Z.

Niestety, wynikająca stąd struktura wielowarstwowa przeplata się ze strukturą wielopoziomową, co jest źródłem dodatkowych komplikacji. Nie można założyć, że sterowanie przedsiębiorstwem odbywa się, przykładowo, z okresami R,K, zakładem - M,A, wydziałem - D,Z, bo np. dobowe plany i raporty są sporządzane zarówno dla przedsiębiorstwa, jak i dla każdego z jego zakładów. Trudności te można rozwiązać, wprowadzając obok P1,P2,P3 czwarty indeks identyfikacyjny złożonego obiektu sterowania - okres planowania i kontroli T. Przy tym SP kontrolowany z mniejszym okresem T jest wraz ze swoją jednostką sterującą traktowany formalnie jako obiekt



Rys.3. Przykład struktury wielopoziomo-wielowarstwowej. Fig.3. An example of a multilevel-multilayer structure.

sterowania tym samym SP w warstwie wyższej, a więc z okresem T o rząd większym (rys.3). Na rys.3 przedstawiono przykładową strukturę wielopoziomowo-wielowarstwową odpowiadającą strukturze wielopoziomowej z rys.2.

Łatwo zauważyć, że w strukturze wielopoziomowo-wielowarstwowej niektóre jednostki sterujące nie wypracowują własnych decyzji i raportów, lecz tylko korzystają z decyzji i raportów wypracowanych w tej samej warstwie dla systemów produkcyjnych niższego poziomu. Np. plan, a następnie raport o produkcji dobowej zakładu, podający ilości materiałów przepływających w ciągu doby w jego strumieniach wejściowych i wyjściowych, może być wyodrębniony z planów (raportów) produkcji dobowej wydziałów tego zakładu, gdyż każdy strumień wejściowy zakładu jest równocześnie strumieniem wejściowym jednego z jego wydziałów i to samo dotyczy każdego strumienia wyjściowego zakładu. Te jednostki sterujące, pracujące w trybie biernym, tzn. pośredniczące tylko w obiegu informacji, są na rys.3 zaznaczone liniami przerywanymi, np. SSP-100D.

Z powyższych rozważań wynika, że należy rozróżnić co najmniej dwa tryby pracy jednostek sterujących SP: aktywny i bierny. W rzeczywistości tryb aktywny ma trzy odmiany:

- optymalizacyjny [2] z nadrzedną jednostką sterującą należąca do wyższej warstwy i wyższego poziomu (np. SSP-122A na rys. 3),
  - optymalizacyjny [2] z nadrzedną jednostką sterującą należąca do wyższej warstwy tego samego poziomu (np. SSP-122D, SSP-122Z na rys. 3),
  - nadażny [4], występujący w przypadku, gdy obiektem sterowania jest pojedyncza elementarna komórka produkcyjna (np. SSP-121A na rys. 3).
- Tryb pracy danej jednostki sterującej jest istotny dla programu zarządzającego, który na tej podstawie przydziela danej jednostce odpowiednie algorytmy wyznaczania decyzji i raportowania.

Dla każdego SP czynności sterujące są wykonywane w następującym układzie hierarchicznym :

- prognozowanie ograniczeń planowania [4],
- planowanie produkcji [2,4],
- harmonogramowanie nadażne [3],
- korekta harmonogramów.

Oznacza to, że plany produkcji stanowią wytyczne dla harmonogramowania, a harmonogramy produkcji pełnią rolę wartości zadanych dla harmonogramów skorygowanych. Harmonogramy generowane przez algorytmy harmonogramowania nadażnego są korygowane w taki sposób, by w każdym odcinku czasowym, równym okresowi planowania i kontroli o rząd mniejszemu od obowiązującego w danej warstwie, każdy PS pracował tylko w jednym wariantcie. Celem tej korekty jest ułatwienie wyznaczania nadrzędnych planów produkcji dla jednostek sterujących niższej warstwy.

#### 4. Kolejność czynności wykonywanych w jednostce sterującej systemem produkcyjnym.

W każdej jednostce sterującej SP, o danych indeksach identyfikacyjnych P1, P2, P3, T, pracującej w jednym z trybów aktywnych, czynności dotyczące pojedynczego okresu planowania i kontroli  $T^0$  układają się w następujący cykl (rys.4) :

- 1) PROGNOZOWANIE ograniczeń planowania produkcji i stanu początkowego SP,
- 2) PLANOWANIE produkcji,
- 3) HARMONOGRAMOWANIE produkcji,
- 4) RAPORTOWANIE o stanie początkowym SP,
- 5) AKTUALIZACJA danych o stanie początkowym SP oraz planów operatywnych i innych wielkości związanych z planami,
- 6) RAPORTOWANIE o wykonaniu planów produkcji i o stanie końcowym SP,
- 7) ARCHIWIZACJA planów i raportów oraz innych danych o minionym okresie planowania i kontroli.

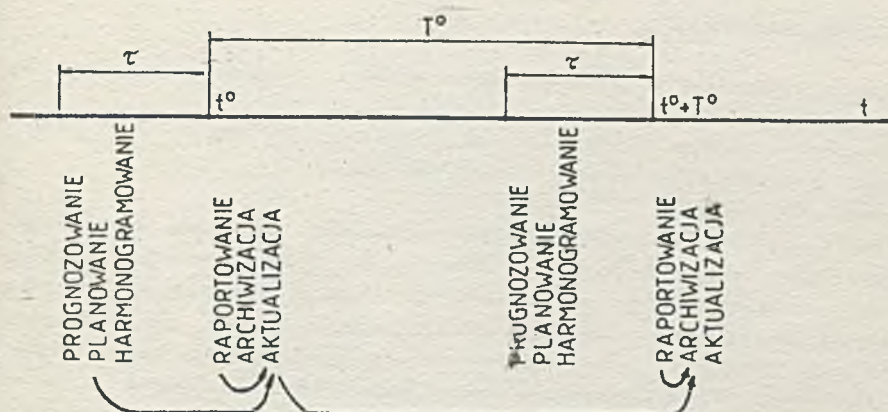
Pierwsze trzy czynności rozpoczynają się z odpowiednim wyprzedzeniem  $\tau$  (rys.4), nie większym jednak niż okres planowania i kontroli o rząd mniejszy od  $T^0$ , a powinny się skończyć z wyprzedzeniem nie mniejszym niż wyprzedzenie początku obliczeń w warstwie niższej. W wyniku tych czynności zbiory zawierające plany i harmonogramy wypełniają się nowymi danymi. Dzięki przyjętemu wyżej ograniczeniu wyprzedzenia  $\tau$  kasowanie w bazie danych poprzednio obliczonych planów i harmonogramów następuje już po wykorzystaniu planu nadrzednego dla ostatniego okresu planowania i kontroli warstwy niższej.

Raport o stanie początkowym SP jest równocześnie raportem o stanie końcowym z poprzedniego okresu i jako taki jest wpisywany do zbiorów z danymi aktualnymi. Dopiero po archiwizacji danych dotyczących poprzedniego okresu jest on - w ramach aktualizacji - przepisywany jako raport o stanie początkowym. Miejsce na raport o stanie końcowym zostaje wówczas w bazie danych zwolnione.

Aktualizacja planów operatywnych polega na przepisaniu danych dotyczących pierwszego okresu planowania ze zbiorów zawierających plany produkcji do zbiorów z danymi aktualnymi. Harmonogramy skorygowane są reprezentowane w zbiorach danych aktualnych przez plany nadrzedne warstwy niższej.

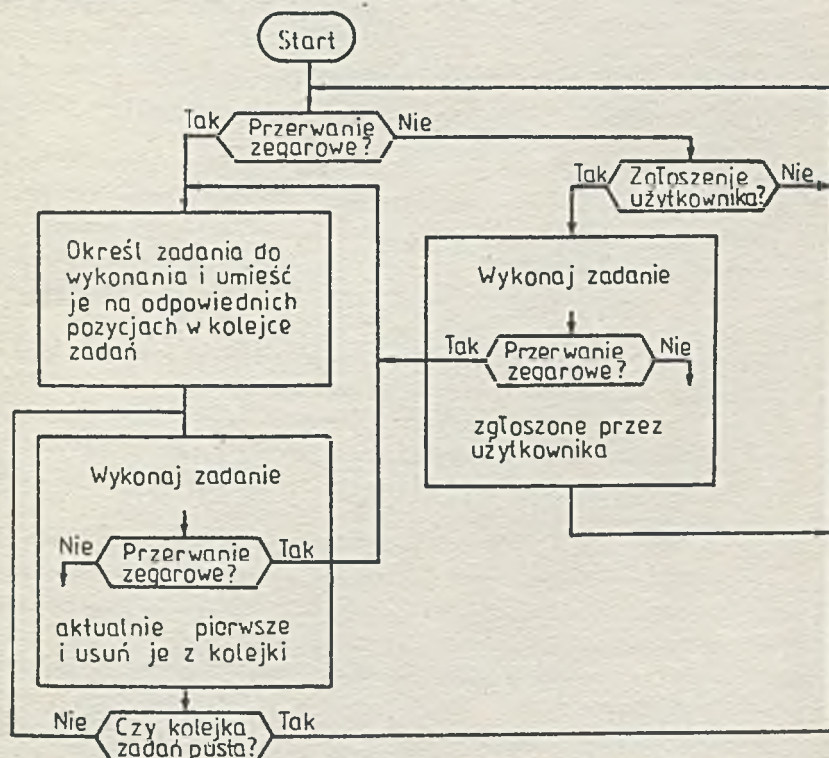
Raportowanie o wykonaniu planów produkcji i o stanie końcowym SP odbywa się bezpośrednio po zakończeniu danego okresu  $T^0$  i polega na wpisaniu raportów do zbiorów z danymi aktualnymi. Zaraz potem wszystkie dane z tych zbiorów, dotyczące jednostki sterującej o danych indeksach identyfikacyjnych P1, P2, P3, T, są dopisywane do zbiorów archiwalnych.





Rys.4. Cykl czynności jednostki sterującej

Fig.4. Operation cycle of a control unit



Rys.5. Sieć działań programu zarządzającego

Fig.5. Flow-chart of the main programme

### 5. Program zarządzający

Zadania wykonywane w informatycznym systemie sterowania produkcją są określone przez :

- SP, których dotyczy (indeksy identyfikacyjne P1, P2, P3)
- okres, z którym są powtarzane (indeks warstwy T)
- wykonywane czynności.

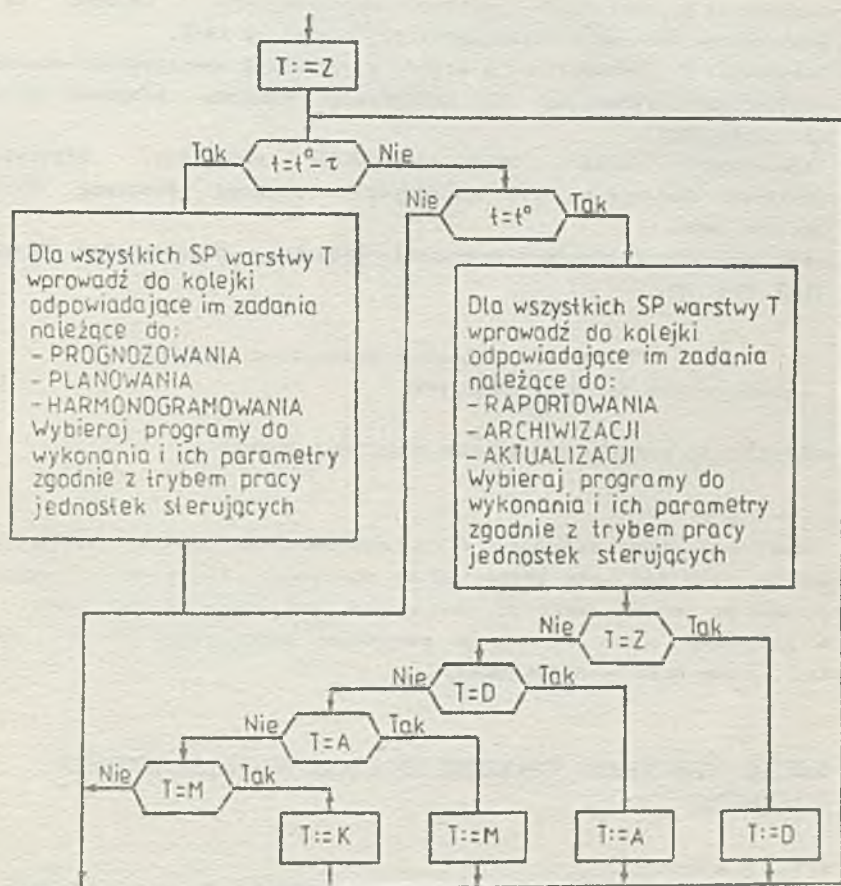
Czynność jest realizowana przez jednokrotne wykonanie określonego programu komputerowego z pobraniem danych i przekazaniem wyników do bazy danych. Uruchamianiem poszczególnych zadań steruje program zarządzający. Ramowa sieć działań przykładowego programu zarządzającego przedstawiono na rys.5. Po skompletowaniu i uporządkowaniu kolejki zadań oczekujących na wykonanie program zarządzający kolejno wykonuje je, a po wykonaniu usuwa z kolejki. Jeśli przed następnym przerwaniem zegarowym wszystkie zadania z kolejki zostaną wykonane, program zarządzający oddaje sterowanie systemowi operacyjnemu komputera. Mogą być wtedy wykonywane zadania zgłoszone przez użytkownika, a nie należące do grupy zadań sterowanych automatycznie. Chodzi tu m.in. o zadania uruchamiane na żądanie, jak np. przegląd bazy danych, sporządzanie wydruków z raportami itp., lecz także dowolne inne zadania, całkowicie nie związane z systemem sterowania produkcją.

Procedura programu zarządzającego, realizująca wybór zadań będących aktualnie do wykonania (rys.5), przedstawiono schematycznie na rys.6. Wartościami zmiennej T są symbole warstw systemu, określonych przez swoje okresy planowania i kontroli,  $t^0$  i  $\tau$  są dla wybranego okresu aktualna chwila początkowa i wyprzedzeniem początku obliczeń (rys.4), natomiast  $t$  jest chwila bieżąca.

Po wyborze zadań do wykonania zbiór zadań wprowadzonych do kolejki jest porządkowany zgodnie z następującymi kryteriami :

- 1) Pierwszeństwo mają zadania o krótszych okresach powtarzalności T.
- 2) Przy tym samym okresie powtarzalności pierwszeństwo mają zadania dotyczące SP niższego poziomu (zadania trybów aktywnych są wykonywane przed zadaniami trybu biernego).
- 3) Ciąg zadań dotyczących określonego obiektu i okresu powtarzalności nie jest przerywany zadaniami jednostek sterujących o innych indeksach identyfikacyjnych P1, P2, P3, T. Kolejność zadań aktualnie obsługiwanej jednostki sterującej zgodna jest z rys.4.
- 4) Kolejność obsługi jednostek sterujących tego samego poziomu i tej samej warstwy jest dowolna.

Ostatnia z wymienionych reguł wskazuje na możliwość wielokomputerowej realizacji systemu sterowania produkcją, w której każdy SP (przedsiębiorstwo, zakład, wydział) miałby przydzielony swój komputer sterujący (rys.2.). Zaletą tego rozwiązania, poza zwiększeniem



Rys.6. Procedura wyboru zadań do wykonania  
Fig.6. Procedure for selecting jobs to execute

niezawodności systemu, jest współbieżna realizacja zadań dotyczących różnych systemów produkcyjnych. Programy zarządzające lokalnych systemów sterowania produkcją powinny działać zgodnie z zasadami określonymi wyżej dla realizacji jednokomputerowej. Odpowiednia synchronizacje zapewniają impulsy przerw zegarowych narzucające takt pracy całości systemu. Rozwiązanie takie może okazać się konieczne, jeśli czasochłonność zadań wykonywanych kolejno, a nie współbieżnie przekroczy możliwości jednego, centralnego komputera.

## LITERATURA

- [1] Zaborowski M.: Struktura systemów produkcyjnych. Referat na II Konferencję Naukowa Programu RP.1.02. Kazimierz 1988.
- [2] Zaborowski M.: Optymalizacja planów w systemach operatywnego sterowania produkcją. Referat na II Konferencję Naukowa Programu RP.1.02. Kazimierz 1988.
- [3] Zaborowski M.: Nadażne harmonogramowanie produkcji. Algorytm i przykład. Referat na III Konferencję Naukowa Programu RP.1.02. Sielcia 1989.
- [4] Zaborowski M.: Operatywne sterowanie produkcją. Gliwice 1983. Skrypt nr 1138 Pol. 51.

Recenzent: Doc.dr h.inż. J.Kałuski

Wpłynęło do Redakcji do 1990-04-30.

## A MANUFACTURING CONTROL SYSTEM FOR INDUSTRIAL PLANTS

## S u m m a r y

The hierarchical structure of a manufacturing control system for an industrial plant has been presented in the paper. The order of operations performed by control units of the system and operating principles of the main programme which starts all particular programmes of the computer control system have been described.

## СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

## Р е з ю м е

В работе представлено структуру иерархической системы оперативного управления производством на промышленном предприятии. Рассмотрена последовательность действий выполняемых в управляющих блоках и принцип работы заведующей программы, управляющей пуском отдельных программ информатической системы управления производством.