

Mirosław Zaborowski  
Politechnika Śląska

#### AGREGACJA STANOWISK ROBOCZYCH DLA POTRZEB STEROWANIA DYSKRETNymi PROCESAMI PRODUKCJI

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono ogólną dyskusję problemów sterowania produkcją w zakładach przemysłu maszynowego. Pokazano, że synchronizacja operacji wykonywanych na współpracujących stanowiskach roboczych umożliwia znaczne uproszczenie zadania sterowania produkcją.

#### 1. Systemy produkcyjne

Proces produkcji w zakładzie przemysłowym jest to ogół działań zmierzających do przetworzenia surowców w produkty. Cechą charakterystyczną procesu produkcji jest przepływ materiałów między urządzeniami i poprzez urządzenia, w których materiały te są przetwarzane. Dlatego mówimy, że każdy zakład przemysłowy jest systemem przepływowym.

Zakład przemysłowy jako system może być dzielony na komórki produkcyjne różnej wielkości. W przemyśle maszynowym elementarną komórkę produkcyjną nazywa się stanowiskiem roboczym. Przedsiębiorstwa przemysłowe mają strukturę hierarchiczną. Oznacza to, że grupa stanowisk roboczych, uważana na danym szczeblu hierarchii za pojedynczą komórkę produkcyjną, jest równocześnie systemem komórek produkcyjnych niższego szczebla.

Ze względu na przepływowy charakter procesu produkcji ważną rolę w systemach produkcyjnych wszystkich szczebli odgrywają węzły bilansowe, to znaczy te elementy systemów, w których materiały przepływające między komórkami produkcyjnymi mogą być magazynowane lub w których mogą rozplýwać się do różnych odbiorców. W węzłach bilansowych mogą także łączyć się strumienie tego samego materiału pochodzące z różnych źródeł. Systemem produkcyjnym nazywa się zbiór komórek produkcyjnych i węzłów bilansowych wzajemnie na siebie oddziałujących poprzez zmiany natężeń przepływu i parametrów jakości materiałów przepływających między nimi.

Warto zwrócić uwagę na zgodność definicji systemów produkcyjnych dla procesów ciągłych i dyskretnych. W przypadku procesów dyskretnych ilości materiałów przepływających w określonych przedziałach czasowych są liczone w sztukach, a natężenia przepływu w sztukach na jednostkę czasu. Jednak wartości liczbowe tych wielkości, podobnie jak w przypadku procesów ciągłych, nie muszą być liczbami całkowitymi. Dlatego jest zupełnie normalne, że obliczane za pomocą modeli matematycznych wartości zapasów lub wielkości

\* Praca była częściowo finansowana przez RP.I.02 "Teoria sterowania i optymalizacja ciągłych układów dynamicznych i procesów dyskretnych"

oi partii przepływających materiałów mogą przyjmować wartości niecałkowite. Jest to tylko jeden z przejawów niedokładności modeli matematycznych, na który system sterowania produkcyjną reaguje tak samo, jak na inne błędy modeli.

## 2. Sterowanie produkcją

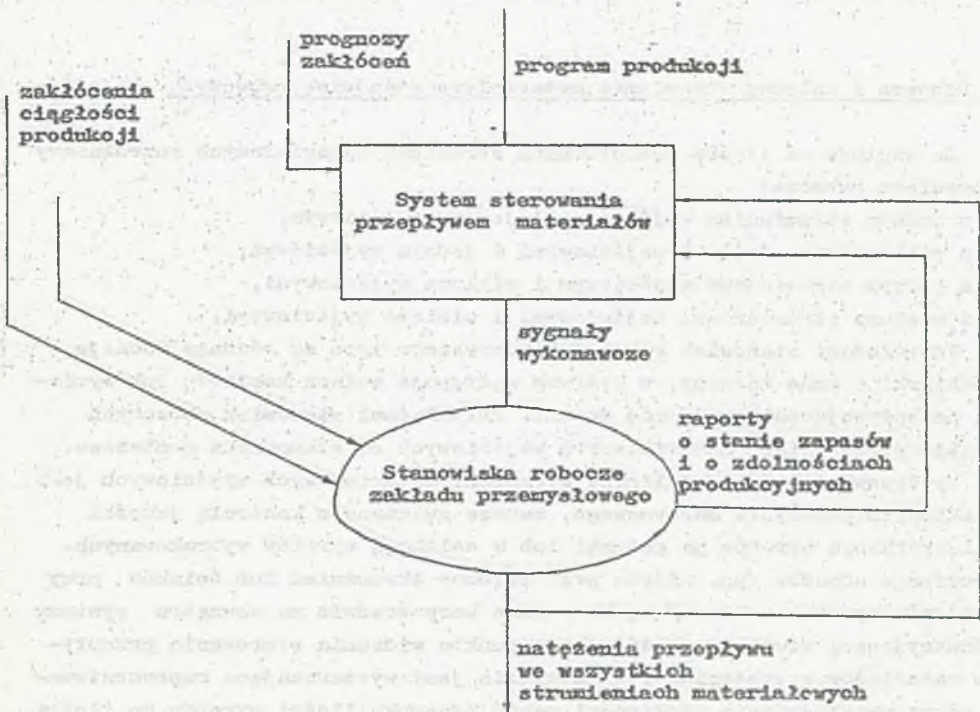
Problemy sterowania procesem produkcji można podzielić na problemy sterowania przepływem materiałów, problemy sterowania parametrami procesów technologicznych oraz problemy zabezpieczeń. Utrzymanie w zadanych granicach parametrów procesów charakteryzujących bezpieczeństwo obsługi oraz jakość produktów i półproduktów jest zadaniem najniższych warstw systemu sterowania procesem produkcji. W wyższych warstwach sporządza się m.in. plany i harmonogramy produkcji, które określają ilości materiałów przepływających w systemach produkcyjnych. Można więc powiedzieć, że przeważają tam problemy sterowania przepływem materiałów. Dlatego przez sterowanie produkcją rozumie się na ogół sterowanie przepływem materiałów przez zakład przemysłowy. Jeśli chce się podkreślić rolę sprzężeń zwrotnych od rzeczywistego stanu systemów produkcyjnych i możliwość bieżącej korekty wczesniej przyjętych planów, to mówi się o operatywnym sterowaniu produkcją.

W ogólnozakładowym systemie sterowania przepływem materiałów /rys. 1/ wielkościami sterującymi są sygnały wykonawcze układów wprowadzających detale lub podzespoły na stanowiska robocze i układów odbierających je po przetworzeniu, a wielkościami wyjściowymi są natężenia przepływu we wszystkich strumieniach materiałowych zakładu. Rolę wartości zadanych odgrywa program produkcji.

Realizacji programu produkcji przeszkadzają liczne zakłócenia ciągłości produkcji. Są to:

- zakłócenia w zaopatrzeniu polegające na nierytmiczności dostaw kooperacyjnych, wyłączeniach energii elektrycznej, zakłóceniach w dostawie materiałów pomocniczych itd.,
- wahania zdolności produkcyjnych poszczególnych komórek produkcyjnych, powodowane awariami, absencją pracowników, przesunięciami terminów zakończenia remontów itd.,
- zakłócenia ekspedycji produktów wynikające np. z przejściowego braku środków transportu lub opakowań.

Nie można pominąć również zakłóceń zmieniających proporcje między natężeniami przepływu w różnych strumieniach materiałowych stanowisk roboczych. Chodzi tu o zmiany współczynników zużycia energii i materiałów pomocniczych, zmiany proporcji masy odpadów do masy materiału surowego, a także o wahania procentu wybraków w strumieniach detali i podzespołów kierowanych do kontroli jakości.



Rys. 1. Schemat poglądowy struktury systemu sterowania przepływem materiałów w zakładzie przemysłowym

Fig. 1. A general view of the structure of the material flow control system in an industrial plant

Ze względu na dużą liczbę wielkości wyjściowych i ich wzajemne związki, a także z powodu licznych i silnych zakłóceń, systemy sterowania przepływem materiałów w przedsiębiorstwach przemysłowych są zawsze zorganizowane hierarchicznie, a oprócz sprzężeń zwrotnych od samych natężeń przepływu wykorzystują raporty o stanie zapasów i o aktualnych zdolnościach produkcyjnych poszczególnych komórek produkcyjnych. Wykorzystuje się również prognozy zakłóceń ciągłości produkcji. Część prognoz jest znana już w momencie sporządzania programu produkcji, np. roczny plan remontów. Pozostałe prognozy są opracowywane na bieżąco na podstawie raportów o rzeczywistych zdolnościach produkcyjnych oraz informacji uzyskiwanych od kooperantów.

### 3. Wiodące i zależne strumienie materiałowe stanowisk roboczych

Ze względu na liczbę zewnętrznych strumieni materiałowych rozróżniamy stanowiska robocze:

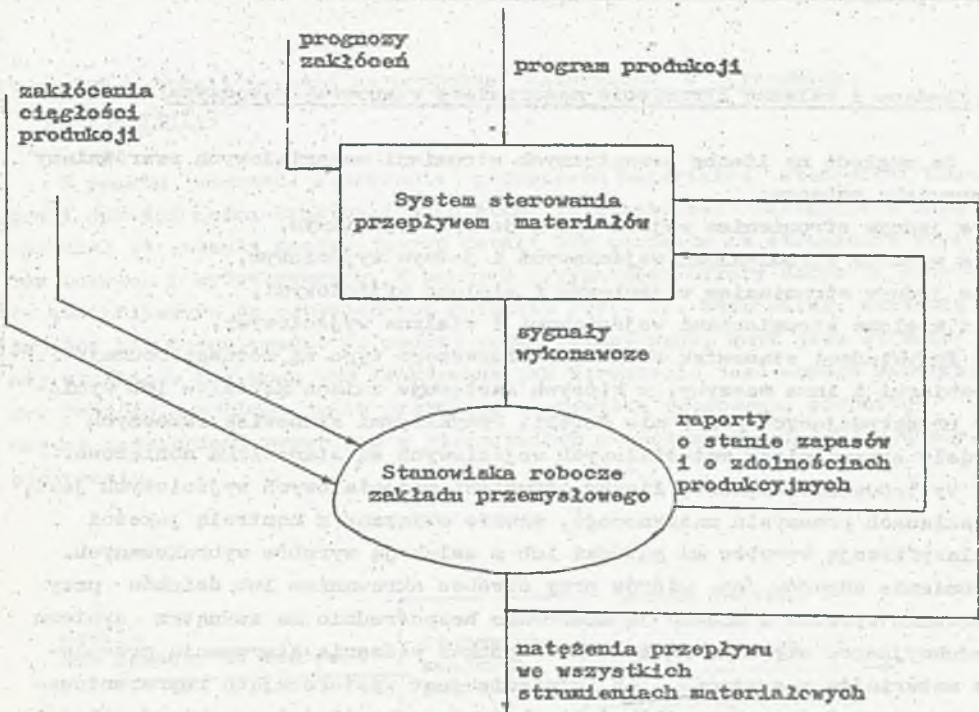
- a/ z jednym strumieniem wejściowym i jednym wyjściowym,
- b/ z wieloma strumieniami wejściowymi i jednym wyjściowym,
- c/ z jednym strumieniem wejściowym i wieloma wyjściowymi,
- d/ z wieloma strumieniami wejściowymi i wieloma wyjściowymi.

Przykładami stanowisk roboczych pierwszego typu są różnego rodzaju obrabiarki i inne maszyny, w których następuje zmiana kształtu lub wymiarów przepływających przez nie detali. Przykładami stanowisk roboczych o wielu strumieniach materiałowych wejściowych są stanowiska montażowe.

Występowanie większej liczby strumieni materiałowych wyjściowych jest, w zakładach przemysłu maszynowego, zawsze związane z kontrolą jakości i klasyfikacją wyrobów na gatunki lub z selekcją wyrobów wybrakowanych. Strumienie odpadów /np. wiórów przy obróbce skrawaniem lub ścinków przy tłoczeniu wyrobów z blach/ są kierowane bezpośrednio na zewnątrz systemu produkcyjnego, więc nie są istotne z punktu widzenia sterowania przepływem materiałów w systemie. Ich istnienie jest wystarczająco reprezentowane przez uwzględnienie możliwości wahań stosunku ilości wyrobów do ilości materiałów wejściowych.

Rozpatrzmy przypadek stanowiska roboczego z jednym strumieniem materiałowym wejściowym i jednym wyjściowym. Pobranie detalu surowego i odprowadzenie detalu po obróbce występują w różnych chwilach czasu i w tym sensie chwilowe natężenia dopływu i odpływu materiałów nie są sobie równe. Nie są one jednak niezależne, gdyż liczby detali dopływających i odpływających ze stanowiska roboczego w dowolnym przedziale czasowym nie mogą różnić się między sobą więcej niż o 1. Strumień, w którym nastawiamy natężenie przepływu przez dane stanowisko robocze, a więc strumień wejściowy, jest strumieniem wiodącym. Strumień wyjściowy jest strumieniem zależnym. Natężenie przepływu w strumieniu wiodącym nazywa się wielkością wiodącą, a w strumieniu zależnym - wielkością nadążającą.

Dla stanowiska montażowego strumieniem wiodącym jest strumień elementów, do których są montowane inne detale zespołów opuszczających stanowisko. Pozostałe strumienie wejściowe i strumień wyjściowy są strumieniami zależnymi. Analogicznie określa się wielkość wiodącą i wielkości nadążające. Proporcje między wielkościami nadążającymi i wielkością wiodącą są stałe i równe liczbowo detali poszczególnych asortymentów montowanych w pojedynczym zespole.



Rys. 1. Schemat poglądowy struktury systemu sterowania przepływem materiałów w zakładzie przemysłowym

Fig. 1. A general view of the structure of the material flow control system in an industrial plant

Ze względu na dużą liczbę wielkości wyjściowych i ich wzajemne związki, a także z powodu licznych i silnych zakłóceń, systemy sterowania przepływem materiałów w przedsiębiorstwach przemysłowych są zawsze zorganizowane hierarchicznie, a oprócz sprzężeń zwrotnych od samych natężeń przepływu wykorzystują raporty o stanie zapasów i o aktualnych zdolnościach produkcyjnych poszczególnych komórek produkcyjnych. Wykorzystuje się również prognozy zakłóceń ciągłości produkcji. Część prognoz jest znana już w momencie sporządzania programu produkcji, np. roczny plan remontów. Pozostałe prognozy są opracowywane na bieżąco na podstawie raportów o rzeczywistych zdolnościach produkcyjnych oraz informacji uzyskiwanych od kooperantów.

### 3. Wiodące i zależne strumienie materiałowe stanowisk roboczych

Ze względu na liczbę zewnętrznych strumieni materiałowych rozróżniamy stanowiska robocze:

- a/ z jednym strumieniem wejściowym i jednym wyjściowym,
- b/ z wieloma strumieniami wejściowymi i jednym wyjściowym,
- c/ z jednym strumieniem wejściowym i wieloma wyjściowymi,
- d/ z wieloma strumieniami wejściowymi i wieloma wyjściowymi.

Przykładami stanowisk roboczych pierwszego typu są różnego rodzaju obrabiarki i inne maszyny, w których następuje zmiana kształtu lub wymiarów przepływających przez nie detali. Przykładami stanowisk roboczych o wielu strumieniach materiałowych wejściowych są stanowiska montażowe.

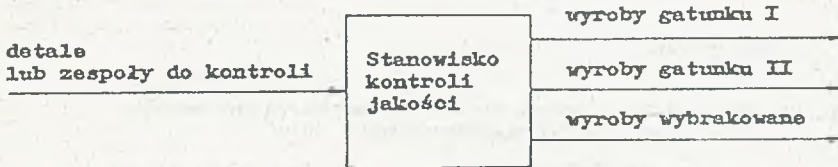
Występowanie większej liczby strumieni materiałowych wyjściowych jest, w zakładach przemysłu maszynowego, zawsze związane z kontrolą jakości i klasyfikacją wyrobów na gatunki lub z selekcją wyrobów wybrakowanych. Strumienie odpadów /np. wiórów przy obróbce skrawaniem lub ścinków przy tłoczeniu wyrobów z blach/ są kierowane bezpośrednio na zewnątrz systemu produkcyjnego, więc nie są istotne z punktu widzenia sterowania przepływem materiałów w systemie. Ich istnienie jest wystarczająco reprezentowane przez uwzględnienie możliwości wahań stosunku ilości wyrobów do ilości materiałów wejściowych.

Rozpatrzmy przypadek stanowiska roboczego z jednym strumieniem materiałowym wejściowym i jednym wyjściowym. Pobranie detalu surowego i odprowadzenie detalu po obróbce występują w różnych chwilach czasu i w tym sensie chwilowe natężenia dopływu i odpływu materiałów nie są sobie równe. Nie są one jednak niezależne, gdyż liczby detali dopływających i odpływających ze stanowiska roboczego w dowolnym przedziale czasowym nie mogą różnić się między sobą więcej niż o 1. Strumień, w którym nastawiamy natężenie przepływu przez dane stanowisko robocze, a więc strumień wejściowy, jest strumieniem wiodącym. Strumień wyjściowy jest strumieniem zależnym. Natężenie przepływu w strumieniu wiodącym nazywa się wielkością wiodącą, a w strumieniu zależnym - wielkością nadążającą.

Dla stanowiska montażowego strumieniem wiodącym jest strumień elementów, do których są montowane inne detale zespołów opuszczających stanowisko. Pozostałe strumienie wejściowe i strumień wyjściowy są strumieniami zależnymi. Analogicznie określa się wielkość wiodącą i wielkości nadążające. Proporcje między wielkościami nadążającymi i wielkością wiodącą są stałe i równe liczbom detali poszczególnych asortymentów montowanych w pojedynczym zespole.

#### 4. Wpływ kontroli jakości na przepływ materiałów w systemach produkcyjnych

Z punktu widzenia sterowania przepływem materiałów stanowiska kontroli jakości można traktować jako stanowiska robocze. Następuje w nich rozdział strumienia dopływających detali lub zespołów na strumienie wyrobów dobrych i wybrakowanych. W pewnych przypadkach wyroby dobre są ponadto kwalifikowane do odpowiednich gatunków /rys. 2/. Stanowiska kontroli jakości nie można uważać za rodzaj węzła bilansowego, gdyż jego strumienie wyjściowe nie mogą być traktowane jak strumienie tego samego materiału. Ponadto, podobnie jak w przypadku stanowiska roboczego, proporcje między natężeniami przepływu w strumieniach zewnętrznych nie poddają się sterowaniu.



Rys. 2. Selekcja wyrobów na stanowisku kontroli jakości

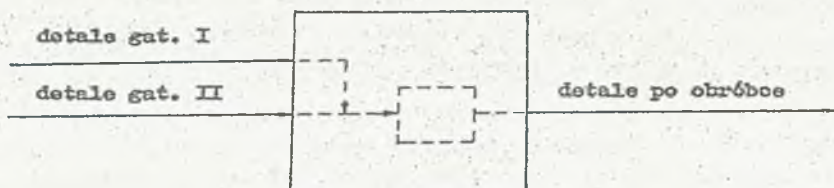
Fig. 2. Products selection in a quality control stand

Strumieniem wiodącym jest strumień wejściowy, a strumienie wyjściowe uważamy za zależne. Odpowiednio do tego określa się wielkość wiodącą i wielkości nadążające. Rzeczywiste proporcje między tymi wielkościami nie są stałe. W modelach matematycznych posługujemy się ich ocenami statystycznymi.

Niektóre stanowiska robocze posiadają wbudowane urządzenia kontroli jakości automatycznie sortujące wyroby na gatunki lub selekcjonujące wyroby wybrakowane. Struktura takiego stanowiska roboczego jest taka sama, jaką miałoby stanowisko kontroli jakości wykonujące funkcje urządzenia kontrolnego.

Jeśli w danym systemie produkcyjnym przepływają detale lub podzespoły

togo samego asortymentu, różniące się tylko gatunkiem, to na ogół jest możliwe zastępowanie wyrobów gorszego gatunku przez wyroby lepszego gatunku. Oznacza to, że w systemie istnieją stanowiska robocze, do których dopływają formalnie różne strumienie materiałowe, lecz proporcje między natężeniami przepływu w tych strumieniach nie są stałe i w razie potrzeby mogą być modyfikowane /rys. 3/.



Rys. 3. Stanowisko robocze ze strumieniami wejściowymi detali wzajemnie zastępowalnych

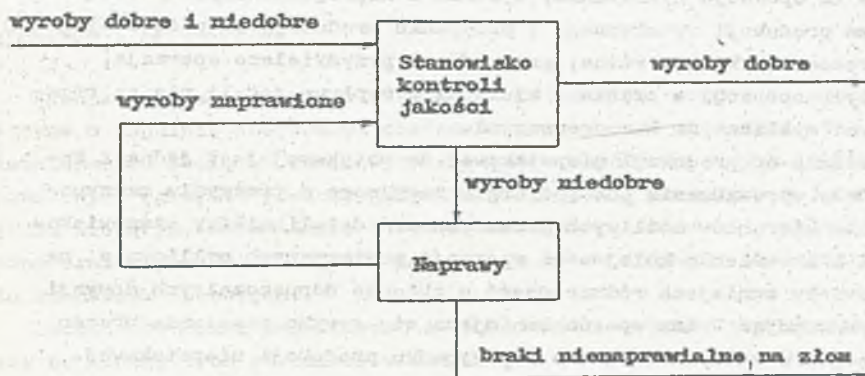
Fig. 3. A work-stand with input streams of reciprocally replaceable items

Wielkością wiodącą takiego stanowiska roboczego jest faktycznie natężenie łącznego dopływu detali wszystkich gatunków, lecz formalnie strumieniem wiodącym może być strumień wyjściowy lub jeden ze strumieni wejściowych. Pozostałe strumienie zewnętrzne można nazwać w takim przypadku strumieniami względnie zależnymi. Odpowiadające im natężenia przepływu nie są całkowicie niezależne, gdyż liczba wyrobów jest zawsze równa łącznej liczbie zużytych detali wejściowych. Ponadto, w modelach matematycznych dla dłuższych okresów czasu, stosowanych na wyższych szczeblach systemu sterowania produkcją, przyjmuje się, że proporcje między nimi są stałe, o wartościach oszacowanych na podstawie długotrwałych obserwacji. W rzeczywistości jednak proporcje te nie muszą być zachowane i fakt ten jest często wykorzystywany w praktyce.

Jeśli do stanowiska montażowego dopływają detale wzajemnie zastępowalne, a inne montowane tu detale występują tylko w jednym gatunku, to na tym stanowisku mamy do czynienia równocześnie ze strumieniem wiodącym, strumieniami zależnymi i strumieniami względnie zależnymi.



W praktyce często wyroby wybrakowane nie są kierowane na złom, lecz do naprawy /rys. 4/, po czym są ponownie kontrolowane. Strumieniem wiodącym stanowiska kontroli jakości jest wówczas strumień wyrobów kierowanych do kontroli po raz pierwszy, a strumienie wyjściowe są strumieniami zależnymi. Strumień wyrobów naprawionych jest strumieniem względnie zależnym, gdyż natężenie przepływu w tym strumieniu nie zależy od wielkości wiodącej. Jednak w długich okresach czasu można tę wielkość uważać za nadążającą, ponieważ ilość wyrobów naprawionych zależy od ilości wyrobów skierowanych do naprawy, która z kolei zależy od ilości wyrobów wyprodukowanych normalnie.



Rys. 4. Schemat współpracy stanowiska kontroli jakości ze stanowiskami naprawczymi

Fig. 4. The scheme of cooperation of a quality control stand and repair stands

### 5. Obciążenie stanowiska roboczego

Obciążeniem /chwilowym/ stanowiska roboczego jest natężenie przepływu w jego wiodącym strumieniu materiałowym. Zmiany obciążenia wywołują analogiczne zmiany natężeń przepływu we wszystkich strumieniach materiałowych danego stanowiska. Wyjątek stanowią strumienie względnie zależne, których natężenia przepływu w pewnych sytuacjach mogą nie reagować na zmiany obciążeń lub mogą być nastawiane niezależnie.

### 6. Koordynacja obciążeń stanowisk roboczych

W warunkach produkcji potokowej kierunki przepływu materiałów są stałe, a jeśli nie ma zakłóceń ciągłości produkcji stanowiska robocze wykonują przydzielone im operacje cyklicznie, zgodnie z zaprojektowanym uprzednio harmonogramem produkcji rytmicznej. W przypadku produkcji niepotokowej stanowiska robocze wykonują różne, przypadkowo przydzielone operacje, a przebieg tych operacji w czasie i kierunki przepływu detali nie są regulowane żadnymi cyklicznymi harmonogramami.

Przechodzenie od produkcji niepotokowej do potokowej jest jedną z zasadniczych dróg wprowadzania postępu organizacyjnego w przemyśle maszynowym. Ustalenie kierunków możliwych przemieszczeń detali między stanowiskami roboczymi i określenie kolejności operacji powtarzanych cyklicznie na każdym stanowisku zmniejsza różnorodność w zbiorze dopuszczalnych decyzji sterowania produkcją. W ten sposób zmniejsza się ryzyko powstania chaosu organizacyjnego, o który dość łatwo w przypadku produkcji niepotokowej.

Dalszy postęp organizacyjny można osiągnąć przez synchronizację operacji wykonywanych na współpracujących ze sobą stanowiskach roboczych. Jest to szczególnie ważne w dużych przedsiębiorstwach, gdyż umożliwia łączne sterowanie obciążeniem chwilowym grup stanowisk roboczych. Dzięki temu sterowanie produkcją z wyższych szczebli zarządzania staje się jeszcze bardziej przejrzyste, a ryzyko załamania się harmonogramów rytmicznej produkcji i powstania chaosu w przepływie materiałów znacznie się zmniejsza.

Ze względu na zakres synchronizacji dzielimy produkcję potokową na następujące odmiany [1] :

- produkcja potokowa asynchroniczna,
- produkcja potokowa synchroniczna,
- produkcja potokowa synchroniczna z wymuszonym taktem,
- produkcja potokowa synchroniczna zautomatyzowana.

Potok zautomatyzowany stanowi najwyższą formę organizacji produkcji stosowaną obecnie w przemyśle maszynowym.

Synchronizacja operacji wykonywanych w grupie stanowisk roboczych jest równoważna koordynacji ich obciążeń chwilowych. W przypadku potoku zautoma-

tyzowanego lub potoku synchronicznego z wymuszonym taktom wszystkie natężenia przepływu w stanowiskach roboczych nadążają za wspólną wielkością wiodącą, którą jest prędkość przesuwu urządzenia transportowego.

W przypadku zwykłego potoku synchronicznego koordynacja polega w praktyce nie na przestrzeganiu harmonogramów, lecz raczej na stabilizacji poziomu zapasów przed stanowiskami roboczymi na wartościach zadanych równych zeru. Wielkością wiodącą narzucającą obciążenie całej grupie stanowisk roboczych, jest natężenie dopływu detali do stanowiska pierwszego w ciągu technologicznym. Dążenie obsługi następnych stanowisk do natychmiastowej likwidacji powstających przed nimi zapasów powoduje, że takt pracy pierwszego stanowiska narzuca takt pracy wszystkich następnych.

W przypadku potoku asynchronicznego, a także w przypadku produkcji niepotokowej, obciążenia chwilowe stanowisk roboczych nie są koordynowane.

## 7. Agregaty produkcyjne

Agregat produkcyjny jest to komórka produkcyjna grupująca stanowiska robocze o wspólnie sterowanym obciążeniu, przy czym obciążenie to jest niezależne od obciążeń chwilowych agregatów współpracujących. Obciążeniem /chwilowym/ agregatu produkcyjnego jest natężenie przepływu w jego strumieniu wiodącym. Strumienie. Strumienie wiodący, zależne i względnie zależne oraz wielkości wiodąca i nadążające są definiowane analogicznie jak dla stanowisk roboczych.

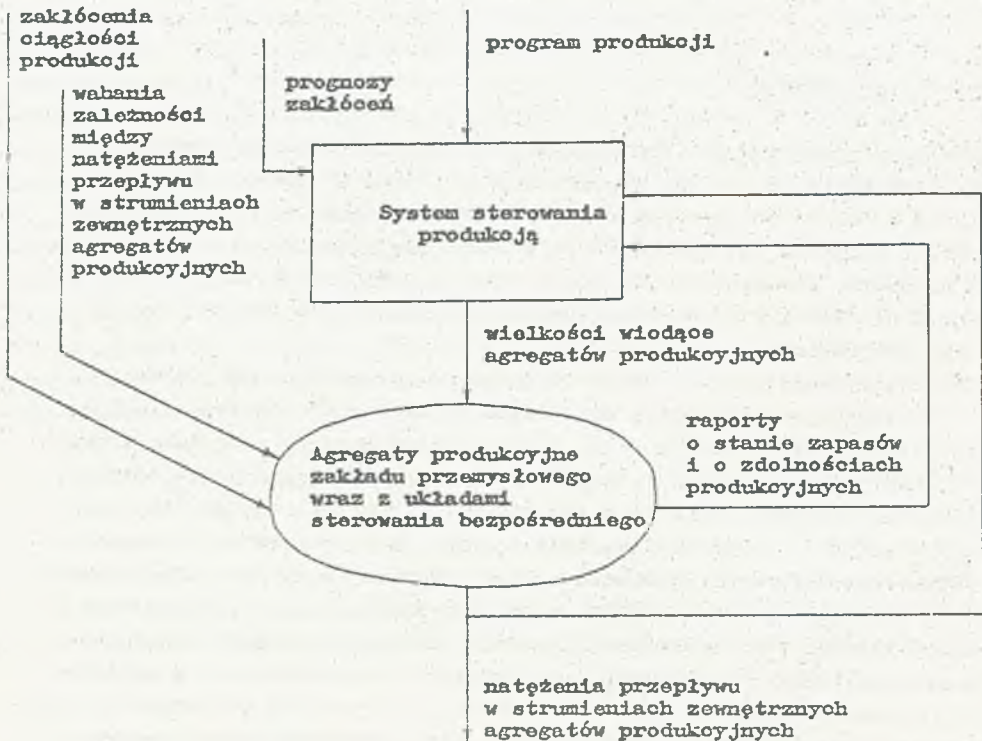
Liczba strumieni wejściowych i wyjściowych agregatu produkcyjnego zależy od liczby tych strumieni w składowych stanowiskach roboczych. Agregat ma jeden strumień wejściowy i jeden wyjściowy tylko wtedy, gdy taką strukturę mają wszystkie składowe stanowiska robocze /np. ciąg pras do tłoczenia blach karoseryjnych w fabryce samochodów/. Agregat ma więcej niż jeden strumień wejściowy, jeśli zawiera przynajmniej jedno stanowisko robocze o tej właściwości /np. linia montażu samochodów/. Agregat może mieć więcej niż jeden strumień wyjściowy tylko wtedy, gdy zawiera przynajmniej jedno stanowisko robocze /lub stanowisko kontroli jakości/ o takiej strukturze.

Wielkością wiodącą agregatu produkcyjnego o jednym strumieniu wejściowym jest natężenie dopływu detali do pierwszego stanowiska roboczego. W przypadku linii montażowej wielkością wiodącą jest natężenie dopływu detalu /lub podzespołu/ nośnego do pierwszego stanowiska linii.

W przypadku gniazda produkcyjnego zorganizowanego w potok asynchroniczny, jak również w przypadku produkcji niepotokowej, każde stanowisko robocze należy uważać za niezależny agregat produkcyjny.

### 8. Uproszczenie problemu sterowania produkcją w wyniku agregacji stanowisk roboczych

Sterowanie przepływem materiałów w zakładzie przemysłowym dotyczy wszystkich strumieni materiałowych, a obiektem sterowania jest zbiór wszystkich stanowisk roboczych danego zakładu /rys. 1/. Jednak, ponieważ w każdym agregacie produkcyjnym wszystkie natężenia przepływu nadążają za jedną wielkością wiodącą, za elementarną komórkę produkcyjną zakładu można uważać agregat, a nie stanowisko robocze. Obiektem sterowania produkcją staje się wówczas wielokrotnie mniej liczny zbiór agregatów produkcyjnych, a liczba wielkości sterujących i wielkości wyjściowych obiektu ulega zdecydowanej redukcji /rys. 5/. Wielkościami sterującymi nie są bowiem sygnały wykonawcze biegnące do wszystkich stanowisk roboczych,



Rys. 5. Schemat poglądowy struktury systemu sterowania produkcją

Fig. 5. A general view of the structure of the production control system

lecz wartości zadane natężeń przepływu w strumieniach wiodących agregatów produkcyjnych. Wielkościami wyjściowymi są tylko natężenia przepływu materiałów między agregatami i magazynami buforowymi oraz natężenia dopływu surowców i odpływu produktów zakładu, natomiast nie są już nimi natężenia przepływu we wszystkich wewnętrznych strumieniach materiałowych poszczególnych agregatów.

#### 9. Właściwości struktury systemów produkcyjnych ułatwiające formalizację problemów sterowania produkcją

Po agregacji stanowisk roboczych zakład przemysłowy można uważać za system produkcyjny składający się wyłącznie z agregatów produkcyjnych i węzłów bilansowych lub z podsystemów zawierających wyłącznie te elementy. Trasy transportowe między danym agregatem produkcyjnym i sąsiadującymi z nim węzłami bilansowymi zalicza się do tego agregatu. Trasy transportowe między sąsiadującymi ze sobą węzłami bilansowymi, których formalne połączenie z jakichkolwiek względów nie byłoby właściwe, opisuje się takimi samymi modelami matematycznymi jak agregaty produkcyjne o jednym wejściu i jednym wyjściu.

Obciążenia chwilowe agregatów produkcyjnych są z definicji wzajemnie niezależne, z czego wynika możliwość nierównowagi bilansu materiałów odpływających z jednych i dopływających do drugich agregatów systemu. Aby umożliwić ścisłą analizę tego problemu konieczne jest założenie, że między agregatami produkcyjnymi zawsze występują węzły bilansowe. Jeśli na trasie transportu materiałów między sąsiednimi agregatami nie ma w rzeczywistości ani magazynu, ani rozplwy lub spływu materiałów tego samego asortymentu, to w schemacie systemu produkcyjnego należy wprowadzić na tej trasie węzeł bilansowy o jednym strumieniu wejściowym i jednym strumieniu wyjściowym.

Wynika stąd, że przystępując do formalizacji problemów sterowania produkcją można zawsze założyć, że:

- 1/ niepodzielnymi elementami systemów produkcyjnych są wyłącznie agregaty produkcyjne i węzły bilansowe,
- 2/ w systemach produkcyjnych nie ma bezpośrednich połączeń między żadnymi dwoma agregatami, ani między żadnymi dwoma węzłami bilansowymi.

#### LITERATURA

- [1] Lis St.: Organizacja i ekonomika procesów produkcyjnych w przemyśle maszynowym. PWN, Warszawa 1984.

- [2] Kowalowski H. i inni: Opracowanie systemu sterowania jakością montażu samochodów. Praca naukowo-badawcza Instytutu Automatyki Politechniki Śląskiej. Gliwice 1979-81. Niepublikowane.
- [3] Zaborowski M.: Operatywne sterowanie produkcją. Skrypt nr 1138 Politechniki Śląskiej. Gliwice 1983.

Recenzent: Doc.dr h.inż. Konrad Wala

Wpłynęło do Redakcji do 1986.04.30

## АГРЕГАЦИЯ РАБОЧИХ МЕСТ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ДИСКРЕТНЫМИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ

### Резюме

В работе дано общее обсуждение проблем управления производством в предприятиях машиностроительной промышленности. Показано, что синхронизация операций выполняемых на взаимозависимых рабочих местах, даёт возможность значительно упростить задачу управления производством.

### WORK-STANDS AGGREGATION FOR CONTROL OF DISCRETE PRODUCTION PROCESS

### Summary

A general discussion of production control problems for machine industry plants has been presented in the paper. A production system, which is composed of plant divisions and balance nodes, has been considered as a controlled system. In this system work-stands are elementary plant divisions. Flow rates in all material streams of the plant are controlled variables. Manipulated values of the work-stands are control variables.

The flow rates in outside streams of every work-stand depend in general on one command variable, which has been called an actual load. These dependencies have been discussed for a machine which processes single pieces, for an assembly stand and for a quality control stand. If the cooperating work-stands are organized in the synchronous flow shop system, all their actual loads follow a common command variable. Such group of work stands has been called a producing aggregate. Its command variable has been called an actual aggregate load.

Because of a close coordination of actual loads of aggregate work-stands the aggregate can be considered as an elementary division of the production system. Owing to this numbers of controlled and control variables reduce considerably. After aggregation only the flow rates in the outside material streams of the aggregates are considered as controlled variables. Similarly only the command variables of the aggregates are considered as control variables of the production system.