

FORMALNY OPIS PROJEKTOWANIA STRUKTURY SYSTEMU WYTWARZANIA

Jan DUDA

Streszczenie: Współczesny rozwój strategii produkcji wyrobów, zakładający pełną autonomizację procesów produkcyjnych, związany jest z zastosowaniem zaawansowanych technik komputerowych i informatyki z uwzględnieniem organizacji produkcji oraz reakcji na zmieniające się zapotrzebowanie rynku na wyroby. Podstawą zarysowanych działań prowadzących do wdrożenia strategii produkcji i systemów wspomagający projektowanie procesów i systemów wytwarzania klasy MPM (ang. Manufacturing Process Management) jest przedstawiony w referacie formalny opis systemu produkcyjnego i projektowania struktury systemu wytwarzania.

Słowa kluczowe: system produkcyjny, system wytwarzania, projektowanie struktury, formalny opis

1. Wprowadzenie

Tematyka projektowania systemu wytwarzania szeroko przedstawiana w literaturze [1, 5, 7], związana jest z przyjęciem strategii wytwarzania oraz zasad projektowania procesu wytwórczego. W pracy [5] wymienia się strategię opartą na kryteriach techniczno-ekonomicznych. Kryterium bazuje na tradycyjnych zasadach organizacji i zarządzania produkcją F.W. Taylora ojca metod badania i normowania pracy, H. Forda, który zapoczątkował produkcję masową na liniach produkcyjnych oraz K. Adamięckiego, który sformułował prawa harmonii doboru, harmonii działania organów pracy zbiorowej i optymalnej produkcji. Obok praw podziału i koncentracji pracy stały się one teoretycznymi podstawami nauki organizacji i kierownictwa. Według tych kryteriów największy efekt uzyskuje się w wyniku najlepszego wykorzystania pracy ludzkiej, materiałów i półwyrobów, energii, środków technicznych, powierzchni. Autor wymienia także strategię opartą na kryterium efektu psychologiczno-socjologicznego, na które składa się oczekiwane wynagrodzenie oraz poziom aspiracji osobistych pracownika. W omawianej strategii zwraca się uwagę na dynamiczny efekt organizacji procesu produkcyjnego, w której uzewnętrznia się podmiotowa rola człowieka w produkcji. Istotne wyodrębnione kryterium związane jest z zastosowaniem zaawansowanych technik komputerowych i informatyki, na której opiera się rozwój nowoczesnych systemów produkcyjnych. Obecnie stajemy przed czwartą rewolucją przemysłową. Jej głównymi filarami są tzw. „Internet Rzeczy” (ang. IoT, Internet of Things) – pozwalający na globalny dostęp do danych oraz maszyn – a także „inteligencja maszynowa”, zakładająca pełną autonomizację procesów produkcyjnych, wliczając w to organizację produkcji oraz reakcję na zmiany zapotrzebowania rynku na produkt o konkretnych parametrach [10]. W tych warunkach podstawową cechą rozwiązań organizacyjnych są zdolności przystosowawcze do zmieniającego się asortymentu produkowanych wyrobów i wielkości produkcji [9].

Przyjęcie strategii wytwarzania jest związane z przyjęciem metodyki postępowania. Niezależnie jednak od przyjętego kryterium należy zdaniem Durlika [5] określić sposób

podejścia do projektowania komórek wytwórczo-produkcyjnych, który w zależności od rodzaju zadania projektowego może przebiegać

- od przyjęcia ogólnego projektu procesu wytwórczego do fazy wydzielenia komórek wytwórczych wszystkich stopni – podejście makroorganizacyjne,
- od projektowania procesu wytwórczego w postaci podstawowych komórek wytwórczych, a następnie łączenia ich w większe jednostki wyższych stopni.

Według [1] wspólną cechą wszystkich metodyk projektowania jest dążenie do sformułowań tak ogólnych, aby mogły się odnosić do potencjału możliwych sytuacji. Autor syntetyzując podział na metodyki projektowania konwencjonalnych i nowoczesnych systemów produkcyjnych, zgodnie z klasyfikatorem typów i form organizacji produkcji, wydziela obszary:

- konwencjonalnych systemów produkcji rytmicznej i nierytmicznej,
- nowoczesnych systemów produkcyjnych; elastycznych systemów produkcyjnych i komputerowo zintegrowanych systemów produkcyjnych CIM (ang. Computer Integrated Manufacturing).

wymieniając cztery etapy projektowania: struktury produkcyjnej, rozmieszczenia stanowisk roboczych, harmonogramów oraz wykonania opracowań uzupełniających.

Podstawą zarysowanych działań prowadzących do wdrażania strategii wytwarzania jest formalizacja opisu systemów wytwarzania i procedur projektowania w warunkach komputeryzacji wytwórczości.

2. Formalny opis systemu wytwarzania

W ogólnym systemowym ujęciu w systemie produkcyjnym wyodrębnić można podsystemy funkcjonalne – jednostki produkcyjne JP ; przygotowania produkcji, zaopatrzenia materiałowego, kalkulacji i planowania, wytwarzania a w nich podsystemy niższego rzędu JP_{R-1} np. w podsystemie wytwarzania podsystemy obróbki, montażu itp.

Rezultatem projektowania organizacyjnego jest struktura produkcyjna SP systemu:

$$SP = \{JP_R, \{JP_{R-1}, \dots \{JP_{R-r} \dots\}, \dots \{JP_0, \dots\}, \dots\}, \dots\} \quad (1)$$

gdzie:

- r – poziom dekompozycji systemu produkcyjnego,
- JP_{R-r} – jednostki produkcyjne r -tego poziomu dekompozycji,
- JP_0 – stanowiska wytwórcze.

Strukturę produkcyjną SP tworzą jednostki produkcyjne o różnych stopniach złożoności. Jednostka produkcyjna JP to rodzaj jednostki organizacyjnej; zespołu ludzi wyposażonych w środki pracy, zdolny do samodzielnego działania w celu realizacji określonego programu [6]. Pomiędzy jednostkami produkcyjnymi występują, w określonym momencie t , więzi kooperacyjne, transportowe, informacyjne itp. Zmienia się w czasie także struktura produkcyjna w wyniku procesów dostosowawczych do zmieniającego się otoczenia zewnętrznego i dynamicznie zmieniających się warunków stymulujących kierunki rozwoju przedsiębiorstwa. Tak więc system produkcyjny opisać można za pomocą czwórki:

$$SPR = (SP, WP, \gamma, t) \quad (2)$$

gdzie :

- SP – struktura produkcyjna,
- WP – zbiór więzi, relacji związków pomiędzy elementami wynikających z powiązań wyrobów, zasobów i procesów produkcyjnych,
- γ – odwzorowanie na zbiorze jednostek produkcyjnych,
- t – moment w czasie.

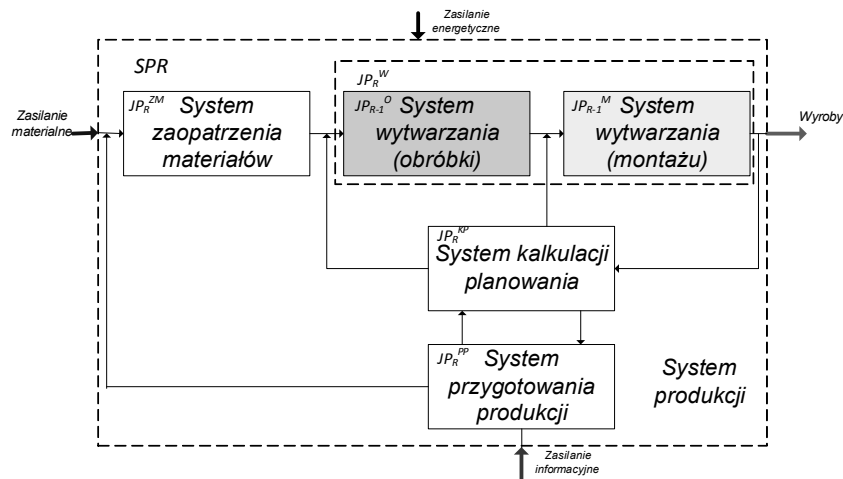
$$\gamma: JP \times JP \rightarrow WP \quad (3)$$

W zbiorze jednostek produkcyjnych (rys. 1) można wyróżnić:

- system zaopatrzenia materiałowego JP_R^{ZM} odpowiedzialny za zsynchronizowanie w czasie wszelkich dostaw, zapewnienie właściwych środków transportu i środków technicznych ułatwiających magazynowanie i wyszukiwanie potrzebnych do produkcji materiałów, półwyrobów lub wyrobów,
- system przygotowania produkcji JP_R^{PP} , w którym realizowane są badania naukowe prace studialne oraz przygotowanie konstrukcyjne, technologiczne i organizacyjne produkcji,
- system kalkulacji i planowania JP_R^{KP} , w którym realizowane są procesy sterowania przebiegiem produkcji,
- system wytwarzania JP_R^W , w którym następuje przekształcanie surowców i materiałów w wyroby o charakterystykach zadanych dokumentacją konstrukcyjną, oraz inne, wynikające ze specyfiki realizowanej produkcji.

Pomiędzy elementami systemu mogą występować więzi materiałowe, energetyczne i informacyjne (rys.1).

W systemie produkcyjnym SPR realizowany jest proces produkcyjny PP , którego głównym celem jest, wynikająca z misji przedsiębiorstwa, produkcja wyrobów. Proces produkcyjny zdefiniować można jako celowo realizowany przebieg etapów rozwoju wyrobu. Wynika z przyjętych przez przedsiębiorstwo strategii rozwoju wyrobów i jest realizowany w określonych jednostkach $JP_{R-\gamma}$ systemu produkcyjnego SPR . Proces produkcyjny PP z uwagi na swoją złożoność opisać można na $p = 1..P$ poziomach szczegółowości opisu.



Rys.1. Podstawowe jednostki produkcyjne systemu produkcyjnego

Proces produkcyjny p -tego poziomu określony jest przez zespół powiązanych logicznie działań $\{E_p\}$ i strukturę procesu SPP_p :

$$PP_p = \{E_p\}, SPP_p \quad (4)$$

Proces produkcyjny PP , zachodzący w systemie produkcyjnym SPR , określony jest przez zbiór procesów produkcyjnych $\{PP_p\}$ realizowanych w jednostkach produkcyjnych oraz zależności i związków pomiędzy nimi, wynikających z przyjętej struktury produkcyjnej:

$$PP = \{PP_p\}, SP \quad (5)$$

Dalsze rozważania dotyczyć będą opisu podsystemów wytwarzania i procesów, które w nich zachodzą. W systemie wytwarzania jednostce produkcyjnej R -tego poziomu wyodrębnić można jednostki produkcyjne $R-1$ poziomu: systemy obróbki realizujące procesy wytwarzania elementów składowych wyrobów, oraz systemy montażu realizujące procesy montażu elementów składowych w wyrób. Jednostką produkcyjną najniższego poziomu jest elementarne stanowisko wytwórcze JP_0 .

Wskutek różnorodności produkowanych w podsystemie wytwarzania systemu produkcyjnego SPR wyrobów mogą występować różne typy organizacji produkcji i formy organizacji określające odmiany organizacji produkcji, a uogólnienie na jednostki produkcyjne wyższych stopni JP_{r+1} gdzie $r=0..R$ odbywać się może wg następujących kryteriów:

- specjalizacji stanowisk roboczych,
- stopnia powiązania stanowisk roboczych.

W systemie wytwarzania powiązania mogą być:

- według faz technologicznych wykonywania wyrobów – mówimy wtedy o strukturze technologicznej,
- według podobieństwa przedmiotowo-konstrukcyjnego – mówimy wtedy o strukturze przedmiotowej.

Kilka jednostek produkcyjnych JP_0 może tworzyć jednostki produkcyjne 1 poziomu gniazda i linie produkcyjne. Kolejny wyższy 2 poziom grupujący jednostki produkcyjne JP_0 elementarne stanowiska wytwórcze i JP_1 gniazda i linie produkcyjne tworzy jednostkę JP_2 , odpowiadającą oddziałowi produkcyjnemu. Kilka jednostek JP_2 tworzy jednostkę JP_3 odpowiadającą wydziałowi produkcyjnemu. Kilka wydziałów produkcyjnych jednostek JP_3 tworzy zakład produkcyjny JP_4 , będący zgrupowaniem kilku wydziałów produkcyjnych. Wyodrębnione komórki produkcyjne należy dostosować do możliwości techniczno- organizacyjnych i lokalizacyjnych wyodrębniając je administracyjnie i kosztowo w strukturze przedsiębiorstwa [5, 8].

3. Formalny opis projektowania systemu wytwarzania

Strukturę systemu produkcji uzyskuje się przygotowując najpierw podstawowy proces produkcyjny realizowany w podsystemie wytwarzania, a następnie pozostałe procesy obsługowe i zarządzania. Dalsze rozważania dotyczyć będą projektowania systemów wytwarzania dla realizacji procesów obróbko-montażowych dotyczących produkcji przemysłu elektromaszynowego. Proces projektowania systemu wytwarzania przejawia się jako układ sprzężeń zwrotnych, w którym poszczególne zadania projektowe rozwiązywane

są iteracyjnie metodą kolejnych przybliżeń. Dotyczy to szczególnie tych obszarów projektowych, w których dla wyboru rozwiązania ze zbioru rozwiązań dopuszczalnych należy stosować wiele, trudnych do wyznaczenia kryteriów decyzyjnych.

W praktyce spotyka się dwa podstawowe przypadki; projektowania restrukturyzacji przestrzennej modernizowanego systemu produkcyjnego oraz projektowanie nowego systemu produkcyjnego. W projektowaniu systemu wytwarzania wyodrębnia się [8]:

- fazę wstępną koncepcyjną, obejmującą określenie asortymentu wyrobów, jaki ma być produkowany, wymagań co do zdolności produkcyjnych, typu systemu produkcyjnego i struktury procesów produkcyjnych wyrobów, ograniczeń i innych wymogów projektowych oraz wymiarowanie systemu (określanie rodzajów i liczby elementów systemu),
- fazę szczegółową, specyficzną dla systemów określonego typu, obejmującą; opracowanie wariantów koncepcji systemu i wybór wariantu do realizacji, projektowanie struktury systemu i podsystemów funkcjonalnych oraz projektowanie szczegółowe.

3.1. Projektowanie struktury podsystemu wytwarzania

Fazę koncepcyjną projektowania organizacyjnego należy rozpatrywać w kontekście planowanego do wytwarzania asortymentu wyrobów i założonych danych planistycznych. Działania projektowe obejmują [1, 5]:

- przyjęcie odmiany organizacji produkcji, tj. typu i formy organizacji produkcji,
- przyjęcie liczby i rodzaju podsystemów funkcjonalnych transportu, magazynowania, kontroli.

Efektom powyższych działań jest projekt koncepcyjny systemu wytwarzania, który umożliwi realizację fazy szczegółowego projektowania technologicznego. Niezbędny dla określenia odmiany organizacji produkcji typ produkcji wyznaczany jest za pomocą dwóch mierników organizacyjnych. Są to [1]:

- współczynnik liczby operacji przypadających na stanowisko robocze,
- współczynnik obciążenia stanowiska roboczego określoną operacją.

Na podstawie dwóch powyższych mierników podejmowana jest decyzja dotycząca przyjęcia typu organizacji produkcji. Nie ma natomiast wypracowanego sposobu ustalenia formy organizacji produkcji. Są jedynie przygotowane dwie metodyki projektowania organizacji produkcji. Są to:

“R” – metodyka projektowania produkcji potokowej (rytmicznej) dla wyrobów o programach charakteryzujących się masowym, wielkoseryjnym lub średnioseryjnym wpływem produkcji,

“N” – metodyka projektowania produkcji niepotokowej (nierytmicznej) dla wyrobów o programach charakteryzujących się średnioseryjnym, małoseryjnym lub jednostkowym wpływem produkcji.

Według [1], “... w przypadku średnioseryjnych wielkości programów produkcyjnych powstają wątpliwości, do której metodyki mają trafić określone wyroby. Weryfikację przeprowadza się przez szczegółowe obliczenia wstępne zgodnie z metodyką “R”. Nie zakwalifikowane grupy wyrobów według metodyki “R” przekazywane są do procedur projektowych metodyki “N”...”

Na etapie wstępnego projektowania organizacyjnego realizowane jest projektowanie struktury produkcyjnej. W wyniku którego następuje podział wyrobów na:

- wyroby podlegające projektowaniu organizacji zgodnie z metodą “R”,

- wyroby nie zakwalifikowane do projektowania organizacji zgodnie z metodyką “R” i przekazywane do metodyki “N”;
- wyroby podlegające projektowaniu organizacji zgodnie z metodyką “N” dla gniazd produkcyjnych o strukturze przedmiotowej (gniazd przedmiotowych),
- wyroby podlegające projektowaniu organizacji zgodnie z metodyką “N”, dla gniazd produkcyjnych o strukturze technologicznej (gniazd technologicznych).

Model projektowania organizacyjnego, w wyniku którego kształtowana jest struktura produkcyjna systemu wytwarzania opracowany na podstawie powyższej metodyki przedstawiono w pracy [2].

Dla planowanego do wytwarzania asortymentu wyrobów WR_1, WR_2, \dots ustalana jest struktura podsystemu wytwarzania JP_R^2 , odpowiadająca oddziałowi produkcyjnemu z wyodrębnionymi podsystemami montażu JP_{R-1}^O i obróbki JP_{R-1}^M :

$$JP_R^W = \{JP_{R-1}^O, JP_{R-1}^M\} \quad (6)$$

Kształtowanie struktury produkcyjnej przez wydzielenie jednostek produkcyjnych należy do kluczowych zagadnień projektowania struktury, gdyż od jego rezultatów zależą wyniki następnych etapów, tj. budowy harmonogramów wzorcowych, rozmieszczenia stanowisk. Mają zatem wpływ na efekt końcowy projektu, a w przypadku wdrożenia zaprojektowanego systemu na uzyskiwaną efektywność produkcji. Projektowanie struktury należy zatem do problemów optymalizacji wielokryterialnej [6]. Przy kształtowaniu struktury produkcyjnej dąży się do pogłębiania specjalizacji przedmiotowej, a więc maksymalizacji liczby jednostek o potokowej organizacji produkcji. Poszukuje się zatem zbiorów pozycji asortymentowych, charakteryzujących się określonym stopniem podobieństwa technologicznego.

Ustalone ze stopniem szczegółowości pozwalającym na przeprowadzenie niezbędnych obliczeń organizacyjnych warianty procesu technologicznego montażu i obróbki części są podstawą realizacji niezbędnych obliczeń organizacyjnych w zakresie:

- koncepcyjnego projektowania organizacyjnego systemu montażu,
- koncepcyjnego projektowania organizacyjnego systemu obróbki.

3.2.1. Koncepcyjne projektowanie organizacyjne systemu montażu

W zakresie koncepcyjnego projektowania organizacyjnego przeprowadzane jest przyjęcie liczby i rodzaju podsystemów funkcjonalnych systemu montażu grupujących gniazda i/lub linie montażowe dla planowanej wielkości produkcji. Danymi wejściowymi do projektowania podsystemu montażu są:

- asortyment określony zbiorem wyrobów $\{WR_1, WR_2, \dots\}^M$ z wyszczególnieniem jednostek montażowych pozyskiwanych od kooperantów i zakupionych w handlu,
- program produkcyjny dla każdej pozycji asortymentowej,
- opracowane w fazie koncepcyjnej projektowania technologicznego procesy technologiczne montażu pozycji asortymentowych o ustalonych, w wyniku projektowania konstrukcyjno-technologicznego, wersjach rozwojowych planowanych do wytwarzania w wydzielonej jednostce produkcyjnej:

$$PTM = \{E_{TRM}\}, SPM \quad (7)$$

gdzie:

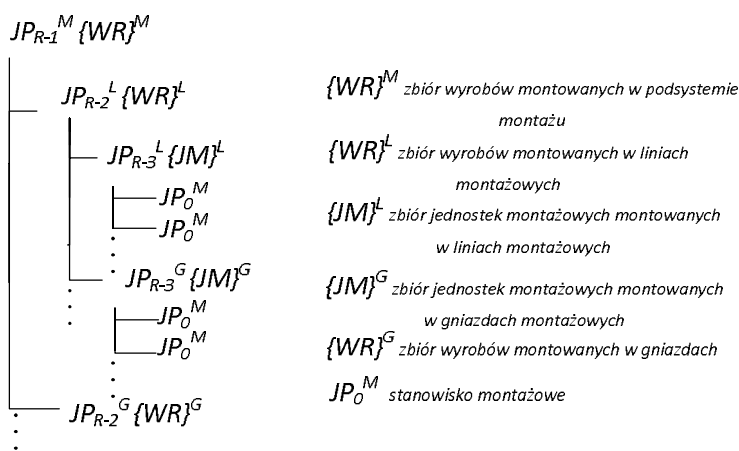
$\{E_M\}$ – zbiór działań montażowych,

SPM – struktura procesu technologicznego montażu.

Struktura procesu technologicznego określona jest przez *intenso* warunki, jakie muszą być spełnione przez sekwencję zadań montażowych. Ponieważ postać końcowa procesów technologicznych PTM jest zależna od przyjętych rozwiązań organizacyjnych, to na tym etapie kształtowania systemu montażu przyjmuje się opracowane struktury procesów SPM , ujmujące następstwo realizacji działań odpowiednio E_{TRM} oraz ich charakterystyki czasowe.

W pierwszym kroku projektowym następuje określenie struktury produkcyjnej systemu montażu. Organizacyjne zagadnienie doboru struktury produkcyjnej rozwiązać można dysponując szczegółowymi parametrami. Wykonanie obliczeń poszczególnych parametrów umożliwi przeprowadzenie analizy podobieństwa technologiczno-organizacyjnego zbioru wyrobów, w wyniku której następuje wydzielenie jednostek produkcyjnych. Z każdą wydzieloną jednostką produkcyjną systemu montażu określony zostaje asortyment wyrobów, który będzie w systemie montowany. W strukturze podsystemu montażu wydziela się w pierwszej kolejności jednostki produkcyjne JP_{R-2} linii montażowe i/lub gniazda montażowe dedykowane dla montażu finalnego wyrobów. W obrębie jednostek JP_{R-2} można wydzielić jednostki produkcyjne niższego poziomu hierarchii JP_{R-3} dla montażu jednostek montażowych JM wyrobów montowanych w jednostce.

W przypadku gdy jednostki montażowe są elementami wyrobów montowanych w różnych jednostkach JP_{R-2} , można utworzyć taką jednostkę na pierwszym poziomie dekompozycji systemu montażowego (rys.2).



Rys.2. Hierarchiczna struktura systemu montażu

Ustalona ilość i rodzaj podsystemów funkcjonalnych jest podstawą do przeprowadzenia wstępnych rozwiązań organizacyjnych w obrębie wyodrębnionych podsystemów. Dalsze postępowanie jest zależne od przyjętej odmiany organizacji produkcji w wydzielonej jednostce produkcyjnej podsystemu montażu.

3.2.2. Konceptyjne projektowanie organizacyjne systemu obróbki

W zakresie koncepcyjnego projektowania organizacyjnego przeprowadzane jest przyjęcie liczby i rodzaju podsystemów funkcjonalnych systemu obróbki grupujących

gniazda i/lub linie obróbkowe dla planowanej wielkości produkcji. Danymi wejściowymi do projektowania podsystemu obróbki są:

- asortyment określony zbiorem przedmiotów obrabianych $\{PO_{1w}, PO_{2w}, \dots\}^0$ w stanie końcowym planowanych do wytworzenia w projektowanym systemie obróbki. Zbiór ten jest podzbiorem jednostek konstrukcyjnych (części elementarnych) wykonywanych w projektowanym systemie,
- program produkcyjny dla każdej pozycji asortymentowej,
- opracowane w fazie koncepcyjnego projektowania technologicznego koncepcje procesów technologicznych obróbki dla poszczególnych pozycji asortymentowych.

$$PTO = \{E_{TRO}\}, SPO \quad (8)$$

gdzie:

- $\{E_o\}$ – zbiór działań obróbkowych,
- SPO – struktura procesu technologicznego obróbki.

Ponieważ postać końcowa procesów technologicznych PTO jest zależna od przyjętych rozwiązań organizacyjnych, to na tym etapie kształtowania systemu wytwórczego przyjmuje się opracowane struktury procesów SPO , ujmujące następstwo realizacji działań odpowiednio E_{TRO} oraz ich charakterystyki czasowe. Wariant realizacji procesu jest określony:

- typem półfabrykatu PO_p

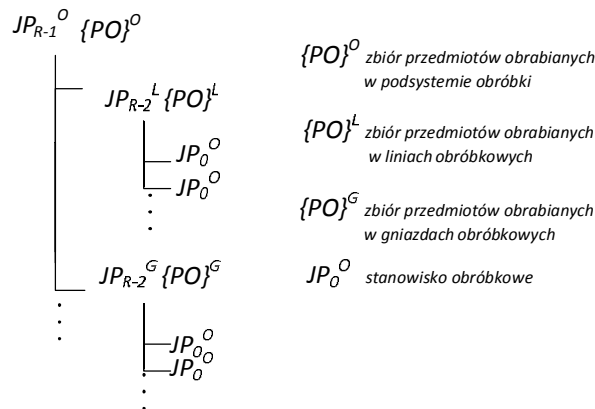
$$PO_p \in \{PO_p^1, PO_p^2, PO_p^3 \dots\} \quad (9)$$

- zbiorem działań $\{E_{TRO}\}$, powodujących transformację przedmiotu obrabianego ze stanu półfabrykatu w stan gotowego wyrobu ujętych strukturą:

$$SPO_{PO_w, PO_p} = OPO_1(SO_1), OPO_2(SO_2) \dots \quad (10)$$

W pierwszym kroku projektowym następuje określenie struktury produkcyjnej systemu obróbki. W procedurze projektowej dąży się do rozwiązania określonego typem i liczbą stanowisk obróbkowych oraz wybranym wariantem struktury procesu dla każdej pozycji asortymentowej, które minimalizować będzie sumaryczne koszty przemian technologicznych dla przyjętych programów produkcji. Organizacyjne zagadnienie doboru struktury produkcyjnej rozwiązać można dysponując szczegółowymi parametrami. Wykonanie obliczeń poszczególnych parametrów stabilizacji produkcji i podobieństwa technologicznego umożliwia przeprowadzenie analizy podobieństwa technologiczno-organizacyjnego zbioru wyrobów, w wyniku której następuje wydzielenie jednostek produkcyjnych. Z każdą wydzieloną jednostką produkcyjną systemu obróbki określony zostaje asortyment przedmiotów obrabianych, który będzie w systemie wytwarzany. W strukturze podsystemu obróbki wydziela się zgodnie z metodyką projektowania produkcji rytmicznej w pierwszej kolejności jednostki produkcyjne o formach potokowych JP_{R-2} , linie obróbkowe i/lub gniazda obróbkowe (Rys. 3).

Pozostałe wyroby w pierwszej kolejności dedykowane są do wytwarzania w formach niepotokowych, gniazdach specjalizowanych przedmiotowo, a następnie w gniazdach specjalizowanych technologicznie. Wydzielanie jednostek produkcyjnych definiowane jest jako problem wielokryterialny, w którym dąży się do minimalizacji liczby przedmiotów



Rys. 3. Hierarchiczna struktura systemu obróbki

obrabianych i liczby stanowisk przydzielanych do jednostki produkcyjnej oraz do maksymalizacji współczynników obciążenia stanowisk. Metodyczne podstawy i algorytm wydziałania jednostek produkcyjnych w systemach obróbkowych omawia praca [2].

Zgodnie z tendencją wydziałania jednostek produkcyjnych o specjalizacji przedmiotowej (linii produkcyjnych lub gniazd o specjalizacji przedmiotowej) należy dążyć do opracowania takiej struktury systemu obróbki, aby w świetle schematycznej prezentacji takiego systemu, przepływ produkcji był jak najmniej skomplikowany (brak nawrotów, skrzyżowań dróg przepływu, itd.). Dąży się przy tym do równomiernego obciążenia wydzielonych komórek przedmiotowych produkcją według ogólnie panujących zasad organizacji procesu produkcyjnego [1].

Zamknięcie w wydzielonych komórkach przedmiotowych produkcji wybranych przedmiotów produkcji daje możliwość uproszczenia przepływu produkcji. Stąd jednym z najważniejszych zadań w etapie koncepcyjnego projektowania organizacyjnego systemu obróbki jest utworzenie rodzin wyrobów według podobieństwa konstrukcyjno-technologicznego, a następnie przydział maszyn obróbkowych do produkcji rodziny wyrobów w zamkniętym (często odizolowanym) otoczeniu, jakim staje się przedmiotowa jednostka produkcyjna [4]. W dalszej kolejności następuje określenie rozmieszczenia i połączenia ustalonej liczby stanowisk obróbkowych w projektowany podsystem systemu obróbki.

Dla wszystkich zaprojektowanych podsystemów systemu obróbki i montażu następuje wyodrębnienie podsystemów funkcjonalnych transportu, magazynowania i kontroli. Efektem powyższych działań jest projekt koncepcyjny systemu wytwarzania, który umożliwia realizację fazy szczegółowego projektowania technologicznego opisanego w pracy [3], niezbędne dla przyjęcia szczegółowych rozwiązań organizacyjnych. W realizacji fazy szczegółowego projektowania organizacyjnego systemu wytwarzania (obróbki i montażu) należy uwzględnić czynniki opisujące jego stan konfiguracyjny i funkcjonalny, decydujące o powodzeniu lub porażce w trakcie eksploatacji tak zaprojektowanego systemu.

Grupą czynników stanowiących dane wejściowe w etapie szczegółowego projektowania organizacyjnego są atrybuty dotyczące kwestii alokacji i konfiguracji zasobów w wydzielonych jednostkach produkcyjnych. Do czynników tych zalicza się:

- stosowaną technologię (zastosowane środki produkcji, w tym maszyny, oprzyrządowanie, narzędzia, materiały, urządzenia pomocnicze), zaprojektowane w fazie

szczegółowego projektowania technologicznego i znormowanymi czasami jednostkowymi oraz przygotowawczo-zakończeniowymi,

- rozmieszczenie środków produkcji (znana jest struktura systemu produkcyjnego, wydzielone są rodziny wyrobów), zaprojektowane w fazie koncepcyjnego projektowania organizacyjnego,
- wielkość produkcji dla rodzin wyrobów, przyjętą jako zadana na etapie koncepcyjnego projektowania organizacyjnego.

Drugą grupą są czynniki, które podlegają obliczeniu w fazie szczegółowego projektowania organizacyjnego systemu obróbki. Są to czynniki dotyczące kwestii zarządzania i organizacji produkcji w jednostkach produkcyjnych. Szczegółowe opracowania organizacyjne skupiają się na zagadnieniach:

- Rozmieszczenia środków produkcji. Znając czasy jednostkowe wyrobów produkowanych wewnątrz jednostki produkcyjnej istnieje możliwość weryfikacji właściwej liczby maszyn alokowanych w takiej jednostce. Posługując się znanymi metodami rozmieszczenia teoretycznego i szczegółowego maszyn, możliwe jest takie ich ustawienie, aby droga przepływu materiałów wewnątrz komórki była jak najkrótsza.
- Zarządzania zasobami ludzkimi. W tym zagadnieniu należy opracować system pracy zespołowej (np. produkcja wielowarsztatowa, zamienność funkcji), którego celem jest równomierny podział pracy w wydzielonej jednostce produkcyjnej jak i system motywacyjny, którego właściwe zaprojektowanie decyduje o uzyskaniu wysokiego poziomu wydajności produkcji.
- Organizacji przepływu materiałów. Szczegółowemu projektowaniu podlega opracowanie podsystemu przepływu materiałów wewnątrz jednostek produkcyjnych jak również system zasilania jednostek produkcyjnych w przedmioty pracy (międzykomórkowy system przepływu materiałów). Należy przyjąć szczegółowe rozwiązania na temat tras przepływu materiału oraz lokalizacji miejsc buforowych, służących do składowania zapasów produkcji w toku. Organizacja przepływu materiałów podlega procesowi ciągłego doskonalenia przy zachowaniu cech standaryzacji produkcji wewnątrz całego systemu produkcyjnego.
- Planowania i kontroli produkcji. Znając czasy przygotowawczo-zakończeniowe wyrobów produkowanych wewnątrz jednostki produkcyjnej istnieje możliwość zaplanowania sekwencji oraz rotacji produkcji dla poszczególnych wyrobów. Projektowaniu podlega system harmonogramowania produkcji w jednostkach produkcyjnych oraz kontroli produkcji na poziomie operacyjnym.

4. Podsumowanie

Przedstawiony w pracy systemowy opis systemu produkcyjnego określony strukturą i zbiorem procesów realizowanych w systemie umożliwił formalny opis procedury projektowania struktury podsystemu wytwarzania (obróbki i montażu). Kształtowanie struktury produkcyjnej przez wydzielenie jednostek produkcyjnych należy do kluczowych zagadnień projektowania podsystemu wytwarzania ponieważ od jego rezultatów zależą wyniki następnych etapów projektowych budowy harmonogramów, rozmieszczenia stanowisk. Zaprezentowane podejście może stymulować rozwój aplikacji MPM (ang. Manufacturing Process Management), których stosowanie w realizacji procedur projektowych pozwoli na twórcze kształtowanie kolejnych wersji procesów i systemów wytwarzania.

Literatura

1. Brzeziński M. red.,. Organizacja i sterowanie produkcją. Placet Warszawa,2002.
2. Duda, J. Projektowanie techniczne technologii wytwarzania produktu. [W:] A. Lis i M. Wirkus, red., Planowanie nowych produktów Aspekty strategiczne, techniczne i marketingowe. CeDeWu, Warszawa 2015.
3. Duda J. Zarządzanie rozwojem wyrobów w ujęciu systemowym : Wydaw. PK, Kraków 2016.
4. Duda J., Wojakowski P.: Projektowanie procesów i systemów obróbki w warunkach współbieżnego rozwoju wyrobu. [W:] Lipski J, Janczarek M. Projektowanie i sterowanie procesami, Politechnika Lubelska, Lublin s. 16-29.
5. Durlik, I.. Inżynieria zarządzania. Agencja Wydawnicza Pacet, Gdańsk(2005),
6. Mazurczak, J.. Projektowanie struktur systemów produkcyjnych. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej Poznań(2004).
7. Mazurczak, J. i Kudelska, I. Komputerowe wspomaganie projektowania struktur produkcyjnych. [W:] Knosala R., Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji. PTZP Opole 2013.
8. Santarek, K. i Strzelczak, S.. Elastyczne systemy produkcyjne. WNT, Warszawa 1989.
9. Wirkus, M. Strategia doboru procesu produkcyjnego według relacji na zamówienie klienta. [W:] Łebkowski P., Zarządzanie a inżynieria produkcji. Wydawnictwa AGH Kraków 2013,
10. http://www.astor.com.pl/images/Industry_4-0_Przemysl_4-0/ASTOR_przemysl4_whitepaper.pdf

Dr hab. inż. Jan DUDA Prof. PK
Instytut Technologii Maszyn i Automatyzacji Produkcji
Politechnika Krakowska, Wydział Mechaniczny
31-864 Kraków, al. Jana Pawła II 37
e-mail: duda@mech.pk.edu.pl