

POLITECHNIKA LUBELSKA

Marek Brzeziński

ORGANIZACJA PRODUKCJI

Lublin 2000

OPINIODAWCA:

Prof. zw. dr hab. inż. Bronisław Pilawski

Wydano za zgodą Rektora Politechniki Lubelskiej.

ISBN 83-88110-77-2

© Copyright by Politechnika Lubelska 2000

Zabrania się reprodukcji w każdej
formie i za pomocą jakichkolwiek środków
technicznych oraz rozpowszechniania
całości lub fragmentów niniejszej pracy bez
zgody wydawcy.

Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej
ul. Bernardyńska 13, 20-950 Lublin

SPIS TREŚCI

Wykaz symboli.....	7
Wstęp.....	15

Część I. Abecadło organizacji produkcji

1. System produkcyjny	21
1.1 Przedsiębiorstwo jako system	21
1.2. Dekompozycja systemu produkcyjnego	23
2. Proces produkcyjny	27
2.1. Podstawowe definicje i pojęcia związane z czynnikami produkcji procesu produkcyjnego	28
2.2. Podział procesu produkcyjnego	31
2.3. Zasady racjonalnej organizacji procesu produkcyjnego	36
3. Parametryczny opis procesu produkcyjnego	43
3.1. Klasyfikacja parametrów procesu produkcyjnego	43
3.2. Parametry wejściowe.....	46
3.2.1. Parametry przedmiotu pracy (wyrobu).....	46
3.2.1.1. Program produkcyjny, poziom braków produkcyjnych	46
3.2.1.2. Partia produkcyjna.....	50
3.2.2. Parametry środka pracy (maszyny).....	58
3.2.3. Parametry pracy (robotnika)	60
3.3. Parametry wyjściowe	63
3.3.1. Parametry wyjściowe proste	63
3.3.2. Parametry wyjściowe złożone	65
3.3.3. Parametry wyjściowe rodzajowe	68

3.3.3.1. Cykl produkcyjny	68
3.3.3.2. Zapasy produkcji w toku	84
4. Struktura produkcyjna	97
4.1. Istota struktury produkcyjnej	97
4.2. Rodzaje struktury produkcyjnej i tendencje jej tworzenia	100
4.3. Plan generalny (struktura produkcyjno-przestrzenna przedsiębiorstwa) ..	103
5. Typy, formy i odmiany organizacji produkcji.....	107
5.1. Typy produkcji	107
5.2. Formy produkcji	113
5.3. Odmiany produkcji.....	115
6. Projektowanie organizacji produkcji.....	121
6.1. Problemy projektowania	121
6.2. Metodyczne aspekty projektowania	126

Część II. Konwencjonalne systemy produkcyjne

7. System produkcji rytmicznej.....	135
7.1. Ogólna charakterystyka przedmiotu projektowania (produkcji rytmicznej).....	135
7.2. Etapy projektowania.....	138
7.3. Projektowanie struktury produkcyjnej	141
7.3.1. Obliczanie parametrów dla poszczególnych wyrobów (detali) i detalooperacji	142
7.3.2. Przydział detalooperacji do stanowisk roboczych	144
7.3.3. Wydzielanie komórek produkcyjnych pierwszego stopnia	148
7.4. Projektowanie rozmieszczenia stanowisk roboczych.....	152
7.5. Projektowanie harmonogramów	159
7.5.1. Przygotowanie niezbędnych parametrów do harmonogramowania przebiegu produkcji	160
7.5.2. Opracowanie harmonogramów pracy maszyn	163
7.5.3. Opracowanie harmonogramów pracy robotników	166
7.5.4. Opracowanie harmonogramów obsługi przez procesy pomocnicze... ..	167
7.6. Opracowania uzupełniające.....	169
8. System produkcji nierytmicznej	171
8.1. Ogólna charakterystyka przedmiotu projektowania (produkcji nierytmicznej)	171

8.2. Etapy projektowania.....	173
8.3. Projektowanie struktury produkcyjnej	175
8.3.1. Obliczanie parametrów produkcyjno-organizacyjnych	175
8.3.2. Wydzielanie przedmiotowych gniazd produkcyjnych.....	177
8.3.3. Wydzielanie technologicznych gniazd produkcyjnych	181
8.4. Projektowanie rozmieszczenia stanowisk roboczych.....	188
8.5. Projektowanie harmonogramów	194
8.5.1. Opracowanie cyklogramów produkcji.....	195
8.5.2. Opracowanie harmonogramów Gantta	197
8.6. Opracowania uzupełniające.....	203
8.6.1. Organizacja obsługi wielowarsztatowej	206
8.6.1.1. Istota obsługi wielowarsztatowej.....	206
8.6.1.2. Warianty obsługi wielowarsztatowej.....	209
8.6.1.3. Obciążenia stanowiska wielowarsztatowego.....	216
8.6.1.4. Ustawienie pozycji produkcyjnych stanowiska wielowarsztatowego	217
8.6.1.5. Warunki i efektywność obsługi wielowarsztatowej	218
8.6.2. Organizacja brygad	221
8.6.3. Organizacja grup autonomicznych	226

Część III. Nowoczesne i przyszłościowe systemy produkcyjne

9. Elastyczny system produkcyjny	237
9.1. Ogólna charakterystyka przedmiotu projektowania (ESP)	237
9.1.1. Cechy elastycznych systemów produkcyjnych	237
9.1.2. Formy elastycznej organizacji produkcji.....	243
9.1.3. Budowa ESP	249
9.2. Metodyka projektowania technologiczno-organizacyjnego ESP	250
9.2.1. Charakterystyka procesu projektowania ESP	250
9.2.2. Projektowanie podsystemu wytwarzania.....	252
9.2.3. Projektowanie struktury podsystemów przepływu strumieni materiałowych	257
9.2.4. Projektowanie podsystemu transportowo-magazynowego.....	261
9.3. Wybrane modele i metody projektowania ESP	271

9.3.1. Ogólna charakterystyka modeli i metod projektowania ESP	271
9.3.2. Modele optymalizacyjne.....	272
9.3.3. Modele sieci masowej obsługi.....	273
9.3.4. Modele symulacyjne	276
9.4. Wdrażanie ESP.....	277
10. Komputerowo zintegrowany system produkcyjny	281
11. Zarys problematyki badania i projektowania rozruchu nowej produkcji..	287
11.1. Wprowadzenie.....	287
11.2. Charakterystyka procesu rozruchu nowej produkcji	293
11.3. Metodyka projektowania rozruchu nowej produkcji.....	297
11.3.1. Metodyka ogólna	297
11.3.2. Metodyki szczegółowe	298
11.3.3. Możliwości stosowania metodyki.....	300
12. Systemy przyszłości	303
12.1. Organizacja ucząca się	304
12.1.1. Charakterystyka organizacji uczącej się	304
12.1.2. Formy organizacji uczącej się	307
12.1.3. Tworzenie organizacji uczącej się	308
12.2. Organizacja wirtualna	311
12.2.1. Charakterystyka organizacji wirtualnej	311
12.2.2. Formy organizacji wirtualnej.....	313
12.2.3. Tworzenie organizacji wirtualnej	314
12.3. Organizacja biologiczna	316
12.3.1. Charakterystyka organizacji biologicznej.....	316
12.3.2. Formy organizacji biologicznej	318
12.3.3. Tworzenie organizacji biologicznej.....	319
12.4. Organizacja fraktalna	320
12.4.1. Charakterystyka organizacji fraktalnej	320
12.4.2. Formy organizacji fraktalnej.....	322
12.4.3. Tworzenie organizacji fraktalnej	323
Literatura	327

WYKAZ SYMBOLI

- b_{di} – planowany, docelowy poziom braków produkcyjnych,
- C_{hi} – harmonogramowany cykl produkcyjny i-tego detalu
- C_{ni} – normatywny cykl produkcyjny i-tego detalu,
- C_p – cykl produkcyjny,
- C_{pi} – cykl produkcyjny i-tego detalu,
- C_{pr} – cykl produkcyjny przy równoległym przebiegu procesu produkcyjnego,
- C_{prz} – rzeczywisty cykl produkcyjny,
- d_j – liczba detali obrabianych równocześnie na jednym stanowisku roboczym dla j-tej operacji,
- d_L – liczba (suma) wykonywanych detalooperacji (przebrojeń) w diagnozowanej komórce produkcyjnej,
- E – wskaźnik efektywności,
- EMC – elektroniczna maszyna cyfrowa,
- ESP – elastyczny system produkcyjny,
- F – fundusz czasu pracy,
- F_j – ujednolicony fundusz czasu pracy j-tego stanowiska roboczego w komórce produkcyjnej,
- F_{jrz} – rzeczywisty fundusz czasu maszyny,
- F_k – kalendarzowy fundusz czasu,

-
- F_{nj} – nominalny fundusz czasu maszyny,
 F_r – efektywny fundusz czasu robotnika,
 F_{rr} – rzeczywisty fundusz czasu robotnika,
 g_o – norma zużycia materiału,
 G_o – ciężar zużycia materiału,
 i – indeks detalu,
 i_d – liczba i-tych detali,
 ij – indeks detalooperacji,
 i_t – liczba detali na transporterze między pozycjami,
 I_c – współczynnik stopnia ciągłości procesu produkcyjnego,
 I_l – współczynnik liniowości procesu produkcyjnego,
 I_p – współczynnik stopnia proporcjonalności procesu produkcyjnego,
 I_r – współczynnik równoległości procesu produkcyjnego,
 j – indeks stanowiska roboczego (operacji),
 k – współczynnik liczby ij-tych detalooperacji (lub liczby przebrojeń) na j-tym stanowisku roboczym,
 k_w – współczynnik wielowarsztatowości,
 K – koszty całkowite,
 K_d – liczba dni w roku,
 K_m – koszty materiałów bezpośrednich przypadających na jednostkę wyrobu,
 K_p – koszty przygotowania produkcji,
 K_r – koszt robocizny bezpośredniej przypadającej na jednostkę wyrobu,
 K_s – koszty stałe przypadające na jednostkę wyrobu,
 K_{sp} – współczynnik dobierany w zależności od przyjętego systemu sterowania produkcją,
 K_z – koszty zamrożenia środków obrotowych przypadające na jednostkę wyrobu,
 $KP^0, KP^I, KP^{II}, \dots, KP^n$ – komórki produkcyjne kolejnego n-tego stopnia,

-
- l – odległość między detalami na transporterze,
- l_p – najkrótsza (w linii prostej) droga przemieszczania przedmiotów pracy,
- l_{pt} – liczba partii transportowych,
- L – odległość między stanowiskami roboczymi,
- L_{rz} – rzeczywista droga ruchu przedmiotów pracy,
- L_d – liczba stanowisk roboczych w diagnozowanej komórce produkcyjnej,
- L_m – liczba stanowisk roboczych,
- L_{mj} – liczba stanowisk roboczych zajętych równocześnie wykonaniem j-tej operacji,
- L_{mo} – obliczeniowa liczba obrabiarek,
- L_r – liczba robotników,
- l_w – ładowność wózka (środka transportu),
- m_{gij} – możliwość godzinowa stanowiska roboczego,
- n – kolejny numer,
- N_n – zadanie produkcyjne n-tej komórki (fazy) produkcyjnej,
- N_f – program produkcyjny f-tych wyrobów finalnych,
- N_i – korygowany program produkcyjny i-tych detali.
- N_r – liczba niedziel w roku,
- N_s – narzuty stałe przypadające na jeden wyrób,
- NW – program produkcyjny wyrobu,
- N_{di} – planowany, docelowy, program produkcji i-tego detalu,
- N_{fi} – program produkcyjny i-tych detali,
- N_{fp} – program produkcyjny p-tych podzespołów,
- N_{fz} – program produkcyjny z-tych zespołów,
- N_{fzi} – program produkcyjny części zamiennych,
- O_{pi} – liczba operacji detalu porównywanego, wykonywana na tym samym typie maszyn, co operacje detalu względem którego przeprowadzimy porównanie,

-
- O_{pwe} – liczba operacji dwóch porównywanych detali,
 O_t – okres technologiczny cyklu produkcyjnego,
 O_{tr} – okres technologiczny dla równoległego układu przebiegu partii detali,
 O_{sz} – okres technologiczny dla szeregowego układu przebiegu partii detali,
 O_{iszr} – okres technologiczny dla układu szeregowo-równoległego przebiegu partii detali,
 O_{tr}^{sr} – okres technologiczny dla układu równoległego z synchronizacją czasów poprzez ich równość,
 O_{sz}^m – okres technologiczny dla układu szeregowego z wykorzystaniem stanowisk wielostrumieniowych,
 O_{iszr}^m – okres technologiczny dla układu szeregowo-równoległego z wykorzystaniem stanowisk wielostrumieniowych,
 O_{tr}^{ws} – okres technologiczny dla układu równoległego z wielostrumieniowością,
 p – stopa procentowa płacona z tytułu zamrożenia środków obrotowych,
 p_{tr} – wielkość partii transportowej i-tego detalu,
 P_d – pracochłonność detalu,
 P_p – przerwy w cyklu produkcyjnym,
 q – empiryczny współczynnik strat czasu na przebrojenie stanowisk roboczych,
 rg – roboczogodziny,
 sg – stanowiskogodzina,
 S – wielkość partii produkcyjnej,
 S_{ek} – ekonomiczna (minimalna) wielkość partii produkcyjnej,
 S_{opt} – optymalna wielkość partii produkcyjnej,
 S_{sr} – uśredniona wielkość partii produkcyjnej,
 S_w – liczba świąt w roku (z wyłączeniem świąt przypadających w niedzielę),
 S_{wo} – liczba wolnych sobót w roku,
 t_{uw} – przewidywany czas usunięcia awarii,

- t_{ijk} – korygowana pracochłonność jednostkowa ij-tej detalooperacji,
 t_j – czas jednostkowy operacji,
 t_j^d – czas jednostkowy j-tej operacji na dostarczającym stanowisku roboczym,
 t_{jk} – korygowany czas jednostkowy j-tej operacji,
 t_{j+1}^o – czas jednostkowy operacji $j + 1$ na odbierającym stanowisku roboczym,
 t_{jmin} – czas jednostkowy najkrótszej operacji (najbardziej wydajnej),
 t_l – czas przemieszczania detalu na transporterze między stanowiskami roboczymi lub pozycjami,
 $t_{min(j,j-1)}$ – czas operacji mniej sięj w każdej kolejnej parze porównywanych operacji,
 $t_{max j}$ – czas najdłuższej operacji,
 t_{pz} – czas przygotowawczo-zakończyowy,
 t_r – czas ręczny,
 t_{rm} – czas ręczno-maszynowy,
 t_s – średni okres oczekiwania (zamrożenia) jednego wyrobu partii przed jego obróbką i po obróbce,
 t_{sp} – czas pomiędzy spływem kolejnych partii produkcyjnych,
 t_{zm} – czas zajęcia maszyny,
 T_d – stanowiskochłonność detalu,
 T_{dost} – okres czasu między dwoma dostawami pakietu transportowego lub partii detali z jednej operacji na następną,
 T_j^d – czas pracy dostarczającego stanowiska roboczego dla j-tej operacji,
 T_{j+1}^o – czas pracy odbierającego stanowiska roboczego dla operacji $j + 1$,
 T_k – łączny czas trwania operacji transportowych,
 T_m – okres roboczy występujący w procesie magazynowania,
 T_{od} – okres przerw wynikających z organizacji dnia roboczego,

- T_{om} – łączny czas oczekiwania w magazynach kompletacyjnych, międzywydziałowych itp.,
 T_{os} – łączny czas oczekiwania międzyoperacyjnego partii detali na zwolnienie stanowiska roboczego,
 W_{nci} – wskaźnik jakości (normatywności) cyklu,
 W_p – współczynnik przerw (przeestoju) cyklu produkcyjnego,
 W_{pt} – współczynnik podobieństwa technologicznego porównywanych detali,
 $W^0, W^1, W^2, \dots, W^n$ – wyroby kolejnego n-tego stopnia,
 V_i – prędkość przesunięcia się transportera,
 x – czas,
 X – okres powtarzalności,
 $X_{min.j}$ – minimalny okres powtarzalności j-tego stanowiska,
 X_p – przyjęty okres powtarzalności,
 z_m – zmienowość,
 z_{gi} – zadanie godzinowe i-tego detalu,
 Z_a – zapas awaryjny,
 Z_{cop} – zapas cykliczny operacyjny,
 Z_k – zapas kompensacyjny,
 Z_{mk} – zapas międzykomórkowy,
 Z_{mkb} – zapas międzykomórkowy bieżący,
 Z_{mkz} – zapas międzykomórkowy zabezpieczający,
 Z_{mkmin} – zapas międzykomórkowy minimalny,
 Z_{mkmax} – zapas międzykomórkowy maksymalny,
 Z_{msr} – zapas międzykomórkowy średni,
 Z_t – zapas transportowy,
 Z_i – zapas obrotowy pomiędzy dostarczającym i odbierającym stanowiskiem roboczym w x-tym przekroju czasowym,

-
- Z_{wkr} – zapas wewnątrzkomórkowy cykliczny,
- η – sprawność,
- η_{ij} – współczynnik obciążenia j-tego stanowiska roboczego ij-tą detalooperacją,
- η_j – sumaryczny współczynnik obciążenia j-tego stanowiska roboczego,
- η_{jrz} – współczynnik wykorzystania efektywnego funduszu czasu maszyny stanowiska roboczego),
- η_{jrr} – średni współczynnik obciążenia stanowisk roboczych,
- η_{pj} – planowany współczynnik uwzględniający przestoje maszyny,
- η_{pr} – planowany współczynnik uwzględniający przestoje robotnika,
- η_r – sumaryczny współczynnik obciążenia r-tego robotnika,
- η_{rij} – współczynnik obciążenia r-tego robotnika ij-tą detalooperacją,
- η_{rrz} – współczynnik wykorzystania efektywnego funduszu czasu robotnika,
- η_{rsr} – średni współczynnik obciążenia robotników,
- μ_j – rezerwy j-tego stanowiska roboczego,
- μ_r – rezerwy r-tego robotnika,
- τ – takt produkcji,
- φ_j – współczynnik wykonania normy.

WSTĘP

Najważniejszym zadaniem organizatora produkcji jest kształtowanie zjawisk zachodzących w procesie produkcyjnym, zgodnie z zakładanymi celami i przy uwzględnieniu wszelkich warunków i okoliczności występujących w realnych procesach przemysłowych. Dlatego podstawowym celem opracowania tego skryptu jest udostępnienie studentom odpowiednio wybranych partii materiału z zakresu organizacji produkcji w przedsiębiorstwach produkcyjnych. Zwięzłość wykładu niektórych rozdziałów pracy uzasadniona jest organizacją nauczania oraz uzupełnieniem w postaci skryptu do ćwiczeń z tego przedmiotu [8]. Przyjęte ujęcie poszczególnych zagadnień ma ułatwić studentom recepcję wykładu oraz właściwe przygotowanie do ćwiczeń projektowych.

Skrypt ma służyć jako pomoc dydaktyczna do zajęć audytoryjnych i stanowi on podsumowanie doświadczeń autora, uzyskanych w trakcie prowadzonych wykładów z przedmiotów: *Organizacja podstawowych procesów produkcyjnych* [9] oraz *Sterowanie produkcją* [11]. W związku ze zmianami wprowadzonymi w programie studiów kierunku *Zarządzanie i Marketing* problematykę tzw. zarządzania produkcją objęła następująca sekwencja przedmiotów: *Przygotowanie produkcji* ⇒ *Organizacja produkcji* ⇒ *Organizacja obsługi produkcji* ⇒ *Sterowanie produkcją* ⇒ *Komputerowo zintegrowane zarządzanie produkcją*.

Organizacja produkcji jest jednym z wiodących przedmiotów na kierunku *Zarządzanie i Marketing*. Ogniskują się w nim poznane wcześniej zagadnienia z: *Ekonomiki przedsiębiorstw*, *Badania pracy*, *Technik organizatorskich* oraz z dziedziny nauk technicznych – *Technik wytwarzania*. Organizacja produkcji,

która ma wybitnie charakter projektowo-inżynierski wykorzystuje jako narzędzia badawczo-projektowe dorobek wymienionych obszarów nauki, w celu efektywnego wykorzystania czynników wytwórczych, w warunkach przyjętych (zaprojektowanych) jako optymalne.

Wszelkie metody organizacji i zarządzania produkcją doskonałą dotychczasowe systemy produkcyjne lub umożliwiają projektowanie i realizację nowych systemów, w których czynniki produkcyjne powinny osiągnąć optymalny poziom i właściwe relacje. Podstawowymi czynnikami produkcyjnymi są przedmioty pracy, środki pracy i praca żywa, których zespolenie tworzy *proces produkcyjny* w przedsiębiorstwie – główny przedmiot nauki o *organizacji produkcji*.

Stosowanie rozwiązań zgodnych z zadaniami naukowej organizacji produkcji przyczyniać się powinno w istotnym stopniu do racjonalnego prowadzenia działalności produkcyjnej, jako procesu bardzo złożonego, wymagającego znajomości i umiejętności rozwiązywania trudności i zagadnień wpływających w różnych kierunkach na jej wyniki. Wobec tego w niniejszym opracowaniu definiujemy i rozumiemy pojęcie – *organizacja produkcji* – jako pewną formę doskonalenia procesu produkcyjnego w systemie produkcyjnym, opartą na optymalnym powiązaniu i wykorzystaniu poszczególnych jego czynników produkcyjnych, w celu osiągnięcia najlepszych efektów produkcyjnych i ekonomicznych.

W niniejszym opracowaniu przyjmujemy, iż student powinien otrzymać właściwie dobrane kompendium wiedzy, które uzupełnione zestawem praktycznych ćwiczeń projektowych z tego przedmiotu, pozwoli w przyszłości na zastosowania w pracy zawodowej. Powstaje więc problem przyjęcia proporcji pomiędzy ugruntowanymi już metodami i narzędziami organizatorskimi, a pojawiającymi się w świecie nowościami. Świadomość faktu, że polski przemysł po tak ogromnej zapaści, jeszcze przez wiele lat będzie dążył do uzyskania standardów organizacji osiągniętych już w krajach zachodnich, a dopiero później wprowadzał najnowocześniejsze (niestety kapitałochłonne) rozwiązania, przyjęliśmy trzy podejścia w prezentowaniu treści przedmiotu:

- *klasyczne*; dotyczące konwencjonalnych, tradycyjnych już systemów produkcyjnych i stosowanych tam rozwiązań i metod organizacji produkcji,
- *nowoczesne*; dotyczące nowych, nowo powstających systemów produkcyjnych w ostatnich latach, przede wszystkim w krajach o przodującej te-

chnologii i organizacji wytwarzania oraz będących dopiero w fazie tworzenia się w krajowych ośrodkach naukowo-badawczych i przemysłowych,

- **przyszłościowe**; dotyczące najnowszych osiągnięć światowej nauki organizacji i zarządzania produkcją oraz systemami produkcyjnymi.

Przyjęte proporcje pozwolą studentom na „płynne odnalezienie się” w krajowej rzeczywistości przemysłowej oraz tam gdzie jest to możliwe i ekonomicznie uzasadnione, wprowadzanie nowatorskich podejść i rozwiązań organizatorskich, stosowanych obecnie wyłącznie w najnowocześniejszych korporacjach przemysłowych wysoko rozwiniętych krajów świata.

Skrypt składa się z trzech części, z których pierwsza obejmuje zagadnienia podstawowe nauki o organizacji produkcji i jest niejako abecadłem organizatora w zakresie niezbędnych do przyswojenia pojęć, parametrów produkcyjno-organizacyjnych, wzajemnych relacji i skutków ich wspólnego oddziaływania na zjawiska zachodzące w procesie produkcyjnym. Część druga omawia problemy projektowania według szczegółowych metodyk dla konwencjonalnych form organizacji produkcji. Część trzecia dotyczy nowoczesnych systemów produkcyjnych i przyszłościowych koncepcji, które w bliższej lub dalszej perspektywie będą podlegać procesom stopniowego ich wdrażania.

Niniejszy skrypt przeznaczony jest dla studentów kierunku *Zarządzanie i Marketing*, ekspertów-projektantów, firm konsultingowych i działów organizacji produkcji przedsiębiorstw przemysłowych oraz kadry menedżerskiej.

Oczywiście praktyczne wariantowanie rozwiązań projektowych opartych na poznanych tu metodykach, studenci będą przerabiać w ramach zajęć, dla których przewodnikiem jest skrypt do ćwiczeń [8] – będący uzupełnieniem wykładów. Wymieniona na końcu opracowania literatura może być pomocna dla poszerzenia wiadomości, zgodnie z wymaganiami wykładowcy lub indywidualnymi zainteresowaniami czytelnika.

Część I

Abecadło organizacji produkcji

1. SYSTEM PRODUKCYJNY

1.1. Przedsiębiorstwo jako system

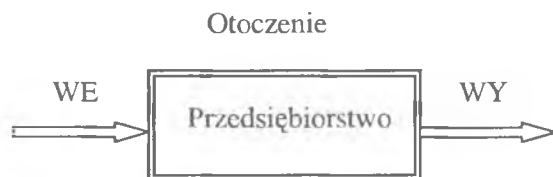
System produkcyjny stanowi celowo zaprojektowany i zorganizowany układ materialny, energetyczny i informacyjny eksploatowany przez człowieka i służy produkowaniu określonych produktów (wytworów lub usług) w celu zaspokojenia potrzeb konsumentów [20].

Systemem produkcyjnym jest więc *przedsiębiorstwo*¹ jako podstawowy podmiot gospodarczy, którego zadaniem jest produkcja określonych dóbr i świadczenie usług. Również systemy produkcyjne mogą być wyodrębnione w ramach przedsiębiorstwa w zależności od stopnia dezagregacji oraz od celów, którym mają służyć, np. produkcja półwyrobów, która wraz z wytwarzanymi w innych systemach może z kolei stanowić zasób wyjściowy dla systemu montażowego produkującego wyroby bardziej złożone.

Z cybernetycznego punktu widzenia (rys. 1.1) przedsiębiorstwo jest to system mający co najmniej jedno połączenie (tzw. wejście), przez które otoczenie oddziałuje na system i co najmniej jedno połączenie (tzw. wyjście), za pomocą którego system oddziałuje na otoczenie. Wszystkie wejścia mają charakter bądź rzeczowy

¹ Przytaczanie podstawowych pojęć i definicji związanych z celami i typologią przedsiębiorstw, ich funkcjami oraz powiązaniem z otoczeniem uważamy w tym wypadku za zbędne, z uwagi na ograniczoną objętość skryptu oraz ze względów merytorycznych. Zagadnienia te studenci poznali w wykładanych wcześniej przedmiotach m.in. *Podstawy zarządzania, Ekonomika przedsiębiorstwa*. Ujęcie to będzie miało zatem taki charakter, aby naświetlało obszary rozwijane następnie w kolejnych rozdziałach skryptu.

(np. maszyny, surowce itp.), bądź informacyjny (np. wskaźniki, zlecenia itp.), z których część można skwantyfikować – czyli wyrazić liczbowo, część zaś jest niewymierna. W języku cybernetycznym określamy te wejścia jako zasileniowo-informacyjne.



Rys. 1.1. Przedsiębiorstwo w ujęciu systemowym

Podobny charakter mają wyjścia z systemu, za pomocą których przedsiębiorstwo kontaktuje się z otoczeniem. Wyjścia o charakterze zasileniowym stanowią między innymi produkty finalne na sprzedaż i usługi świadczone na zewnątrz (a zatem zaspakajanie potrzeb rynku i rentowności przedsiębiorstwa) oraz wszelkiego rodzaju operacje finansowe na rzecz innych jednostek i skarbu państwa np. wpłaty do budżetu. Wyjścia informacyjne stanowią pisemne, ustne i audiowizualne informacje kierowane pod adresem otoczenia o sytuacji i możliwościach przedsiębiorstwa np. sprawozdania, analizy, oferty, reklama.

Mając określone wejścia i wyjścia systemu produkcyjnego traktowanego „czarna skrzynka”, zastanawiamy się jakie zjawiska zachodzą wewnątrz systemu czyli przedsiębiorstwa². Dokonuje się w obrębie tego systemu transformacja (przekształcenie) wejść zasileniowo-informacyjnych na wyjścia zasileniowo-informacyjne. Odbywa się to w sposób dynamiczny w czasie, powodując określone zmiany w ciągu stanów wejścia i wyjścia.

Ponieważ przedsiębiorstwo funkcjonuje w warunkach określonego systemu (ustroju) gospodarczego i jest otwartym, dynamicznym systemem ekonomicz-

² W celu określenia struktury i procesów zachodzących wewnątrz przedsiębiorstwa będziemy przeprowadzać dezagregację systemu produkcyjnego: ogólną (p. 1.2) i szczegółową (rozdz.2 i 3), a następnie agregację w możliwe układy organizacyjne (rozdz. 4 i 5).

nym powiązanych ze sobą podsystemów, to pozostaje zawsze we wzajemnie uwarunkowanej zależności z otoczeniem³.

1.2. Dekompozycja systemu produkcyjnego

Jednym z najbardziej istotnych problemów identyfikacji i projektowania dowolnego systemu produkcyjnego jest właściwa i trafna dekompozycja systemu na jego części składowe [16]. Koncepcję podziału niezbędną w diagnozowaniu i projektowaniu organizatorskim systemu produkcyjnego przedstawia w czterech przekrojach rys. 1.2.

Za pierwotny przekrój dekompozycji uznaje strukturę procesów i ich podział, gdzie wszystkie procesy realizowane w systemie produkcyjnym dzieli, ze względu na ich wpływ na realizację celów i zadań systemu, na następujące grupy:

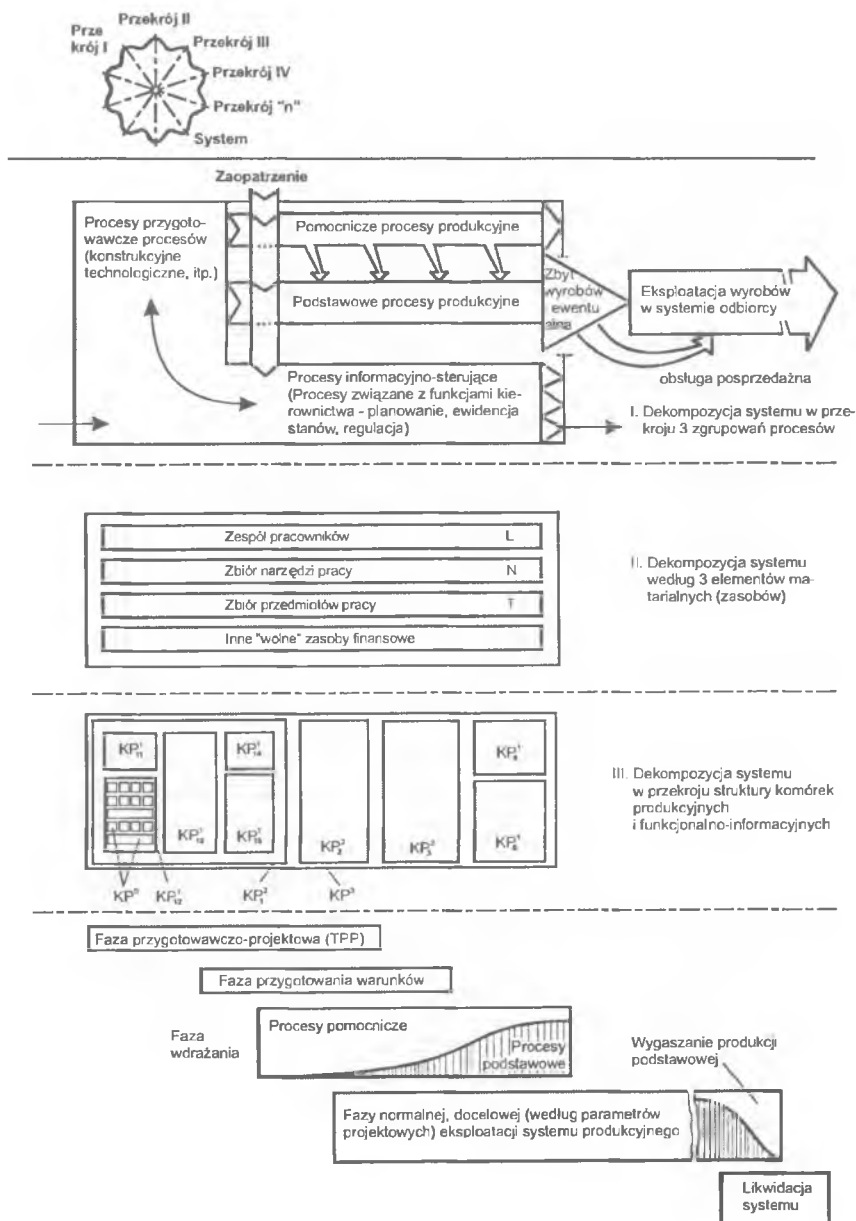
- a) procesy (produkcyjne) podstawowe,
- b) procesy niepodstawowe:
 - procesy (produkcyjne) pomocnicze,
 - procesy informacyjno-sterujące.

Procesy produkcyjne podstawowe bezpośrednio realizują podstawowe cele lub zadania systemu produkcyjnego w postaci wyrobów przemysłowych lub usług materialnych przekazywanych otoczeniu systemu. Procesy produkcyjne pomocnicze i procesy informacyjno-sterujące obsługują wszystkie procesy w systemie produkcyjnym zasilając je swymi wytworami, usługami lub informacjami. Efektem realizacji procesów podstawowych i pomocniczych w systemie produkcyjnym jest istnienie sieci sprzężeń materiałowo-energetycznych między jego elementami i z otoczeniem. Szczegółowe rozważania dotyczące procesu produkcyjnego zawarte są w rozdziale 2.

W drugim przekroju dekompozycji i struktury systemu produkcyjnego można wyróżnić trzy rodzaje czynników – zasobów (czynników produkcji):

- zespół pracowników (praca żywa),
- zbiór narzędzi pracy (środki pracy),
- zbiór przedmiotów pracy.

³ Szczegóły tych zależności poznaje czytelnik w wykładanych przedmiotach tj. *Ekonomia przedsiębiorstwa, Zarządzanie strategiczne, Marketing*.



Rys. 1.2. Wieloprzekrojowa dekompozycja systemu produkcyjnego [16]

Podział zespołu pracowników na grupy może następować według płci, zawodów i kwalifikacji, stażu, wykształcenia, miejsca zatrudnienia (komórek systemu) i innych kryteriów. Podobnie występują podziały i zgrupowania maszyn i urządzeń oraz klasyfikacja przedmiotów pracy ze względu na tworzywo, gabaryty, stopień złożoności itp. Każdy z tych trzech czynników produkcji, w parametrycznym opisie procesu produkcyjnego, zawiera zespół parametrów produkcyjno-organizacyjnych, których identyfikacja, opis i oddziaływanie na system produkcyjny znajdzie czytelnik w rozdziale 3.

Trzeci przekrój strukturalny to podział systemu wytwórczego na komórki produkcyjne, produkcyjno-administracyjne i tzw. funkcjonalne (informacyjne), w określonym układzie hierarchii, wyodrębnione na podstawie określonych kryteriów specjalizacji. Rozwinięcie tej problematyki zawarto w rozdziale 4.

Ostatni (czwarty) przekrój strukturalny rozpatruje system produkcyjny w odniesieniu do dynamiki jego pięciu głównych faz rozwoju, wdrażania przedsięwzięć i innowacji. Pierwsza faza wiąże się z programowaniem rozwoju, działalnością przygotowawczo-projektową, planowaniem produkcji w przestrzeni i w czasie; druga faza, polega na przygotowaniu warunków i zasobów do wdrażania procesów; trzecia faza sprowadza się do wdrażania zaprojektowanego systemu wytwórczego; w czwartej fazie normalnej eksploatacji systemu głównym problemem staje się operatywne kierowanie i regulowanie funkcjonowania systemu. Wreszcie ostatnia faza likwidacji systemu przebiega z reguły równolegle z początkowymi fazami wdrażania nowego układu systemu produkcyjnego.

Z wymienionych strukturalnych właściwości systemu produkcyjnego (w kolejnych przekrojach dekompozycji) wynikają wymagania dotyczące organizacji działalności przedsiębiorstwa jako całości, jak również wszystkich jego elementów (podsystemów), ich wzajemnych relacji i poziomu koordynacji. W kolejnych rozdziałach skryptu poznawać będziemy powyższe zagadnienia, w sposób bardziej pogłębiony i z metodycznie uporządkowanym narastaniem stopnia złożoności problemów organizacji produkcji.

Systemy produkcyjne będące od kilkudziesięciu lat przedmiotem zainteresowania badaczy organizacji produkcji, ulegają pod wpływem nowych metod produkcji etapowym zmianom strukturalnym i funkcjonalnym, związanym również ze skalą wytwarzanej tam produkcji. Powstało w tym czasie wiele róż-

norodnych prób klasyfikacji typów produkcji, form organizacji produkcji, rodzajów struktur oraz typologii rodzajów systemów produkcyjnych. Doskonalenie przekształceń technologicznych i metod produkcji przesądziło o nieuniknionym przechodzeniu do coraz nowocześniejszych rozwiązań techniczno-organizacyjnych. Pogłębiający się stopień integracji systemów produkcyjnych, elastycznej automatyzacji i komputerowego wspomaganie wszystkich etapów cyklu wytwórczego, ukształtował nowe kierunki rozwoju – od konwencjonalnych form organizacyjnych – ku nowoczesnym systemom produkcyjnym. Problematyce ewolucyjnych przekształceń w systemie produkcyjnym, ich strukturze i formom poświęcone są końcowe rozdziały skryptu.

2. PROCES PRODUKCYJNY

Mianem *procesu produkcyjnego* określa się całokształt czynności, w wyniku których z materiału lub materiałów powstaje gotowy produkt o określonej wartości użytkowej. Mając na uwadze najistotniejsze cechy procesów produkcyjnych można ogólnie wydzielić rodzaje procesów – wydobywcze i przetwórcze.

Wydobywcze procesy produkcyjne polegają na wydobywaniu kopalin użytecznych w postaci różnych form geologicznych.

Przetwórcze procesy produkcyjne przekształcają surowce i materiały wyjściowe w produkty o zmienionym składzie chemicznym, stanie fizycznym, własnościach mechanicznych i eksploatacyjnych. Można je podzielić, ze względu na techniki wytwarzania i organizację ich przebiegu, na obróbczo-montażowe i aparaturowe.

Procesy obróbczo-montażowe są charakterystyczne dla produkcji złożonych maszyn, urządzeń technicznych, środków transportu itp. Aparaturowe procesy produkcyjne, charakteryzują się tym, że przebiegają w specjalnych urządzeniach zwanych ogólnie aparatami, w których na przedmiot pracy oddziałują chemikalia lub różnego rodzaju energia, a pracownik tylko obserwuje i reguluje przebieg i okres ich trwania.

W niniejszym opracowaniu zajmować się będziemy przede wszystkim *procesami obróbczo-montażowymi* dotyczącymi produkcji przemysłu elektromaszynowego.

2.1. Podstawowe definicje i pojęcia związane z czynnikami produkcji procesu produkcyjnego

Produkcja stanowi jedną z głównych i najważniejszych działalności systemu produkcyjnego, ponieważ w jej wyniku powstają nowe wartości użytkowe. Z techniczno-organizacyjnego punktu widzenia jest ona przystosowaniem i przemianą przedmiotów pracy w wyrób, dokonaną za pomocą środków pracy, z udziałem ludzkiej *siły roboczej*. Czynniki te są ściśle ze sobą związane i zmiana któregośkolwiek z nich powoduje zmianę innego elementu.

Z punktu widzenia przekształcania *przedmiotów pracy* (surowce i materiały) następuje zmiana ich kształtu, własności fizyko-chemicznych, właściwości mechanicznych itd. oraz jakościowych, czyli tym samym dokonuje się przemiana w *wyrób*.

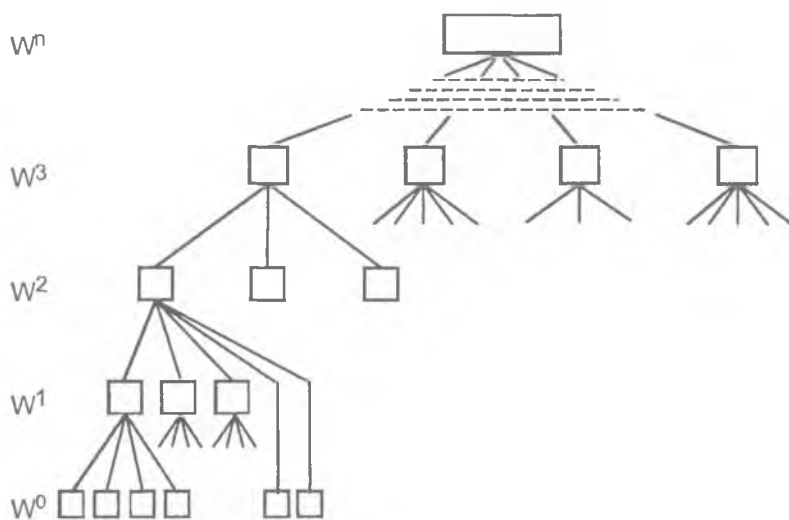
Podstawowe definicje dotyczące wyrobu, w zależności od złożoności oraz stanu zaawansowania ich przekształcania, obejmują następujące określenia.

Wyrób prosty, zwany detalem lub częścią, to jednolity element konstrukcyjny otrzymany z jednego materiału i nie posiadający powiązań z innymi elementami (chyba, że jest nim powiązanie nierozłączne).

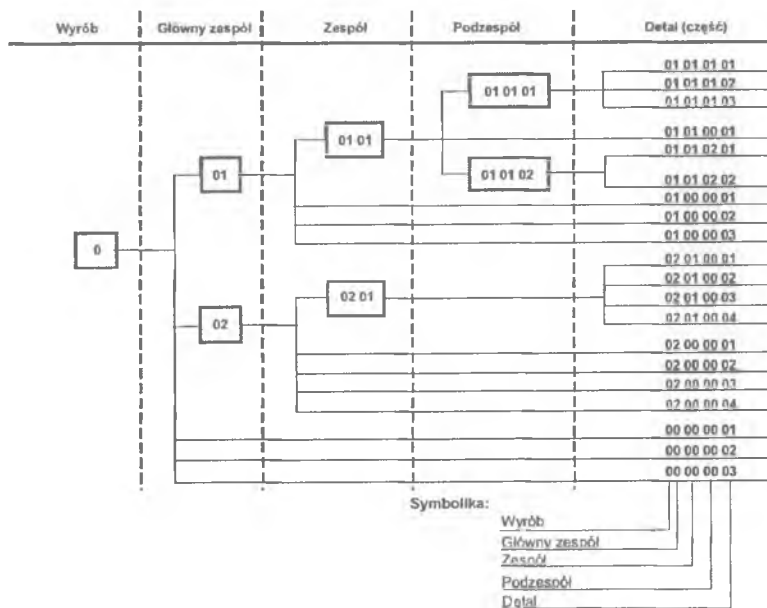
Wyrób złożony to połączone ze sobą, co najmniej dwa wyroby proste. Mogą nimi być podzespoły, zespoły lub zbiory celowo utworzonych zespołów.

Złożoność wyrobu określa stopień skomplikowania i zbiór określonych relacji zachodzących pomiędzy poszczególnymi elementami wyrobu. Detal będący wyrobem prostym oznaczamy jako W^0 – wyrób zerowego stopnia. Poprzez kolejne (konstrukcyjnie uzasadnione) łączenie w jednostki W^1 , W^2 , ... W^n otrzymujemy poszczególne stopnie wyrobu (podzespoły, zespoły, wyrób finalny), które zgodnie z tą konwencją tworzą schemat złożoności wyrobu (rys. 2.1).

Struktura wyrobu przedstawia elementy składowe: detale, podzespoły, zespoły oraz ich konstrukcyjno-technologiczne powiązania w wyrobie (rys. 2.2). Niezwykle istotna, w graficznej interpretacji struktury wyrobu, jest symbolika zapewniająca identyfikację poszczególnych elementów składowych wyrobu, przy użyciu kodu numerycznego. Wyroby takie jak statki, samochody, maszyny itp. wymagają stosowania tej symboliki z wykorzystaniem EMC, w rozwinięciach konstrukcyjno-technologicznych poszczególnych wyrobów, niezbędnych w sterowaniu produkcją.



Rys. 2.1. Schemat złożoności wyrobu [14]



Rys. 2.2. Struktura wyrobu [36]

Wobec dużej złożoności wyrobów przemysłu elektromaszynowego oraz wymagań stawianych przez procesy informatyczne przede wszystkim dla potrzeb organizacji produkcji, planowania i sterowania produkcją, podziały jak na rys. 2.2 są niewystarczające. Dlatego zaistniała potrzeba zastosowania innego podejścia do interpretacji struktury wyrobu, który omówiono szczegółowo w skrypcie do ćwiczeń, stanowiącym uzupełnienie mniejszego opracowania.

Półwyrób to wyrób prosty celowo niewykończony np. odlew, odkuwka itp. podlegający w przyszłości dalszej obróbce.

Wyrób gotowy może być wyrobem prostym jak i wyrobem złożonym nie podlegającym dalszej obróbce lub montażowi w zakładzie określonego producenta. Wyroby gotowe z punktu widzenia odbiorcy mogą być oczywiście półwyrobami.

Wyrób finalny jest to końcowy produkt procesu produkcyjnego określonego przedsiębiorstwa, który jest jednocześnie wyrobem gotowym. w odniesieniu do funkcji, które ma wyrób finalny spełniać – charakteryzuje się on tym, że nadaje się do samodzielnej eksploatacji.

Następnym czynnikiem produkcji niezbędnym w realizacji procesu produkcyjnego są **środki pracy**, które obejmują maszyny i urządzenia wytwórcze. Mogą to być maszyny i urządzenia: uniwersalne, specjalne lub specjalizowane. Środki pracy wraz z przedmiotami pracy tworzą tzw. **środki produkcji**.

Czynnikiem zespalałym omówione powyżej elementy produkcyjne jest **praca ludzka** (siła robocza, czyli całokształt fizycznych i duchowych sił człowieka), którą człowiek wykonuje przy użyciu środków produkcji, w celu wytworzenia określonych produktów lub usług.

Fizycznym zgrupowaniem trzech podstawowych czynników produkcyjnych: środków pracy, przedmiotów pracy i pracy ludzkiej jest **stanowisko robocze**¹. Stanowi ono najmniejszą komórkę produkcyjną przygotowaną technicznie i organizacyjnie do realizacji części procesu produkcyjnego. Spotykamy w systemach produkcyjnych (przedsiębiorstwach) stanowiska robocze:

¹ Zwane również: *stanowiskiem pracy, stanowiskiem produkcyjnym, komórką produkcyjną zerowego stopnia*. Wyrażenia te traktować będziemy jako synonimy, choć niekiedy określeniom tym nadaje się różną treść.

- jednoosobowe (indywidualne),
- wieloosobowe (brygadowe).

Stanowisko jednoosobowe może być pojedyncze (jeden robotnik pracuje na jednej maszynie) lub wielomaszynowe (jeden robotnik obsługuje jednocześnie kilka maszyn). Stanowisko wieloosobowe (brygadowe) obsługiwane jest na ogół przez kilku lub nawet kilkunastu robotników, którzy ściśle współpracują i wspólnie odpowiadają za wyniki pracy.

Zgrupowanie stanowisk roboczych (komórek produkcyjnych zerowego stopnia – KP^0) tworzy **komórkę produkcyjną pierwszego stopnia** oznaczoną przez symbol KP^I . Następnie, celowe i organizacyjnie uzasadnione grupowanie KP^I w KP^{II} , ..., KP^n , tworzy komórki produkcyjne wyższych stopni².

Organiczne zespolenie trzech omówionych czynników produkcji na stanowisku roboczym lub zbiorze stanowisk roboczych (komórek produkcyjnych) umożliwia realizację procesu produkcyjnego w celu uzyskania zaplanowanej produkcji.

2.2. Podział procesu produkcyjnego

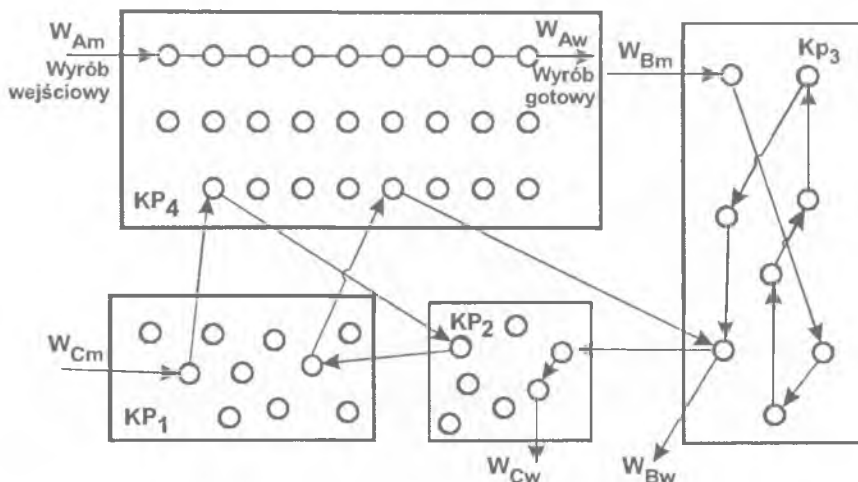
Proces produkcyjny najczęściej składa się z wielu różnych działań, więc aby móc właściwie organizować jego przebieg, należy podzielić go na elementy według przyjętych kryteriów.

Możemy rozpatrywać proces produkcyjny w odniesieniu do określonego wyrobu lub określonej komórki produkcyjnej. Różnice między procesem produkcyjnym wyrobu a procesem produkcyjnym komórki ilustruje rys. 2.3.

Proces produkcyjny wyrobu jest zbiorem operacji produkcyjnych niezbędnych do jego wytwarzania. Proces produkcyjny wyrobu może przebiegać w różnych komórkach produkcyjnych (przykład wyrobu W_C) lub może być realizowany w całości w jednej komórce (wyroby W_A i W_B).

Proces produkcyjny komórki produkcyjnej jest zbiorem operacji produkcyjnych wykonywanych w określonej komórce produkcyjnej (np. KP_1 , KP_2 , KP_3 , KP_4 .)

² Zagadnienia te będą szczegółowo omówione w rozdziale 4.



Rys. 2.3. Proces produkcyjny wyrobu i komórki produkcyjne [41]: W_A , W_B , W_C – wyroby; KP_1 , KP_2 , KP_3 , KP_4 – komórki produkcyjne; O – stanowiska robocze, $\rightarrow$ przebieg procesu

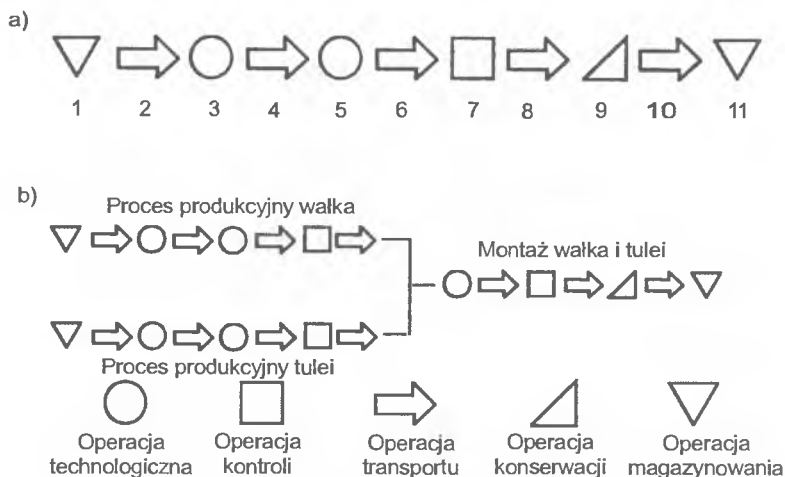
Według kryterium udziału pracy ludzkiej proces produkcyjny można podzielić na procesy pracy i procesy naturalne. **Procesy pracy** są realizowane przy udziale człowieka. **Procesy naturalne** dotyczą zmian we własnościach przedmiotów pracy, zachodzące wskutek naturalnych zjawisk fizykochemicznych, bez udziału dodatkowej energii i bez udziału człowieka (np. chłodzenie na otwartym powietrzu, sezonowanie lub starzenie naturalne itp.).

Ze względu na złożoność rozróżniamy **proste** i **złożone** procesy produkcyjne wyrobu (rys. 2.4). Na rysunku 2.4a przedstawiono prosty proces produkcyjny wyrobu, gdzie uwzględniono: operacje magazynowania (1, 11), operacje technologiczne (3, 5), operacje kontroli (7), operacje konserwacji (9) i operacje transportu (2, 4, 6, 8, 10). Odpowiednio zbiory tych operacji tworzą procesy: magazynowania, technologiczne, kontroli, konserwacji i transportu. Proste procesy produkcyjne łączą się w złożone procesy produkcyjne poprzez procesy montażu wyrobu złożonego (rys. 2.4b).

Ze względu na obszar oddziaływania na proces produkcyjny oraz pełnione funkcje w tym procesie rozróżniamy (zasygnalizowane w rozdz. 1):

- procesy podstawowe,

- procesy pomocnicze (obsługowe),
- procesy zarządzania (informacyjno-sterujące).



Rys. 2.4. Schemat procesu produkcyjnego wyrobu: a) prostego, b) złożonego [41]

Procesy podstawowe obejmują część procesu produkcyjnego, bezpośrednio powiązaną z procesem technologicznym, stanowiącym zbiór operacji technologicznych, dążących do bezpośredniej realizacji głównego zadania procesu produkcyjnego tj. wytwarzania wyrobów.

Przez **operację technologiczną** będziemy rozumieli operację produkcyjną wykonywaną na jednym stanowisku roboczym przez jednego pracownika (lub grupę pracowników) na jednym przedmiocie (lub grupie przedmiotów) bez przerw, której wynikiem jest zmiana form, kształtu, wymiarów lub właściwości fizyko-chemicznych obrabianego materiału lub montaż (demontaż) wyrobów prostych w wyroby złożone.

Pozostałe rodzaje operacji produkcyjnych są operacjami pomocniczymi, z których powstają procesy pomocnicze. **Procesy pomocnicze** świadczą usługi na rzecz procesu podstawowego oraz zajmują się wytwarzaniem wyrobów (np. narzędzi specjalnych) nie będących wyrobami podstawowymi. Składają się na nie następujące operacje produkcyjne: transportowe, kontroli, konserwacji i magazynowania.

Operacją transportową będziemy nazywali operację produkcyjną, której celem jest przemieszczanie materiału lub wyrobu.

Operacją kontroli nazywamy operację produkcyjną, która polega na porównaniu zgodności cech dotyczących obrabianego materiału (wyrobu) w poszczególnych etapach jego obróbki (lub montażu) z wzorcami, normami i wymaganiami wynikającymi z warunków technicznych.

Operacją konserwacji nazywamy operację produkcyjną mającą na celu zachowanie cech wyrobu, poprzez okresowe oddziaływanie środków konserwujących, które nie wchodzi w skład wyrobu i usuwane są przed eksploatacją wyrobu.

Operacją magazynowania nazywamy operację produkcyjną polegającą na przechowywaniu tworzywa lub wyrobu bez jakiejkolwiek jego zmiany, poza upływem i zmianą czasu.

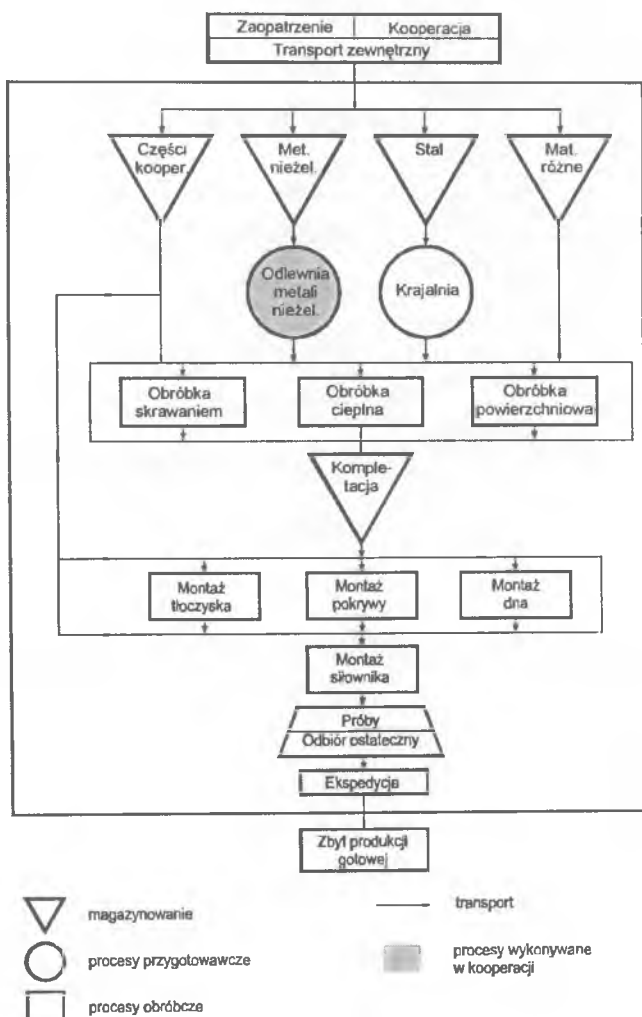
Procesy zarządzania są to procesy informacyjno-decyzyjne (aspekt dynamiczny) przebiegają w ramach określonej struktury organizacyjnej (aspekt statyczny). Struktura organizacyjna przedstawia zhierarchizowany układ komórek organizacyjnych i ich powiązania. Natomiast procesy informacyjno-decyzyjne mają na celu dostarczanie do ogniw decyzyjnych kompletnych informacji, a następnie podejmowanie decyzji opartych na wyborze optymalnego – lub zbliżonego doń wariantu, według właściwie dobranego kryterium najkorzystniejszego dla całego układu organizacyjnego.

Wnikając jeszcze głębiej do „wnętrza” procesu produkcyjnego można go rozpatrywać według faz technologicznych lub też według części, podzespołów i zespołów. I tak **strukturę procesu produkcyjnego według faz technologicznych**³ przedstawia rys. 2.5, a **strukturę procesu produkcyjnego wyrobu** (zwaną też według części, podzespołów i zespołów) ilustruje rys. 2.6.

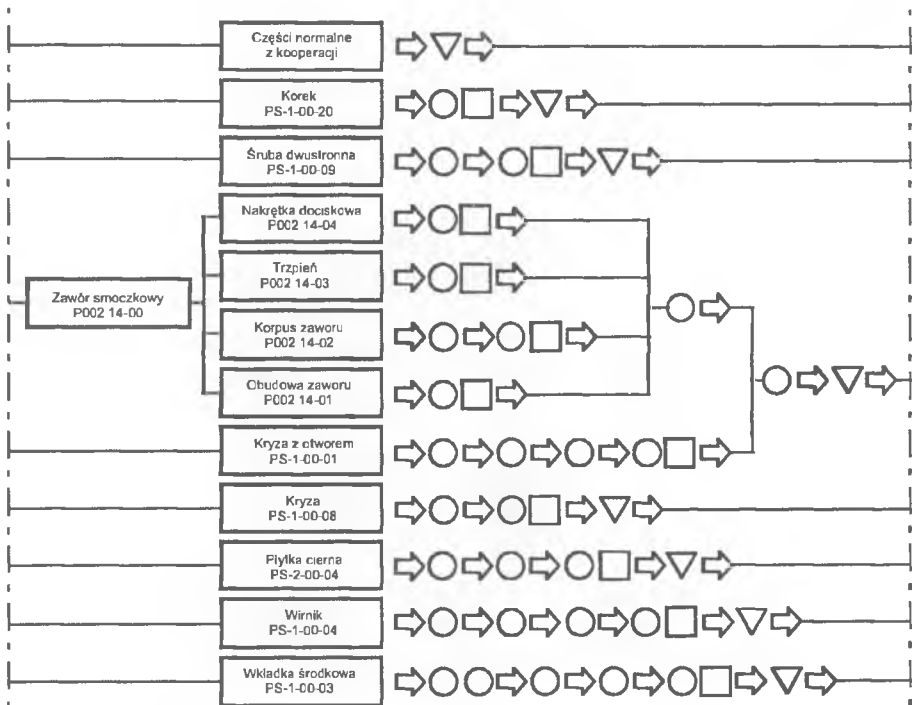
Procesy produkcyjne spotykane w przemyśle elektromaszynowym mają tak skomplikowany charakter – wynikający z dużej złożoności produkowanych tam wyrobów i różnorodności stosowanych metod i rodzajów technologii wytwarzania – iż bardzo trudno jest w sposób bardziej szczegółowy wyodrębnić czy

³ **Fazą technologiczną** nazywamy fragment procesu technologicznego (produkcyjnego) lub odrębny proces technologiczny o jednorodnym charakterze obróbki, np. odlewanie, kucie, obróbka wiórowa, obróbka cieplna, obróbka powierzchniowa, montaż.

sklasyfikować w miarę jednordodne zakresy występowania tych procesów. Powyższe podziały należy traktować jako ramowe, pamiętając o tym, że rzeczywiste procesy produkcyjne mogą nastęrczać dużo kłopotów w szczegółowym opisie struktury oraz przebiegu w czasie i przestrzeni.



Rys. 2.5. Przykładowy schemat struktury procesu produkcyjnego według faz technologicznych (opr. własne)



Rys. 2.6. Schemat fragmentu struktury procesu produkcyjnego wyrobu – pompy PS2 [41]

2.3. Zasady racjonalnej organizacji procesu produkcyjnego

Teoria organizacji procesu produkcyjnego, najszerzej traktując zagadnienie, zajmuje się poszukiwaniem prawidłowości we współzależnościach, które występują w realnych procesach produkcyjnych. Na bazie tych doświadczeń zajmuje się również określeniem sposobów i metod najbardziej sprawnego i ekonomicznie uzasadnionego organizowania przebiegu procesu produkcyjnego według wypracowanych *zasad*. Cechują się one niezmiennością i powszechnością zastosowania w różnych rodzajach i typach procesów produkcyjnych. Główne zasady organizacji procesu produkcyjnego można przedstawić w następujący sposób.

A. *Zasada proporcjonalności* zaleca właściwy podział zadań procesu produkcyjnego w taki sposób aby wszystkie operacje, fazy produkcyjne, stanowiska robocze i komórki produkcyjne były tak dostosowane do siebie, pod względem

możliwości produkcyjnych i aby działalność przedsiębiorstwa, w zakresie realizacji planu produkcji w dowolnych jednostkach czasu mogła przebiegać bez wewnętrznych zakłóceń. Jeśli przez $N_1, N_2, \dots, N_n$ oznaczmy zadania poszczególnych komórek (faz) produkcyjnych oraz przez $F_1, F_2, \dots, F_n$ fundusze czasu będące w dyspozycji, to warunek proporcjonalności można zapisać:

$$\frac{N_1}{F_1} = \frac{N_2}{F_2} = \dots = \frac{N_n}{F_n} = \text{const} . \quad (2.1)$$

Powyższy zapis oczywiście odnosić się może do wszystkich czynników produkcyjnych, co również oznacza, iż nie może być nadmiaru ani braku tych czynników produkcji, gdyż wtedy mogą powstawać tzw. „wąskie gardła” oraz nierytmiczność produkcji. Ocenę realizacji zasady proporcjonalności można prowadzić przy użyciu współczynnika stopnia proporcjonalności produkcji:

$$I_p = \frac{\sum_{n=1}^m (M_{pn} - N_n)^2}{m} , \quad (2.2)$$

gdzie: I_p – współczynnik stopnia proporcjonalności produkcji,

M_{pn} – możliwości produkcyjne n tej komórki (fazy) produkcyjnej,

N_n – zadanie produkcyjne n -tej komórki (fazy) produkcyjnej,

m – liczba komórek (faz) produkcyjnych,

n – numer kolejnej KP.

Pożądane jest, aby współczynnik I_p zbliżał się do 0.

B. **Zasada liniowości** nakłada, na realizację poszczególnych części procesu produkcyjnego warunek jednokierunkowości przebiegu, bez nawrotów i skrzyżowań. Oznacza to, iż drogi przemieszczania przedmiotów pracy pomiędzy poszczególnymi obiektami produkcyjnymi, komórkami i stanowiskami produkcyjnymi, powinny być możliwie najkrótsze. Miarą oceny liniowości jest współczynnik:

$$I_l = \frac{l_p}{l_{rz}} , \quad (2.3)$$

gdzie: l_t – współczynnik liniowości procesu produkcyjnego,

l_p – najkrótsza, (w linii prostej) droga przemieszczania przedmiotów pracy,

l_{rz} – rzeczywista droga ruchu przedmiotów pracy (określona przy użyciu tzw. wykresów sznurkowych).

C. *Zasada ciągłości* nakazuje eliminowanie z procesu produkcyjnego wszelkich przerw wpływających niekorzystnie na kształtowanie się parametrów produkcyjno-organizacyjnych i ekonomicznych. Stopień ciągłości procesów produkcyjnych można scharakteryzować współczynnikiem:

$$I_c = \frac{O_t}{C_p} = \frac{C_p - P_p}{C_p} = 1 - \frac{P_p}{C_p} = 1 - W_p, \quad (2.4)$$

gdzie: I_c – współczynnik stopnia ciągłości procesu produkcyjnego,

O_t – okres technologiczny cyklu produkcyjnego,

C_p – cykl produkcyjny,

P_p – przerwy w cyklu produkcyjnym,

W_p – współczynnik przerw (przestoju) cyklu produkcyjnego.

Im większy jest współczynnik I_c , tym wyższy jest poziom organizacji procesu produkcyjnego.

D. *Zasada równoległości* zaleca wytwarzanie poszczególnych wyrobów (w cząstkowych procesach produkcyjnych) w tym samym czasie, co powoduje skracanie długości cyklu produkcyjnego. Poziom równoległości procesu produkcyjnego można scharakteryzować przy użyciu współczynnika:

$$I_r = \frac{C_{pr}}{C_{prz}}, \quad (2.5)$$

gdzie: I_r – współczynnik równoległości procesu produkcyjnego,

C_{pr} – cykl produkcyjny przy równoległym przebiegu procesu produkcyjnego

C_{prz} – rzeczywisty cykl produkcyjny.

Mniejsze wartości współczynnika równoległości powodują zmniejszanie zapasów produkcji w toku i zamrożenia, środków obrotowych. Współczynnik ten jest jednocześnie miarą koncentracji w procesie produkcji.

E. *Zasada koncentracji* polega na skupieniu czynników produkcji w określonym obszarze produkcyjnym, w celu uzyskania wyższego stopnia wykorzystania tych czynników. Zjawisko koncentracji występuje najczęściej w parze ze zjawiskiem *zróźnicowania* (dyferencjacji), dlatego należy dokonywać zawsze racjonalnego wyboru stopnia koncentracji i zróźnicowania czynników produkcyjnych, aby doprowadzać ich poziom i wzajemne relacje do optymalnych rozmiarów z ekonomicznego punktu widzenia. Podstawową konsekwencją zasady koncentracji jest możliwość specjalizacji komórek produkcyjnych dowolnego szczebla.

F. *Zasada specjalizacji* zaleca w procesie produkcyjnym ograniczanie różnorodności zadań produkcyjnych i asortymentu produkcji, co ułatwia organizację i planowanie oraz zwiększa efektywność produkcji. Korzyści jakie można uzyskać ze specjalizacji to:

1. Postęp w zakresie techniki, technologii i organizacji produkcji poprzez:
 - zastosowanie wyspecjalizowanych maszyn i urządzeń,
 - integrację podzielonych procesów pracy,
 - optymalne wykorzystanie zdolności produkcyjnych,
 - uproszczenie organizacji produkcji i jej struktury.
2. Wzrost wydajności produkcji wskutek wzrostu ilości wytworzonych wyrobów i zmniejszanie się pracochłonności (zjawisko produkcyjnego uczenia się) oraz mechanizacji pracy.
3. Obniżanie kosztów wytwarzania, będących wynikiem powyższych zjawisk. Skoncentrowanie produkcji związane ze specjalizacją może jednak wywołać niekorzystne efekty, takie jak:

1. Większe tzw. koszty stałe, które należy ponieść przy zakupie wyspecjalizowanych (droższych) maszyn i urządzeń.
2. Zwiększenie inercji systemu produkcyjnego, obniżające jego elastyczność w dostosowywaniu się do zmiennych warunków wytwarzania.
3. Zwiększanie się niepewności w wytwarzaniu produkcji finalnej z uwagi na zwiększający się stopień kooperacji produkcyjnej.

G. Zasada rytmiczności-równomierności wskazuje na potrzebę planowania przebiegu produkcji w ustalonych rytmach, co daje regularne powtarzanie się tych samych zjawisk, w procesie produkcyjnym, w odniesieniu do tego samego odcinka czasu (rytmu). Różnie interpretowane są pojęcia rytmiczności i równomierności produkcji lecz należy bezwzględnie zgodzić się z tym, iż praca, komórki produkcyjnej wewnętrznie zharmonizowanej, o równomiernym wykorzystaniu trzech podstawowych czynników produkcji (zgodnie z zaprojektowanymi harmonogramami) i równomiernym splywie produkcji, będzie spełniała zasadę rytmiczność. Zatem rytmiczność produkcji jest sprawdzianem działalności systemu produkcyjnego (komórki produkcyjnej), odzwierciedla wyniki prawidłowego planowania i organizowania produkcji w czasie. Ma ona duże znaczenie ekonomiczne i stanowi istotne kryterium oceny realizacji procesu produkcyjnego – charakteryzuje jednocześnie ciągłość i równomierność wykonywania zadań produkcyjnych.

H. Zasada elastyczności mówi o konieczności szybkiego i łatwego przystosowywania procesu produkcyjnego do nowych warunków, zmieniających się w zależności od konkretnej sytuacji. Chodzi zatem o elastyczność procesu produkcyjnego rozumianą jako:

- zdolność do wytwarzania detali różnorodnych pod względem technologicznym (a więc konieczność szybkiego przezbierania stanowisk roboczych),
- zdolność do zmian w programach produkcyjnych (wprowadzania nowych uruchomień),
- zdolność do przewidywania i szybkiego reagowania na odchylenia i zaburzenia w realizacji produkcji.

Zasada elastyczności, w najbliższej przyszłości, stanie się jedną z najistotniejszych reguł organizowania procesów produkcyjnych. Wiąże się to z wprowadzaniem do praktyki przemysłowej tzw. elastycznych systemów produkcyjnych (ESP), które oprócz sygnalizowanej elastyczności posiadają jeszcze dwie ważne cechy tj. integrację i automatyzację.

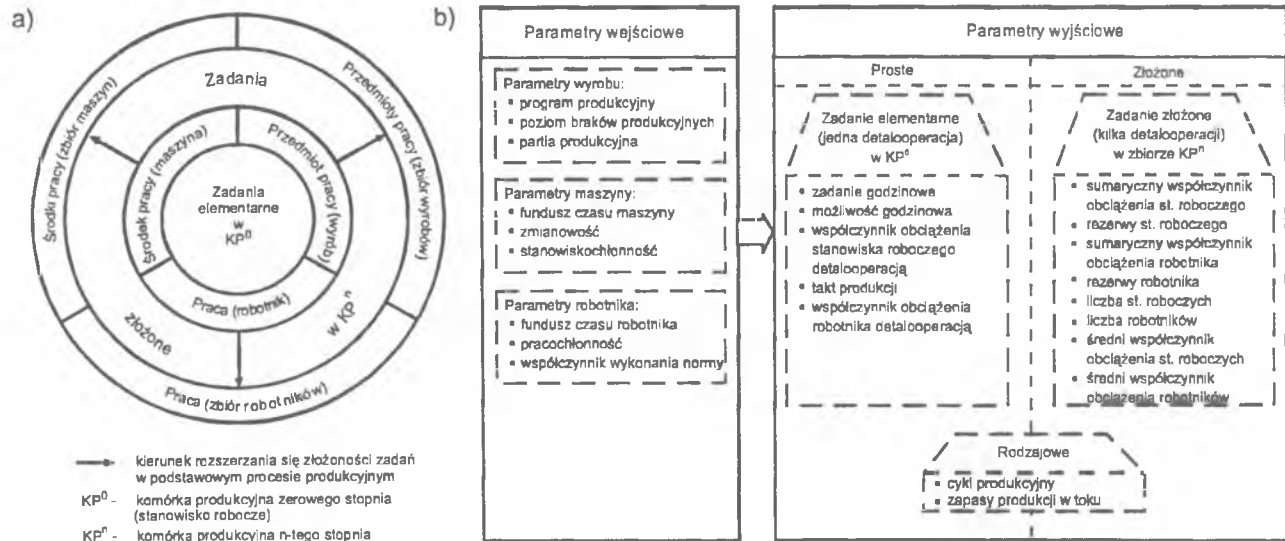
Realizacja powyższych zasad zależy od wcześniejszych decyzji w zakresie wielkości przedsiębiorstwa, rodzaju wytwarzanych wyrobów i stosowanych procesów technologicznych, typu produkcji, ale również od rozwiązań przyjętych w trakcie projektowania i bieżącego przeprojektowywania organizacji procesów produkcyjnych. Właściwe ich wykorzystywanie jest więc ciągłym poszukiwaniem „złotego środka” w odniesieniu do ustalenia stopnia ważności omówionych zasad i kryteriów, a następnie poszukiwaniem optymalnych rozwiązań pozwalających na najbardziej racjonalne prowadzenie przebiegu procesów produkcyjnych.

3. PARAMETRYCZNY OPIS PROCESU PRODUKCYJNEGO

3.1. Klasyfikacja parametrów procesu produkcyjnego

Przedstawione w poprzednim rozdziale podstawowe pojęcia związane z procesem produkcyjnym, podane zostały w tym celu, aby przystępując do realizacji organizowania procesu produkcyjnego, zawsze mieć na uwadze, że trzy zasadnicze czynniki produkcji (przedmioty pracy, środki pracy i praca ludzka) muszą być tak dobrane i skoordynowane, by wyroby były wykonywane w jak najkrótszym czasie i w sposób jak najbardziej ekonomiczny. Udział każdego z tych czynników jest różny w zależności od postaci i jakości surowca, charakteru procesu produkcji, stopnia mechanizacji i automatyzacji produkcji, sprawności środków pracy, jakości pracy ludzkiej i stopnia zorganizowania procesu produkcyjnego. Zmiana cech poszczególnych czynników powoduje ich zmienny udział w procesie produkcyjnym, co wymaga odpowiedniego ich doboru i dostosowania do siebie. Chodzi zatem o łączenie w odpowiednim czasie i miejscu niezbędnych czynników produkcji oraz sterowanie nimi i zachodzącymi między nimi proporcjami. Rozwiązanie tych zagadnień jest możliwe tylko na podstawie analizy wszystkich czynników i ich parametrów, gdyż one wpływają na przebieg procesu produkcyjnego.¹

¹ Odnosić się będziemy przede wszystkim do podstawowego procesu produkcyjnego, gdyż czynniki i parametry procesów usługowych omawiane są w przedmiocie *Organizacja obsługi produkcji*.



Rys. 3.1. a) Schemat powiązań czynników produkcji w podstawowym procesie produkcyjnym, b) schemat klasyfikacji i powiązań parametrów produkcyjno-organizacyjnych podstawowego procesu produkcyjnego (opr. własne)

Na ostateczny stopień efektywności podstawowego procesu produkcyjnego wpływa więc ilość jak i jakość poszczególnych parametrów opisujących stany czynników produkcji, które oddziałują we wzajemnym, ścisłym związku (zob. rys. 3.1a). Istniejące klasyfikacje najczęściej dzielą parametry produkcyjno-organizacyjne na wejściowe i wyjściowe. Natomiast proponowana klasyfikacja opiera się na założeniu ścisłego przypisania określonych parametrów czynnikom produkcji; przedmiotom pracy, środkom pracy i samej pracy. Również brane jest pod uwagę stadium w jakim znajdują się parametry w trakcie „obróbki” oraz moment przenikania się i uzyskiwania złożoności wzajemnych relacji (rys. 3.1 b).

Parametrami wejściowymi nazywać będziemy parametry trzech czynników produkcji, które przygotowywane są na wejściu procesu produkcyjnego (również procesu projektowania) pod względem rzeczowym, związków ilościowych oraz relacji czasowo-przestrzennych. Ich dobór odbywa się oczywiście w oparciu o przyjęte wcześniej, właściwe metody pracy, procesy technologiczne i środki produkcji. Każdy z trzech czynników produkcji otrzymuje², poprzez odpowiednie zbiory parametrów, określone wielkości związane z szeroko pojętymi zadaniami produkcyjnymi do wykonania w określonym czasie.

Parametry wyjściowe są to zbiory parametrów normatywnych, powstałe z przenikania się parametrów wyrobów i stanowisk roboczych. Obowiązują one w trakcie realizacji procesu produkcyjnego a uzyskiwane są po zakończeniu procesu projektowania. Dzielą się na parametry:

- proste,
- złożone,
- rodzajowe.

Parametry wyjściowe *proste* dotyczyć będą zadania elementarnego, czyli detalooperacji wykonywanej na określonym detalu, obciążającej pracą określone stanowisko robocze i robotnika.

² Wątpliwość może budzić fakt zaklasyfikowania stanowiskochłonności do parametrów maszyny a pracochłonności do parametrów robotnika, z uwagi na posługiwanie się znanymi określeniami; pracochłonności i stanowiskochłonności produkcji wyrobu. Oczywiście wyrób, traktowany jako zadanie do wykonania „przenosi” na maszynę i robotnika swoje parametry, dlatego w proponowanej klasyfikacji te dwie wielkości są umieszczone już po wstępnym „przeniesieniu” ich na maszynę czy też robotnika (zob. p. 3.2.2 i 3.2.3).

Parametry wyjściowe **złożone** dotyczyć będą zadania złożonego ze zbioru detalooperacji, obciążających pracę zbiorów stanowisk roboczych i robotników.

Parametry wyjściowe **rodzajowe** w zależności od momentu czasowego i złożoności procesu produkcyjnego, mogą dotyczyć określonej detalooperacji lub zbioru detalooperacji, wykonywanych na prostym stanowisku roboczym lub zbiorze stanowisk roboczych. Dlatego przybierać one mogą, w ujęciu czasowym, różne wielkości – od minimum do maksimum – tworząc rodzajowe grupy tych parametrów.

Tak sklasyfikowane parametry można poddać właściwym procedurom obliczeniowym, zmierzającym do ustalenia relacji zachodzących między możliwościami produkcyjnymi istniejącej lub nowo projektowanej jednostki produkcyjnej, a postawionymi przed nią zadaniami do wykonania. Poszczególne parametry produkcyjno-organizacyjne opisujące przebieg podstawowego procesu produkcyjnego posiadają formuły obliczeniowe, przy użyciu których można wyznaczyć niezbędne wielkości parametrów traktowanych później jako zbiór normatywów sterowania przebiegiem produkcji. Definiowaniem, interpretacją i matematycznym zapisem tych parametrów zajmiemy się poniżej, utrzymując kolejność prezentacji zgodną z proponowaną klasyfikacją.

3.2. Parametry wejściowe

3.2.1. Parametry przedmiotu pracy (wyrobu)

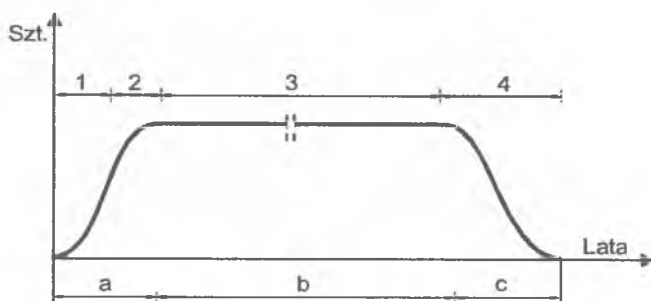
3.2.1.1. Program produkcyjny, poziom braków produkcyjnych

Podejmując produkcję określonych wyrobów opieramy się na badaniu potrzeb rynku oraz moralnego starzenia się wyrobów przemysłowych. Dynamika zapotrzebowania rynkowego na różnorodne wyroby wykazuje znaczne podobieństwo, odwzorowane przez tzw. cykle życia wyrobów. Na podstawie licznych obserwacji i doświadczeń z zakresu kształtowania się sprzedaży produktów uzyskano, ogólnie znany już czytelnikom, model składający się z szeregu faz (rys. 3.2):

- 1 – wprowadzania i wzrostu sprzedaży wyrobu,
- 2 – dojrzałości sprzedaży wyrobu,

3 – nasycenia rynku,

4 – spadku popytu.



Rys. 3.2. Kształtowanie się programu produkcji w układzie czasowym (opr. własne)

Analizując cykl życia wyrobu od interesującej nas strony tzn. wielkości kształtowania się produkcji, wydzielić można trzy fazy mające zasadnicze znaczenie dla przedsiębiorstwa. W przypadku przedsiębiorstw przemysłu elektromaszynowego wytwarzających najczęściej wyroby wykazujące długotrwałą fazę nasycenia w cyklu życia wyrobu (zwykle kilka lat), można wyróżnić trzy fazy istotne przy planowaniu wielkości produkcji przedsiębiorstwa:

a – faza rozruchu produkcji,

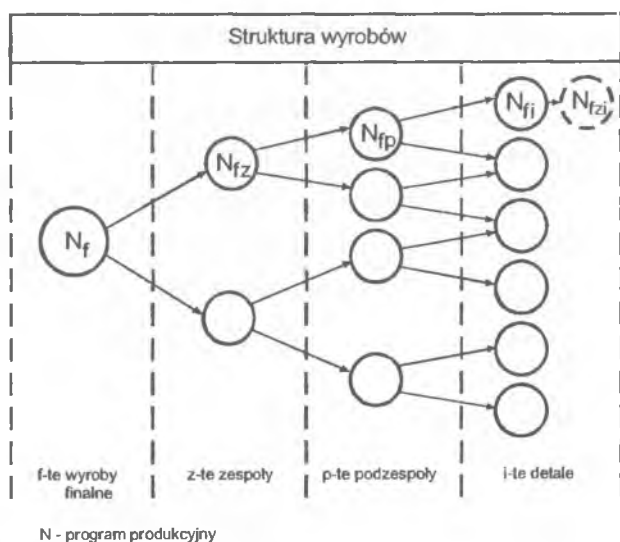
b – faza ustabilizowanej (względnie) produkcji,

c – faza wygaszania produkcji.

Każda z faz będzie uzyskiwała właściwe wielkości programu produkcyjnego wyrobu, stanowiące niezbędny parametr w obliczeniach produkcyjno-organizacyjnych (określany szczegółowo dla fazy „b” i fazy „a” – zob. [7], co wynika z metodyk organizacji produkcji w tych fazach; jedynie w fazie „c” obliczenia mają charakter szacunkowy z uwagi na brak metodyki projektowania wygaszania produkcji). Pod pojęciem **programu produkcyjnego** będziemy rozumieli rodzaje (asortyment) oraz ilość produkowanych wyrobów, zespołów, detali lub usług w określonym przedziale czasu. Najczęściej jego wielkość odnoszona jest do jednego roku i wyrażana przy użyciu mierników naturalnych takich jak: sztuki, kilogramy, tony, metry, litry itp. Liczba przewidzianych do produkcji wyrobów jest najczęściej stosowanym miernikiem w przemyśle elek-

tromaszynowym, w odniesieniu nie tylko do wyrobów finalnych lecz również do zespołów, kompletów detali i detali.

Przedsiębiorstwo ustala programy produkcji wyrobów finalnych N_f uwzględniające potrzeby rynkowe. Program produkcyjny przedsiębiorstwa jest więc kompromisem między tym, co przedsiębiorstwo chciałoby produkować, aby osiągnąć największe korzyści, a tym, co musi produkować ze względu na potrzeby rynku. Pozostałe programy produkcyjne zespołów N_z , podzespołów N_{fp} , detali N_{fi} oraz części zamiennych N_{zj} ustalone powinny być przez producenta na bazie struktury wyrobów finalnych (rys. 3.3).



Rys. 3.3. Rozwinięcie programów produkcyjnych wyrobu (opr. własne)

Wyznaczanie programów produkcji dla kolejnych jednostek konstrukcyjnych wyrobów produkowanych w przedsiębiorstwie jest zazwyczaj rzeczą trudną ze względu na:

- różnorodność asortymentu wytwarzanych wyrobów finalnych, dużą złożoność wyrobów przemysłu elektromaszynowego,
- niski stopień standaryzacji zespołów i detali,

- brak jednolitej symboliki wyrobów, opracowanej do wykorzystywania na EMC.

Do określania wielkości programów produkcji można stosować następujące metody:

- algebry macierzowej,
- grafoanalityczną,
- z zastosowaniem automatycznego rozwijania wyrobów za pomocą EMC.

Ponieważ metody te wymagają, ze względów metodycznych, omawiania ich na konkretnym przykładzie, dlatego są one zaprezentowane w skrypcie do ćwiczeń z tego przedmiotu [8].

Mając ustalone wielkości programów produkcyjnych, przy użyciu jednej z powyższych metod, dla kolejnych stopni wyrobów należy ustalić poziom produkcji detali, który obowiązywać będzie w realnym procesie produkcyjnym. Wiadomo, iż w czasie produkcji powstają braki (sztuki wadliwe), co wymaga już na wejściu procesu produkcyjnego odpowiedniego zwiększenia ilości materiałów i półwyrobów. Uzyskujemy to obliczając korygowane programy produkcji. Przykładowo dla i -tego detalu:

$$N_i = N_{di} (1 + b_{di}), \quad (3.1)$$

gdzie: N_i – korygowany program produkcji i -tego detalu w szt./rok,

N_{di} – planowany, docelowy program produkcji i -tego detalu (uwzględniający N_{fi} oraz N_{pi}) w szt./rok,

b_{di} – planowany, docelowy poziom braków produkcyjnych i -tego detalu w %.

Planowany poziom braków produkcyjnych b_{di} dobierany powinien być na podstawie badań statystycznych zaszłości produkcyjnych wyrobów podobnych pod względem konstrukcyjno-technologicznym do wyrobu (detalu), którym się zajmujemy oraz przy uwzględnieniu warunków produkcyjno-organizacyjnych wytwarzania porównywanych wyrobów (detali).

3.2.1.2. Partia produkcyjna

Organizacja procesu produkcyjnego wymaga podziału programu produkcyjnego wyrobów finalnych na serie produkcyjne³, które następnie w sposób świadomy (według określonego kryterium lub celu) dzielone są na mniejsze zbiory detali.

Seria produkcyjna jest to liczba wyrobów finalnych, wynikająca z podzielenia rocznego programu produkcyjnego lub większego zamówienia na mniejsze jednostki, w celu wspólnego ich produkowania i rozliczania w określonym przedziale czasu.

Partia produkcyjna jest to liczby detali wykonywanych w ścisłej kolejności przy jednorazowym nakładzie czasu przygotowawczo-zakończeniowego. Wielkość (liczność) partii produkcyjnej jest niezmienna w fazie docelowej, ustabilizowanej produkcji. W fazie wcześniejszej, w tzw. okresie rozruchu produkcji (zob. [7]) mamy do czynienia z pojęciem **partii rozruchowej**, której wielkość zmienia się wraz z upływem czasu.

Partia transportowa jest to liczba detali, podzespołów lub zespołów przekazywana z jednego stanowiska roboczego na drugie lub odcinka produkcyjnego na inny, wynikająca z możliwości i efektywności środków transportu.

Niekiedy występuje potrzeba wspólnego obrabiania kilku detali zamocowanych w jednym przyrządzie lub wykonywania operacji jednocześnie na kilku detalach. Dokonujemy wtedy podziału partii produkcyjnej na pakiety obróbkowe. **Pakiet obróbkowy** jest to zbiór detali (zespołów) połączonych w przyrządzie (lub w inny sposób), w celu ich wspólnego, jednoczesnego poddania obróbce. Z podanych podziałów programu produkcyjnego, najszerwsze zastosowanie w organizacji procesu produkcyjnego mają partie produkcyjne, których poziom w olbrzymim stopniu wpływa na efektywność wytwarzania.

Wielkość partii produkcyjnej należy dobierać, tak, aby odpowiadała ona ilościowym zadaniom produkcyjnym (programom produkcyjnym) oraz ekonomicznym wymaganiom produkcji wykonywanej w realnych, techniczno-organizacyjnych warunkach przebiegu procesu produkcyjnego. A więc przy jej

³ Pojęcia serii i partii często używane są jako synonimy. Przyjmiemy, iż *seria* odnosi się do wyrobów finalnych a *partia* do detali, podzespołów i zespołów.

wyborze zachodzi konieczność uwzględniania wielu czynników, które wymagają odmiennych decyzji, przemawiających za zwiększaniem wielkości partii produkcyjnej lub na odwrót, wymagających jej minimalizacji.

Zwiększanie partii produkcyjnej może pociągać za sobą zarówno korzystne, jak i niekorzystne skutki. Do skutków korzystnych zaliczamy:

- zmniejszenie nakładów na ustawienie i przygotowanie produkcji w przeliczeniu na jednostkę produkcji,
- wykorzystanie w większym stopniu dysponowanego funduszu czasu pracy stanowisk roboczych, poprzez zmniejszenie czasu przebrojeń,
- zwiększanie wydajności pracy robotników w wyniku tzw. produkcyjnego uczenia się zob. [6]),
- polepszanie jakości produkcji w wyniku tzw. jakościowego uczenia się (zob. [7]),
- zmniejszanie kosztów produkcji związane z wymienionymi wyżej czynnikami,
- uproszczenie organizacji i zarządzania produkcją, zwłaszcza planowania operatywnego, ewidencji produkcji, zarządzania dyspozytorskiego itp.

Do skutków niekorzystnych należą:

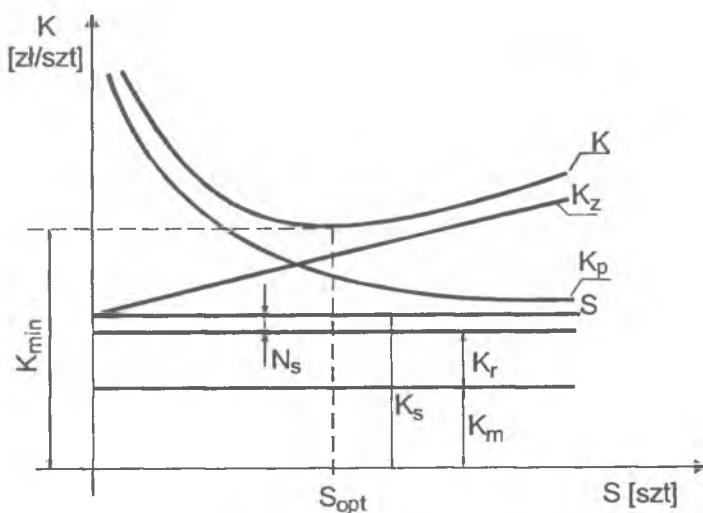
- wydłużanie cyklu produkcyjnego,
- zwiększenie zapasów produkcji w toku, potrzebnej powierzchni i pomieszczeń produkcyjno-magazynowych,
- wzrost zamrożenia środków obrotowych i odsetek od kredytu na środki obrotowe, opodatkowania zapasów itp.,
- zmniejszenie elastyczności procesu produkcyjnego i jego adaptabilności.

Wobec powyższego wielkość partii produkcyjnej powinna być taka, aby nakłady całkowite były minimalne oraz spełnione zostały warunki techniczno-organizacyjne, zapewniające najdogodniejsze rozłożenie cząstkowych zadań procesu produkcyjnego. Niestety wszystkie znane w literaturze przedmiotu sposoby, określają w zasadzie, tylko szacunkowo najkorzystniejszą wielkość partii produkcyjnej i dlatego w praktyce najczęściej wyniki obliczeń korygowane są

o czynniki ilościowe. Do obliczeń stosuje się następujące metody określania wielkości partii produkcyjnej⁴:

- minimalnych kosztów produkcji,
- według udziału czasu przebrojenia,
- według okresu powtarzalności rytmicznej produkcji⁵.

Określanie wielkości partii produkcyjnej według *metody minimalnych kosztów produkcji* jest powszechnie zalecane w publikacjach ekonomicznych od kilkudziesięciu lat. Istnieje kilka formuł obliczeń, lecz podstawa ich jest na ogół taka sama, różnią się tylko niektórymi składnikami czy też wprowadzonymi uproszczeniami. Wszystkie jednak opierają się na parametrach dotyczących kosztów jednostkowych wyrobu. Istotę tej metody wyjaśnia rys. 3.4.



Rys. 3.4. Wykres kosztów produkcji w zależności od wielkości partii produkcyjnej [14]

Część składników kosztowych powoduje zmniejszanie kosztów jednostkowych wraz ze wzrostem wielkości partii produkcyjnej a część powoduje zwięks-

⁴ Chodzi tu o partię produkcyjną tylko dla tzw. fazy ustabilizowanej produkcji. Dla fazy rozruchu produkcji wielkości partii rozruchowych dobierane są według innej metody (zob. [7]).

⁵ Metoda ta, specyficzna dla rytmicznej produkcji, zostanie omówiona w drugiej części skryptu.

szanie tych kosztów. W koszt jednostkowy wyrobu (detalu) wchodzi następujące składowe:

1) koszty „względnie” stałe (K_s) przypadające na jednostkę wyrobu:

$$K_s = K_m + K_r + N_s, \quad (3.2)$$

gdzie: K_m – koszty materiałów bezpośrednich przypadających na jednostkę wyrobu,

K_r – koszt robocizny bezpośredniej przypadającej na jednostkę wyrobu,

N_s – narzuty stałe przypadające na jeden wyrób,

2) koszty przygotowania produkcji (K_p) obejmujące koszty opracowania dokumentacji konstrukcyjnej, technologicznej i planistyczno-produkcyjnej, koszty oprzyrządowania specjalnego oraz uzbrojenie stanowisk roboczych, odnoszone są do produkcji S sztuk w partii produkcyjnej, czy $\frac{K_p}{S}$;

3) koszty zamrożenia środków obrotowych (K_z) na jednostkę produkcji w jednostce czasu:

$$K_z = \left(K_s + \frac{K_p}{S} \right) \cdot t_s \cdot \frac{p}{100}, \quad (3.3)$$

gdzie: t_s – średni okres oczekiwania (zamrożenia) jednego wyrobu partii przed jego obróbką i po obróbce,

p – stopa procentowa płacona z tytułu zamrożenia środków obrotowych.

Średni okres zamrożenia jednego wyrobu określimy analizując przebieg wykonania poszczególnych egzemplarzy wyrobów w partii produkcyjnej. Przyjmujemy, że odbiór wykonanych wyrobów przebiega zgodnie z taktem:

$$\tau = \frac{F_j}{N_w}, \quad (3.4)$$

gdzie: τ – takt produkcji (zob. wzór 3.30),

F_j – ujednolicony fundusz czasu pracy j-tego stanowiska roboczego w komórce produkcyjnej,

N_w – program produkcyjny wyrobu.

Całkowity czas wykonania jednego wyrobu (detalu) składa się z czasu oczekiwania przed obróbką, czasu samej obróbki oraz czasu oczekiwania po obróbce. Zestawienie poszczególnych składników czasów dla kolejnych egzemplarzy partii produkcyjnej zawiera tabela 3.1.

Tabela 3.1. Czasy przebiegu kolejnych egzemplarzy partii wyrobów

Kolejne egzemplarze wyrobu w partii	Przed obróbką	Po obróbce	Razem	Razem z obróbką
1	0	0	0	t
2	t	$\tau - t$	τ	$\tau + t$
3	2t	$2\tau - 2t$	2τ	$2\tau + t$
•	•	•	•	•
•	•	•	•	•
•	•	•	•	•
S	$(S - 1)t$	$(S - 1)(\tau - t)$	$(S - 1)\tau$	$(S - 1)\tau + t$

Na podstawie danych zawartych w tabeli można określić średni okres oczekiwania jednej sztuki w partii:

$$t_s = \frac{(S - 1)\tau}{2} = \frac{(S - 1)F_j}{2N_w} \quad (3.5)$$

Po podstawieniu koszt zamrożenia będzie wynosił:

$$K_z = \left(K_s + \frac{K_p}{S} \right) = \frac{(S - 1)F_j p}{200N_w} \quad (3.6)$$

a koszt całkowity (K):

$$K = K_s + \frac{K_p}{S} + K_z = K_z + \frac{K_p}{S} + \left(K_z + \frac{K_p}{S} \right) \frac{(S-1)F_j p}{200N_w}. \quad (3.7)$$

Po uproszczeniu otrzymamy:

$$K = \left(K_z + \frac{K_p}{S} \right) \left[1 + \frac{(S-1)F_j p}{200N_w} \right]. \quad (3.8)$$

Dla określenia optymalnej wielkości partii produkcyjnej S_{opt} należy wyznaczyć taką wielkość partii, przy której koszt jednostkowy przyjmie wartość najmniejszą. Jest to zadanie rachunku różniczkowego, które rozwiązujemy przyrównując pierwszą pochodną kosztu K (względem S) do zera:

$$\frac{dK}{dS} = 0,$$

stąd

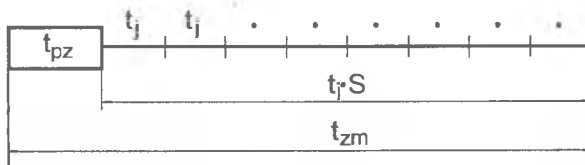
$$S_{opt} = \sqrt{\frac{K_p}{K_s} \left(\frac{200N_w}{F_j p} - 1 \right)}, \quad (3.9)$$

a po uproszczeniu

$$S_{opt} = \sqrt{\frac{K_p 200N_w}{K_s p F_j}}. \quad (3.10)$$

Należy tutaj podkreślić, że obliczenia według powyższego wzoru są w pełni uzasadnione tylko w stosunku do jednej operacji. Wykorzystanie tej metody dla kolejnych operacji wyrobu (detalu) prowadzi do ustalenia średniej wielkości partii produkcyjnej, ponieważ opiera się ona na danych sumarycznych i średnich, co w przypadku organizacji produkcji, już z założenia wyklucza stosowanie dla wyższych form organizacji procesu produkcyjnego.

Określanie wielkości partii produkcyjnej według *metody udziału czasu przebrojenia* opiera się na dążeniu do dopuszczalnej granicy zmniejszania wielkości tej partii, przy uwzględnieniu ekonomicznych wymagań wykorzystania maszyny (stanowiska roboczego). I tak czas zajęcia maszyny operacją t_{zm} przy S sztukach wyrobu ilustruje poniższy szkic.



Czas przygotowawczo-zakończeniowy (t_{pz}) to czas związany z przygotowaniem do wykonania, operacji i jej zakończenia. Występuje on tylko raz dla całej partii produkcyjnej wytwarzanych wyrobów (detali) i nie zależy od liczby wykonywanych sztuk. **Czas jednostkowy** (t_j) jest określany zgodnie z przewidzianą normą na wykonanie operacji dla jednej jednostki wyrobu (detalu). Czas zajęcia maszyny można zapisać:

$$t_{zm} = t_{pz} + S \cdot t_j. \quad (3.11)$$

Ponieważ maszyna nie pracuje w czasie t_{pz} , który jest niezależny od wielkości partii produkcyjnej, to chcąc osiągnąć korzystne wskaźniki ekonomiczne, czas t_{pz} nie może przekroczyć tzw. maksymalnego czasu zajęcia maszyny. Ten maksymalnie dopuszczalny czas określony jest empirycznie i wyrażony zależnością oraz współczynnikiem:

$$t_{pz} \leq q \cdot S \cdot t_j, \quad (3.12)$$

$$q = \frac{t_{pz}}{S \cdot t_j}. \quad (3.13)$$

Stąd

$$S_{ek} = \frac{t_{pc}}{q \cdot t_j}, \quad (3.14)$$

gdzie: S_{ek} – wielkość partii produkcyjnej (dla tej metody nazywana często minimalną wielkością partii lub ekonomiczną wielkością partii produkcyjnej),
 q – empiryczny współczynnik strat czasu na przezbieranie stanowisk roboczych, przyjmowany najczęściej w zakresie od 0,02 do 0,15. Jest on zróżnicowany w zależności od typu produkcji, programu produkcji, stopnia specjalizacji stanowisk roboczych, wielkości wyrobów i kosztów jednostkowych wyrobów.

Wzór ten odnosi się do określenia wielkości partii produkcyjnej tylko dla jednej operacji. Jednak w praktyce przemysłowej mamy do czynienia z detalami o dużej liczbie operacji technologicznych i wtedy otrzymywalibyśmy różne wielkości partii dla różnych (kolejnych) stanowisk roboczych. Należy więc określić taką wielkość partii, która będzie ekonomiczna dla całego przebiegu technologicznego danego detalu. Oblicza się ją dla wybranej operacji, wykonywanej na limitującym stanowisku roboczym lub uśrednioną wielkość partii produkcyjnej ze wzoru:

$$S_{sr} = \frac{\sum t_{pc}}{q \cdot \sum t_j}, \quad (3.15)$$

gdzie: S_{sr} – uśredniona wielkość partii produkcyjnej,

t_{pc} – łączny czas przebrojenia wszystkich operacji detalu,

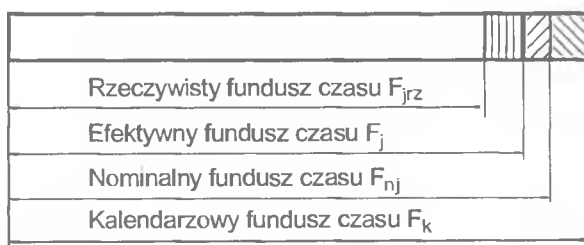
t_j – łączny czas wykonania wszystkich operacji detalu,

q – określenie jak wyżej.

Niestety zależność (3.15) posiada ten mankament, że wyliczanie średniej wielkości partii, z punktu widzenia organizacji produkcji, nie daje zadowalających wyników i należy ją dostosowywać (mimo wszystko intuicyjnie) do realnych warunków panujących w procesie produkcyjnym.

3.2.2. Parametry środka pracy (maszyny)

Jednym z najważniejszych i obiektywnych mierników w organizacji procesu produkcyjnego jest czas, który w przypadku maszyny determinuje okres jej użytkowania. Związane jest to z różnymi poziomami funduszu czasu pracy maszyny, jakie wystąpić mogą w odniesieniu do najbardziej charakterystycznego okresu planowania (1 roku) eksploatacji maszyny. Ilustruje je rys. 3.5.



Rys. 3.5. Podział funduszu czasu maszyny (opr. własne)

1. **Kalendarzowy fundusz czasu F_k** – jest to liczba godzin wynikająca z iloczynu liczby dni w roku i liczby godzin na dobę:

$$F_k = 24 \cdot K_d \quad , \quad (3.16)$$

gdzie: K_d – liczba dni w roku.

2. **Nominalny fundusz czasu maszyn F_{nj}** – jest to fundusz uwzględniający wolne dni od pracy w roku oraz zmienowość⁶:

$$F_{nj} = (K_d - N' - S_w - S_{wo}) \cdot 8 \cdot z_m \quad , \quad (3.17)$$

gdzie: N' – liczba niedziel w roku,

S_w – liczba świąt w roku (z wyłączeniem świąt przypadających w niedziele),

S_{wo} – liczba wolnych sobót w roku,

z_m – zmienowość.

⁶ Liczba zmian pracy maszyny (stanowiska roboczego) czyli tzw. **zmienowość** przyjmowana jest najczęściej dla dwuzmianowej pracy przedsiębiorstwa.

3. *Efektywny fundusz czasu maszyny* (stanowiska roboczego) F_f :

$$F_k = F_{nj} \cdot \eta_{pj} \quad (3.18)$$

gdzie: η_{pj} – planowany współczynnik uwzględniający przestoje maszyny (stanowiska roboczego), przyjmowany najczęściej w granicach 0,94 – 0,96.

4. *Rzeczywisty fundusz czasu maszyny* (stanowiska roboczego) F_{jrz} :

$$F_{jrz} = F_f \cdot \eta_{jrz} \quad (3.19)$$

gdzie: η_{jrz} – współczynnik wykorzystania efektywnego funduszu czasu (określany diagnostycznie po realizacji procesu produkcyjnego).

Zaprezentowane powyżej poziomy funduszu czasu pracy maszyny pokazują w ujęciu globalnym, jakie są możliwości wykorzystania czasu pracy maszyny w ciągu roku. Natomiast gdy skonkretyzujemy, przy użyciu pracochłonności jednostkowej określonych wyrobów (detali), warunki wytwarzania tych wyrobów, to przydział określonej operacji do określonej maszyny (stanowiska roboczego) w ujęciu czasowym oznacza tzw. stanowiskochłonność. *Stanowiskochłonność*⁷ jest to czas liczony w *stanowiskogodzinach* (w skrócie sg) i wyrażający okres zajęcia maszyny w celu wykonania określonej operacji. Przyjmując, że wszystkie czynności objęte czasem t_{pz} wymagają zajęcia maszyny (stanowiska roboczego) można obliczyć:

$$t_{zm} = \frac{t_{jrz}}{S} + t_1 \cdot \left[\frac{\text{sg}}{\text{operację}} \right] \quad (3.20)$$

gdzie: t_{zm} – czas zajęcia maszyny (stanowiskochłonność),

t_{pz} – czas przygotowawczo-zakończeniowy,

⁷ Właściwie powinno być *maszynochłonność*, gdyż parametr ten dotyczy maszyny. Obie nazwy traktować będziemy jako synonimy, przy czym częściej w literaturze przedmiotu, używa się zwyczajowo – stonowiskochłonność.

t_j – czas jednostkowy,

S – wielkość partii produkcyjnej.

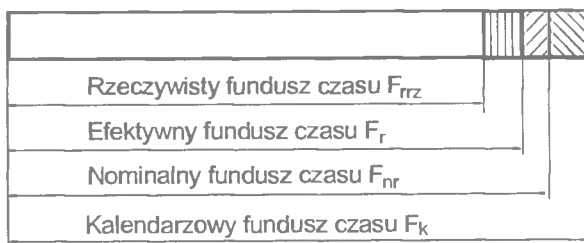
Stanowiskochłonność można określać nie tylko dla jednej operacji i jednej maszyny, lecz dla wyrobu i zbioru maszyn. Przykładowo dla detalu o k_{op} operacjach, czas zajęcia maszyn zaangażowanych do wykonania, tego detalu (T_d) wyniesie:

$$T_d = \sum_{k_{op}} \frac{t_{js}}{S} + t_j \cdot \left[\frac{\text{sg}}{\text{detal}} \right] \quad (3.21)$$

Analogicznie uzyskujemy stanowiskochłonność dla maszyn wytwarzających; zbiory detali, podzespoły, zespoły, wyroby finalne. Obliczenia te jednak są uproszczone i mogą służyć do orientacyjnego wstępnego obliczania potrzebnej liczby maszyn (stanowisk roboczych), niezbędnych w wykonaniu określonych zadań produkcyjnych (dla kolejnych stopni wyrobu finalnego).

3.2.3. Parametry pracy (robotnika)

Analogicznie do funduszu czasu maszyny możemy wyznaczyć określone poziomy w funduszu czasu pracy robotnika. Graficzną interpretację poszczególnych poziomów funduszu czasu robotnika przedstawiono na rys. 3.6.



Rys. 3.6. Podział funduszu czasu robotnika (opr. własne)

1. **Nominalny fundusz czasu robotnika F_{nr}** – jest to fundusz uwzględniający wolne dni od pracy:

gdzie: K_d – liczba dni w roku,

N^r – liczba niedziel w roku,

S_w – liczba świąt w roku (z wyłączeniem świąt przypadających w niedziele),

S_{wn} – liczba wolnych sobót w roku.

2. Efektywny fundusz czasu robotnika F_r :

$$F_r = F_{nr} \cdot \eta_{pr} \quad (3.23)$$

gdzie: η_{pr} – planowany współczynnik uwzględniający przestoje robotnika.

3. Rzeczywisty fundusz czasu robotnika F_{rz} :

$$F_{rz} = F_r \cdot \eta_{rz} \quad (3.24)$$

gdzie: η_{rz} – współczynnik wykorzystania efektywnego funduszu czasu robotnika (określany diagnostycznie po realizacji procesu produkcyjnego).

W organizacji procesu produkcyjnego kierujemy się zasadą najefektywniejszego wykorzystania, przystawionego powyżej, funduszu czasu pracy robotnika nie tylko w szerokim zakresie lecz również w aspekcie elementarnego połączenia „zadanie – maszyna – człowiek”. Dlatego bardzo często istnieje potrzeba oddzielenia czasu pracy ludzi od czasu pracy maszyny na stanowisku roboczym, kiedy czasy te nie pokrywają się ze sobą. Zadanie „niesione” przez przedmiot pracy (wyrób) dla maszyny nazywaliśmy stanowiskochłonnością, a dla robotnika pracochłonnością.

Pracochłonność wyraża, czas zajęcia robotnika przy wykonywaniu danej pracy (zadania) na wyrobie. Miarą pracochłonności są jednostki czasu od niesione do robotnika, który wykonuje określoną pracę w **roboczogodzinach** (w skrócie rg). Ustalenie pracochłonności danego zadania (operacji., detalu, podzespołu, zespołu, wyrobu lub dowolnej ich liczby) jest sprawą o wiele trudniejszą aniżeli w przypadku obliczania stanowiskochłonności. wynika to z faktu, iż czas pracy robotnika w wielu wypadkach nie pokrywa się z czasem zajęcia maszyny, a tego nie uwzględnia norma czasu, którą powszechnie się

posługujemy. Dlatego w organizacji procesu produkcyjnego na etapie obliczeń orientacyjnych (wstępnych) przede wszystkim oblicza się stanowiskochłonność na podstawie normatywów, a pracochłonność określa się stosując współczynnik przeliczeniowy – uwzględniający stopień niepokrywania się czasów zajęcia maszyny i robotnika – przy wykonywaniu tych samych prac (zadań). Przykładowo dla detalu, zależność stanowiskochłonności i pracochłonności jest równa:

$$T_d = k_w \cdot P_d \quad (3.25)$$

gdzie: T_d – stanowiskochłonność detalu,

P_d – pracochłonność detalu,

k_w – współczynnik wielowarsztatowości;

$k_w > 1$ dla obsługi wielostanowiskowej (wielowarsztatowej),

$k_w < 1$ dla obsługi brygadowej.

Praktycznie ostateczną wielkość pracochłonności i jej stosunek do stanowiskochłonności, można precyzyjnie określić po szczegółowym zaprojektowaniu (zorganizowaniu) przebiegu procesu produkcyjnego. Wtedy pracochłonność jest podstawą do obliczania liczby robotników niezbędnych przy wykonaniu złożonych zadań produkcyjnych.

Następnym parametrem bardzo ściśle związanym z czasem wytwarzania (pracochłonnością, czasem jednostkowym) jest **współczynnik wykonania normy**, który wyznaczamy z zależności:

$$\varphi_j = \frac{t_j}{t_{jk}} \quad (3.25)$$

gdzie: φ_j – współczynnik wykonania normy dla j-tej operacji,

t_j – czas jednostkowy j-tej operacji,

t_{jk} – korygowany czas jednostkowy j-tej operacji (dla projektowanego układu organizacyjnego lub rzeczywisty czas jednostkowy dla diagnozowanego układu organizacyjnego).

Współczynnik φ dotyczy wydajności pracy robotników określonych zawodów: tokarzy, frezerów itp. Jego wartość ustala się na podstawie badań empirycznych – w zrealizowanych procesach produkcyjnych – a następnie po statystycznej „obróbce” wyznacza się jego wielkość normatywną według stopnia napięcia norm np. średnie, średnioprogresywne, progresywne.

Parametry wejściowe przenoszą swoje charakterystyki na zbiory parametrów wyjściowych, którym nadają przez ścisłe współzależności obliczeniowe, określone skutki projektowe i realizacyjne.

3.3. Parametry wyjściowe

Stanowisko robocze, gdzie następuje ogniskowanie się podstawowych trzech czynników produkcji, powołane jest ze swej istoty do wykonywania zadań produkcyjnych, które nie powinny przekraczać możliwości wytwórczej tego stanowiska. W inżynierskim (fizycznym) ujęciu sprawności (η) procesu produkcyjnego na stanowisku roboczym można ogólnie zapisać:

$$\eta = \frac{\text{zadanie}}{\text{możliwości}} \leq 1. \quad (3.27)$$

Przewidziane zadanie dla stanowiska roboczego może pochodzić od jednej detalooperacji⁸ lub ich zbioru. Nastąpić może wtedy rozłożenie zadań (detalooperacji) na jeden typ stanowisk roboczych lub grupą różnych stanowisk roboczych, co bezpośrednio łączy się z „zaszufladkowaniem” zbioru powstających tu parametrów (zob. rys. 3.1b). Wyjściowe parametry proste – dotyczące jednej ij-tej detalooperacji oraz złożone dotyczące zbioru różnych detalooperacji omówimy zgodnie z przyjętą klasyfikacją (zob. ustęp 3.1).

3.3.1. Parametry wyjściowe proste

Do grupy tych parametrów zaliczamy:

- zadanie godzinowe,

⁸ *Detalooperacja* „ij” oznacza wykonywanie operacji technologicznej na detalu „i” przy użyciu obrabiarki „j”.

- możliwość godzinową,
- takt produkcji,
- współczynnik obciążania stanowiska roboczego określona detalooperacją,
- współczynnik obciążania robotnika określoną detalooperacją.

1. **Zadanie godzinowe** zwane często zadaniem produkcyjnym, jest to liczba wyrobów (detali) wynikająca z programu produkcyjnego wykonywanego w określonym okresie czasu oraz z odpowiedniego funduszu czasu stanowiska roboczego dla tego okresu czasu:

$$z_{gi} = \frac{N_i}{F_j}, \quad (3.28)$$

gdzie: z_{gi} – zadanie godzinowe i-tego detalu w szt/godz.,

N_i – program produkcyjny i-tego detalu w szt/rok,

F_j – fundusz czasu pracy j-tego stanowiska roboczego w godz./rok.

2. **Możliwość godzinowa** zwana także możliwością produkcyjną stanowiska roboczego, jest to liczba wyrobów (detali) jaką może wykonać stanowisko robocze w ciągu jednej godziny, wynikająca ze zdolności wytwórczych tego stanowiska przy wykonywaniu ij-tej detalooperacji:

$$m_{gij} = \frac{I}{t_{ijk}} = \frac{\varphi_j}{t_{ij}}, \quad (3.29)$$

gdzie: m_{gij} – możliwość godzinowa ij-tej detalooperacji w szt/godz.,

t_{ijk} – korygowana pracochłonność jednostkowa ij-tej detalooperacji w godz/szt.,

t_{ij} – pracochłonność jednostkowa (normatywna) ij-tej detalooperacji, w godz/szt.,

φ_j – planowany, korekcyjny współczynnik wykonania normy j-tego stanowiska roboczego.

3. *Takt produkcji* jest to wielkość czasu pomiędzy spływem dwóch kolejnych detali:

$$\tau_j = \frac{F_j}{N_i} , \quad (3.30)$$

gdzie: τ_j – takt produkcji w godz/szt.,

F_j, N_i – określenia jak wyżej.

4. *Współczynnik obciążenia stanowiska roboczego detalooperacją* wyraża stopień zajęcia stanowiska roboczego przy wykonywaniu określonej detalooperacji:

$$\eta_{ij} = \frac{z_{gi}}{m_{gij}} = \frac{N_i \cdot t_{ij}}{F_j \cdot \varphi_j} , \quad (3.31)$$

gdzie: η_{ij} – współczynnik obciążenia, j-tego stanowiska roboczego określoną detalooperacją „ij”,

$z_{gi}, m_{gij}, N_i, t_{ij}, F_j, \varphi_j$ – określenia jak wyżej.

5. *Współczynnik obciążenia robotnika detalooperacją* określa stopień zajęcia robotnika przy wykonywaniu określonej detalooperacji

$$\eta_{rij} = \eta_{ij} , \quad (3.32)$$

gdzie: η_{rij} – współczynnik obciążenia r-tego robotnika określoną detalooperacją,

η_{ij} – określenie jak wyżej.

3.3.2. Parametry wyjściowe złożone

Parametry te dotyczą sytuacji, w której kilka ij-tych detalooperacji obciąża pracą stanowisko robocze lub grupę różnorodnych stanowisk roboczych. W ich skład wchodzi następujące parametry:

- sumaryczny współczynnik obciążenia stanowiska roboczego,
- rezerwy stanowiska roboczego,
- sumaryczny współczynnik obciążenia robotnika,
- rezerwy w pracy robotnika,
- liczba stanowisk roboczych,
- liczba robotników,
- średni współczynnik obciążenia, stanowisk roboczych,
- średni współczynnik obciążenia robotników.

1. *Sumaryczny współczynnik obciążenia stanowiska roboczego* grupuje częściowe obciążenie od ij -tych detalooperacji:

$$\eta_j = \sum_{i=1}^{i_d} \eta_{ij} \leq I, \quad (3.33)$$

gdzie: η_j – sumaryczny współczynnik obciążenia j -tego stanowiska roboczego,
 i_d – liczba i -tych detali,
 η_{ij} – współczynnik obciążenia j -tego stanowiska roboczego ij -tą detalooperacją.

2. *Rezerwy stanowiska roboczego* oznaczają stopień niedociążenia stanowiska roboczego:

$$\mu_j = I - \sum_{i=1}^{i_d} \eta_{ij} = I - \eta_j, \quad (3.34)$$

gdzie: μ_j – rezerwy j -tego stanowiska roboczego,
 η_j , i_d , η_{ij} – określenia jak wyżej.

3. *Sumaryczny współczynnik obciążenia robotnika* grupuje częściowe obciążenia od ij -tych detalooperacji:

$$\eta_r = \sum_{i=1}^{i_d} \eta_{ri} = \sum_{i=1}^{i_d} \eta_{ij} \leq I, \quad (3.35)$$

gdzie: η_r – sumaryczny współczynnik obciążenia r-tego robotnika,
 η_{rij} – współczynnik obciążenia r-tego robotnika ij-tą detalooperacją,
 i_d, η_{ij} – określenia jak wyżej.

4. **Rezerwy w pracy robotnika** oznaczają stopień niedociążania pracą robotnika:

$$\mu_r = 1 - \eta_r, \quad (3.36)$$

gdzie: μ_r – rezerwy w pracy r-tego robotnika,

η_r – określenie jak wyżej.

5. **Liczba stanowisk roboczych** (maszyn) – L_m [szt] dobierana jest z warunku (3.33) oraz optymalizacji kojarzenia określonych detalooperacji na poszczególnych stanowiskach roboczych.

6. **Liczba robotników** (bezpośrednio produkcyjnych) L_r [szt] dobierana jest na podstawie liczby stanowisk roboczych, możliwości stosowania obsługi wielowarsztatowej, harmonogramu obciążenia stanowisk roboczych oraz warunków techniczno-organizacyjnych.

7. **Średni współczynnik obciążenia stanowisk roboczych** – η_{jsr} oznacza uśrednioną wielkość obciążenia stanowisk roboczych w KP^n :

$$\eta_{jsr} = \frac{\sum_{j=1}^{L_m} \eta_j}{L_m} \quad (3.37)$$

8. **Średni współczynnik obciążenia robotników** – η_{rsr} oznacza uśrednioną wielkość obciążenia pracą robotników bezpośrednio produkcyjnych w komórce produkcyjnej:

$$\eta_{rsr} = \frac{\sum_{r=1}^{L_r} \eta_r}{L_r} \quad (3.38)$$

W zbiorze parametrów wyjściowych prostych i złożonych znajdują się parametry mające charakter współczynników syntetycznych, które występują w zależności od stopnia komórek produkcyjnych (tabela 3.2).

Tabela 3.2.

Komórka produkcyjna	Parametry wyjściowe	
	proste	złożone
KP ^o	$\eta_{ij}; \eta_{rj}$	$\eta_j; \mu_j$ $\eta_r; \mu_r$
KP ⁿ	gdy $\eta_{ij} > 1$ to wystąpi tzw. wielostrumieniowość ⁹	$\eta_{jsr}; \mu_{rsr}$

Syntetyczne współczynniki tworzą zespół parametrów, przy pomocy których łatwo i szybko można ocenić stopień wykorzystania stanowisk roboczych i robotników jak również stopień zorganizowania przebiegu procesu produkcyjnego w komórkach produkcyjnych.

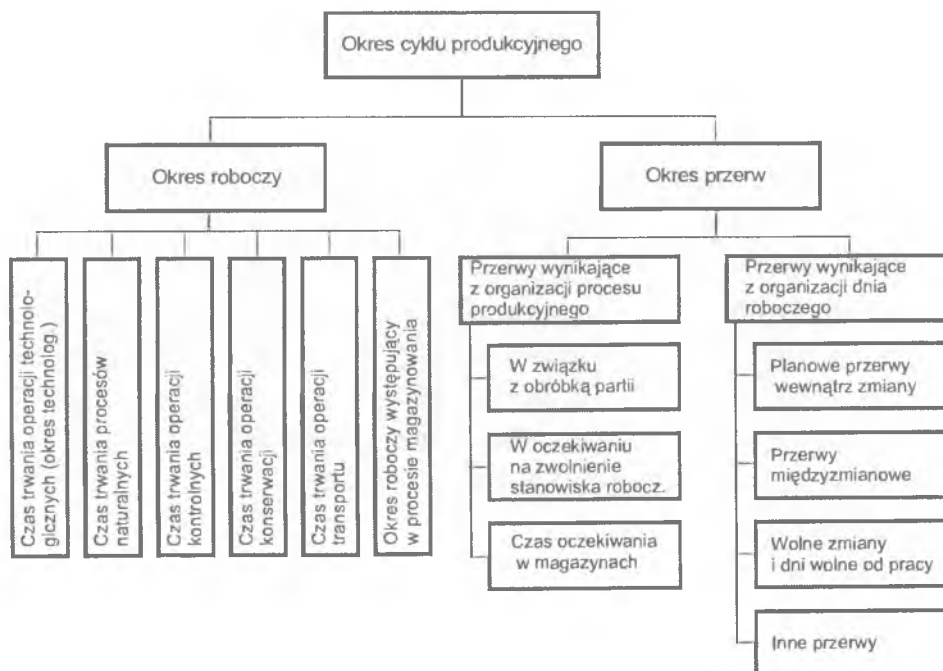
3.3.3. Parametry wyjściowe rodzajowe

3.3.3.1. Cykl produkcyjny

Cykl produkcyjny jest jednym z najistotniejszych parametrów produkcyjno-organizacyjnych charakteryzujących czasową strukturę procesu produkcyjnego. Jest to okres niezbędny do wykonania określonego zadania produkcyjnego w danych warunkach techniczno-ekonomicznych i przy normalnym toku produkcji oraz przy określonym poziomie organizacji procesu produkcyjnego. Ponieważ zadaniem jest najczęściej wytworzenie wyrobu lub grupy jednorodnych (partii, serii) wyrobów prostych lub złożonych, to pojęcie cyklu produkcyjnego odnoszone jest do wyrobu ujętego w czasie kalendarzowym.

⁹ *Wielostrumieniowy* sposób pracy jest to wykonywanie tej samej detalooperacji na takich samych (kilku) obrabiarkach jednocześnie – równolegle.

Cykl produkcyjny jest to okres pomiędzy rozpoczęciem a zakończeniem procesu produkcyjnego wyrobu, w którym surowiec lub materiał wyjściowy, przechodząc kolejne fazy wytwarzania, przekształcany jest w gotowy wyrób. Schemat struktury cyklu produkcyjnego ilustruje rys. 3.7.



Rys. 3.7. Schemat struktury cyklu produkcyjnego [41]

W cyklu produkcyjnym można wyróżnić dwa podstawowe okresy:

1) roboczy, w którego skład wchodzi:

- a) okres trwania operacji technologicznych (okres technologiczny),
- b) okres operacji pozatechnologicznych:
 - kontroli,
 - naturalnych,
 - transportowych,
 - konserwacji,
 - magazynowania.

2) przerw, które wynikają z:

- a) oczekiwania na zwolnienie stanowiska roboczego,
- b) oczekiwania na kompletowanie detali, zespołów itp.,
- c) przyczyn organizacyjnych, takich jak nieprzewidziany brak dokumentacji, surowca, narzędzi, energii itp.,
- d) organizacji dnia roboczego tj. dni wolnych od pracy, zmianowości, przerw międzymianowych itp.

W strukturze cyklu produkcyjnego stosunkowo duży udział ma czas przerw, niemniej ze względów organizacji procesu produkcyjnego wyrobu, istotnym zagadnieniem jest właściwe usytuowanie w czasie, cząstkowych zadań w okresie trwania operacji technologicznych. Organizacja przepływu procesu produkcyjnego ma istotne znaczenie w przemyśle elektromaszynowym ze względu na dużą złożoność wyrobów oraz wytwarzanie ich w dużych seriach (partiach) produkcyjnych. Wybór formy ruchu (przekazywania) wyrobów ze stanowiska na stanowiska robocze, w trakcie trwania operacji technologicznych (faz technologicznych) może dotyczyć następujących układów:

- szeregowego (kolejnego),
- szeregowo-równoległego (kombinowanego),
- równoległego.

1. Szeregowy przebieg wykonania partii detali.

Szeregowy ruch partii od operacji do operacji lub stanowiska na stanowisko polega na tym, że obrobione detale przekazywane są do następnej operacji po wykonaniu operacji poprzedniej na wszystkich S sztukach partii. Układ taki, przy założeniu, że każda operacja wykonywana jest tylko na jednym stanowisku roboczym, przedstawia rys. 3.8.

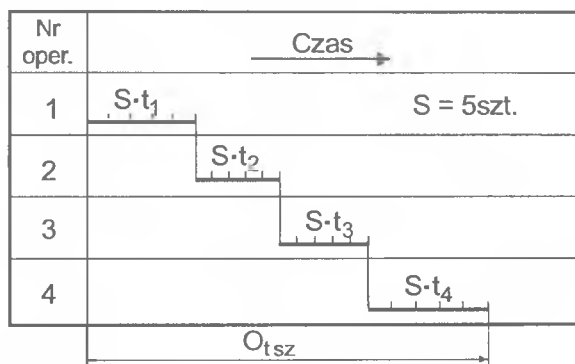
Okres technologiczny O_{isz} partii detali stanowi sumę czasów trwania wszystkich, kolejnych n operacji technologicznych:

$$O_{isz} = S \cdot \sum_{j=1}^n t_j, \quad (3.39)$$

gdzie: S – wielkość partii produkcyjnej,

t_j – czas jednostkowy j -tej operacji,

n – kolejny numer operacji w procesie technologicznym detalu.



Rys. 3.8. Schemat przebiegu partii detali w układzie szeregowym [41]

W sytuacji bardziej złożonej, gdy na jednym stanowisku roboczym obrabia się jednocześnie kilka egzemplarzy detali lub gdy jednocześnie tę operację wykonuje się na kilku stanowiskach roboczych, powyższy wzór przybiera postać:

$$O_{tsz}^m = S \cdot \sum_{j=1}^n \frac{t_j}{d_j \cdot L_{mj}}, \quad (3.40)$$

gdzie: O_{tsz}^m – okres technologiczny dla układu szeregowego z wykorzystaniem stanowisk wielostrumieniowych,

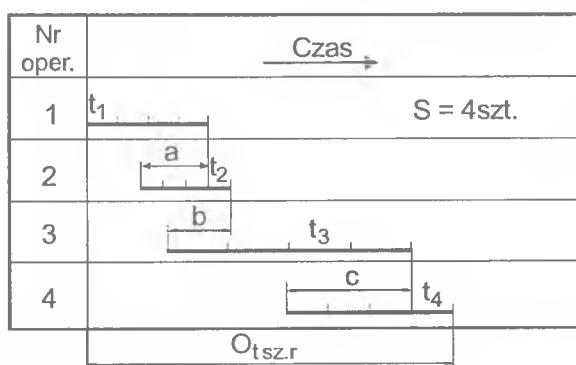
d_j – liczba detali obrabianych równocześnie na jednym stanowisku roboczym dla j -tej operacji,

L_{mj} – liczba stanowisk roboczych zajętych równocześnie wykonaniem j -tej operacji.

3. *Szeregowo-równoległy* przebieg wykonania partii detali.

Szeregowo-równoległy ruch partii od operacji do operacji lub ze stanowiska

na stanowisko polega na tym, że obrobione detale przekazywane są do następnej operacji wcześniej niż zakończona jest operacja na wszystkich S sztukach partii. Wtedy detale przekazywane są sukcesywnie, celowo wyodrębnionymi częściami partii produkcyjnej tzw. partiami transportowymi, w celu utrzymania możliwie największej ciągłości obróbki na poszczególnych stanowiskach roboczych. Szeregowo-równoległy przebieg obróbki partii detali, w porównaniu z przebiegiem szeregowym, zapewnia skrócenie okresu technologicznego cyklu produkcyjnego o sumę pokrywających się „zakładek” czasu a , b , c (rys. 3.9).



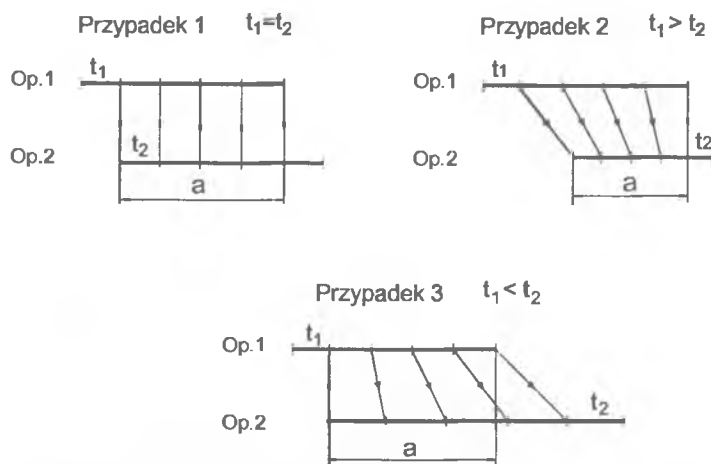
Rys. 3.9. Schemat przebiegu partii detali w układzie szeregowo-równoległym [41]

Porównując kolejne operacje poprzedzającą i następującą, można określić trzy przypadki (rys. 3.10), dla których okresy technologiczne ($O_{tsz,r}$) wyniosą:

$$1^o \quad O_{tsz,r} = S \sum_{j=1}^2 t_j - (S-1) \cdot t_2 \quad (3.41)$$

$$2^o \quad O_{tsz,r} = S \sum_{j=1}^2 t_j - (S-1) \cdot t_2 \quad (3.42)$$

$$3^o \quad O_{tsz,r} = S \sum_{j=1}^2 t_j - (S-1) \cdot t_1 \quad (3.43)$$



Rys. 3.10. Różne przypadki czasów wykonania następujących po sobie operacji [41]

W powyższych zależnościach wyraźnie widać, iż wielkość zakładki „a” stanowi $(n - 1)$ czasu operacji mniejszej, występującej w każdej kolejnej parze operacji. Wobec tego można zapisać ogólny wzór w postaci:

$$O_{isz,r} = S \sum_{j=1}^n t_j - (S - 1) \sum_{j=1}^{n-1} t_{mn/j; j-1/1}, \quad (3.44)$$

gdzie: $O_{isz,r}$ – okres technologiczny dla układu szeregowo-równoległego,

S, t_j, n – określenia jak wyżej,

$t_{mn/j; j-1/1}$ – czas operacji mniej sięj w każdej, kolejnej parze porównywalnych operacji.

Jeśli uwzględnimy przekazywanie detali partii produkcyjnej w partiach (pakietach) transportowych, to powyższy wzór przyjmie postać:

$$O_{isz,r} = S \sum_{j=1}^n t_j - (S - p_t) \sum_{j=1}^{n-1} t_{mn/j; j-1/1}, \quad (3.45)$$

gdzie: p_t – wielkość partii transportowej.

W sytuacji gdy wykonuje się jednocześnie kilka detali na jednym stanowisku roboczym lub jedną operacją jednocześnie na kilku stanowiskach wielostrumieniowych, to zależności (3.44) i (3.45) zapiszemy:

$$O_{\text{sz},r}^m = S \sum_{j=1}^n \frac{t_j}{d_j \cdot L_{mj}} - (S-1) \sum_{j=1}^{n-1} \left(\frac{t_j}{d_j - L_{mj}} \right)_{mn / j; j-1 /} , \quad (3.46)$$

$$O_{\text{sz},r}^m = S \sum_{j=1}^n \frac{t_j}{d_j \cdot L_{mj}} - (S-p_1) \sum_{j=1}^{n-1} \left(\frac{t_j}{d_j \cdot L_{mj}} \right)_{mn / j; j-1 /} , \quad (3.47)$$

gdzie: $O_{\text{sz},r}^m$ – okres technologiczny dla układu szeregowo-równoległego z wykorzystaniem stanowisk wielostrumieniowych,

d_j – liczba detali obrabianych równocześnie na jednym stanowisku roboczym dla j-tej operacji,

L_{mj} – liczba stanowisk roboczych zajętych równocześnie wykonaniem j-tej operacji.

3. Równoległy przebieg wykonania partii detali

Równoległy ruch partii oznacza, iż poszczególne detale przechodzą na następną operację natychmiast po wykonaniu operacji poprzedniej, co stwarza sytuację, w której jedna partia jest w jednoczesnej, równoległej obróbce w różnych operacjach dna kilku stanowiskach roboczych). Graficzną ilustracją tego jest rys. 3.11.

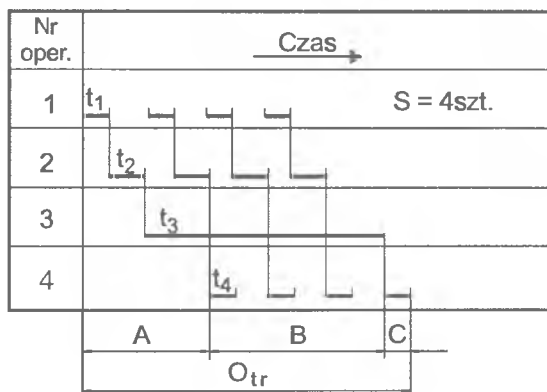
Analizując rysunek otrzymujemy:

$$O_{ir} = A + B + C , \quad (3.48)$$

$$A + C = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 = \sum_{j=1}^4 t_j , \quad (3.49)$$

a dla najdłuższej operacji t_3 :

$$B = (S-1) \cdot t_3 . \quad (3.50)$$



Rys. 3.11. Schemat przebiegu partii detali w układzie równoległym [41]

Uogólniając wzór na obliczenie okresu technologicznego dla układu równoległego otrzymujemy:

$$O_{tr} = \sum_{j=1}^n t_j + (S - 1) t_{\max.j} , \quad (3.51)$$

gdzie: $t_{\max.j}$ – czas najdłuższej operacji,

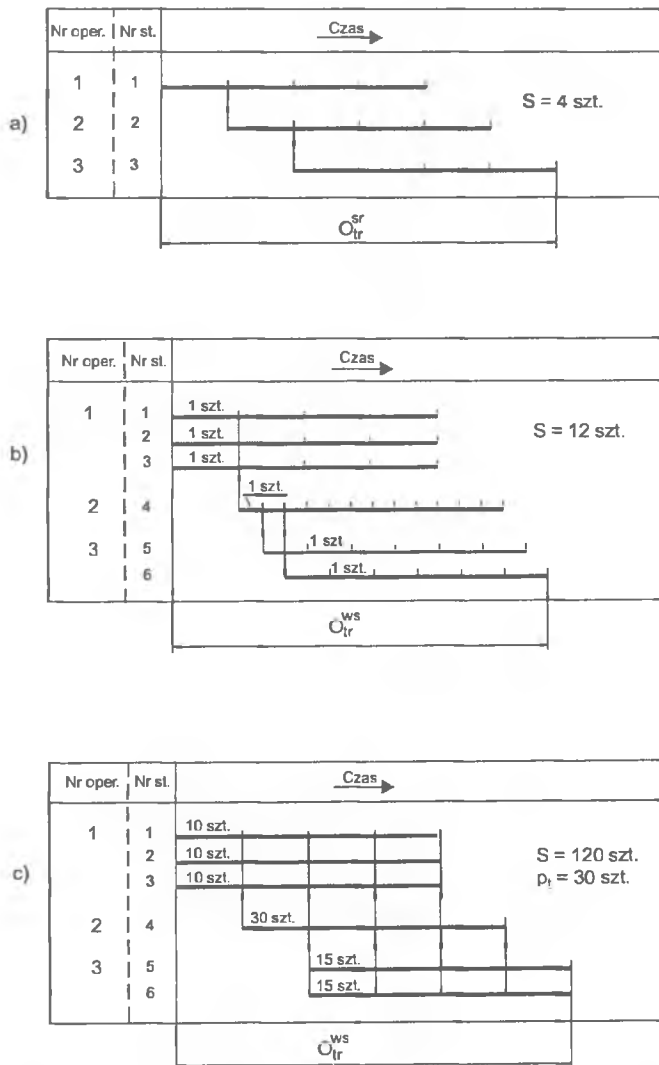
S, t_j, n – określenia jak powyżej.

W sytuacji gdy detale będą przekazywane ze stanowiska na stanowisko partiami transportowymi po p_i sztuk, to w takim przypadku będzie miał miejsce równoległy przebieg wykonania poszczególnych partii transportowych, zaś szeregowy przebieg detali w ramach partii transportowej. Wtedy wzór (3.51) ma postać:

$$O_{tr} = p_i \sum_{j=1}^n t_j + (S - p_i) \cdot t_{\max.j} . \quad (3.52)$$

Powyższe zależności obowiązują przy braku synchroniczności operacji tzn. w przypadku gdy czasy poszczególnych operacji nie są sobie równe, ani też nie są krotne. Jak łatwo zauważyć na rys. 3.11, występują wtedy przerwy w pracy stanowisk roboczych wykonujących operacje mniejsze od $t_{\max.j}$. Można jednak to wyeliminować przez synchronizację (nie zawsze możliwą do wprowadzenia)

czasów operacji, którą dla równoległego układu przebiegu partii detali przedstawiono na rys. 3.12.



Rys. 3.12. Schematy równoległego przebiegu partii detali o zsynchronizowanych operacjach (opr. własne): a) równe czasy operacji, b) układ wielostrumieniowy z przekazywaniem po jednej sztuce, c) układ wielostrumieniowy z przekazywaniem w partiach transportowych

W pierwszym przypadku synchronizacji operacji (rys. 3.12a.) to jest gdy czasy operacji są sobie równe, a przekazywanie detali odbywa się po jednej sztuce otrzymujemy wzór:

$$O_{rr}^{sr} = \sum_{j=1}^n t_j + (S-1) \cdot t_j, \quad (3.53)$$

gdzie: O_{rr}^{sr} – okres technologiczny dla układu równoległego z synchronizacją czasów poprzez ich równość,

t_j, n, S – określenia jak wyżej.

Drugą możliwością synchronizacji czasów operacji jest dążenie do uzyskania krotności czasów operacji (mają się one do siebie jak liczby całkowite). Literatura przedmiotu (zob. [14], [41]) wspomina dla takich przypadków o układzie równoległym z tzw. wielostrumieniowością, lecz nie precyzuje warunków, w których można ten układ stosować. Spróbujmy to zrobić analizując sytuację z rys. 3.12b i 3.12c.

W pierwszym wariancie układu równoległego z wielostrumieniowością (rys. 3.12b) przekazywanie detali partii produkcyjnej o $S = 12$ szt., odbywa się sztuka po sztuce. Czasy operacji dla przykładu kolejno wynoszą: 3 min, 1 min, 2 min. Liczba potrzebnych stanowisk roboczych będzie równa:

$$L_{mj} = \frac{t_j}{t_{jmin}}, \quad (3.54)$$

gdzie: t_j – czas jednostkowy j-tej operacji,

t_{jmin} – czas jednostkowy najkrótszej operacji (najbardziej wydajnej).

Obliczając otrzymamy:

$$L_{m1} = \frac{3}{1} = 3, \quad L_{m2} = \frac{1}{1} = 1, \quad L_{m3} = \frac{2}{1} = 2.$$

Niestety w układzie tym zauważamy, że stanowiska z operacji 3 nie pracują w sposób, w pełni równoległy ze względu na oczekiwanie stanowiska 6 na spłynięcie obrobionego detalu ze stanowiska 4. Sytuacje te wystąpią zawsze przy przekazywaniu partii sztuka po sztuce, bez względu na wielkość S , tj. kolejność następstwa operacji, a więc nie spełnia ten układ założeń wielostrumieniowości i równoległości.

W drugim wariancie układu równoległego z wielostrumieniowością (rys. 3.12c) zakładamy przekazywanie partii produkcyjnej o $S = 120$ szt., w partiach transportowych $p_i = 30$ szt. Założmy także, iż czasy kolejnych operacji wynoszą: 12 min, 4 min, 8 min. Liczba niezbędnych stanowisk roboczych, wyliczona przy użyciu zależności (3.54), wyniesie:

$$L_{m1} = \frac{12}{4} = 3, \quad L_{m2} = \frac{4}{4} = 1, \quad L_{m3} = \frac{8}{4} = 2.$$

Uogólniając nakreśloną sytuację można zaproponować wzór na obliczanie okresu technologicznego dla układu równoległego z wielostrumieniowością:

$$O_{tr}^{ws} = t_{jmin} \cdot S + t_{jmin} \cdot p_i (n-1), \quad (3.55)$$

gdzie: O_{tr}^{ws} – okres technologiczny dla układu równoległego z wielostrumieniowością,

S – wielkość partii produkcyjnej,

t_{jmin} – czas jednostkowy najkrótszej operacji,

p_i – licznosc pakietu transportowego,

n – liczba j -tych operacji.

Na rysunku 3.12c widzimy, iż pakiet transportowy musi być dzielony dodatkowo na mniejsze jednostki (dla op. 1 – po 10 szt., op. 3 – po 15 szt.). Jest to kłopotliwe ze względu na trudności przeliczeniowe i błędne ze względów organizacji przebiegu i sterowania produkcją. Również nie jest sprawą łatwą uzyskanie warunków wyjściowych tj. aby wielkości czasów jednostkowych tworzyły liczby (nie tylko całkowite) o wspólnej wielokrotności oraz licznosc partii i pakietów transportowych były także wielkościami o wspólnej wielokrotności.

Takie sytuacje w rzeczywistych procesach produkcyjnych mogą wystąpić bardzo rzadko i dlatego rozpatrywany układ ma przede wszystkim wydźwięk teoretyczny.

Analizując zaprezentowane formy przebiegu wykonywania partii detali łatwo zauważyć, że każdy z układów posiada pewne wady i zalety.

I tak **układ szeregowy** charakteryzuje się:

- najdłuższym okresem technologicznym,
- najmniejszą liczbą operacji transportowych,
- dużym stopniem wykorzystania stanowisk roboczych i ciągłości produkcji.

Jest on organizacyjnie najłatwiejszy do zrealizowania i stosowany przede wszystkim przy:

- krótkich czasach trwania operacji,
- małej liczbie operacji,
- małej wielkości partii produkcyjnej,
- niższym stopniu zorganizowania procesu produkcyjnego (technologiczna specjalizacja komórek produkcyjnych).

Układ szeregowo–równoległy cechuje:

- skrócenie długości okresu technologicznego (w porównaniu z układem szeregowym),
- zwiększona częstotliwość operacji transportowych,
- duży stopień wykorzystania stanowisk roboczych i ciągłość produkcji.

Stosowany jest najczęściej w produkcji seryjnej przy:

- dużych programach produkcyjnych,
- długich czasach obróbki i bardzo zróżnicowanych (asynchroniczne procesy produkcyjne).

Równoległy układ przebiegu partii wykonania detali powoduje:

- skrócenie długości okresu technologicznego,
- zwiększenie liczby operacji transportowych,
- zwiększenie liczby przebrojeń.

Jest on stosowany w najlepiej zorganizowanych procesach produkcyjnych (choć nie zawsze), w których mamy możliwości zsynchronizowania zadań cząstkowych.

Przy wyborze któregoś z trzech przedstawionych układów¹⁰ należy uwzględnić realia przemysłowych procesów produkcyjnych jak również stopień wykorzystania siły roboczej i środków pracy, zamrożenia środków obrotowych, stopnia złożoności wytwarzanych wyrobów, rozmiarów i pracochłonności produkcji. Wynika to z istoty podziału i złożoności procesów produkcyjnych, w których mimo wszystko należy dążyć do wyboru najracjonalniejszych form koordynacji przebiegu produkcji. W praktyce zwykle produkuje się wiele wyrobów równocześnie, co ma wpływ na wyznaczanie długości okresów technologicznych związanych np. z kolejnością wykonywania operacji na stanowiskach, kolejnością uruchamiania produkcji partii różnych wyrobów i in. Zagadnienia te, w złożonych już układach, omówione będą w drugiej części skryptu, przy optymalizacji projektowania harmonogramów pracy maszyn i urządzeń.

Jednak okres technologiczny jest tylko jedną ze składowych w strukturze całego cyklu produkcyjnego. Wielkość cyklu produkcyjnego można określić następującą zależnością:

$$C_p = O_t + T_k + T_t + T_m + T_{os} + T_{om} + T_{od} \quad , \quad (3.56)$$

gdzie: C_p – cykl produkcyjny,

O_t – okres technologiczny cyklu produkcyjnego,

T_k – łączny czas trwania operacji kontrolnych,

T_t – łączny czas trwania operacji transportowych,

T_m – okres roboczy występujący w procesie magazynowania,

T_{os} – łączny czas oczekiwania międzyoperacyjnego partii detali na zwolnienie stanowiska roboczego,

T_{om} – łączny czas oczekiwania w magazynach kompletacyjnych, międzywydziałowych itp.,

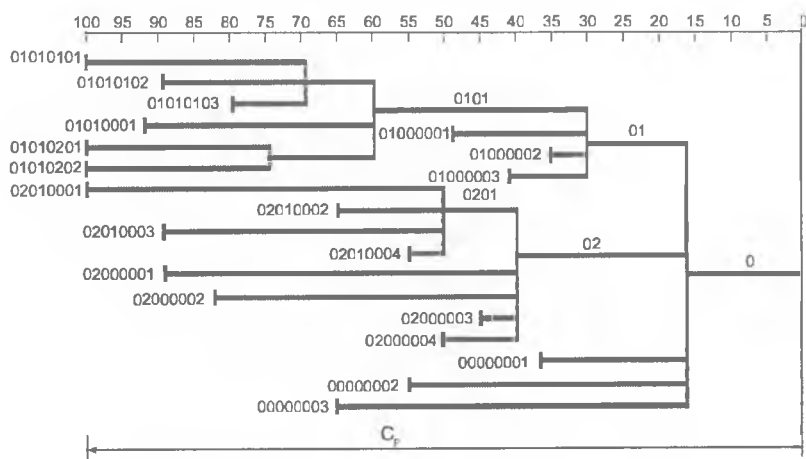
T_{od} – okres przerw wynikających z organizacji dnia roboczego.

Ustalenie czasu trwania poszczególnych członów powyższej zależności zarówno dla wyrobu prostego (detalu) oraz wyrobów złożonych następcza wiele

¹⁰ Ciekawe propozycje rozwijające omawiane układy przedstawiono w pracy [26].

trudności. Do ich skwantyfikowania służą metody tradycyjne; graficzna, analityczna i grafoanalityczna oraz nowoczesna – metoda symulacji komputerowej.

Najdokładniejszą z trzech pierwszych jest **metoda graficzna**, która pozwala na uwzględnienie wszystkich elementów czasu cyklu. Stosowana jest najczęściej dla wyrobów złożonych, gdzie zadaniem organizacji przebiegu procesu produkcyjnego jest usytuowanie poszczególnych elementów wyrobu złożonego w czasie, by uzyskać najkrótszy cykl produkcyjny. Budowanie metodą graficzną, przebiegu cyklu produkcyjnego, opiera się na schemacie struktury wyrobu, złożoności wyrobu oraz strukturze procesu produkcyjnego wyrobu. Odbywa się ono w odwrotnej kolejności do przebiegu procesu produkcji. Moment zakończenia produkcji traktuje się jako moment zerowy i od niego liczy się wstecz czas trwania produkcji, który wyznacza najdłuższy czas wykonania limitującego detalu lub podzespołu. Schemat takiego cyklogramu dla wyrobu złożonego (rys. 2.2) przedstawia rys. 3.13. Cyklogramy mają ogromne zastosowanie w przemyśle elektromaszynowym dla produkcji o małych i średnich programach produkcyjnych.



Rys. 3.13. Cyklogram wyrobu złożonego [36]

Metoda analityczna jest mniej dokładna niż metoda graficzna, ponieważ operuje częściowo wielkościami przybliżonymi, uzyskiwanymi na podstawie

badań statycznych. Literatura przedmiotu prezentuje (zob. np. [41]) wzory wskaźnikowe bazujące na zależności (3.56), które z założenia dają wyniki orientacyjne i przybliżone. Stosuje się je w ograniczonym zakresie w sytuacjach gdy występuje potrzeba szybkiego (i niezbyt dokładnego) wyliczenia długo-trwałości cyklu produkcyjnego wyrobu w założeniach ofertowych.

Metody grafoanalityczne stosowane w określaniu cyklu produkcyjnego, charakteryzują się dużą przydatnością w sterowaniu przebiegiem bardzo złożonych procesów o długim czasie trwania, których elementy składowe mogą być ustalone normatywnie lub szacunkowo. Do najważniejszych metod grafoanalitycznych można zaliczyć: CPM (*Critical Path Method*), CPA (*Critical Path Analysis*), LESS (*Least Cost Estimating and Scheduling*), PERT, PERT/COST, RAMPS (*Resources Allocation and Multi-Project Scheduling*). Wymienione metody mają zastosowanie przede wszystkim w procesach produkcyjnych o nie-dużej powtarzalności tych procesów i przy niewielkich programach produkcyjnych wyrobów.

Metody symulacji komputerowej mają zastosowanie w nowoczesnych usługowych firmach projektowych lub przodujących przedsiębiorstwach o bardzo dobrym potencjale sprzętu komputerowego oraz zatrudniających wysokiej klasy specjalistów od modelowania i posługiwania się językami symulacji. Do podstawowych zalet tych metod należy zaliczyć zarówno możliwości badania np. skomplikowanych przebiegów procesu produkcyjnego (cykli produkcyjnych), jak i możliwości unikania czasochłonnej obserwacji ich rzeczywistych przebiegów. Metody te umożliwiają naśladownictwo, przy użyciu odpowiednich modeli, zjawisk przy nowo projektowanych przebiegach, procesów produkcyjnych jak i będących w eksploatacji systemów produkcyjnych. Oczywiście badanie i określanie w naszym przypadku cyklu produkcyjnego, jest najczęściej jednym z elementów kompleksowego ujęcia – przy użyciu symulacji komputerowej – wszystkich czynników produkcyjnych w modelu procesu produkcyjnego.

Istotnym czynnikiem efektywności procesu produkcyjnego jest stosunek okresu roboczego do okresu przerw, ponieważ jego wielkość wpływa na optymalne wykorzystanie stanowisk roboczych i ekonomikę działalności przedsiębiorstwa. Niestety w warunkach naszego przemysłu przestoje stanowią czę-

sto 80 – 90 % w całym cyklu produkcyjnym wyrobu. Również długi cykl produkcyjny ujemnie wpływa na jego przystosowywanie do zmieniających się warunków rynkowych, co osłabia konkurencyjną siłę przedsiębiorstwa oraz może powodować ekonomiczne zużycie produkcji nie zakończonej. Z tych właśnie powodów nieodzowne jest skracanie cyklu produkcyjnego realizowane najczęściej w dwóch kierunkach:

- 1) skracanie okresu roboczego cyklu, poprzez usprawnienia w dziedzinie techniki i technologii,
- 2) skracanie (likwidowanie) okresu przerw cyklu, poprzez zmiany w organizacji produkcji i pracy.

W pierwszym podejściu (skracania okresu roboczego cyklu produkcyjnego) dążymy do uzyskania efektów poprzez:

- racjonalny podział pracy, uwzględniający dążenie do koncentracji operacji technologicznych,
- zwiększenie stopnia ciągłości przebiegu produkcji drogą podwyższania poziomu specjalizacji produkcji,
- stosowanie wielostrumieniowości, automatyzację produkcji,
- obniżenie pracochłonności i automatyzację czynności obsługowych i manipulacyjnych itp.

Skracanie natomiast okresu przerw cyklu produkcyjnego odbywa się generalnie rzecz biorąc przez racjonalizowanie przebiegu procesów produkcyjnych, w sferze projektowania organizatorskiego, jak i w bieżącym sterowaniu produkcją. Każda działalność organizatora produkcji winna przyczyniać się do skracania lub nawet eliminowania wszelkiego rodzaju przerw, co w skumulowanym efekcie daje skracanie okresu przerw cyklu produkcyjnego. W przypadku produkcji jednostkowej i małoseryjnej, gdzie udział okresu przerw do długości cyklu produkcyjnego dochodzi nawet do 80 %, dążymy do ujawniania rezerw we wszystkich czynnikach produkcji. Ogniskują się więc tutaj wszelkie problemy organizacji produkcji, trudne do jednolitego skwantyfikowania, gdyż wzajemnie się one warunkują i najczęściej są widoczne tylko we wspólnym oddziaływaniu na długość cyklu produkcyjnego.

3.3.3.2. Zapasy produkcji w toku

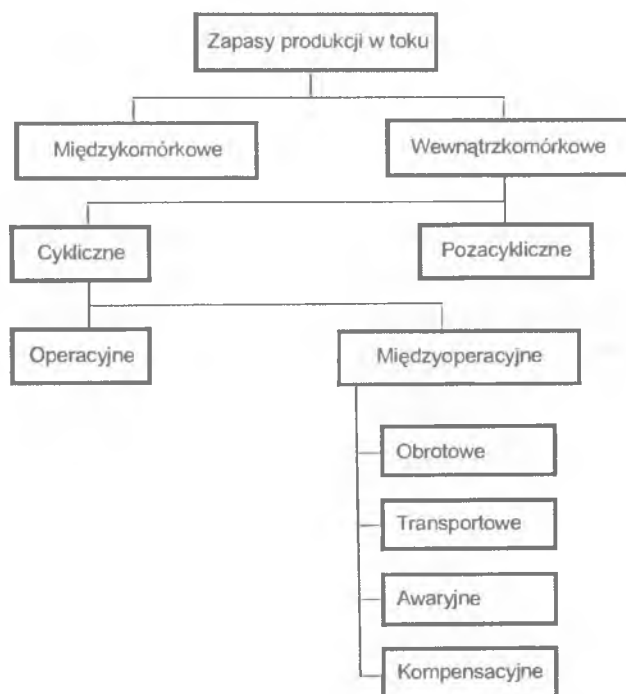
Zapasy produkcji są to materiały, detale, zespoły lub wyroby gotowe, które znajdują się w kolejnych stopniach (stadiach) zaawansowania procesu produkcyjnego. I tak można wyróżnić zasadnicze stadia odpowiadające różnego rodzaju zapasom:

- sfera przedprodukcyjna (zaopatrzenia); obejmuje tzw. zapasy materiałowe zawierające surowce, półwyroby i elementy, normalnie nabywane w handlu,
- sfera produkcji; obejmuje tzw. zapasy produkcji w toku, czyli w trakcie realizacji cyklu produkcyjnego,
- sfera poprodukcyjna (zbytu); obejmująca tzw. zapasy wyrobów gotowych (finalnych) jak również części zamiennych.

Zapasy produkcji, w każdej sytuacji, są niezbędne do utrzymania ciągłości i równomierności przebiegu procesów produkcyjnych. Wielkość ich powinna być na takim poziomie aby nie były zbyt małe, gdyż wtedy występuje niebezpieczeństwo wszelkiego rodzaju zaburzeń i zahamowań w procesie produkcyjnym, również nie mogą być zbyt duże ponieważ rosną wtedy koszty zamrożenia środków obrotowych i składowania.

Z uwagi na to, iż sfera przedprodukcyjna i poprodukcyjna jest poza obszarem tematyki niniejszego skryptu, w szczegółowy sposób zajmiemy się zapasami produkcji w toku.

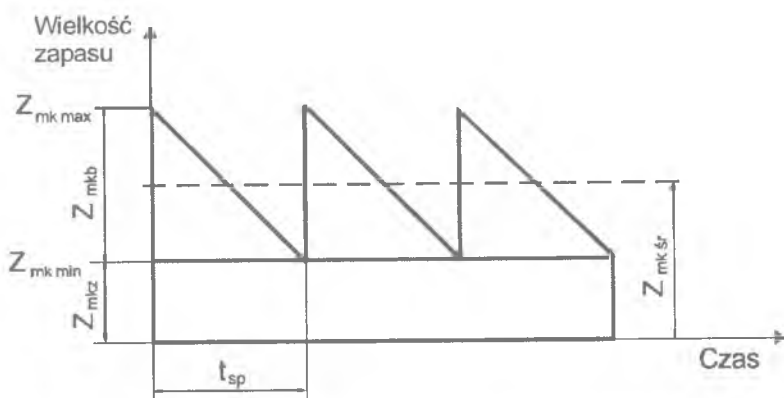
Zapas produkcji w toku jest to pewna ilość produkcji w czasie trwania cyklu produkcyjnego o różnym zakresie zaawansowania. Ze względu na miejsce powstawania zapasów i funkcji jaką one pełnią, można je podzielić jak na rys. 3.14. Zapasy produkcji w toku Z_{pt} obejmują zapasy powstające między komórkami produkcyjnymi wszystkich stopni oraz powstające wewnątrz komórki produkcyjnej pierwszego stopnia. **Zapasy międzykomórkowe** wynikają z nierównomiernej pracy poszczególnych komórek przy produkcji detali i montażu wyrobów. W celu eliminowania możliwości wystąpienia zakłóceń w procesie produkcyjnym pomiędzy tymi komórkami tworzy się (w sposób zamierzony) pewien zapas (rys. 3.15).



Rys. 3.14. Schemat klasyfikacji zapasów produkcji w toku [41]

Zapasy międzykomórkowe Z_{mk} dzieli się na:

- zapas bieżący Z_{mkb} ,
- zapas zabezpieczający Z_{mkz} .



Rys. 3.15. Schemat kształtowania się zapasów międzykomórkowych [41]

Oprócz tego wyróżnia się następujące stany zapasów międzykomórkowych:

- zapas maksymalny Z_{mkmax} ,
- zapas minimalny Z_{mkmin} ,
- zapas średni $Z_{mkśr}$,

Z rysunku wynika, iż zapas bieżący waha się w granicach od maksymalnego do minimalnego, w sytuacji gdy czas (t_{φ}) pomiędzy wpływem kolejnych partii produkcyjnych jest wielkością stałą. Gdyby ten czas nie został dotrzymany wtedy istnieje, możliwość czerpania z zapasu zabezpieczającego, w celu utrzymania ciągłości produkcji, który oczywiście po pewnym czasie należy uzupełnić do właściwego poziomu Z_{mkz} . Często operuje się także pojęciem zapasu średniego:

$$Z_{mkśr} = Z_{mkz} + \frac{1}{2} Z_{mkb} \quad (3.57)$$

Ponieważ najczęściej pomiędzy komórkami przekazywanie odbywa się w partiach produkcyjnych więc:

$$Z_{mkb} = S \quad (3.58)$$

$$Z_{mkz} = K_{sp} \cdot S \quad (3.59)$$

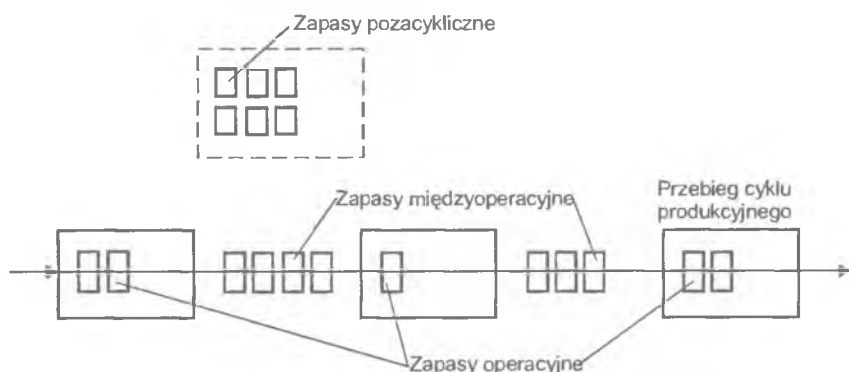
$$Z_{mkśr} = S \left(K_{sp} + \frac{1}{2} \right) \quad (3.60)$$

gdzie: S – wielkość partii produkcyjnej,

K_{sp} – współczynnik dobierany w zależności od przyjętego systemu sterowania produkcją.

Zapas średni jest wielkością normatywną mówiącą o planowanej prawidłowości kształtowania się zapasów międzykomórkowych.

Zapasy wewnątrzkomórkowe obejmują przeciętną liczbę określonych wyrobów (detali) znajdujących się w trakcie obróbki, w określonej komórce produkcyjnej pierwszego stopnia (KP^I). Dzielą się one na zapasy pozacykliczne i cykliczne (rys. 3.16).



Rys. 3.16. Struktura zapasów wewnątrzkomórkowych na przykładzie linii produkcyjnej [14]

Zapasy pozacykliczne to zbiory wyrobów będących aktualnie (w momencie rozpatrywania) poza przebiegiem cyklu produkcyjnego. Kształtowanie się tych zapasów jest analogiczne jak dla wykresu piłowego zapasów międzykomórkowych (rys. 3.15).

Zapasy cykliczne obejmują detale „biegnące” aktualnie w cyklu produkcyjnym. Nazywane one są niekiedy zapasami technologicznymi, co nie jest ścisłe ponieważ źródłem ich powstawania nie jest proces technologiczny, lecz organizacja przebiegu procesu produkcyjnego. Dlatego istnieje ścisła współzależność kształtowania się wielkości tych zapasów z długością cyklu produkcyjnego:

$$Z_{wkc} = C_{pl} \cdot z_{gl} , \quad (3.61)$$

gdzie: Z_{wkc} – zapas wewnątrzkomórkowy cykliczny,

C_{pl} – cykl produkcyjny i -tego detalu w komórce produkcyjnej I -go stopnia,

z_{gl} – zadanie godzinowe dla i -tego detalu.

Zapasy cykliczne można również podzielić, ze względu na aktualne miejsca ich przebywania, na zapasy:

- operacyjne,
- międzyoperacyjne.

Zapasy operacyjne obejmują detale aktualnie obrabiane na stanowiskach roboczych, których wielkość obliczamy z następującej zależności:

$$Z_{cop} = \sum_{j=1}^{L_{mj}} d_{ji} \quad , \quad (3.62)$$

gdzie: Z_{cop} – zapas cykliczny operacyjny,

d_{ji} – liczba i -tych detali obrabianych jednocześnie na stanowisku roboczym dla j -tej operacji,

L_{mj} – liczba stanowisk roboczych wykonujących j -tą operację na danym rodzaju detali.

Zapasy międzyoperacyjne obejmują detale znajdujące się aktualnie pomiędzy stanowiskami roboczymi i oczekujące na dalszą obróbkę (na następnych stanowiskach roboczych, zgodnie z marszrutą technologiczną). Można zaliczyć do nich następujące rodzaje zapasów:

- obrotowe,
- transportowe,
- kompensacyjne,
- awaryjne.

Zapasy obrotowe powstają w wyniku nierówności (braku synchroniczności) czasów operacji pomiędzy współpracującymi stanowiskami roboczymi – poprzedzającym i następującym. Wielkości tych zapasów są zależne od czasów operacji oraz ich wzajemnego usytuowania w czasie. Można je wyznaczać w sposób analityczny i graficzny.

Poziom zapasów obrotowych pomiędzy poszczególnymi stanowiskami roboczymi ulega ciągłej zmianie, gdyż na przemian one rosną do maksymalnej

wielkości, a następnie zmniejszają się do minimum lub całkowicie zanikają. Ponieważ stanowią one podstawę do obliczania niezbędnej powierzchni odkładczej (magazynowej) na stanowiskach roboczych, dlatego potrzebna jest znajomość liczby sztuk detali tworzących się w postaci zapasów obrotowych. Literatura przedmiotu (zob. np. [14], [41]) podaje zależności obowiązujące dla szczególnego przypadku gromadzenia się zapasów, a przecież niezbędne jest posługiwanie się zależnością ogólną, uwzględniającą wszystkie możliwe przypadki.

Rysunek 3.17a przedstawia schematycznie zapas obrotowy pomiędzy stanowiskami 1 i 2. Wykres narastania produkcji w czasie T_1 reprezentowany jest przez prostą st1, a narastanie produkcji w czasie T_2 prostą st2. Stanowiska robocze wykonują partię produkcyjną detali o wielkości S sztuk. Wprowadzając dwa przekroje czasowe I – I oraz II – II uzyskujemy charakterystyczne czasy pracy stanowisk roboczych. Można więc zapisać, bazując na ogólnie znanej zależności, iż czas wykonania S sztuk o pracochłonności jednostkowej t_j jest równy:

$$T_j = S \cdot t_j \quad (3.63)$$

Analogicznie dla charakterystycznych przekrojów czasowych otrzymamy:

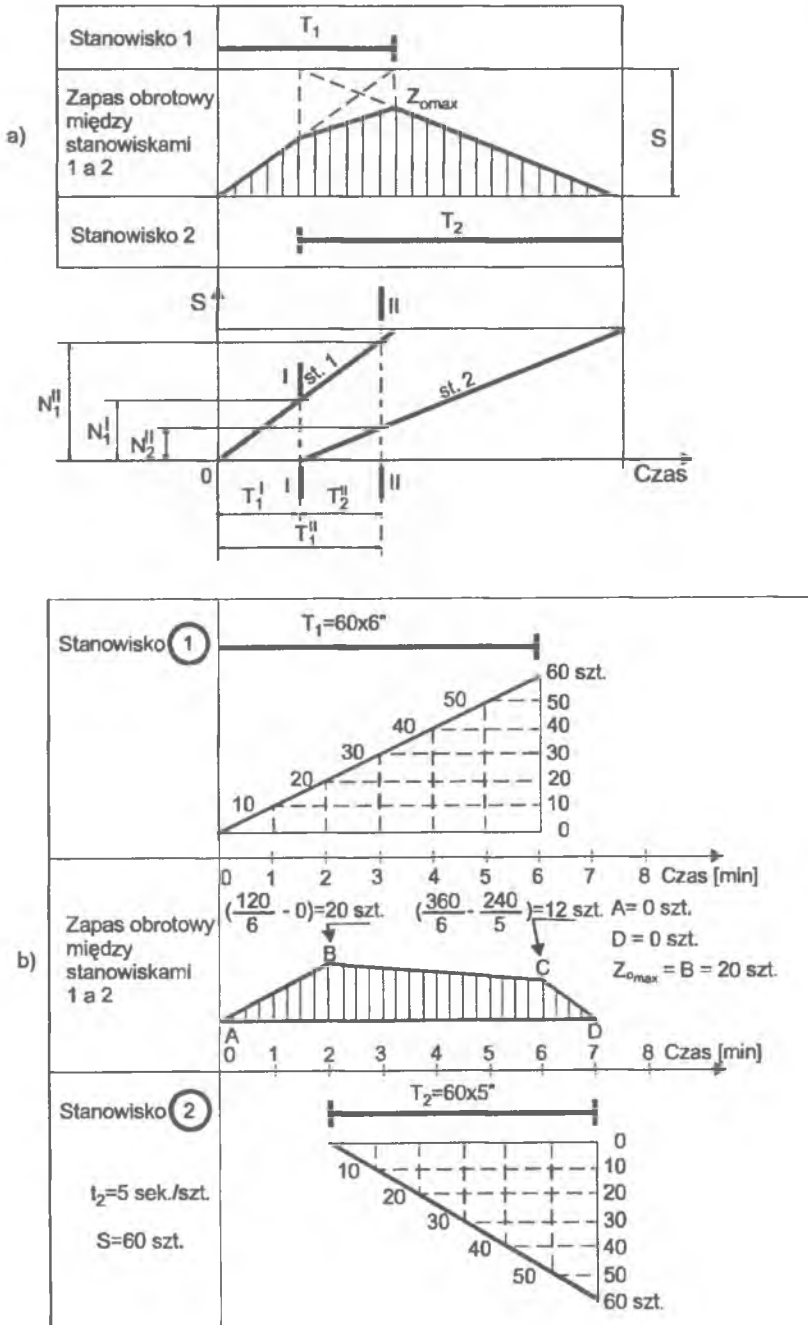
$$N'_1 = \frac{T'_1}{t_1}, \quad N'_2 = 0 \text{ gdyż } T'_2 = 0,$$

$$N''_1 = \frac{T''_1}{t_1}, \quad N''_2 = \frac{T''_2}{t_2},$$

czyli zapasy obrotowe tam występujące:

$$Z_{ol}^{I-2} = (N'_1 - N'_2)_I = N'_1 = \left(\frac{T'_1}{t_1} \right)_I, \quad (3.64)$$

$$Z_{ol}^{I-2} = (N''_1 - N''_2)_{II} = \left(\frac{T''_1}{t_1} - \frac{T''_2}{t_2} \right)_{II}. \quad (3.65)$$



Rys. 3.17. Kształtowanie się zapasów obrotowych (opr. własne)

Analizując sytuacje w różnych przekrojach czasowych dochodzimy do wniosku, że ogólnie możemy zapisać wzór na obliczanie wielkości zapasu obrotowego:

$$Z_{ox}^{d-o} = \pm \left(\frac{T_j^d}{t_j^d} - \frac{T_{j+1}^o}{t_{j+1}^o} \right)_x, \quad (3.66)$$

gdzie: Z_{ox}^{d-o} – zapas obrotowy dostarczającym i odbierającym stanowiskiem roboczym w x-tym przekroju czasowym,

T_j^d – czas pracy dostarczającego stanowiska robocze o dla j-tej operacji

t_j^d – czas jednostkowy j-tej operacji na dostarczającym stanowisku roboczym,

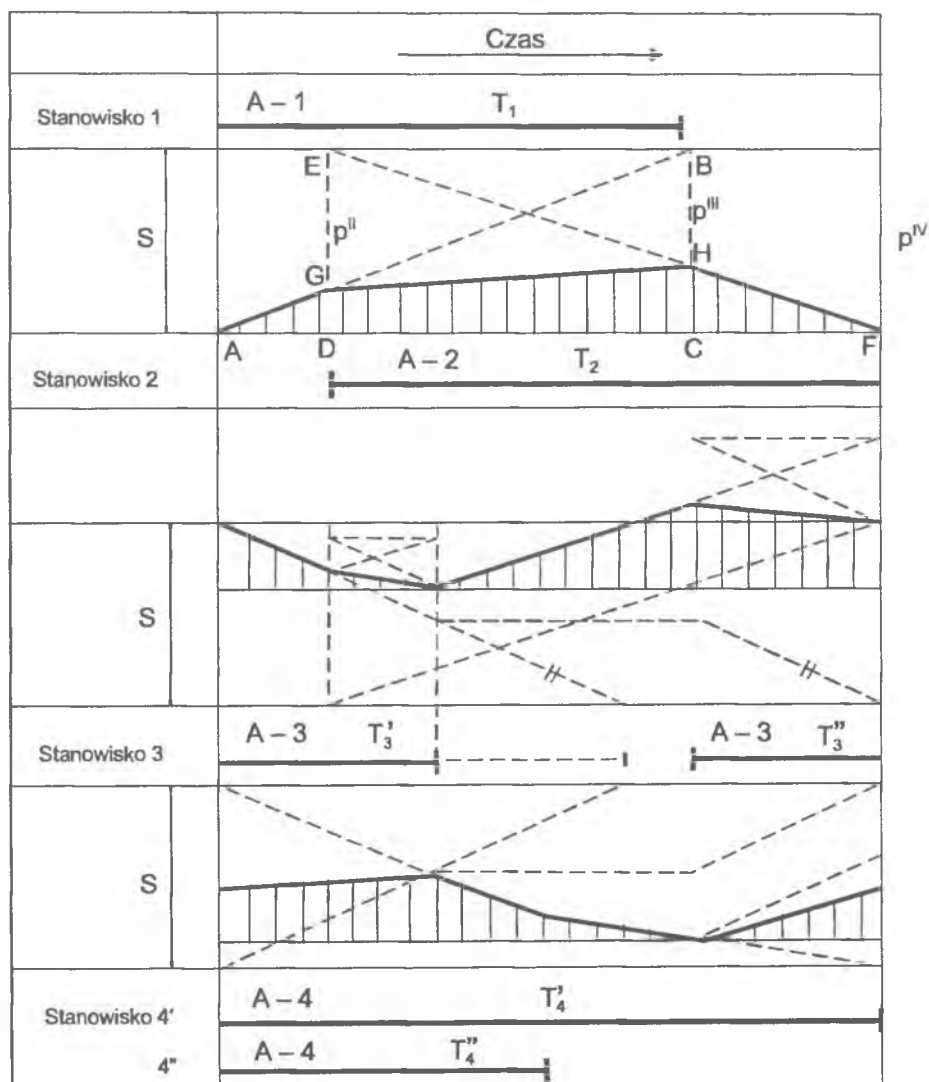
T_{j+1}^o – czas pracy odbierającego stanowiska robocze o dla operacji j + 1,

t_{j+1}^o – czas jednostkowy operacji j+1 na odbierającym stanowisku roboczym,

x – długość czasu rozpatrywanego przekroju czasowego.

Na rysunku 3.17b zaprezentowano graficzno-analityczne określanie poziomu zapasów obrotowych dla konkretnych wielkości parametrów S , T_j , t_j .

Bardzo często wykresy przebiegu zapasów obrotowych mają stosunkowo skomplikowany charakter, co ilustruje rysunek 3.18. Wielkość zapasów wyznaczają zakreskowane pola. Linie ciągłe pogrubione oznaczają czasy wykonania poszczególnych operacji (np. $T = t_j S$). Wielkość zapasów pomiędzy operacjami 1 i 2 wyznacza figura AGHF, która powstaje z nałożenia, na siebie trójkątów ABC i DEF. Charakterystyczne przekroje czasowe oznaczono p^I , p^{II} , p^{III} , p^{IV} . Nietrudno zauważyć, że w wyniku wykonywania operacji 1 zapas narasta od zera do BC, a operacja 2 wpływa na zmniejszenie tego zapasu od ED do zera. Ponieważ na odcinku DC równolegle z operacją 1 przebiega operacja 2, zatem dalszy przebieg kształtowania się zapasu pomiędzy tymi operacjami zależy od wydajności na stanowiskach wykonujących te operacje, a ściślej od różnicy tych wydajności.



Rys. 3.18. Wyznaczanie zapasów obrotowych metodą graficzną [41] - - - - wykres narastania produkcji na stanowisku (stanowiskach); — wykres zapasów obrotowych; A – oznaczenie wyrobu; 1, 2, 3, 4 – numery operacji technologicznych; $T = t_p S$ – czas wykonania partii wyrobów o liczności S i o czasie jednostkowym t ; $T_3' + T_3'' = T_3$; $T_4' + T_4'' = T_4$

Przecięcie się przeciwprostokątnych z liniami maksymalnego zapasu, pozwala na wyznaczanie punktów G i H oraz poprowadzenie linii określającej rzeczywiste kształtowanie się zapasu obrotowego pomiędzy operacjami 1 i 2. Z wykresu zapasów widzimy, że jeśli operacja dostarczająca obrabiane detale rozpoczyna się wcześniej niż odbierająca, to figura wyznaczająca zapasy ma postać wypukłą (operacje 1 i 2). Jeżeli zaś operacja odbierająca rozpoczyna się wcześniej niż dostarczająca lub też od niej wcześniej się kończy, to figura ma postać wklęsłą (operacje 2 i 3). Jednak zapas obrotowy musi wyrażać się zawsze wartością dodatnią (zob. wzór 3.66).

Zapasy transportowe tworzą detale znajdujące się w trakcie przekazywania ich z jednej operacji obróbczej na następną. Wielkość tego zapasu można obliczyć:

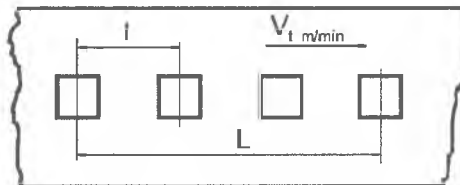
$$Z_t = \frac{T_{dost}}{\tau} , \quad (3.67)$$

gdzie: Z_t – zapas transportowy,

T_{dost} – okres czasu między dwoma dostawami pakietu transportowego lub partii detali z jednej operacji na następną,

τ – takt spływu produkcji.

W przypadku gdy przekazywanie detali odbywa się przy pomocy transportera to zapas transportowy można ustalić wychodząc z warunku jak na poniższym rysunku:



Rys. 3.19. Układ detali na transporterze [14]

Wtedy czas przebycia drogi L wyniesie:

$$t_t = \frac{L}{V_t} , \quad (3.68)$$

a

$$L = t_l \cdot V_l, \quad (3.69)$$

Ponieważ

$$l = \frac{L}{i_l} = V_l \cdot \tau, \quad (3.70)$$

a

$$Z_l = \frac{L}{l}, \quad (3.71)$$

to

$$Z_l = \frac{L}{V_l \cdot \tau} = \frac{t_l}{\tau}, \quad (3.72)$$

gdzie: L – odległość między stanowiskami roboczymi, t_l – czas przemieszczania detalu na transporterze między stanowiskami roboczymi lub pozycjami, V_l – prędkość przesuwania się transportera, i_l – liczba detali na transporterze między pozycjami, l – odległość między detalami na transporterze, τ – takt produkcji.

Zapas kompensacyjny tworzony jest w sposób celowy dla wyrównania ewentualnych różnic w wydajności pracy robotników, które mogą wystąpić w ciągu zmiany roboczej. Jego wielkość obliczamy ze wzoru:

$$Z_k = \frac{\sum_{i=1}^2 t_{odch.}}{\tau}, \quad (3.73)$$

gdzie: Z_k – zapas kompensacyjny,

$\sum_{i=1}^2 t_{odch.}$ – suma maksymalnych odchyleń w rzeczywistym czasie do czasu normatywnego (uzyskuje się je z badań statystycznych zebranych z dwóch kolejnych operacji),
 τ – takt spływu produkcji.

Właściwie określoną wielkość zapasu kompensacyjnego pozostawia się (w pojemniku) przy stanowisku roboczym.

Zapasy awaryjne są to zapasy konieczne ze względu na możliwości wystąpienia awarii, któregoś ze stanowisk roboczych i tworzone w celu zachowania ciągłości produkcji. W przypadku awarii przed stanowiskiem gromadzą się zapasy nieobrobionych na nim detali, a na stanowiskach następnych występują niedobory. Dlatego przy stanowiskach najbardziej narażonych na awarie, unikalnych i trudnych do zastąpienia, przygotowuje się wcześniej zapasy wyliczone z następującego wzoru:

$$Z_a = \frac{t_{aw}}{\tau} = t_{aw} \cdot z_g, \quad (3.74)$$

gdzie: Z_a – zapas awaryjny,

t_{aw} – przewidywany czas usunięcia awarii,

τ – takt spływu produkcji,

z_g – zadanie godzinowe.

Omówione powyżej rodzaje zapasów międzyoperacyjnych są funkcją czterech poznanych zapasów Z_o , Z_t , Z_k , Z_a . Charakter tej funkcji jest zależny od organizacji procesu produkcyjnego i rzeczywistych warunków panujących podczas realizacji produkcji. Dlatego określanie przeciętnego zapasu międzyoperacyjnego nie może być arytmetyczną sumą poszczególnych rodzajów zapasów. Mają one pulsujące charakterystyki, w kolejnych fragmentach realizacji procesu produkcyjnego. Wobec tego projektanci powinni posługiwać się maksymalnymi wielkościami, dla każdego z rodzajów zapasów międzyoperacyjnych, aby prawidłowo zaprojektować niezbędne ilości potrzebnych zapasów

oraz niezbędną powierzchnię składową i pól odkładczych przy kolejnych stanowiskach roboczych.

Podsumowując zagadnienia, dotyczące parametrycznego opisu podstawowego procesu produkcyjnego, należy podkreślić ogromną przydatność sformalizowanego opisu poszczególnych grup parametrów produkcyjno-organizacyjnych, tak bardzo istotną w diagnostyczno-projektowym rozwiązywaniu problemów organizatorskich. Parametryczne współzależności, o których wzmiankowano w całym rozdziale, pokazują złożoność przemysłowych procesów produkcyjnych, z którą projektanci – organizatorzy i kadra zarządzająca musi się uporać w czasie doskonalenia funkcjonowania systemów produkcyjnych. Przedstawione parametry stanowią elementarne „cegiełki” które poprzez optymalizujące działania projektanckie – w sferze organizacyjnego przygotowania produkcji – nabierają wymiaru wielkości normatywnych dla przyszłego realizowania procesów produkcyjnych.

Sposób i zakres wykorzystywania zbioru poznanych parametrów uzależniony będzie od systemu produkcyjnego (konwencjonalnego lub nowoczesnego) i jego formy organizacji produkcji (zob. rozdz. 5). Oczywiście bardziej statyczne będzie stosowanie parametrycznego zapisu np. w systemach rytmicznej produkcji aniżeli w nierytmicznej produkcji czy ESP, które z założenia cechuje duża dynamika i zmienność zadań produkcyjnych. Dlatego specyfika i zakres wykorzystywania poznanych parametrów produkcyjno-organizacyjnych unaoczní się w trakcie szczegółowego projektowania określonych form organizacji systemów produkcyjnych.

4. STRUKTURA PRODUKCYJNA

4.1. Istota struktury produkcyjnej

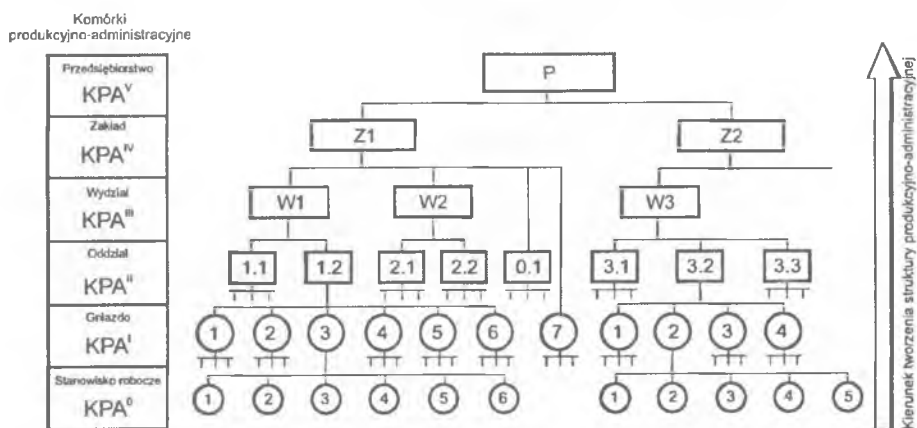
W poprzednich rozdziałach zapoznaliśmy się z podstawowymi pojęciami, parametrami i związkami zachodzącymi w strukturze procesu produkcyjnego, które to w zasadniczy sposób wpływają na tworzenie struktury produkcyjnej i produkcyjno-administracyjnej.

Strukturą produkcyjną nazywamy układ komórek produkcyjnych oraz zespół związków kooperacyjnych zachodzących między nimi, właściwy dla danego systemu produkcyjnego jako całości. Najmniejszym ogniwem produkcyjnym potrzebnym do tworzenia tej struktury jest stanowisko robocze, które w analogii do definicji cząsteczki, stanowi „elementarny atom” struktury produkcyjnej powstały – w wyodrębnionej przestrzeni – w wyniku połączenia środków pracy, przedmiotów pracy i pracy człowieka. Podział stanowiska roboczego nie może prowadzić do powstania mniejszych, organicznych komórek produkcyjnych, gdyż byłyby one pozbawione jednego lub więcej podstawowych czynników procesu pracy. Dlatego stanowisko robocze określane jest jako komórka produkcyjna zerowego stopnia – KP^0 .

Stanowisko robocze, w rzeczywistych procesach produkcyjnych, z reguły nie występuje samodzielnie, lecz w celowo połączonych ze sobą zgrupowaniach stanowisk roboczych. Takie łączenie stanowisk roboczych w grupy lub celowe dzielenie dużych grup stanowisk roboczych na mniejsze jest istotą projektowania struktury produkcyjnej.

Struktura produkcyjna powstaje najczęściej w wyniku grupowania stanowisk roboczych (KP^0) w komórki produkcyjne pierwszego stopnia (KP^I), które

z kolei łączą się w komórki produkcyjne drugiego stopnia (KP^{II}) itd, aż do komórki n-tego stopnia (KP^n), odpowiadającej danej jednostce wytwórczej. Jeżeli do procesu grupowania komórek produkcyjnych dołączymy (nałożymy) procesy zarządzania, rozpiętość kierowania tj. ustalenie wspólnej, wyodrębnionej administracji, to układ takich komórek i wzajemne powiązania określają **strukturę produkcyjno-administracyjną** (zob. rys. 4.1). Powstające w ten sposób komórki nazywają się komórkami produkcyjno-administracyjnymi (KPA).



Rys. 4.1. Schemat tworzenia struktury produkcyjno-administracyjnej w zakresie komórek bezpośrednio produkcyjnych [41]

W przemyśle elektromaszynowym i pokrewnych gałęziach, poszczególnym stopniom komórek przypisywane są najczęściej następujące nazwy:

KP^0 – stanowisko robocze,

KPA^I – gniazdo produkcyjne lub linia produkcyjna (różnice omówione będą w ust. 4.2),

KPA^{II} – oddział produkcyjny,

KPA^{III} – wydział produkcyjny,

KPA^{IV} – zakład produkcyjny,

KPA^V – przedsiębiorstwo wielozakładowe,

KPA^{VI} – zrzeszenie,

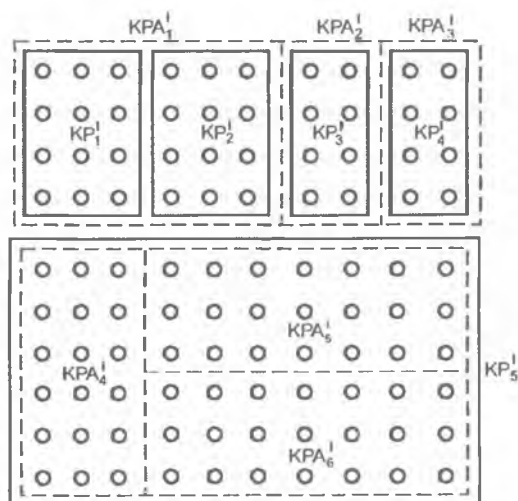
KPA^{VII} – resort,

KPA^{VIII} – gospodarka narodowa.

Schemat procesu tworzenia struktury produkcyjnej i produkcyjno-administracyjnej ilustruje rys. 4.2.

Struktura produkcyjno-administracyjna może być w sposób graficzny przedstawiona w odniesieniu do:

- liczby zatrudnionych w każdej komórce,
- wielkości zajmowanej powierzchni przez każdą komórkę.



Rys. 4.2. Schemat struktury produkcyjnej i powstawania na jej tle struktury produkcyjno-administracyjnej [41]. KP – komórka produkcyjna, KPA – komórka produkcyjno-administracyjna, kółka oznaczają stanowiska robocze, linią ciągłą oznaczona granice podziału komórek struktury produkcyjnej, linią przerywaną – strukturę produkcyjno-administracyjną

Przy wyborze właściwej struktury produkcyjnej, w konkretnych warunkach istniejącej lub nowo projektowanej jednostce produkcyjnej, należy uwzględnić szereg czynników takich jak:

- charakterystyka, złożoność i rodzaj produkowanych wyrobów,
- liczebność, zróżnicowanie programów produkcji oraz rozmiary asortymentowe,
- właściwości i charakter procesów technologicznych,
- stopień specjalizacji i powiązania kooperacyjne jednostki produkcyjnej,

- charakterystyki zaangażowanych stanowisk roboczych (np. występowanie stanowisk typu ciężkiego, unikalnych itp.),
- ograniczenia, w dysponowanej powierzchni produkcyjnej i inne.

Każdy z wymienionych czynników może mieć większy lub mniejszy wpływ na projektowanie struktury produkcyjnej, zależny od rzeczywistych warunków, określających pewne ramy w doborze optymalnego rozwiązania

4.2. Rodzaje struktury produkcyjnej i tendencje jej tworzenia

Jak już wspomniano, w komórkach produkcyjnych niższych stopni, zazwyczaj stanowiska robocze grupowane są w zbiory stanowisk. Wyróżnia się trzy zasadnicze sposoby grupowania stanowisk roboczych¹. Mianowicie łączy się je w:

- 1) grupy stanowisk jednorodnych – wyposażonych w maszyny i urządzenia jednego rodzaju i spełniających podobną funkcję (podobieństwo technologiczne). Stanowiska robocze tak zgrupowane pozwalają na ogół wykonywać te same, co do swego charakteru, operacje z możliwością zmiany technicznych warunków realizacji. Z reguły są wzajemnie zamienialne i pozwalają realizować tylko część procesu produkcyjnego wyrobu. W przemyśle elektromaszynowym przykładem tego typu integracji stanowisk mogą być gniazda tokarek, frezarek, szlifierek itp.,
- 2) grupy stanowisk różnorodnych (rozmieszczonych gniazdowo) – wyposażonych w maszyny i urządzenia różnych rodzajów, pozwalających realizować różnorodne procesy cząstkowe, składających się łącznie na cały proces produkcyjny lub jego fragment w postaci kompletu powiązanych ze sobą procesów cząstkowych. Przykładem takiej integracji jest gniazdo obróbki cylindra, gniazdo obróbki tarcz silników elektrycznych itp.,
- 3) grupy stanowisk roboczych różnorodnych pozwalających realizować cały proces produkcyjny wyrobu lub jego zamkniętego fragmentu, lecz rozmieszczonych liniowo. Stanowiska robocze przy rozmieszczeniu liniowym ustawione

¹ Prezentowane jest tutaj klasyczne ujęcie problemów dla konwencjonalnych systemów produkcyjnych. Zagadnienie struktury produkcyjnej w nowoczesnych systemach produkcyjnych omawiamy przy szczegółowym projektowaniu tych systemów w trzeciej części skryptu.

są zgodnie z kolejnością marszruty technologicznej. Przykładem tego typu rozwiązania są linie montażu wałów przegubowych, linia obróbki kół zębatych itp.

Wynikiem celowego grupowania stanowisk roboczych jest uzyskiwanie KP^I , które przyjęło się nazywać:

- gniazdami produkcyjnymi, gdy grupują jednorodne lub różnorodne stanowiska robocze, dotyczące wytwarzania różnego typu wyrobów (detali),
- liniami produkcyjnymi, gdy grupują różnorodne stanowiska, robocze dotyczące wytwarzania jednego lub kilku typów wyrobów (detali), gdy liniowe ustawienie stanowisk roboczych, zapewnia pełną zgodność technologicznej obróbki czy montażu.

Jest to bezpośrednio związane z występującymi rodzajami struktury produkcyjnej.

Znane są dwa rodzaje² (dwie tendencje) tworzenia struktury produkcyjnej:

a) technologiczna,

b) przedmiotowa.

Technologiczna tendencja (zwana także technologiczną specjalizacją) tworzenia struktury produkcyjnej opiera się na kryterium technologicznego podobieństwa (powinowactwa) stanowisk roboczych. Komórka taka może wykonywać zbiory wyrobów (detali) różnorodnych na zbiorze jednorodnych stanowisk roboczych.

Przedmiotowa tendencja (zwana także przedmiotową specjalizacją) tworzenia struktury produkcyjnej opiera się na kryterium podobieństwa wyrobów (przedmiotu pracy) lub grupy wyrobów (detali). Komórka taka może wykonywać wyrób (lub niewielką ilość bardzo podobnych detali) na różnorodnej grupie stanowisk roboczych, lecz dobranych tylko i wyłącznie dla technologii wykonywania tego wyrobu. Przy najdalej posuniętym stopniu specjalizacji przedmiotowej realizuje się w niej tylko jeden wyrób (detal).

Porównując obydwa rodzaje organizowania przebiegu produkcji w komórce produkcyjnej można wyprowadzić następujące wnioski:

1. Specjalizacja przedmiotowa wymaga wysokiego stopnia zbilansowania zdolności produkcyjnych poszczególnych maszyn i urządzeń.

² Wymienia się czasami trzeci rodzaj – *strukturę produkcyjną mieszaną* – dotyczącą przede wszystkim komórek produkcyjnych wyższych stopni.

2. Specjalizacja przedmiotowa zakłada przebieg procesu produkcyjnego według ściśle ustalonej marszruty (trasy). Nawet stosunkowo drobne zmiany wywołują poważne zaburzenia. W układzie technologicznym, gdzie maszyny grupowane są w oparciu o swoje funkcje a nie o kolejność produkcji wyrobu, takie zakłócenia nie występują, względnie występują w minimalnym zakresie.
3. W układzie przedmiotowym uszkodzenie jednej maszyny czy urządzenia powoduje w zasadzie zatrzymanie całego wyspecjalizowanego ciągu produkcyjnego (stosować można jednak kosztowne maszyny rezerwowe lub zapasy awaryjnej. Podobne uszkodzenie w układzie technologicznym wymaga powtórnego opracowania trasy przebiegu produkcji z wyeliminowaniem uszkodzonej maszyny i przeniesienia jej zadań na inną maszynę.
4. W układzie przedmiotowym bezpośrednie kierownictwo (mistrz, kierownik) nadzoruje pracę bardzo zróżnicowanych maszyn i urządzeń, a w technologicznym – pracę jednorodnych grup maszyn, co determinuje niższy zakres niezbędnych wiadomości techniczno-organizacyjnych personelu.
5. W układzie przedmiotowym praca określonego stanowiska uzależniona jest od pracy stanowisk poprzedzających. W układzie technologicznym poszczególne stanowiska mają względną niezależność i stąd ich wyniki produkcyjne określone są głównie przez jakość pracy samego stanowiska.
6. W układzie przedmiotowym maszyny i urządzenia, realizujące kolejne operacje, znajdują się bezpośrednio obok siebie, a w układzie technologicznym pomiędzy poszczególnymi operacjami procesu produkcyjnego zachodzi konieczność przemieszczania wyrobu z komórki produkcyjnej do następnej. Dlatego środki transportu w pierwszym układzie (np. wszelkiego typu przenośniki) działają szybciej aniżeli w drugim układzie (np. wózki ręczne lub akumulatorowe) i po krótszej trasie.
7. Cykl produkcyjny w układzie technologicznym jest zazwyczaj dłuższy niż w przedmiotowym, a ponadto wymaga okresowego składowania produkcji niezakończonych w poszczególnych fazach realizacji procesu produkcyjnego.
8. W układzie przedmiotowym, zarówno trasa przebiegu wyrobu, jak i charakter jego technologii są względnie stałe. Natomiast w układzie technologicznym zachodzi konieczność indywidualnego ustalenia trasy przepływu oraz

- właściwości technologicznych poszczególnych wyrobów. W związku z tym zmienne są formy kontroli (miejsce kontroli, parametry kontroli itp.).
9. Układ przedmiotowy pracuje z wydajnością określoną przez swoje najmniej wydajne ogniwo lub z wydajnością ustaloną przez wspólny takt produkcji. Wysoki stopień wzajemnego uzależnienia ogniw produkcyjnych w tym układzie uzasadnia stosowanie bodźców grupowych. W układzie technologicznym – zob. p. 5.
10. Układ technologiczny wymaga większej powierzchni produkcyjnej niż układ przedmiotowy (porównywalnej produkcji) dla prawidłowego przemieszczania wyrobów oraz ich składowania w poszczególnych fazach procesu produkcyjnego. W układzie przedmiotowym transport przebiega po trasach jak najkrótszych i przy zachowaniu minimum zapasów produkcyjnych.

Z powyższych względów decyzja o wyborze rodzaju specjalizacji struktury produkcyjnej powinna być zawsze podjęta w konfrontacji z konkretnymi warunkami produkcyjnymi, gdyż w praktyce nie ma jednoznacznej recepty na ogólne określenie prawidłowej struktury produkcyjnej.

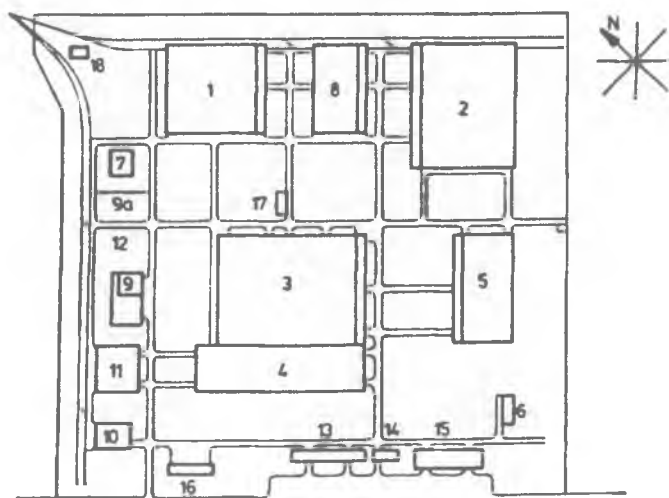
Przedmiotowa i technologiczna tendencja tworzenia struktury produkcyjnej w komórkach produkcyjnych wyższych stopni, nie występuje w formie „czystej” tak, jak zostało to przedstawione powyżej dla komórek produkcyjnych niższych stopni, lecz bardzo często spotykamy się z układem mieszanym, w którym występuje przewaga jednego z omówionych układów. Dążenie za wszelką cenę, do jednorodnej struktury produkcyjnej jest całkowicie nieuzasadnione.

4.3. Plan generalny (struktura produkcyjno-przestrzenna) przedsiębiorstwa

Wydzielone komórki produkcyjne KP^I , KP^{II} i KP^{III} (gniazda lub linie, oddziały i wydziały) o określonej strukturze produkcyjnej, winny być rozlokowane i tworzyć celowo utworzoną (zoptymalizowaną) strukturę przestrzenną w systemie produkcyjnym jako całości. Powiązania produkcyjno-organizacyjne i kooperacyjne wydziałów produkcyjnych (KP^{III}) zapisywane są w sposób graficzny przy pomocy tzw. wykresów Sankey'a (zob. [84]), służących do optymalizacji usytuowania współpracujących wydziałów zarówno w ujęciu diagnostycznym (dla

istniejącego przedsiębiorstwa) jak i w ujęciu prognostycznym (dla nowo projektowanego przedsiębiorstwa). W wyniku minimalizacji przepływu strumienia ładunków materiałowych wpływających do przedsiębiorstwa i przepływających pomiędzy poszczególnymi obiektami oraz uwzględnienia podanych poniżej dziesięciu ogólnych zaleceń, uzyskujemy tzw. plan generalny przedsiębiorstwa.

Planem generalnym przedsiębiorstwa nazywamy projekt (lub obraz stanu istniejącego) wzajemnego rozmieszczenia budynków i urządzeń, torów kolejowych, sieci podziemnych i naziemnych na tle określonego terenu. Plan generalny ujmuje więc komórki produkcji podstawowej, komórki produkcji pomocniczej, komórki obsługi, komórki funkcjonalne, komórki administracyjne, socjalne itp. Przykładowy szkic planu generalnego przedsiębiorstwa przedstawia rys. 4.3.



Rys 4.3. Szkic planu generalnego przedsiębiorstwa [41] 1 – odlewnia żeliwa, 2 – odlewnia metali kolorowych, 3 – wydział obróbki mechanicznej, oddział obróbki cieplnej, oddział powłok galwanicznych, 4 – wydział montażu, malarstwa, konserwacja, 5 – wydział narzędziowy, remontowy, dział głównego energetyka, oddział inwestycyjny, prototypownia, izba pomiarów, 6 – trafo, 7 – kotłownia, 8 – magazyn materiałów hutniczych, części i zespołów z kooperacji, materiałów pomocniczych, 9 – magazyn materiałów pędnych i smarów, 9a – magazyn paliw stałych, 10 – magazyn drewna tartego i stolarnia, 11 – magazyny wyrobów gotowych, 12 – magazyn odpadów, 13 – biurowiec, 14 – portiernia i wartownia, 15 – budynek socjalno-bytowy, 16 – garaże samochodów i usług transportowych, 17 – stacja sprzężarek, 18 – stacja rozdzielcza

Przy projektowaniu planu generalnego przedsiębiorstwa, powinny być przestrzegane przede wszystkim zasady organizacji procesu produkującego a szczególnie zasada proporcjonalności i zasada liniowości. Znane są także w literaturze (zob. [20]) ogólne prawidłowości, którymi należy się kierować przy projektowaniu planu generalnego:

1. Rozmieszczenie budynków, budowli i sieci energetycznych systemem wstęgowym (większe przedsiębiorstwa o dużej perspektywie rozbudowy) lub obwodowym (mniejsze zakłady, filie montażowe lokalizowane w obrębie do 40 – 50 km od zakładu macierzystego).
2. Rozmieszczenie budynków i budowli odpowiednio do kierunku panujących wiatrów i potrzeb oświetlenia naturalnego, przy wykorzystaniu w maksymalnym stopniu warunków naturalnych przewietrzania, odprowadzania oparów i gazów.
3. Umieszczenie wydziałów pomocniczych, magazynów, urządzeń energetycznych i neutralizacji ścieków możliwie najbliżej obsługiwanych przez nie wydziałów produkcyjnych.
4. Dążność do najkrótszych dróg przepływu materiałów, półwyrobów i do rozplanowania dróg tak, by miały kształt zbliżony do linii prostej lub koła (przy lokalizacji obwodowej).
5. Dążność do skrócenia dróg dojścia robotników i nie krzyżowania ich z drogami transportu materiałowego lub tworzenia wielopoziomowych układów komunikacyjno-drogowych.
6. Dążność do przejrzystego układu ciągów energetycznych, zarówno naziemnych jak i podziemnych.
7. Dążność do maksymalnego wykorzystania miejscowych warunków geologicznych i ukształtowania, terenu w celu dobrego posadowienia budowli, przy możliwie małym koszcie niwelacji terenu i minimalizacji kosztu robót budowlanych.
8. Dążność do prawidłowego zapewnienia rezerw terenu do dalszej rozbudowy, przy możliwie minimalnych wydatkach na tzw. infrastrukturę zakładową i przy zapewnieniu możliwości prowadzenia robót w warunkach jednoczesnej eksploatacji już uruchomionych obiektów.

9. Dążność do zapewnienia warunków do okresowej modernizacji i rekonstrukcji oddziałów, obiektów wraz z gospodarkami energetycznymi, przy zabezpieczeniu warunków do normalnej eksploatacji już uruchomionych obiektów.
10. Dążność do projektowania zakładów lub obiektów w takiej formie, aby można było umieścić w nich określony proces technologiczny, wyodrębnioną część procesu produkcyjnego (wyróbu) lub technicznego przygotowania produkcji, wraz z integralnie związanymi z tymi procesami – gospodarkami pomocniczymi.

Przyjmując za słuszne przedstawione ogólne prawidłowości, należy uwzględniać zawsze realne warunki panujące na terenie zlokalizowania przedsiębiorstwa. Projektant, którym jest najczęściej organizator produkcji korzysta tutaj z wiedzy konsultantów i doradców zewnętrznych z różnych specjalności (architektów, instalatorów, itd.).

Strukturę przestrzenną projektuje się metodą kolejnych przybliżeń najczęściej w trzech etapach [20]:

1. Zarys planu generalnego wraz z zarysem budynków i budowli oraz dróg i sieci energetycznych. Plan ten stanowi propozycję technologiczno-organizacyjną dla dalszego projektowania architektonicznego – I etap projektowania.
2. Zagospodarowanie poszczególnych hal i budynków poprzez wrysowanie powierzchni zarezerwowanych dla poszczególnych oddziałów, linii i gniazd (zagospodarowanie „plamami”). Na tym etapie wrysowuje się również przebieg poszczególnych instalacji energetycznych – II etap projektowania.
3. Szczegółowe zagospodarowanie poszczególnych oddziałów, linii i gniazd przez wrysowanie zagospodarowania poszczególnymi urządzeniami produkcyjnymi. Chodzi tu o urządzenia technologiczne oraz kontrolne, pomiarowe, transportowe i magazynowe. Na tych planach zagospodarowania ważne jest również wrysowanie dróg transportowych i składowisk zapasów międzyoperacyjnych, pomieszczeń sanitarnych i rekreacyjnych – III etap projektowania.

Projektowanie takie ma charakter wielowariantowy i stosowane jest przy kształtowaniu nowego systemu lub przekształcaniu istniejącego systemu produkcyjnego

5. TYPY, FORMY I ODMIANY ORGANIZACJI PRODUKCJI

Na skutek różnorodności produkowanych wyrobów, nawet w ramach jednego przedsiębiorstwa, mogą występować różne typy, formy i odmiany organizacji produkcji. Jedynie w przypadku jednorodnej produkcji można odnieść, charakter stosowanej organizacji produkcji, do całości przedsiębiorstwa. W pozostałych przypadkach, o organizacji produkcji, należy wnioskować na podstawie charakteru przeważającej liczby komórek produkcyjnych przedsiębiorstwa. Dlatego bardziej prawidłowe jest rozważanie „wnętrza” komórek produkcyjnych niższych stopni, a przede wszystkim stanowisk roboczych. Określenie charakteru organizacji produkcji w odniesieniu do poszczególnego stanowiska roboczego, jako podstawy wyjściowej dla dalszego uogólnienia na komórki produkcyjne wyższego stopnia, odbywać się może dla dwu następujących kryteriów:

- specjalizacji stanowisk roboczych,
- stopnia powiązań stanowisk roboczych.

Przenikanie się tych kryteriów (typu i formy) tworzy najistotniejszą jednostkę klasyfikacyjną – odmianę organizacji produkcji.

5.1. Typy produkcji

Typem organizacji produkcji (krótko – typem produkcji) nazywamy stopień specjalizacji stanowiska roboczego i związany z nim poziom stabilności

wykonywanej tam produkcji. Określenie typu produkcji wymaga przyjęcia właściwych mierników. Stosuje się dwa mierniki:

- 1) współczynnik liczby detalooperacji przypadających na stanowisko robocze (dla istniejących jednostek produkcyjnych),
- 2) współczynnik obciążenia stanowiska roboczego określoną detalooperacją (dla nowo projektowanych jednostek produkcyjnych).

Pierwszy współczynnik określamy przy użyciu następującej zależności:

$$k = \frac{\sum_{i=1}^n d_{Li}}{L_d}, \quad (5.1)$$

gdzie: k – współczynnik liczby detalooperacji (lub liczby przezbrojeń) w badanej komórce produkcyjnej,

d_{Li} – liczba (suma) wykonywanych detalooperacji (przezbrojeń) w diagnozowanej komórce produkcyjnej,

L_d – liczba stanowisk roboczych w diagnozowanej komórce produkcyjnej.

Przyjęto w literaturze przedmiotu następujące zakresy współczynnika k oznaczające poszczególne typy produkcji:

$k = 1$ – typ produkcji masowej,

$k = 2 \div 10$ – typ produkcji wieloseryjnej,

$k = 10 \div 20$ – typ produkcji średnioseryjnej,

$k = 20 \div 30$ – typ produkcji małoseryjnej,

$k > 30$ – typ produkcji jednostkowej.

Drugim ze wspomnianych mierników jest współczynnik obciążenia stanowiska roboczego (zob. wzór 3.31):

$$\eta_{ij} = \frac{z_{gi}}{m_{gij}} = \frac{N_i \cdot t_{ij}}{F_j \cdot \varphi_j}, \quad (5.2)$$

gdzie: η_{ij} – współczynnik obciążenia j -tego stanowiska roboczego ij -tą detalooperacją,

z_{gi} – zadanie godzinowe i-tego detalu,

m_{gij} – możliwość godzinowa ij-tej detalooperacji,

N_i – program produkcyjny i-tego detalu,

F_j – fundusz czasu pracy j-tego stanowiska roboczego,

t_{ij} – pracochłonność jednostkowa (normatywna) ij-tej detalooperacji,

φ_j – planowany, korekcyjny współczynnik wykonania normy.

Przyjęto, przy użyciu współczynnika η_{ij} , następująco klasyfikować typy produkcji:

$\eta_{ij} = 1$ – typ produkcji masowej,

$\eta_{ij} = 0,5 \div 0,2$ – typ produkcji wielkoseryjnej,

$\eta_{ij} = 0,2 \div 0,05$ – typ produkcji średnioseryjnej,

$\eta_{ij} = 0,05 \div 0,03$ – typ produkcji małoseryjnej,

$\eta_{ij} < 0,03$ – typ produkcji jednostkowej.

Każdy typ produkcji wymaga odrębnej specyficznej dla siebie organizacji procesu produkcyjnego, który jest związany z charakterystycznymi cechami poszczególnych typów produkcji.

Produkcja jednostkowa określana też jako indywidualna, jest produkcją pojedynczych wyrobów (lub niewielkiej ilości wyrobów) o najmniej stabilnym charakterze produkcji na stanowiskach roboczych i najniższym stopniu ich specjalizacji. Wyroby produkuje się jednorazowo, bądź z pewną powtarzalnością w późniejszym czasie z tym, że powtarzalność ta występuje najczęściej w nieregularnych i trudnych do przewidzenia odstępach czasu. Wyroby wytwarzane są na zamówienie indywidualnego i określonego odbiorcy.

Produkcja jednostkowa charakteryzuje się następującymi cechami:

- asortyment produkcji jest różnorodny,
- park maszynowy uniwersalny, przystosowany do wykonywania różnorodnych operacji,
- uniwersalne oprzyrządowanie i niski stopień oprzyrządowania, uniwersalne środki kontroli,
- wysoko wykwalifikowana kadra robotników i pracowników inż.-technicznych,

- normy czasu ustalane według metody sumarycznej,
- niepogłębiony techniczny podział pracy i potrzeba opanowania większej liczby zawodów,
- technologiczne przygotowanie produkcji wyrobów ma charakter ramowy,
- małe możliwości mechanizacji i automatyzacji produkcji.

W efekcie wyżej wymienionych cech w procesie produkcji będą występować następujące zjawiska:

- wydłużanie cyklu produkcyjnego,
- zwiększanie nakładów pracy, co powoduje zmniejszanie wydajności w skali społecznej,
- brak czasu na opanowanie nowej „roboty” i nabywania wprawy (produkcyjnego uczenia się),
- wzrost kosztów wytwarzania,
- niższe wykorzystywanie możliwości produkcyjnych,
- uzyskiwanie mniej korzystnych wskaźników techniczno-ekonomicznych.

Należy zwrócić uwagę, iż ten typ produkcji nie jest i nie może być w stadium zaniku, gdyż spełnia w gospodarce narodowej określoną i ważną rolę (produkcja statków, maszyn ciężkich, żurawi portowych itp.).

Produkcja seryjna polega na jednoczesnej i bezpośrednio następującej po sobie produkcji określonej liczby (serii, partii) jednakowych wyrobów. Cechą charakterystyczną produkcji seryjnej nie jest określona liczba produkowanych wyrobów, lecz podobieństwo wyrobów i stopień specjalizacji stanowisk roboczych. Pojęcie produkcji seryjnej jest bardzo szerokie. wyróżnia się tutaj z organizacyjnego punktu widzenia produkcję:

- małoseryjną,
- średnioseryjną,
- wielkoseryjną.

Produkcja małoseryjna wykazuje następujące cechy:

- asortyment produkcji obejmuje różnorodne typy urządzeń i wyrobów różnej wielkości,
- produkcja posiada charakter raczej nieustabilizowany,

- serie powtarzają się w bliżej nieokreślonych, nierównomiernych odstępach czasu, względnie też w rozważanym przedziale czasu nie zostają wcale powtórzone,
- stopień powtarzania operacji uzależniony jest w dużej mierze od poziomu realizacji procesu unifikacji,
- środki produkcji stanowią obrabiarki uniwersalne, odpowiednio dostosowane,
- rzadko stosuje się przyrządy specjalne.

Produkcja średnioseryjna wyróżnia się następującymi cechami:

- w produkcji występuje asortyment różnych typów wyrobów w większej części jednej wielkości,
- powtarzanie produkcji tych samych wyrobów odbywa się w określonych odstępach czasu,
- przebieg produkcji jest w większej części ustabilizowany,
- środki produkcji częściowo specjalne z mniejszym zakresem oprzyrządowania specjalnego,
- spływ produkcji odbywa się seriami (partiami) w rytmicznie występujących okresach powtarzalności.

Produkcja wielkoseryjna wyróżnia się następującymi cechami:

- asortyment produkcji obejmuje wyroby jednego typu lecz różnej wielkości,
- produkcja przejawia całkowitą stabilizację, czyli wytwarzane są takie same wyroby w kolejnych przedziałach czasu,
- ciągła powtarzalność partii w odstępach ustalonych odpowiednim rytmem partii,
- pełna powtarzalność operacji na określonym stanowisku roboczym,
- środki produkcji częściowo unikalne, w większej części jednooperacyjne,
- duży stopień oprzyrządowania przy stosowaniu przyrządów specjalnych.

W konsekwencji wyżej wyliczonych cech można ogólnie produkcji seryjnej, przypisać następujące korzystne zjawiska:

- posiada niewątpliwą przewagę nad produkcją jednostkową, ponieważ odznacza się większą efektywnością wykorzystania możliwości produkcyjnych, podniesienie wydajności pracy,
- lepsze wykorzystanie maszyn i urządzeń,
- lepsze wykorzystanie materiałów i zmniejszenie zapasów produkcji w toku,

- skracanie cykli produkcyjnych,
- pozwala stosować bardziej rozwinięty podział pracy i na skutek tego wyższy poziom specjalizacji stanowisk roboczych,
- obniżają się nakłady pracy i tym samym koszty produkcji zwłaszcza, że równocześnie maleje udział prac ręcznych,
- występują korzystniejsze wartości wskaźników techniczno-ekonomicznych.

Produkcja masowa polega na długotrwałej lub stałej produkcji jednakowych wyrobów (detali) na stanowiskach roboczych o najwyższym stopniu specjalizacji tych stanowisk i największej stabilności produkcji.

Najbardziej istotną cechą tego typu produkcji jest niezmiennie obciążenie stanowisk roboczych tą samą pracą przez dłuższy okres czasu np. rok lub kilka lat. Musi więc istnieć odpowiednio wysokie zapotrzebowanie na daną produkcję. Produkcja masowa wyróżnia się następującymi cechami:

- wymaga starannego i dokładnego technicznego przygotowania produkcji,
- stanowiska robocze usytuowane są w kolejności biegu procesu technologicznego wyrobu, tworząc często linie produkcyjne,
- duża specjalizacja pracy robotników uzyskujących w ten sposób dużą wprawę,
- asortyment jest w pełni jednorodny, obejmujący jedną typowość,
- występuje pełna powtarzalność operacji na stanowiskach roboczych,
- środki produkcji stanowią wyłącznie maszyny specjalne i specjalizowane,
- wykorzystuje się przede wszystkim oprzyrządowanie specjalne,
- poszczególne stanowiska wykazują całkowitą stabilizację obciążenia poszczególnych operacji,
- rozwija się optymalny poziom specjalizacji produkcji i stanowisk roboczych,
- występują krótkie cykle produkcyjne i niskie koszty produkcji.

Z przedstawionej charakterystyki wynika, że z punktu widzenia organizacji i ekonomiki bardziej pożądana jest produkcja masowa i wielkoseryjna, której stosowanie jest możliwe w warunkach wysokiej koncentracji produkcji. Należy jednak pamiętać, iż oprócz niewątpliwych zalet – zasadniczą ich wadą w aspekcie organizacyjnym jest brak elastyczności przystosowywania się do coraz bardziej zmiennych zapotrzebowań rynku.

5.2. Formy produkcji

Formą organizacji produkcji (krótko – formą produkcji) nazywamy sposób powiązania stanowisk roboczych w procesie produkcyjnym poszczególnych wyrobów. Generalnie znane formy organizacji produkcji można podzielić na:

- nierytmiczne (również nazywane: niepotokowe lub niepowtarzalne, niestabilizowane, zmiennoseryjne),
- rytmiczne (również nazywane: potokowe lub powtarzalne, ustabilizowane, stałoseryjne).

Produkcja nierytmiczna nie wykazuje żadnej, lub jedynie minimalną powtarzalność operacji na poszczególnych stanowiskach roboczych, co powoduje dużą częstotliwość ich przeobrażania. Charakteryzuje się ona następującymi cechami:

- niskim stopniem oprzyrządowania,
- dużymi i wahliwymi zapasami produkcji w toku,
- najczęściej stosowaną technologiczną strukturą produkcyjną,
- opiera się na zleceńowym systemie planowania produkcji,
- bieżącym dysponowaniem obciążeniami stanowisk roboczych.

W głębszym podziale formy nierytmiczne można poklasyfikować na formy:

- niepotokowa w komórkach produkcyjnych a strukturze technologicznej,
- niepotokowa w komórkach o strukturze przedmiotowej,
- niepotokowa w liniach.

W formie niepotokowej dla komórek produkcyjnych o strukturze technologicznej grupowane są stanowiska robocze wykonujące operacje o jednakowych metodach obróbki nie mające ścisłych powiązań poprzez proces produkcyjny wykonywanych wyrobów.

Forma nierytmiczna dla komórek produkcyjnych o strukturze przedmiotowej grupuje stanowiska robocze, których powstające na bieżąco powiązania procesem produkcyjnym, są przypadkowe i nieregularne lub nie muszą w ogóle występować pomiędzy sąsiednimi stanowiskami roboczymi.

Forma nierytmiczna w liniach produkcyjnych charakteryzuje się brakiem regularnej powtarzalności wykonywania wyrobów, gdyż są one produkowane w sposób okresowy, a także może okresowo występować zmiana wielkości programów produkcyjnych wyrobu.

Produkcja rytmiczna wykazuje ścisłe powiązanie stanowisk roboczych, przydział konkretnych detalooperacji do konkretnych stanowisk roboczych, powtarzalność produkcji takich samych wyrobów oraz produkcja taka posiada warunki do tworzenia tzw. harmonogramów wzorcowych. Charakteryzuje się ona następującymi cechami:

- wysokim stopniem oprzyrządowania specjalnego,
- wielkość produkcji w toku posiada charakter ustabilizowany, a zapasy międzyoperacyjne są minimalne,
- struktura produkcyjna oparta jest na tendencji przedmiotowej,
- ze względu na ścisły przydział zadań do konkretnych stanowisk roboczych (specjalizację) jest ona mało elastyczna,
- opiera się na planowaniu produkcji według systemu planów raportów i kart limitów materiałowych,
- ewidencja produkcji odbywa się jedynie na zasadzie kontroli stanu zapasów, względnie rejestracji spływu półwyrobów i wyrobów finalnych.

W rytmicznej formie organizacji produkcji, gdzie występuje zawsze przedmiotowa tendencja specjalizacji komórek produkcyjnych, można sklasyfikować następujące, szczegółowe formy tej produkcji:

- potok asynchroniczny,
- potok synchroniczny,
- potok z przymusowym taktiem,
- potok zautomatyzowany.

Dwa pierwsze potoki wydzielone są z punktu widzenia występowania lub braku synchroniczności operacji czyli ciągłości procesu produkcyjnego. Trzeci i czwarty potok wydzielony jest w ramach występującej już ciągłości produkcji, według kryterium stopnia mechanizacji przemieszczania wyrobów pomiędzy stanowiskami produkcyjnymi.

W potoku asynchronicznym czasy wykonania poszczególnych operacji nie są sobie równe ani krotne, więc na skutek swobodnego rytmu (ale jednak stalego) występują pewne przerwy zakłócające równomierność przebiegu produkcji. W konsekwencji takiego stanu pojawią się, na stanowiskach, o pracochłonności krótszej aniżeli takt, przerwy w produkcji, zaś na stanowiskach o pracochłonno-

ści przewyższającej takt, gromadzą się zapasy wyrobów (detali). Natomiast w potoku synchronicznym takie niekorzystne zjawiska nie występują, gdyż z powodu synchronizacji operacji uzyskujemy gwarancję stałości powiązań stanowisk roboczych, przy pełnym ich wykorzystaniu oraz całkowitej równomierności przebiegu produkcji.

W potoku z przymusowym taktem, który wymuszany jest zmechanizowanym środkiem transportu międzystanowiskowego, może być ciągły lub przerywany na okres trwania taktu. Doświadczenie wykazuje, iż bez przymusowego transportu potoki tracą swoją synchroniczność ze względu na indywidualną wydajność pracy poszczególnych stanowisk roboczych. W potoku zautomatyzowanym może występować automatyzacja przemieszczania wyrobów lub automatyzacja procesów obróbczych odbywających się w linii produkcyjnej. Połączenie obu aspektów automatyzacji, może doprowadzić do zastosowania centralnego sterowania zarówno pracami technologicznymi jak również przemieszczania przedmiotów pracy w ramach linii.

Przedstawione formy organizacji produkcji mogą się w przyszłości rozwijać doskonalsze warianty, związane z postępującymi udoskonaleniami w dziedzinie organizacji i zarządzania przedsiębiorstwami (zob. cz. III).

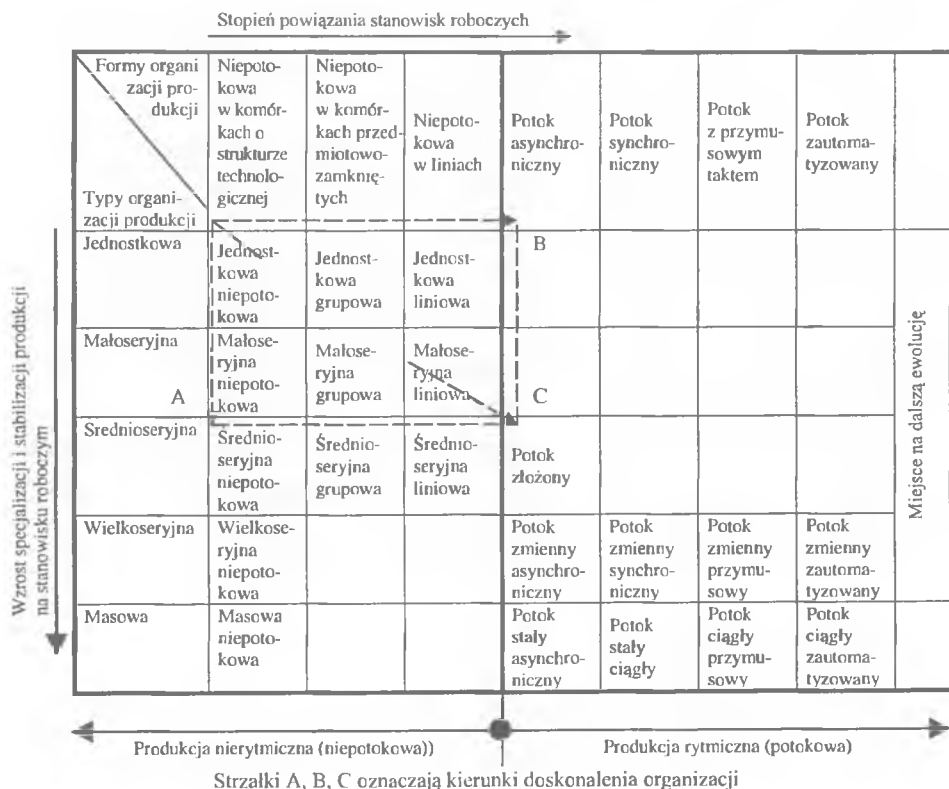
5.3. Odmiany produkcji

Odmiana organizacji produkcji (krótko – odmiana produkcji) jest wynikiem nałożenia się (macierzowego skrzyżowania) typów organizacji produkcji i formy jej organizacji.

Systematyczny układ odmian produkcji według S. Chajtmmana [14] przedstawia rys. 5.1, które może obecnie spotkać w istniejących komórkach produkcyjnych. Znając typ produkcji i mając określoną formę produkcji znajdujemy, na przecięciu kolumn i wierszy tablicy, właściwą odmianę i przeciwnie – znając odmianę produkcji można z łatwością powiedzieć jaki jest typ i jaka forma organizacji produkcji.

Tablica odmian produkcji jest niekiedy pomocna do określania postępowości poszczególnych odmian. Położenie danej odmiany w stosunku do przekątnej

tablicy (strzałka C) wskazuje, która z odmian jest bardziej postępową. Należy zwrócić uwagę na ostatnią nie wypełnioną kolumnę symbolizującą to, że klasyfikacja nie jest ostatecznie zamknięta i mogą w przyszłości powstawać doskonalsze odmiany organizacji produkcji.



Rys. 5.1. Systematyczny układ odmian organizacji produkcji [14]

Odmiany uszeregowane w poszczególnych kolumnach (pionowo) oznaczają się jednakową formą organizacji procesu produkcyjnego, różnią się zaś pod względem typu organizacji produkcji na stanowiskach roboczych. Natomiast odmiany uszeregowane w poszczególnych wierszach (poziomo) oznaczają się jednakowym typem organizacji produkcji, różnią się zaś formami organizacji procesu produkcyjnego w komórce produkcyjnej.

Produkcja nierytmiczna w komórkach o strukturze technologicznej uzyskuje kolejne odmiany zgodnie z poszczególnymi typami organizacji produkcji. W każdej z tych komórek, składających się ze stanowisk roboczych o jednakowych metodach obróbki i nie powiązanych procesem produkcyjnym wyrobu, można wytwarzać różnorodne wyroby – pod względem kształtu, gabarytów oraz wielkości programów produkcyjnych.

Dla nierytmicznej produkcji w komórkach przedmiotowo zamkniętych odmiany produkcji otrzymujemy z połączenia jednostkowego, mało i średnioseryjnego typu produkcji. Dotyczą one produkcji grupowej charakterystycznej dla typoszeregu wyrobów złożonych konstrukcyjnie i technologicznie. Powoduje to stosunkowo niskie i zróżnicowane obciążenie stanowisk roboczych, wolniejszy (najczęściej szeregowy) przebieg detali oraz wydłużony cykl produkcyjny.

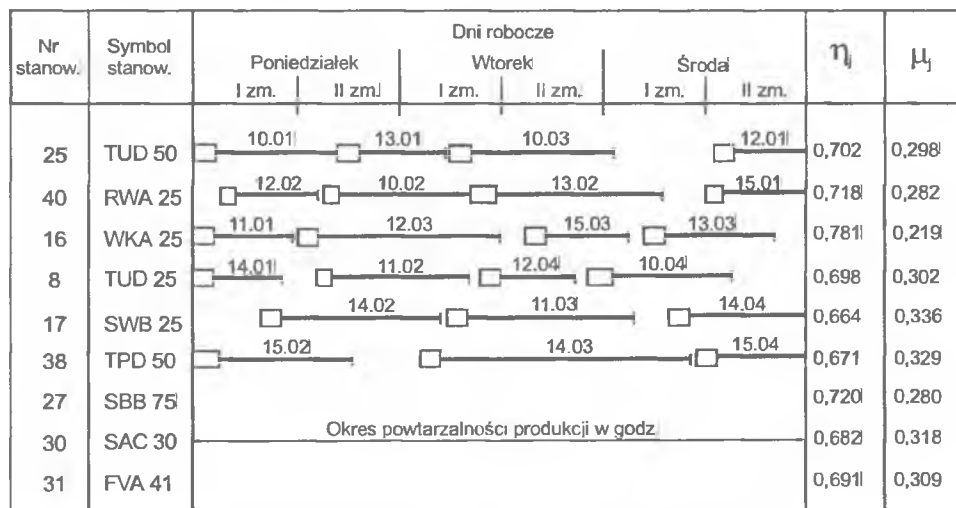
Występujące odmiany w niepotokowych liniach produkcyjnych cechuje ustawienie stanowisk roboczych zgodnie z kolejnością operacji w procesie technologicznym z tym, że nie ma tutaj ścisłego przydziału detalooperacji do konkretnych stanowisk i regularnej powtarzalności produkcji.

Każda z odmian organizacji nierytmicznej produkcji nie może mieć ułożonego dla siebie wzorcowego harmonogramu. Można pokusić się tutaj o następujący wniosek; odmiany w komórkach przedmiotowo zamkniętych i liniach produkcyjnych będą prawdopodobnie zanikać¹ ze względu na powstawanie nowej i efektywnej formy organizacji produkcji – elastycznych systemów produkcyjnych (zob. rozdz. 9).

Przechodząc do rytmicznej produkcji, której cechą charakterystyczną jest ścisłe powiązanie stanowisk roboczych i detalooperacji, powtarzalność produkcji i występowanie harmonogramu przebiegu produkcji (zob. rys. 5.2), omawiając jej odmiany rozpoczniemy od potoku złożonego. Występuje ona dla średnioseryjnej produkcji w przypadku stosunkowo niskiej specjalizacji stanowisk roboczych i przeważnie w warunkach nietypowego przebiegu procesu produk-

¹ Systematyczny układ typów, form i odmian produkcji będzie w przyszłości ulegał modyfikacji w wyniku zanikania dotychczasowych i pojawiania się nowych form i odmian organizacji produkcji. Badania autora w kilkunastu przodujących przedsiębiorstwach makroregionu południowo-wschodniego nie potwierdziły istnienia, nawet w szcztątkowym wymiarze, formy niepotokowych linii produkcyjnych.

cyjnego z tzw. nawrotami. Również czasy poszczególnych operacji nie są możliwe do zsynchronizowania. Tworzy to wszystko układ produkcyjny bardzo złożony, stąd nazwa tej odmiany produkcji.



Rys. 5.2. Fragment harmonogramu wzorcowego dla potoku złożonego (opr. własne)

Dla wielkoseryjnej produkcji wydzielone zostały potoki zmienne, które w połączeniu z kolejnymi formami tworzą poszczególne odmiany. Potok zmienny asynchroniczny dotyczy zbioru wyrobów (detali) technologicznie podobnych, które jednak nie wykazują synchronizacji czasu trwania operacji, wskutek czego będą występowały przerwy w pracy stanowisk roboczych. Występuje tutaj najczęściej szeregowo-równoległy przebieg partii detali i średni współczynnik wykorzystania stanowisk roboczych.

Jednym z warunków doskonalenia organizacji jest przejście od procesów asynchronicznych do synchronicznych. Tę zaletę posiada potok zmienny synchroniczny, w którym produkcja zmiennych detali jest realizowana niejako w odrębnych potokach – wznawianych w przyjętych okresach powtarzalności – systemem równoległym. Ten rodzaj potoku stosujemy dla różnych typowości wyrobów.

Potoki zmienny przymusowy i zmienny zautomatyzowany – posiadają wszystkie cechy potoku zmiennego synchronicznego z tym, że warunkuje je rodzaj transportu między stanowiskami roboczymi. Zachodzi tu jednak potrzeba przezbierania potoku, którego czas powinien być jak najkrótszy (od 5 do 15 % okresu produkcji zmiennego wyrobu w tym potoku).

W obrębie rytmicznej produkcji można wydzielić dla masowego typu produkcji potoki stałe, które w połączeniu z kolejnymi formami tworzą poszczególne odmiany. Wszystkie potoki stałe charakteryzują się tym, iż produkowany jest tam tylko i wyłącznie jeden wyrób (detali a więc niezmiennosc procesu produkcyjnego jest wynikiem wykonywania na określonym stanowisku roboczym tej samej (określonej) detalooperacji.

W potoku stałym asynchronicznym obciążenia poszczególnych stanowisk określonymi detalooperacjami będą nierównomierne, na skutek braku synchroniczności czasów operacji i niejednolitej wielkości taktu poszczególnych operacji. Potok stały ciągły (synchroniczny) posiada już równomierne obciążenia stanowisk roboczych w oparciu o takt spływu produkcji ustalony na podstawie harmonizacji linii produkcyjnej. Różnica pomiędzy potokiem stałym ciągłym, a następnymi wyższymi odmianami organizacji produkcji (ciągły przymusowy i ciągły zautomatyzowany) polega na zapewnieniu gwarancji ciągłości produkcji, niezależnej od współpracy stanowisk roboczych. Uzyskujemy ją poprzez zastosowanie zmechanizowanego środka transportu (z ustalonym taktem) lub zautomatyzowanego przemieszczenia przedmiotów pracy między stanowiskami roboczymi.

Struktura produkcji przemysłowej, jej wielkość oraz wymagania techniczno-ekonomiczne obniżające jednostkowe koszty wytwarzania, sprzyjały w ostatnich dziesięcioleciach upowszechnianiu się form organizacji produkcji wywodzących się z koncepcji taylorowskich dla dużej skali wytwarzania. Jednak próby stosowania nowych kryteriów w procesie produkcyjnym, oraz humanizacji pracy i stosunków międzyludzkich zaczęły wywierać duży wpływ na procesy rozwojowe przemysłu, określone przede wszystkim przez ewolucję metod wytwarzania i zarządzania przedsiębiorstwami. Nowoczesne pojmowanie przedsiębiorstwa oparte na logistyce, elastyczności i interdyscyplinarności działań oraz

wsparte rozwojem technologii komputerowej spowodowało powstawanie nowoczesnych i przyszłościowych systemów produkcyjnych (zob. cz. III). Te nowo powstałe formy i odmiany organizacji produkcji mogą już zapełniać ostatnią kolumnę tablicy (na rys. 5.1), przewidziane na dalszą ewolucję organizacji i zarządzania przedsiębiorstwami.

6. PROJEKTOWANIE ORGANIZACJI PRODUKCJI

6.1. *Problemy projektowania*

Projektowaniem od strony metodologicznej zajął się w Polsce jako pierwszy T. Kotarbiński – twórca prakseologii, którego prace ukształtowały zręby prakseologicznej metodologii projektowania. Dalsze badania rozwijające ten nurt doprowadziły do powstania dziedziny badań naukowych obejmującej metodologię i proces projektowania ogólnego i szczegółowego oraz badania podmiotów i przedmiotów projektowania [23], [69].

Techniczne pochodzenie pojęcia projektowanie (łac. *proiectus* – wysunięty ku przodowi), znajduje wyraz w stereotypie wyrażającym się tym, iż termin ten jest na ogół rozumiany jako „projektowanie techniczne” zwane często „inżynierskim”. I tutaj istnieje wiele ujęć definicyjnych, nawet różniących się między sobą, wynikających z ujmowania projektowania przez pryzmat poszczególnych dyscyplin naukowych. Ponieważ projektant organizator produkcji, oprócz inżynierskiego charakteru swej działalności, łączy w sobie obszary nauk ekonomiczno-społecznych, to tego typu projektowanie nabiera cech działalności interdyscyplinarnej.

Projektowanie jest jednym z podstawowych i najstarszych rodzajów działalności ludzkiej. Jest to proces tworzenia modelu systemu, który ma być zrealizowany, gdzie model jest hipotetyczną konstrukcją myślową będącą uproszczonym obrazem badanego fragmentu rzeczywistości (niektórzy utożsamiają pojęcie modelu z pojęciem wzorca, a więc czegoś, do czego się dąży) [37]. Zwykle proces projektowania kojarzony jest z tworzeniem obiektów material-

nych, ale występuje on również w odniesieniu do twórców zorganizowanych i systemów działania (szczególnie nas interesujących systemów produkcyjnych). Najczęściej proces projektowania zawiera następujące cechy:

- polega na rozwiązywaniu problemów,
- ma charakter twórczy i otwarty,
- dominują w nim prace koncepcyjne nad manualnymi,
- wymaga przetwarzania informacji,
- wykorzystuje model jako narzędzie badawcze,
- ma charakter preparacyjny.

Specyfika projektowania, jako procesu rozwiązywania problemów, polega na obmyśleniu takiego systemu, który po zrealizowaniu zaspokoiliby określoną potrzebę lub umożliwiłby pokonanie ujawnionych trudności. Twórczy charakter projektowania polega na tworzeniu czegoś nowego, a więc nadawaniu cech nowości projektowanym obiektom. Otwartość procesu projektowego jest rezultatem ciągłych interakcji występujących między projektantem a otoczeniem, co wiąże się również z potrzebą przetwarzania informacji docierających z zewnątrz do systemu projektującego. Preparacyjny charakter projektowania wyraża się w tym, że wynik tego procesu jest podstawą wszelkich działań kształtujących ostateczną postać projektowanego systemu w praktyce.

Badaniem i tworzeniem zasad postępowania związanych z kształtowaniem rozwiązań organizacyjnych, zajmuje się metodologia organizowania. Jej rozwój towarzyszy nieodłącznie rozwojowi nauki o organizacji i zarządzaniu. Wynikiem tego rozwoju jest różnorodność teoretycznych i praktycznych koncepcji projektowania rozwiązań organizacyjnych. Znajomość ich istoty, genezy, możliwości i ograniczeń oraz wzajemnych powiązań stanowi niezbędny składnik wiedzy organizatora.

Głównym przedmiotem organizacji produkcji, będącej częścią nauki o organizacji i zarządzaniu, jest *proces produkcyjny*, w którym człowiek i jego praca oraz środki i przedmioty pracy, występują w określonych relacjach. Organizacja produkcji, która ma tak długą historię jak praca człowieka, zmieniała się w sposób ewolucyjny w miarę rozwoju przemysłu, wzrostu mechanizacji i automatyzacji produkcji. W takim samym stopniu zmieniały się cele i zadania

działalności organizatora produkcji. Od organizatora jako kierownika określonego szczebla, kierującego procesem produkcyjnym lub jego fragmentem, do organizatora projektanta, który z niezbędnym wyprzedzeniem potrafi w sposób precyzyjny przewidzieć (zaprojektować) przebieg tego procesu produkcyjnego. Wobec tego rośnie rola organizatora jako projektanta procesów i systemów produkcyjnych.

W praktyce przemysłu elektromaszynowego napotykamy najczęściej na bardzo zróżnicowane zadania projektowe, których klasyfikacja powinna mieć taką postać, aby móc przeprowadzić analiz występujących problemów projektowych. Zgodnie z przyjętym w rozdz. 1 schematem dekompozycji systemu produkcyjnego, dokonamy analizy metodycznych podejść do projektowania procesów i systemów produkcyjnych w literaturze przedmiotu, poprzez rozczłonkowanie i pogrupowanie wspólnych cech projektowych.

Za pierwotny przekrój dekompozycji uznaje się strukturę procesów i ich podział ze względu na napływ w realizacji celów i zadań systemu produkcyjnego. Napotykamy tutaj problemy projektowania dotyczące:

- podstawowych procesów produkcyjnych: np. [20], [30], [41],
- pomocniczych procesów produkcyjnych: np. [17], [41], [85],
- procesów zarządzania: np. [5], [35], [74].

Z punktu widzenia projektanta i organizatora produkcji głównym obiektem zainteresowań, jest proces produkcyjny, którego kształt i charakter uzyskuje się przygotowując najpierw podstawowy proces produkcyjny a następnie pozostałe procesy obsługowe i infosterujące (zarządzania).

W drugim przekroju dekompozycji systemu produkcyjnego i związanych z tym problemów projektowania odnosimy się do całokształtu parametrycznego opisu procesu produkcyjnego. Organizator-projektant posługuje się najczęściej tutaj tzw. obliczeniami produkcyjno-organizacyjnymi, pozwalającymi ustalić wielkości czynników produkcji, zbilansować te czynniki, aby określić wielkości komórek produkcyjnych oraz porównać możliwości produkcyjne z zadaniami. Obliczenia produkcyjno-organizacyjne dzielą się na orientacyjne, przeprowadzane na podstawie wskaźników techniczno-ekonomicznych oraz obliczenia szczegółowe, opierające się o dokumentację techniczno-produkcyjną.

Obliczenia te umożliwiają zaprojektowanie przede wszystkim struktury produkcyjnej oraz przewidzenie konsekwencji wynikających ze zmian czynników produkcji. Chodzi przede wszystkim o określenie:

- struktury produkcyjnej: np. [31], [65], [73],
- przestrzennej alokacji stanowisk roboczych i komórek produkcyjnych: np. [31], [64], [65],
- przebiegu procesu produkcyjnego w czasie: np. [26], [44], [83].

Trzeci przekrój strukturalny dotyczy podziału dla określonego stopnia komórek produkcyjnych. Oczywiście ma to ogromny wpływ na poziom i zakres zadań projektowych, dotyczących komórek produkcyjnych:

- niższych stopni (gniazda, linie, oddziały, wydziały): np. [14], [20], [41],
- wyższych stopni (zakład, przedsiębiorstwo): np. [31], [65], [73].

Czwarty przekrój strukturalny rozpatruje system produkcyjny w odniesieniu do jego faz rozwoju. Występują tutaj następujące problemy projektowania związane z tymi fazami:

- projektowanie rozruchu produkcji w nowo uruchamianym systemie produkcyjnym: [7],
- projektowanie produkcji dla normalnego (docelowego) stanu eksploatacji systemu produkcyjnego; dotyczą tego wszystkie wymienione wyżej pozycje literatury w trzech przekrojach dekompozycji,
- projektowanie wycofywania produkcji w likwidowanym systemie produkcyjnym; brak metodyki¹.

Systemy produkcyjne będące od kilkadziesiąt lat przedmiotem zainteresowania badaczy organizacji produkcji, ulegają pod wpływem nowych metod produkcji etapowym zmianom strukturalnym i funkcjonalnym, związanym również ze skalą wytwarzanej tam produkcji. Doskonalenie przekształceń technologicznych i metod produkcji przesądziło o nieuniknionym przechodzeniu do coraz nowocześniejszych rozwiązań techniczno-organizacyjnych. Pogłębiający się stopień integracji systemów produkcyjnych, elastycznej automatyzacji i komputerowego wspomaganie wszystkich etapów cyklu wytwórczego, ukształtował

¹ Aktualnie w Katedrze Organizacji Przedsiębiorstwa podjęto taką pracę badawczą.

nowe kierunki rozwoju – od konwencjonalnych form organizacyjnych – ku nowoczesnym systemom produkcyjnym.

Nowoczesne systemy produkcyjne w porównaniu z konwencjonalnymi systemami produkcyjnymi charakteryzują się odmienną filozofią. Łączy ona w sobie wydawałoby się dwie przeciwstawne koncepcje; wysokiej produktywności oraz dużej elastyczności i podatności systemu produkcyjnego na zmiany płynące z zapotrzebowań rynkowych. Krajowa literatura przedmiotu zaczyna w ostatnich kilku latach, wzbogacać się o pozycje (zob. np. [42], [67], [74]) traktujące o elastycznych systemach produkcyjnych i komputerowo zintegrowanych systemach produkcyjnych. Obszary naukowej penetracji oraz doświadczenia z praktycznych wdrożeń tych nowoczesnych systemów produkcyjnych są „kamieniami milowymi” rozwiązań nauki o organizacji produkcji.

Przemiany zachodzące w nowoczesnych przedsiębiorstwach wywołują coraz większe zapotrzebowanie na wiedzę integrującą projektowanie procesów technologicznych z projektowaniem i organizacją procesów produkcyjnych oraz systemów produkcyjnych. Tak kompleksowo rozumiane zadania organizatora-projektanta, wzbogacone o komputerowo wspomagane projektowanie, podkreśla twórczą stronę tego zawodu. Można przewidywać, że w najbliższej przyszłości proces projektowania będzie przebiegał na drodze interaktywnej współpracy projektanta z komputerem dla komputerowo zintegrowanych systemów produkcyjnych.

Konieczność wprowadzenia nowatorskich koncepcji systemów produkcyjnych wynika z jednej strony z rozwoju nauki w dyscyplinie organizacja i zarządzanie, a z drugiej z poszukiwania w przedsiębiorstwach własnych szans adaptowania się w otoczeniu lepiej i szybciej niż konkurenci. Dlatego każde przedsiębiorstwo, które ma nadzieję prosperować w XXI wieku musi przejść przez procesy innego myślenia o sobie i otoczeniu. Wobec tego systemy produkcyjne już w chwili obecnej powinny tworzyć szereg warunków, które pozwolą uwzględnić przyszłe możliwości i sprzyjać nowym koncepcjom organizacyjnym (zob. rozdz. 12) zapewniającym takie cechy jak: adaptabilność, elastyczność wewnętrzną i zewnętrzną, samorozwój itp.

6.2. Metodyczne aspekty projektowania

Wspólną cechą wszystkich metodyk projektowania jest dążenie do sformułowań tak ogólnych, aby mogły się one odnosić do potencjalnie możliwych sytuacji. Syntetyzujący podział na metodyki projektowania konwencjonalnych i nowoczesnych systemów produkcyjnych, zgodnie z klasyfikatorem typów i form organizacji produkcji, obejmuje obszary projektowe dotyczące:

- 1) konwencjonalnych systemów produkcyjnych:
 - produkcji rytmicznej (potokowej),
 - produkcji nierytmicznej (niepotokowej).
- 2) nowoczesnych systemów produkcyjnych:
 - elastycznych systemów produkcyjnych (ESP),
 - komputerowo zintegrowanych systemów produkcyjnych (CIM).

W obszarze konwencjonalnych systemów produkcyjnych tylko produkcja rytmiczna posiada ostatecznie ukształtowaną metodykę projektowania. Druga forma tj. produkcja nierytmiczna ma opracowane rozwiązania fragmentaryczne, lecz bez wspólnej i ugruntowanej jednoznacznie metodyki projektowania. Mimo różnic pomiędzy tymi formami organizacji produkcji, pewne obszary są na tyle wspólne i przenikające się wzajemnie, że podejmujemy tutaj próbę zbudowania ogólnego przebiegu projektowania dla konwencjonalnych systemów produkcyjnych. Opieramy się o cztery następujące etapy projektowania:

- Etap 1. Projektowanie struktury produkcyjnej,
- Etap 2. Projektowanie rozmieszczenia stanowisk roboczych,
- Etap 3. Projektowanie harmonogramów,
- Etap 4. Opracowania uzupełniające.

Proces projektowania według tych etapów opierać się będzie na najbardziej złożonej sytuacji, w której mieszczą się wszystkie występujące w praktyce przemysłowej, powiązania problemów i zadań projektowych. Poszczególne etapy składać się będą z określonych modułów projektowych, a te z określonych procedur projektowych, połączonych ze sobą przepływem informacji o wielkościach parametrów procesów produkcyjnych. Występujące zagadnienia projektowe są rozwiązywane w poszczególnych etapach metodą kolejnych przy-

bliżeń, wobec braku innych metod dla wielokryterialnych układów. Optymalność ostatecznego rozwiązania jest więc zależna od stopnia optymalności rozwiązań cząstkowych, w odniesieniu do optymalizacji całego układu organizacyjnego. Idealnym rozwiązaniem byłby kompleksowy model optymalizujący cały przebieg procesu projektowania według różnorodnych kryteriów, lecz niestety nie realny ze względu na dużą złożoność procesów produkcyjnych. W takiej sytuacji, w kolejnych czterech etapach, metodą niejako „prób i błędów”, dążymy do rozwiązań całościowo najlepszych, przy uwzględnieniu wzajemnego oddziaływania poszczególnych czynników produkcji w systemie produkcyjnym. Modelowym układem tej metodyki są komórki produkcyjne niższych stopni dla okresu normalnej (docelowej) eksploatacji konwencjonalnych systemów produkcyjnych.

Projektowanie organizacji produkcji obejmuje wiele przypadków, w których realizowany będzie tylko jeden lub wybrane etapy projektowania. Dla nowo projektowanej jednostki produkcyjnej obejmować będą pełny cykl projektowania (cztery etapy), a dla istniejącej jednostki produkcyjnej mogą wystąpić, niektóre etapy czy moduły projektowe np. obliczeń produkcyjnych i rozmieszczenia stanowisk roboczych. Oczywiście dotyczy to także stosowania etapów metodyki do problemów projektowania komórek produkcyjnych będących w trakcie modernizacji lub przeprofilowania produkcji.

Schemat etapów i modułów *metodyki projektowania konwencjonalnych systemów produkcyjnych* przedstawiono na rys. 6.1. Obowiązujące w metodyce cztery etapy projektowania oznaczone są symbolem „R” dla rytmicznej produkcji i symbolem „N” dla nierytmicznej produkcji oraz cyframi odnoszącymi się do numeru etapu i modułu. Strzałki wyznaczają kierunek przebiegu procesu projektowania według kolejnych modułów projektowych.

Przystępując do projektowania musimy dysponować niezbędnymi danymi wejściowymi, opracowanymi wcześniej w fazie technicznego (konstrukcyjnego i technologicznego) przygotowania produkcji, dotyczącymi zbioru wyrobów i czynników produkcyjnych oraz normatywów produkcyjno-organizacyjnych (szczegóły zob. ust. 7.2 i ust. 8.2). Wskazane jest ponadto posiadanie informacji o innych komórkach produkcyjnych, funkcjonujących w przedsiębiorstwie lub nowo projektowanych komórkach dla nowych przedsiębiorstw, w których sys-

tem pracy ma być włączona projektowana KP. Przede wszystkim chodzi tu o możliwości wzajemnej współpracy kooperacyjnej, możliwości organizowania wspólnych służb obsługi produkcji itp.

Na podstawie danych wejściowych, a przede wszystkim wielkości programów produkcyjnych wyrobów, można już „z góry” zakwalifikować grupy wyrobów do projektowania według:

1. „R” – metodyki projektowania produkcji rytmicznej dla wyrobów o programach charakteryzujących się masowym, wielkoseryjnym lub średnioseryjnym wpływem produkcji,
2. „N” – metodyki projektowania produkcji nierytmicznej dla wyrobów o programach charakteryzujących się średnioseryjnym, małoseryjnym, lub jednostkowym wpływem produkcji.

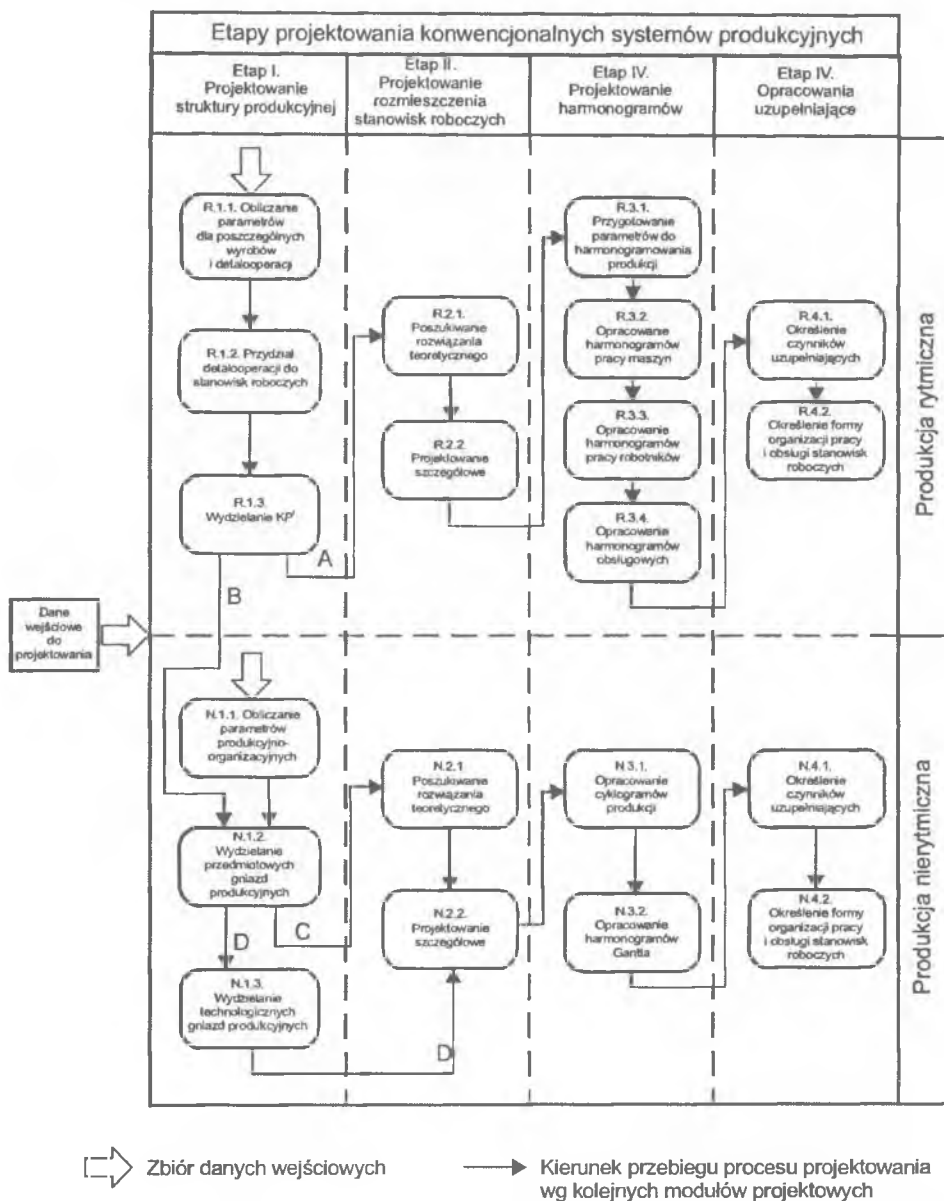
Najczęściej w przypadku średnioseryjnych wielkości programów produkcyjnych powstają wątpliwości, do której metodyki („R” czy „N”) mają trafić określone wyroby. Taką weryfikację ostatecznie przeprowadza się poprzez szczegółowe obliczenia Etapu 1, zgodnie z metodyką „R”. Nie zakwalifikowane grupy wyrobów z Etapu 1, przekazywane są do procedur projektowych metodyki „N”.

Wspólny schemat podejścia do projektowania konwencjonalnych systemów produkcyjnych² wyróżnia następujące grupy wyrobów:

- A – wyroby podlegające projektowaniu organizacji zgodnie z metodyką „R”,
- B – wyroby nie zakwalifikowane do projektowania organizacji zgodnie z metodyką „R” i przekazywane do metodyki „N”,
- C – wyroby podlegające projektowaniu organizacji zgodnie z metodyką „N”, dla gniazd produkcyjnych o strukturze przedmiotowej,
- D – wyroby podlegające projektowaniu organizacji zgodnie z metodyką „N”, dla gniazd produkcyjnych o strukturze technologicznej.

Podział na powyższe grupy wyrobów dokonuje się w pierwszym etapie obu metodyk („R” i „N”), a w następnych etapach przeprowadza się zgodnie z kierunkiem przebiegu projektowania, kolejne moduły i procedury projektowe.

² Wspólny schemat nie wyklucza, oczywiście odrębnego stosowania obu tych metodyk.



Rys. 6.1. Schemat etapów i modułów projektowania konwencjonalnych systemów produkcyjnych (opr. własne)

Analizując schemat na rys. 6.1 wyraźnie uwypuklają się podobieństwa i różnice pomiędzy etapami i modułami projektowymi omawianych metodyk. I tak:

- 1) podobną strukturę i zakres projektowy posiadają etap 2 i etap 4 w obu metodykach,
- 2) zasadnicze różnice występują w etapach 1 i 3 zarówno w ilości modułów oraz ich merytorycznym zakresie i składzie procedur projektowych.

Założenie metodologiczne oraz szczegółowe rozwinięcia, etapów, modułów i procedur projektowych, przedstawiamy w rozdziałach 7 i 8 niniejszego skryptu. Metodyka projektowania systemów rytmicznej produkcji opiera się na opracowaniach Instytutu Organizacji Systemów Produkcyjnych Politechniki Warszawskiej. Natomiast prezentowana w rozdz. 8 metodyka projektowania systemów nierytmicznej produkcji jest własną propozycją autora, wykorzystującą opracowania różnych ośrodków badawczych, systematyzującą kolejność i zakres projektowania w postaci czteroetapowego schematu postępowania (rys. 6.1).

Nowoczesna organizacja produkcji polegająca na właściwym doborze czynników produkcji, optymalizacji struktury produkcyjnej oraz metod wytwarzania i przepływu materiałów, informacji i kapitału w procesie produkcyjnym, stworzyła potrzebę sformułowania podstaw projektowania z wykorzystaniem cech produkcji wspomaganej komputerowo w formie nowoczesnych systemów produkcyjnych. Właśnie rozdział 9 poświęcony jest problematyce projektowania ESP, która jest odzwierciedleniem tendencji nowego podejścia do organizacji pracy – powstała w celu sprostania pojawiającym się wyzwaniom rynkowym – jako zastosowanie nowych metod i środków we wszystkich sferach organizacji produkcji. Symptomy tej nowoczesności w procesie projektowania to przede wszystkim zastosowanie odpowiednich systemów wspomagania komputerowego, które częściowo lub całkowicie automatyzują a czynności projektowe.

Projektowanie ESP pod względem metodycznym różni się w swym merytorycznym zakresie od metodyk projektowania konwencjonalnych systemów produkcyjnych. Wpływają na to charakterystyczne cechy ESP tj. elastyczność, automatyzacja i integracja, które to warunkują komplementarne podejście i traktowanie poszczególnych podsystemów ESP – tworzących całościową konfigurację takiego systemu produkcyjnego. Ze znanych *metodyk projektowania ESP* prezentujemy tę, która opiera się na technologiczno-organizacyjnym [42] przysto-

waniu ESP z uwzględnieniem, popularnych już w światowej literaturze przedmiotu, modeli i metod projektowych. Tworzą one cykl projektowania organizatorskiego z wykorzystaniem wybranych modeli i metod optymalizacyjnych, symulacyjnych czy masowej obsługi. W porównaniu z projektowaniem konwencjonalnych systemów produkcyjnych mamy tutaj do czynienia z bardziej kompleksowym podejściem do organizacji produkcji oraz z uniwersalizmem stosowanych metod i modeli. Tok postępowania projektowego (dwu fazowego – faza wstępna i właściwa) wraz z etapami tworzy schemat iteracyjnego procesu projektowania, z którego na wyjściu otrzymujemy rozwiązania poszczególnych podsystemów ESP, zintegrowanych koordynacją i sterowaniem komputerowym.

Podsumowując powyższe rozważania należy stwierdzić, że konwencjonalne systemy rytmicznej i nierytmicznej produkcji traktować należy jako obraz stanu istniejącego, który z biegiem czasu będzie uzupełniany o doskonalsze, nowoczesne systemy produkcyjne – ESP, a w dalszej perspektywie także CIM. Teoria organizacji produkcji w pewnych obszarach wyprzedza praktykę przemysłową, dlatego w kolejnych rozdziałach skryptu zapoznamy się z *metodykami projektowania* zarówno ugruntowanymi już w życiu gospodarczym – konwencjonalnych systemów produkcyjnych, jak i nowoczesnych form elastycznej organizacji produkcji. Pojawienie się nowoczesnych systemów produkcyjnych oczywiście jeszcze bardzo długo nie wyeliminuje swych klasycznych już poprzedników, a jedynie pozwoli przedsiębiorstwom o lepszej kondycji finansowej, wprowadzanie tak bardzo kapitałochłonnych systemów jakimi są ESP, a tym bardziej CIM.

Wobec tego student zapoznając się z całym wachlarzem form i odmian organizacji produkcji, będzie mógł w przyszłej pracy zawodowej projektanta-organizatora, wybierać taki poziom rozwiązań organizatorskich, które w konkretnych warunkach określonego przedsiębiorstwa, będą zapewniały najlepsze efekty produkcyjno-organizacyjne i ekonomiczne.

Komórki produkcyjne zaprojektowane w trakcie poszczególnych etapów organizacji systemów produkcyjnych, przygotowane są do funkcjonowania w okresie osiągnięcia przez nie pełnej „względnej” stabilizacji parametrów produkcyjno-organizacyjnych opisujących przebiegi procesów w tych komórkach. Natomiast okres poprzedzający tę fazę normalnej eksploatacji tj. faza roz-

ruchu produkcji, nie spełnia warunków przyjętych podczas omawianej powyżej metodyki projektowej. Dlatego komórki produkcyjne będące w fazie rozruchu, przysparzają organizatorom produkcji olbrzymich kłopotów związanych z nieumiejętnością sterowania dynamicznie zmieniającymi się parametrami procesu produkcyjnego w tym okresie.

W wyniku prac badawczych autora nad tymi problemami powstała *metodyka projektowania rozruchu nowej produkcji* w konwencjonalnych i nowoczesnych systemach produkcyjnych [7], składająca się z dwóch etapów, będących spójnym ciągiem modułów projektowych i procedur projektowo-obliczeniowych (rozdz. 11). Przeznaczona jest dla projektów nowych i modernizowanych komórek produkcyjnych i jest efektywnym i kompleksowym narzędziem działalności organizatora produkcji, tak bardzo znaczącym w skutecznym zarządzaniu procesami nowych uruchomień. Problematyka wprowadzania nowej produkcji, w przeobrażającej się ku rozwiązaniom rynkowym gospodarce, powinna być podstawowym czynnikiem warunkującym ciągłość i dynamikę rozwoju polskich przedsiębiorstw, które odnawiając produkcję powodować będą wypieranie z rynku wyrobów przestarzałych i wprowadzanie wyrobów udoskonalonych lub zupełnie nowych.

W wielu naukowych ośrodkach świata poszukuje się obecnie jednej, uniwersalnej koncepcji sukcesu systemu produkcyjnego oraz jedyne go modelu przedsiębiorstwa. To globalne poszukiwanie wizji *systemu przyszłości* zaowocowało najnowszymi koncepcjami, które są jeszcze nie w pełni ukształtowanymi modelami organizacyjnymi (zmierzają jednak w kierunku poszukiwania doskonałości). Są to: organizacja ucząca się, organizacja wirtualna, organizacja biologiczna i organizacja fraktalna (zob. rozdz.12)

Przewodnią myślą ich konstruowania jest to, że dla skutecznego zarządzania przedsiębiorstwem obowiązuje podstawowy paradygmat – zmiany są immanentną cechą rzeczywistości. Dlatego systemy organizacyjne przyszłości posiadać powinny atrybuty tj. dynamikę, elastyczność, samoorganizację, samoopptymalizację i samorozwój. Cechy te stawać się będą kategoriami sprawczymi powodzenia przedsiębiorstw przyszłości, spajającymi czynniki produkcji w jedną zharmonizowaną całość.

Część II

Konwencjonalne systemy produkcyjne

7. SYSTEM PRODUKCJI RYTMICZNEJ

7.1. *Ogólna charakterystyka przedmiotu projektowania (produkcji rytmicznej)*

Sposób i stopień powiązań między stanowiskami roboczymi decyduje o równomierności i rytmiczności produkcji. Tak jak równomierność powinna być właściwością wszelkiej racjonalnej organizacji procesów produkcyjnych, tak rytmiczność produkcji, którą rozumiemy jako wyższą formę owej równomierności, może występować tylko w ściśle określonych warunkach.

Rytmiczność produkcji polega na tym, że w ściśle określonych odstępach czasu (okresach powtarzalności – rytmach) na tych samych stanowiskach roboczych, przy powtarzających się jednakowo zmianach w funkcjonowaniu maszyn i zmianach czynności robotników, następują powtarzające się jednakowo zmiany stanów (operacje) przedmiotu pracy. W każdym więc określonym momencie okresu powtarzalności występuje ściśle określona, powtarzająca się relacja i spłot funkcjonowania określonych maszyn, działalności określonych robotników i stanów obróbczych wyrobu (detalu).

Wobec tego *rytmiczna produkcja* to taka, która wykazuje ściśle powiązanie stanowisk roboczych, przydział konkretnych detalooperacji do konkretnych stanowisk roboczych, powtarzalność produkcji takich samych wyrobów (detali) oraz produkcja taka posiada warunki do tworzenia harmonogramów wzorcowych. System produkcyjny, którego proces produkcyjny ma charakter rytmiczny, nazywamy *systemem rytmicznej produkcji*.

Rytmiczna produkcja odwołując się do systematycznego układu odmian organizacji produkcji, obejmuje różne formy; potoków stałych, zmiennych i złożonych. Są to komórki produkcyjne I-go stopnia (KP^I), w których przebiegają procesy produkcyjne o średnioseryjnym, wielkoseryjnym i masowym typie produkcji, pracujące zgodnie z cyklicznie powtarzającym się harmonogramem wzorcowym o długości równej okresowi powtarzalności. Pojęcie **okresu powtarzalności** (X) oznacza regularne powtarzanie się tych samych zjawisk produkcyjnych w jednakowych odstępach czasu tzn. po upływie każdego okresu powtarzalności (rytmu) powtarza się identyczny obraz przebiegu (harmonogramu) procesu produkcyjnego. Okres powtarzalności jest najbardziej charakterystycznym parametrem produkcyjno-organizacyjnym rytmicznej produkcji, odróżniającym ją od innych form organizacji produkcji.



Rys. 7.1. Struktura okresu powtarzalności stanowiska roboczego w potoku stałym o niepełnym obciążeniu [15]

Interpretację graficzną okresu powtarzalności dla potoku stałego o niepełnym obciążeniu przedstawia rys. 7.1.

Na każdym stanowisku w okresie powtarzalności X występuje przemienne okres pracy stanowiska η_j i okres jego przerw μ_j . Między tymi parametrami zachodzą następujące zależności:

$$t_{ij} = X \cdot \eta_{ij}, \quad (7.1)$$

$$X = \frac{t_{ij}}{\eta_{ij}}, \quad (7.2)$$

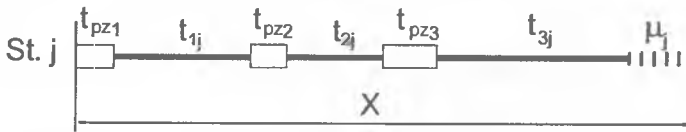
gdzie: t_{ij} – czas jednostkowy detalooperacji „ij”,

η_{ij} – współczynnik obciążenia j-tego stanowiska roboczego,

X – okres powtarzalności,

μ_j – rezerwy przerwy) j-tego stanowiska roboczego.

Dla potoków zmiennych lub złożonych każde stanowisko robocze obciążane jest kilkoma różnymi detalooperacjami, a przejście od wykonania jednej detalooperacji do innej wymaga przebrożenia, stanowiska roboczego (rys.7.2).



Rys. 7.2. Struktura okresu powtarzalności stanowiska roboczego w potoku zmiennym lub złożonym [15]

Wobec tego w okresie powtarzalności występują zbiory czasów trwania poszczególnych detalooperacji, zbiory czasów przygotowawczo-zakończeniowych i ewentualnie okres przerw μ_j .

$$X = \sum t_{pzij} + \sum t_{ij} + \mu_j, \quad (7.3)$$

gdzie: t_{pzij} – czas przygotowawczo-zakończeniowy poszczególnych detalooperacji wykonywanych na j -tym stanowisku roboczym,
 t_{ij} , μ_j , X – określenia jak wyżej.

Ponieważ $t_{ij} = X \cdot \eta_{ij}$; $\sum t_{ij} = X \cdot \sum \eta_{ij}$, to po podstawieniu i przekształceniu otrzymamy:

$$X = \frac{\sum t_{pzij} + \mu_j}{1 - \sum \eta_{ij}}. \quad (7.4)$$

Dotychczas analizowaliśmy wielkości okresu powtarzalności w odniesieniu do pojedynczego stanowiska roboczego, a przecież najczęściej (prawie zawsze) mamy do czynienia ze zbiorem stanowisk roboczych (KP^I), tworzących określony potok w systemie rytmicznej produkcji. Zagadnienia te zostaną przedstawione przy omawianiu wydzielania KP^I ze zbioru dysponowanych stanowisk roboczych (zob. ust. 7.4).

Wracając do charakterystyki rytmicznej produkcji, to oprócz niewątpliwie jej najistotniejszego parametru jakim jest okres powtarzalności, cechuje ją między innymi:

- niezmiennosc przyjętej technologii, wielkości produkcji i asortymentu produkowanych wyrobów,
- podział długookresowego zadania produkcyjnego na mniejsze jednostki, realizowane w krótszych odcinkach czasu (X),
- przydział zadań produkcyjnych do poszczególnych stanowisk roboczych z dokładnością do detalooperacji,
- ustalony harmonogram (wzorcowy) przebiegu procesu produkcyjnego.

Tak rozumiany system rytmicznej produkcji jest możliwy do zorganizowania tylko w pewnych zdeterminowanych warunkach. Jeżeli przyjmiemy, że w komórce produkcyjnej powstają wewnętrzne warunki rytmiczności w skali określonego przedziału czasu, to naturalnym warunkiem optymalizacyjnym jest rytmiczność wejścia i wyjścia oraz ograniczony strumień zakłóceń. Rytmiczność wejścia oznacza potrzebę realizowania równomiernych zasileń, zaś rytmiczność wyjścia – zapotrzebowanie na wytwarzane wyroby i ich rytmiczny wpływ z komórki produkcyjnej. Synchroniczny układ wejścia i wyjścia minimalizuje zapasy przed i za rozpatrywaną komórką tzn. na wejściu i wyjściu. Brak takiej synchroniczności oczywiście nie wyklucza możliwości stosowania organizacji rytmicznej produkcji, lecz w takich przypadkach wystąpi konieczność tworzenia dodatkowych kompensatorów rytmiczności.

7.2. Etapy projektowania

Projektowanie systemów produkcyjnych jest jedną z najbardziej złożonych i trudnych w realizacji dziedzin projektowania. Duża liczba czynników wpływających w różnorodny sposób na wyniki projektowania, powoduje konieczność modułowej budowy i istnienia wewnętrznych sprzężeń modułów procesu projektowanej organizacji systemów produkcyjnych.

Organizowanie rytmicznej produkcji opiera się na właściwie opracowanej dokumentacji konstrukcyjno-technologicznej wyrobu, zaprojektowanej wcześniej w fazie technicznego przygotowania produkcji. Oznacza to stacjonarny

charakter warunków technicznych. Również czynniki produkcji (środki pracy, przedmioty pracy i praca żywa) powinny być w dyspozycji na odpowiednim poziomie. Umożliwiają one spełnienie rytmiczności produkcji poprzez tak właśnie zdeterminowane warunki pracy komórki produkcyjnej.

Proces projektowania organizacji rytmicznej produkcji został podzielony na następujące etapy i moduły projektowania (zob. rozdz. 6):

Etap 1. Projektowanie struktury produkcyjnej.

Moduł 1.1. Obliczanie parametrów dla poszczególnych wyrobów (detali) i detalooperacji.

Moduł 1.2. Przydział detalooperacji do stanowisk roboczych.

Moduł 1.3. Wydzielanie komórek produkcyjnych pierwszego stopnia.

Etap 2. Projektowanie rozmieszczenia stanowisk roboczych.

Moduł 2.1. Poszukiwanie rozwiązania teoretycznego.

Moduł 2.2. Projektowanie szczegółowe (techniczne).

Etap 3. Projektowanie harmonogramów.

Moduł 3.1. Przygotowanie niezbędnych parametrów do harmonogramowania przebiegu produkcji.

Moduł 3.2. Opracowanie harmonogramów pracy maszyn.

Moduł 3.3. Opracowanie harmonogramów pracy robotników.

Moduł 3.4. Opracowanie harmonogramów obsługi przez procesy pomocnicze.

Etap 4. Wykonanie opracowań uzupełniających.

Moduł 4.1. Określenie czynników uzupełniających.

Moduł 4.2. Określenie systemu organizacji pracy i obsługi stanowisk roboczych w KP^I .

Proces projektowania rytmicznej produkcji przedstawia się najczęściej [38] jako układ sprzężeń szeregowych i zwrotnych, a występujące tu zagadnienia projektowe są rozwiązywane w ramach poszczególnych etapów metodą kolejnych przybliżeń. Wobec braku innych metod (szczególnie przy wielokryterialności), niektóre podetapy są rozwiązywane metodą prób i błędów. Optymalność ostatecznego rozwiązania jest więc zależna od stopnia optymalności rozwiązań cząstkowych, w świetle optymalności całego układu. Dlatego podział na etapy nie jest jednoznaczny, gdyż występuje w wielu miejscach przenikania się problematyki różnych etapów jak również potrzeba wracania i korygowania wcześniej opracowanych fragmentów projektowania systemu rytmicznej produkcji.

Stosownie do obiektu mającego być przedmiotem projektowania (najczęściej są to KP^j) dążymy do optymalnego wykorzystania czynników produkcji, dla których w każdym z czterech etapów występują specyficzne zagadnienia projektowe i optymalizacyjne. W każdym z etapów występuje więc potrzeba uwzględnienia kierunków działania, pozwalających na zwiększenie tych cech komórek produkcyjnych, które w danych warunkach uznajemy za pozytywne.

Uzyskanie pełnych efektów rytmicznej produkcji wymaga bardzo dokładnego określenia parametrów produkcyjno-organizacyjnych projektowanej komórki produkcyjnej. Bazą projektowania są opracowania technologiczne, a w szczególności dane dotyczące trzech czynników produkcyjnych: środków pracy, przedmiotów pracy i siły roboczej rozwinięte w zbiór danych wejściowych.

Dane wejściowe potrzebne do projektowania rytmicznej produkcji powinny zawierać przede wszystkim [38]:

- ilościowy i jakościowy program produkcji poszczególnych wyrobów (detali),
- liczbę braków (przewidywanych) występujących w produkcji poszczególnych detali,
- czasy jednostkowe wykonania operacji i czasy przygotowawczo-zakończeniowe. W przypadkach możliwości organizowania obsługi wielowarsztatowej obok czasu jednostkowego potrzebne są dane o podziale czasu jednostkowego na: czas maszynowy (t_m), czas ręczny (t_r) i ręczno-maszynowy (t_{mr}),
- planowane współczynniki wykonania normy,
- dane dotyczące planowanej (dyrektywnej) zmienności pracy,
- wykaz obrabiarek dysponowanych oraz dane dotyczące ich zmienności,
- koszt obrabiarek, koszt godziny pracy, koszt godziny przestoju: informacje o możliwości obciążenia stanowisk innymi pracami wykonywanymi w tzw. czynnej kooperacji, a ponadto informacje o odciążeniu komórki na drodze przekazania produkcji do wykonania w innych komórkach produkcyjnych tzw. kooperacji biernej,
- koszt przestoju robotnika, informacje o możliwości łączenia zawodów, informacje o możliwości wykorzystania rezerw czasu robotnika do innych celów (do innych prac zastępczych) oraz dane dotyczące absencji robotników,
- dane dotyczące kosztu transportu międzystanowiskowego i informacje o specjalnych wymagach w rozstawianiu obrabiarek (np. względy bhp, klimatyz-

zacja, wstrząsy itp.). Celowo jest posiadanie ponadto informacji o paletach, pojemnikach, sposobie transportu (wózkowy, suwnicowy itp.), o ładowności środków transportu itp.,

- normatywy powierzchni na stanowisko robocze i informacje dotyczące dysponowanej powierzchni oraz wskazań w sprawie jej zagospodarowania (drogi transportowe, kantory, magazyny itp.),
- dane obejmujące koszt poszczególnych wyrobów lub też informacje potrzebne do obliczenia tego kosztu (koszt materiałów, robocizny, wielkości narzutów, koszt maszynogodzin pracy stanowisk itp.),
- dane o systemie remontów, cykli remontowych, stanie technicznym maszyn (planowanych najbliższych naprawach, awaryjności itp.),
- wykaz narzędzi dla każdej operacji,
- sposób wykonywania przebrojeń (robotnik, ustawiacz, czy ustawiacz i robotnik) itp.

W trakcie projektowania pożądane jest także dysponowanie charakterystykami techniczno-organizacyjnymi komórek produkcyjnych ściśle współpracujących z tymi, które podlegają projektowaniu. Chodzi tu o przeanalizowanie możliwości współpracy w zakresie lepszego wykorzystania siły roboczej, istniejących niedociążeń maszyn i urządzeń oraz możliwości organizowania wspólnych służb obsługi produkcji.

W kolejnych ustępach niniejszego rozdziału omówimy poszczególne moduły i procedury projektowo-obliczeniowe tworzące metodykę projektowania systemu rytmicznej produkcji.

7.3. Projektowanie struktury produkcyjnej

Organizacyjne zagadnienie właściwego wyboru struktury produkcyjnej można rozwiązać dysponując odpowiednio szczegółowymi parametrami. Wykonanie obliczeń poszczególnych parametrów umożliwia dokonanie analizy możliwości łączenia stanowisk roboczych w grupy po to, aby je łączyć w komórki wyższych stopni i realizować w ten sposób proces projektowania struktury produkcyjnej.

7.3.1. Obliczenia parametrów dla poszczególnych wyrobów (detali) i detalooperacji

Parametry produkcyjno-organizacyjne wejściowe i wyjściowe (zob. rozdz. 3) stanowią w działalności projektanta-organizatora elementarne ogniwa, którymi posługuje się we wszystkich etapach systemu projektowania systemu rytmicznej produkcji. Należą do nich obliczeniowe formuły, które w usystematyzowanej kolejności prezentują poniższe wzory.

1) Program produkcji

$$N_i = N_{di} (1 + b_{di}), \quad (7.5)$$

gdzie: N_i – korygowany program produkcji i-tego detalu w szt./rok,

N_{di} – planowany, docelowy program produkcji i-tego detalu w szt./rok,

b_{di} – planowany, docelowy poziom braków produkcyjnych w %.

2) Efektywny fundusz czasu stanowiska roboczego

$$F_j = (K_d - N^r - S_w - S_{wo}) \cdot 8 \cdot z_m \cdot \eta_{pj}, \quad (7.6)$$

gdzie: F_j – efektywny fundusz czasu j-tego stanowiska roboczego w godz./rok,

K_d – liczba dni w roku,

N^r – liczba niedziel w roku,

S_w – liczba świąt w roku (z wyłączeniem świąt przypadających w niedziele),

S_{wo} – liczba wolnych sobót w roku,

z_m – zmianowość,

η_{pj} – planowany współczynnik uwzględniający przestoje stanowiska roboczego.

3) Zadanie godzinowe

$$z_{gi} = \frac{N_i}{F_j}, \quad (7.7)$$

gdzie: z_{gi} – zadanie godzinowe i-tego detalu w szt./godz.,

N_i, F_j – określenia jak wyżej.

4) Takt produkcji

$$\tau_i = \frac{F_j}{N_i}, \quad (7.8)$$

gdzie: τ_i – takt produkcji i-tego detalu w godz./szt.,

N_i, F_j – określenia jak wyżej.

5) Możliwość godzinowa

$$m_{gij} = \frac{l}{t_{ijk}} = \frac{\varphi_i}{t_{ij}}, \quad (7.9)$$

gdzie: m_{gij} – możliwość godzinowa ij-tej detalooperacji w szt./godz.,

φ_i – planowany, korekcyjny współczynnik wykonania normy i-tego stanowiska roboczego,

t_{ij} – pracochołność jednostkowa (normatywna) ij-tej detalooperacji w godz./szt.,

t_{ijk} – korygowana pracochołność jednostkowa ij-tej detalooperacji w godz./szt.,

6) Współczynnik obciążenia stanowiska roboczego detalooperacją

$$\eta_{gij} = \frac{z_{gi}}{m_{gij}}, \quad (7.10)$$

gdzie: η_{gij} – współczynnik obciążenia j-tego stanowiska roboczego określoną detalooperacją „ij”.

z_{gi}, m_{gij} – określenia jak wyżej.

Obliczenia według zależności 7.5 – 7.8 zamieszczamy w formularzu 1 (rys. 7.3), a 7.9 – 7.10 w formularzu 2 (rys. 7.3). Otrzymane parametry stanowić będą zbiór wielkości, którymi posługiwać się będziemy w kolejnych modułach etapu 1 prezentowanej metodyki.

Formularz 1

Lp.	Wyrób (detal)		N_d	b_{di}		N_i	F_j	z_{gi}	τ_i
	Nazwa	Nr	$\left[\frac{\text{szt.}}{\text{rok}} \right]$	$[\%]$	$\left[\frac{\text{szt.}}{\text{rok}} \right]$	$\left[\frac{\text{szt.}}{\text{rok}} \right]$	$\left[\frac{\text{godz.}}{\text{rok}} \right]$	$\left[\frac{\text{szt.}}{\text{godz.}} \right]$	$\left[\frac{\text{godz.}}{\text{szt.}} \right]$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Formularz 2

Nazwa wyrobu (detalu)			Nr wyrobu (detalu)						
Nr operacji	Nazwa operacji	Symbol stanowiska roboczego	t_{ij}	ϕ_j	N_{ijk}	m_{gij}	t_{pzj}	η_{ij}	
			$\left[\frac{\text{godz.}}{\text{szt.}} \right]$		$\left[\frac{\text{godz.}}{\text{szt.}} \right]$	$\left[\frac{\text{szt.}}{\text{godz.}} \right]$	$\left[\frac{\text{godz.}}{\text{partia}} \right]$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	

Rys. 7.3. Formularze do obliczeń parametrów produkcyjno-organizacyjnych detali i detalooperacji (opr. własne)

7.3.2. Przydział detalooperacji do stanowisk roboczych

Mając obliczone niezbędne parametry dotyczące poszczególnych wyrobów i detalooperacji można przystąpić do takiego wzajemnego ustalenia relacji, aby cząstkowe obciążenia η_{ij} od poszczególnych detalooperacji, w łącznym obciążeniu dla stanowiska roboczego wynosiły:

$$\eta_i = \sum_{i=1}^{i_d} \eta_{ij} \leq 1, \quad (7.11)$$

gdzie: η_i – sumaryczny współczynnik obciążenia j-tego stanowiska roboczego,
 η_{ij} – współczynnik obciążenia j-tego stanowiska roboczego ij-tą detalooperacją,
 i_d – liczba i-tych detali.

Mogą tu występować przypadki, gdy $\eta_{ij} > 1$; $\eta_j > 1$, to wtedy stanowisko robocze nie ma możliwości wykonania zadania produkcyjnego, dlatego w pierwszym

przypadku wystąpią stanowiska wielostrumieniowe, a w drugim zwiększenie liczby stanowisk roboczych.

Formularz 3

Symbol (typ) st. roboczego	•	•	•	•	•
Zamiennosc					
Nr detalu	•	•	•	•	•
•	⊕	⊕			
•	⊕	⊕			
•					
•					
•					
•					
$\eta_j = \sum \eta_{ij}$	•	•	•	•	•
L_{mo}	•	•	•	•	•

Formularz 4

Symbol (typ) st. roboczego	•	•	•	•	•
Zamiennosc					
Nr detalu	•	•	•	•	•
•	⊕	⊕			
•	⊕	⊕			
•					
•					
•					
•					
$\Sigma \eta_{ij}$	•	•	•	•	•
Σt_{pzi}	•	•	•	•	•
$1 - \Sigma \eta_{ij}$	•	•	•	•	•
X_{mij}	•	•	•	•	•

Rys. 7.4. Formularze dla przydziału detalooperacji do stanowisk roboczych (opr. własne)

Sumaryczne obliczanie obciążenia określonych typów stanowisk roboczych (wynikających z technologii wytwarzania określonych wyrobów) przeprowadzamy przy użyciu formularza 3 (rys. 7.4) wyznaczając także obliczeniową liczbę stanowisk roboczych określonego typu L_{mo} . Przyjmuje się tę wielkość na bazie sumarycznego współczynnika obciążenia η_j . Jeśli łączny współczynnik obciążenia w ramach danego typu stanowiska roboczego wyniesie np. 2,88, to zgodnie z warunkiem (7.11) oznacza, iż do wykonania przyjętych zadań produkcyjnych należy przyjąć 3 stanowiska robocze tego samego typu.

W formularzu 3 zapisujemy również informacje dotyczące tzw. zamienności stanowisk roboczych. Pewne typy obrabiarek posiadają swojego zamiennika tj. obrabiarkę, na której można wykonać te same operacje. Taką zamienność uwzględnia się w celu ujednolicenia zaangażowanego parku maszynowego, co

zmniejsza koszty obsługi, remontów, części zamiennych oraz ułatwia zarządzanie kadrze inżynieryjno-technicznej.

Łączne traktowanie określonych typów stanowisk roboczych jest niewystarczające do rozwiązania problemu przydziału detalooperacji do stanowisk roboczych, wynikającego z przepustowości tych stanowisk (z warunku $\Sigma \eta_{ij} \leq 1$). Niezbędne do takiego przydziału są właściwe kryteria (zob. [38, str. 65]):

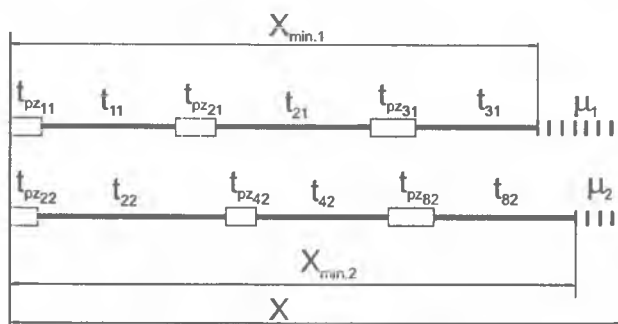
- maksymalizacji wykorzystania maszyn i urządzeń,
- minimalizacji przestojów robotników,
- przydziału detalooperacji z punktu widzenia wzajemnego stosunku Σt_{prij} do $\Sigma \eta_{ij}$,
- minimalizacji Σt_{prij} ,
- podobieństwa technologicznego detalooperacji, minimalizacji długości dróg transportu wewnętrznego,
- inne (koszty robót w toku, wykorzystanie powierzchni produkcyjnej, złożoność planowania produkcji itp.).

Najważniejszym i najczęściej stosowanym kryterium z wyżej wymienionych jest kryterium maksymalizacji wykorzystania maszyn i urządzeń, czyli tym samym minimalizacji liczby zaangażowanych stanowisk roboczych. Wtedy rezerwy możliwości produkcyjnych stanowiska roboczego będą najmniejsze. W następnej dopiero kolejności możemy oczywiście uwzględniać pozostałe kryteria traktując najczęściej to pierwsze jako wiodące.

Przydział detalooperacji do stanowisk roboczych ma swoje odbicie nie tylko w zmianie ich obciążenia, ale wpływa również na strukturę kosztów, wielkość przestojów maszyn itp. Jest to więc zagadnienie nie tylko skomplikowane, ale również niezmiernie ważne w procesie optymalizacji struktury produkcyjnej.

Wariantowanie rozwiązań przydziału operacji do konkretnych stanowisk roboczych (z uwzględnieniem zamienności) przeprowadzamy przy użyciu formularza 4 (rys. 7.4). Dążymy do $\Sigma \eta_{ij} \leq 1 \rightarrow \max$, z tym, że należy jednocześnie pamiętać o pewnym niebezpieczeństwie związanym z wielkością otrzymywanego okresu powtarzalności (X).

Przykładowo na rys. 7.5 pokazano dla dwóch stanowisk roboczych kształtowanie się minimalnego okresu powtarzalności.



Rys. 7.5 Porównanie minimalnego okresu powtarzalności stanowiska ze zwiększonym okresem X [15]

Ponieważ każde stanowisko robocze posiada własne parametry (t_{pizj} , η_{ij}), więc okresy powtarzalności (rytmy) pracy takich stanowisk roboczych będą się różniły między sobą. Wielkości tych okresów powtarzalności nazywać będziemy **minimalnym okresem powtarzalności** – $X_{min,j}$, który wyznacza warunek $\mu_j = 0$; to $X = X_{min,j}$, (zob. wzór 7.4), a wtedy:

$$X_{min,j} = \frac{\sum t_{pizj}}{1 - \sum \eta_{ij}} \quad (7.12)$$

Obliczenia $X_{min,j}$ przeprowadzamy w formularzu 4, badając jakie najmniejsze wartości może on przyjmować dla poszczególnych wariantów przydziału operacji do stanowisk roboczych, szukając takiego wariantu przydziału detalooperacji, aby rozkład wartości $X_{min,j}$ i jego maksymalna wartość była możliwie najmniejsza. Należy jednocześnie pamiętać o tym, iż w przypadku dociążenia stanowiska roboczego w pobliżu jedności (przy większej liczbie detalooperacji) może wystąpić zjawisko zwiększania się $X_{min,j}$, nawet do wielkości kilkuset godzin. Oczywiście wtedy wychodzilibyśmy poza obszar rytmicznej produkcji. Dlatego przy każdym wariantcie, przydziału detalooperacji do stanowisk roboczych, należy każdorazowo sprawdzać wielkość $X_{min,j}$.

Mając ostatecznie wybrany najbardziej optymalny wariant przydziału detalooperacji do konkretnych stanowisk roboczych, możemy przystąpić do wydzielania ze zbioru tych stanowisk, komórek produkcyjnych pierwszego stopnia (KP^I).

7.3.3. Wydzielanie komórek produkcyjnych pierwszego stopnia¹

W poprzednim module projektowym zdecydowaliśmy o przydziale określonych detalooperacji do określonych stanowisk roboczych, czyli uzyskaliśmy niejako macierzowy zapis (formularz 4 na rys. 7.4) powiązań zbioru detali ze zbiorem stanowisk roboczych. Nicią wiążącą te dwa zbiory są określone procesy technologiczne, których podobieństwo przebiegu stanowi najczęściej główne kryterium dobierania wyrobów (detali) w podzbiory i ostateczne wydzielanie KP^I .

Kierując się wspomnianym kryterium dokonujemy porządkowania (w podzbiory) w następujących krokach:

Krok 1. Tworzymy „0–1” macierz powiązań detali ze stanowiskami (na podstawie zapisu z formularza 4), gdzie fakt występowania operacji zapisujemy w postaci „1”, a jej braku w postaci „0”. Otrzymujemy w ten sposób macierz I (rys. 7.6).

Krok 2. Porządkowanie macierzy I według wierszy.

Dokonujemy tego w oparciu o współczynnik:

$$W_{pi} = \frac{O_{pi}}{O_{pw} - O_{pi}}. \quad (7.13)$$

gdzie: W_{pi} – współczynnik podobieństwa technologicznego porównywanych detali,

O_{pi} – liczba operacji (jedynek) detalu porównywanego, wykonywana na tym samym typie maszyn, co operacje detalu względem, którego przeprowadzamy porównanie,

O_{pw} – liczba operacji (jedynek) dwóch porównywanych detali.

¹ Zagadnienia szeroko pojętego wydzielania komórek produkcyjnych w przedsiębiorstwach przemysłowych, znajdzie czytelnik w pracy [31].

Macierz I					
Nr st. Nr detalu	1	2	3	4	...
125	1		1	1	
45	1	1			
78			1	1	
⋮					

Macierz II					
Nr st. Nr detalu	125	45	78	...	
125		W_{pt}	W_{pt}		
45	W_{pt}		W_{pt}		
78	W_{pt}	W_{pt}			
⋮					

Macierz III					
Nr st. Nr detalu	1	2	3	4	...
78			1	1	
125	1		1	1	
45	1	1			
⋮					

Formularz 5					
Symbol (typ) st. roboczego	SWA - 25	WKA - 25	TUD - 50	TUD - 50	...
Nr st. Nr detalu	4	3	1	2	
78	└┘	└┘			KP_1^I
125	└┘	└┘	└┘		
45			└┘	└┘	
⋮					KP_2^I
Σn_i					
x_s					
μ					

Rys. 7.6. Wzory pomocniczych formularzy do wydzielania KP^I (opr. własne)

Obliczone współczynniki W_{pt} dla wszystkich detali (każdy z każdym) zapisujemy w tzw. tablicy podobieństwa detali – macierz II (rys. 7.6). Na podstawie macierzy II ustalamy nową, uporządkowaną kolejność detali w następujący sposób:

- jako pierwsze w wierszach będą te detale, których współczynnik $W_{pt} = 0$,
- w następnej kolejności będą detale o wielkościach od największego (stopniowo) do najmniejszego współczynnika W_{pt} ,
- w przypadku równości W_{pt} wybieramy jako wcześniejszy ten detal, który nie był jeszcze ustawiony w kolejce.

Kierując się ustaloną w powyższy sposób uporządkowaną kolejnością detali w wierszach, zapisujemy macierz I w postaci uporządkowanej macierzy III (rys. 7.6)

Krok 3. Porządkowanie macierzy według kolumn.

Przy tym kroku posługujemy się zasadą, iż jako wcześniejsze w nowej kolejności ustawione zostaną te stanowiska, które mają największą liczbę „0” – patrząc od dołu macierzy III. W przypadku identycznej liczby „0”, jako wcześniejsze ustawimy te stanowiska, które posiadają wcześniejsze numery operacji technologicznych na tym detalu.

Mając nową kolejność (uporządkowaną) w kolumnie macierzy, uzyskujemy macierz IV (rys. 7.6) uporządkowaną według wierszy i według kolumn. Jest ona ostateczną formą macierzy wydzielającą komórki produkcyjne pierwszego stopnia.

Powyższy sposób porządkowania zbiorów detali, doprowadza do wydzielenia podzbiorów analizowanego zbioru, które wyodrębniają kolejno:

- 1) grupę detali, z których każdy będzie produkowany w oddzielnej KP^I – w potoku stałym,
- 2) grupę detali o identycznym lub bardzo zbliżonym przebiegu technologicznym, których produkcja będzie zorganizowana w potoku zmiennym,
- 3) grupę detali o podobnym, ale różnym przebiegu technologicznym, dla zorganizowania potoków złożonych,
- 4) grupę detali, co do której brakuje uzasadnienia, aby mogły być produkowane w systemie rytmicznej produkcji, (przekazujemy detale do systemu nieritmicznej produkcji – zob. rozdz. 6).

Po ostatecznym wydzieleniu KP^I możemy powrócić do pierwotnego zapisu w układzie technologicznym „detal – stanowisko robocze” z uwzględnieniem parametrów; t_{pz} , η_{ij} , $\Sigma\eta_{ij}$, (zob. formularz 5 na rys. 7.6). Jednocześnie możemy przystąpić do określenia ujednoliconego okresu powtarzalności, który obowiązywałby dla wydzielonych grup stanowisk roboczych – komórek produkcyjnych pierwszego stopnia.

Przyjęty okres powtarzalności (X_p) jest okresem, który uwzględnia kryterium organizacyjne dla komórki produkcyjnej, gdzie warunkiem ograniczającym jest:

$$X_p \geq \max \{X_{\min, j}\}. \quad (7.14)$$

Wiadomo także, iż przyjęta wielkość okresu powtarzalności ma wpływ na:

- wielkość partii produkcyjnej detali,
- długość cykli produkcyjnych,
- koszty wynikające z zamrożenia produkcji w toku,
- przestoje maszyn i urządzeń,
- liczbę przebrojeń w analizowanym okresie czasu,
- nakłady na przebrojenie.

Stanowisko robocze, którego $X_{min,j}=X_p$ jest stanowiskiem limitującym. Najczęściej jednak dla KP^j dobiera się takie X_p , aby były one wielokrotnością liczby godzin pracy zmian dni roboczych. Wtedy $X_p > X_{min,j}$, a więc okresy przestoju (rezerwy) stanowisk roboczych μ_j można określić porównując zależności:

$$X_{min,j} = \frac{\sum t_{pij}}{1 - \sum \eta_{ij}}, \quad (7.15)$$

$$X_p = \frac{\sum t_{pij} + \mu_j}{1 - \sum \eta_{ij}}, \quad (7.16)$$

Po przekształceniu otrzymujemy:

$$\mu_j = (X_p - X_{min,j})(1 - \sum \eta_{ij}) \quad (7.16)$$

Powyższa zależność uwypukla wyraźnie, iż zwiększanie X_p (np. aby był krotnością liczby godzin pracy zmiany dnia roboczego) powoduje zwiększanie μ_j . Nie oznacza to w sensie organizacyjnym niekorzystnego objawu, gdyż nie świadczy o gorszym wykorzystaniu czasu stanowisk roboczych, czy też zmniejszeniu ich możliwości produkcyjnych. Czas ten można wykorzystać na przeprowadzenie prac konserwacyjno-remontowych lub posłużyć on może jako rezerwa dla sterowania procesem w KP i uzupełnienia nie przewidzianych odchyleń od normatywnego przebiegu procesu produkcyjnego.

Wielkość właściwie przyjętego okresu powtarzalności dla wydzielonych KP' nanosimy w formularzu 5 (rys. 7.6) jak również wyliczone wielkości przerw μ_j . Jest to zamknięcie parametrycznego opisu wydzielonych KP' i tym samym zakończenie etapu 1 projektowania systemu rytmicznej produkcji.

7.4. Projektowanie rozmieszczenia stanowisk roboczych

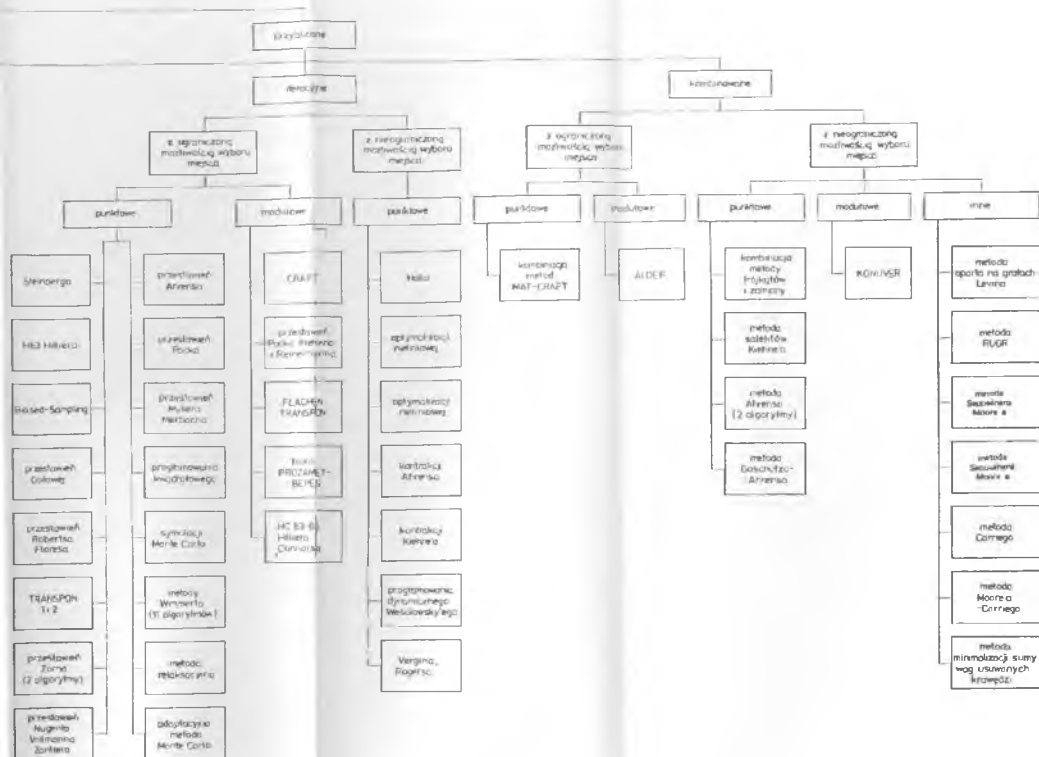
Jednym z aspektów organizacji produkcji jest przestrzenna organizacja procesu produkcyjnego². Od tego w jaki sposób zostanie ona rozwiązana, w dużym stopniu zależy efektywność pracy każdej komórki produkcyjnej z osobna, jak również całego systemu produkcyjnego. Projektowanie rozmieszczenia stanowisk roboczych, będącym szczególnym przypadkiem projektowania organizacji przestrzennej procesu produkcyjnego (struktury produkcyjno-przestrzennej przedsiębiorstwa) wyraża się w takim rozmieszczeniu KP^o , aby przepływ strumienia materiałowego był ze względu na określone kryterium optymalny. Dlatego metody rozmieszczania stanowisk roboczych są zbiorami sposobów służących do rozwiązywania określonej klasy zadań. Z tego względu nie są one jednolite, tzn. nie stanowią jednej metody, lecz są kombinacją wielu metod ogólnych (uniwersalnych), związanych z określonym kryterium optymalizacji będącym zarazem kryterium oceny jakości poszukiwanego rozwiązania.

Najczęściej stosowanymi kryteriami optymalizacji są:

- koszty transportu proporcjonalne do długości drogi transportu,
- wielkości przewozów transportowych,
- udział operacji transportowych krótkich w ogólnej liczbie operacji transportowych,
- stopień wymaganego zbliżenia obiektu,
- suma kosztów transportu proporcjonalnych do odległości i kosztów lokalizacji stanowisk na określonych miejscach.

Wymienione kryteria są ściśle związane z powstałymi na przestrzeni kilkudziesięciu lat metodami optymalizacyjnymi (zob. rys. 7.7).

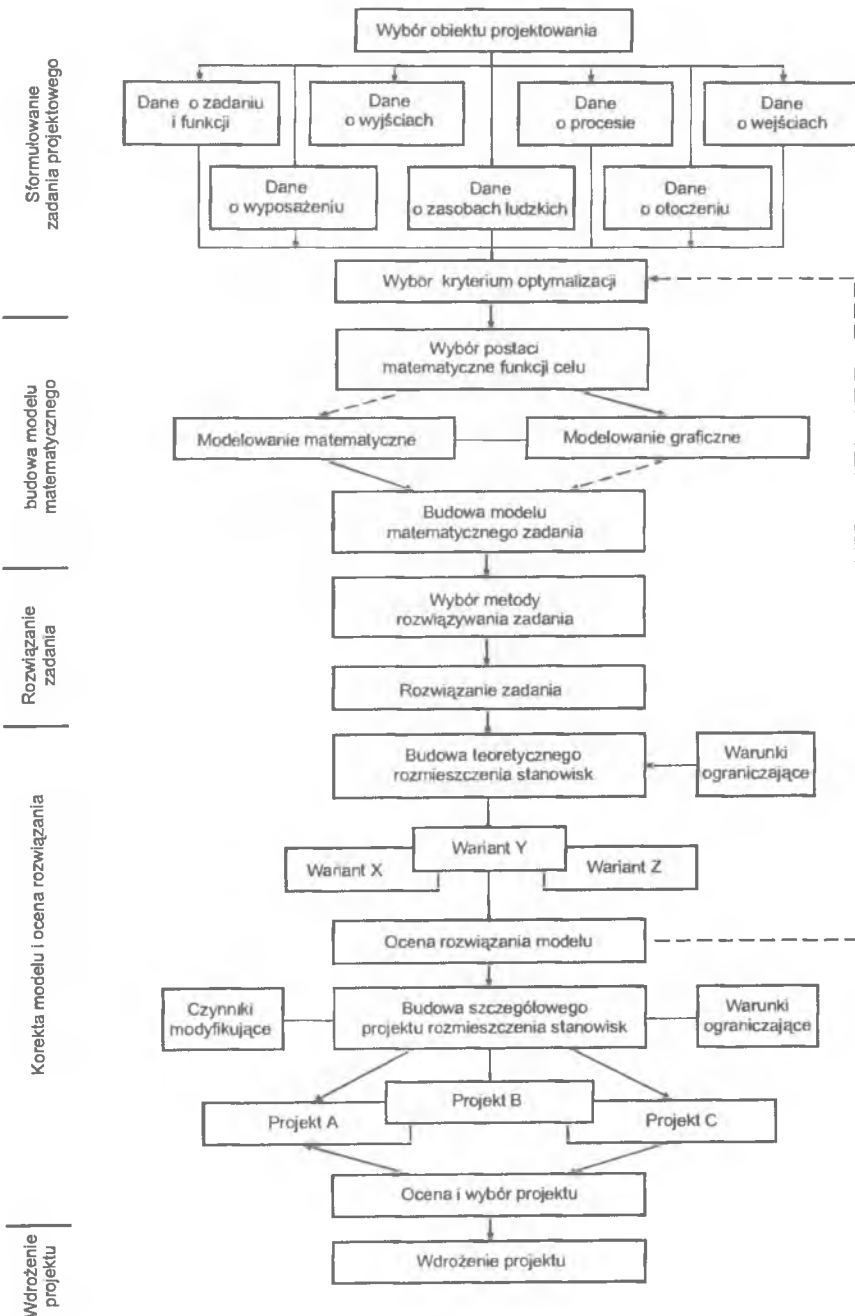
² Podstawowymi opracowaniami monograficznymi w polskiej literaturze z tej dziedziny są prace [39], [64], [65].



Jak w każdym zagadnieniu projektowania organizacji systemów produkcyjnych, tak i projektowanie rozmieszczania stanowisk roboczych opiera się na cyklu działania zorganizowanego – będącego ogólną zasadą postępowania. Znane są różne szkoły i teoretyczne podejścia do tych zagadnień (zob. [39 str. 47]), które przewidują możliwość stosowania w dużym zakresie różnego rodzaju modeli, metod i technik projektowania; od tradycyjnych – opartych na metodach graficznych i fizycznych zaczerpniętych z badania pracy, do modeli i metod matematycznych wykorzystujących EMC. Ostatnio szczególnego znaczenia nabierają modele i metody optymalizacyjne, których wykorzystanie opiera się na tzw. metodyce badań operacyjnych. Przebieg prac według tej metodyki odbywa się w pięciu obszarach (zob. rys. 7.8).

Z uwagi na to, że zajmujemy się w tym rozdziale projektowaniem rytmicznej produkcji dla nowo powstałych lub istniejących komórek produkcyjnych (lecz podlegających generalnej modernizacji), staje się szczególnie przydatna właśnie tego typu metodyka składająca się z następujących zagadnień [39]:

- 1) Sformułowanie zadania projektowego. Obiektem projektowania są wcześniej wydzielone KP^I o określonej już formie organizacji produkcji (zob. p. 7.3.3). Parametry projektowania tych komórek dotyczą ich zadań, funkcji, wejść i wyjść, procesu, wyposażenia, załogi i otoczenia. Służyć one mają do budowy modelu matematycznego zadania. Następuje tu również wybór miary oceny jakości projektowanego systemu, tj. wybór kryterium optymalizacji.
- 2) Budowa modelu matematycznego. Przygotowujemy tu sformalizowany opis rozwiązania zadania w postaci modeli matematycznych, które to są najczęściej modelami typu optymalizacyjnego. Przyjęte kryterium optymalizacji decyduje o postaci matematycznej funkcji celu, a tym samym o wyborze (z wielu typów modeli matematycznych rozmieszczania stanowisk roboczych) konkretnego modelu – przystosowanego do specyfiki rozwiązywanego zadania projektowego i zmiennych decyzyjnych do oszacowania parametrów tego modelu.
- 3) Rozwiązanie zadania. Polega ono na znalezieniu takich wartości zmiennych decyzyjnych, które przy spełnieniu narzuconych na nie tzw. warunków organizacyjnych, zapewnią ekstremalną wartość funkcji celu.



Rys. 7.8. Schemat metodyki projektowania rozmieszczenia stanowisk roboczych [39]

- 4) Korekta modelu i ocena uzyskanego rozwiązania. Wyniki rozwiązania są zwykle rozwiązaniami teoretycznymi zadania, na podstawie których buduje się modele graficzne (w kilku wariantach) teoretycznego rozmieszczenia stanowisk roboczych. Podlega ono następnie ocenie z punktu widzenia dodatkowych wymagań (nie uwzględnionych w modelu zadania tj. wielowarsztatowość) w celu uzyskania rozwiązania realnego. Na podstawie wybranego, realnego wariantu teoretycznego opracowuje się szczegółowy projekt rozmieszczenia stanowisk roboczych, przy użyciu techniki modelowania płaskiego lub trójwymiarowego.
- 5) Wdrożenie projektu. Następnie podaje się warunki i przebieg prac przy wdrożeniu szczegółowego projektu rozmieszczania stanowisk roboczych w konkretnej komórce produkcyjnej.

Przedstawiona metodyka pokazuje proces projektowania rozmieszczenia stanowisk roboczych, który zmierza do:

- poszukiwania rozwiązania teoretycznego,
- projektowania szczegółowego (technicznego).

W pierwszym podejściu dążymy do budowy rozwiązania teoretycznego, które sprowadza się do określenia wzajemnego sąsiedztwa rozmieszczonych stanowisk, przy uwzględnieniu ich powiązań, kształtu pomieszczeń rozmieszczenia i układu dopuszczalnych lokalizacji. Operujemy tutaj stanowiskami traktując je najczęściej jako punkty z pominięciem ich rzeczywistych wymiarów i kształtów. Służą do tego metody (zob. rys. 7.7), z zestawu których dwie – metodę Schmigalli i CRAFT – omówiono wraz z wykonaniem przykładu w skrypcie do ćwiczeń [8].

Ponieważ rozstawienie stanowisk wpływa bezpośrednio na długość dróg transportu międzystanowiskowego, liczbę operacji transportowych oraz koszt instalacji stanowisk, w praktyce jako kryteria optymalizacji w modelu teoretycznym stosuje się najczęściej:

- minimalizację długości dróg transportowych,
- minimalizację wielkości przewozów,
- minimalizację liczby operacji transportowych (częstotliwości przewozów).

Przy użyciu powyższych kryteriów stosujemy rachunek optymalizacyjny, dzięki któremu najlepsze efekty ekonomiczne uzyskuje się w przypadku pro-

jektowania komórek o odpowiednio dużej (> 20) liczbie stanowisk roboczych, ze względu na liczbę możliwych rozstawień oraz złożoność powiązań między stanowiskami. W praktyce projektowej nie poszukuje się rozwiązania teoretycznego dla gniazd składających się z kilku stanowisk roboczych oraz w przypadku potoków stałych i zmiennych. Dlatego przede wszystkim stosuje się te metody dla potoków złożonych. Natomiast dla potoków stałych i zmiennych już sam przebieg procesu technologicznego (lub typowe przebiegi) jednoznacznie określają optymalne rozmieszczenie stanowisk roboczych.

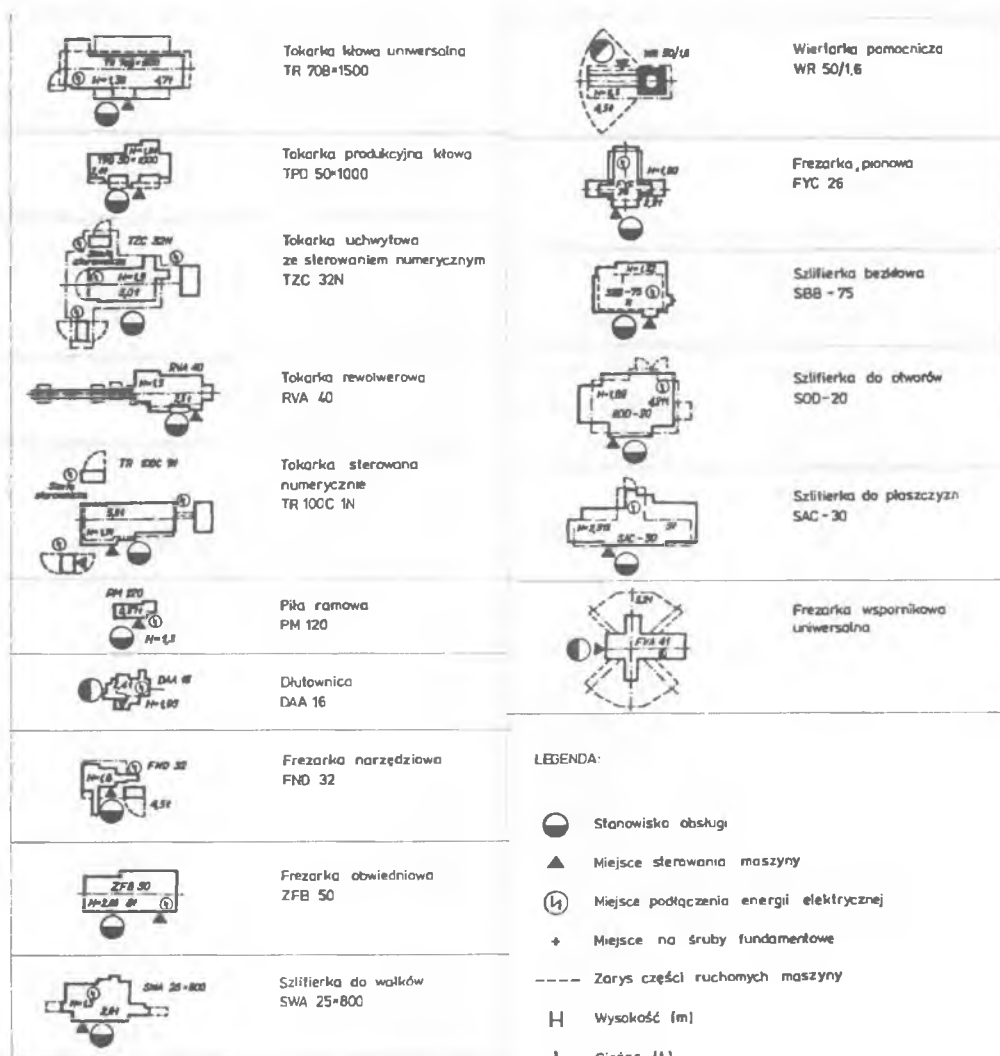
Podstawą sporządzenia szczegółowego projektu rozmieszczenia stanowisk roboczych jest:

- schemat teoretycznego rozstawienia stanowisk na siatce trójkątów lub ortogonalnej w znormalizowanej skali 1:100,
- podkład budowlany w skali 1:100 z naniesioną siatką słupów, zarysem dysponowanej powierzchni, układem głównych dróg transportu,
- zestaw makiet lub modeli rozmieszczanych maszyn i urządzeń.

Wykonanie kilku wariantów projektu rozmieszczania stanowisk roboczych przebiega przy użyciu metody modelowania płaskiego lub przestrzennego, która jest narzędziem pomocniczym dla projektanta pozwalającym na szybkie i precyzyjne przystosowanie teoretycznego rozwiązania do rzeczywistych warunków produkcyjnych.

Istotą projektowania modelowego jest możliwość zbudowania projektowanego obiektu w odpowiednio zmniejszonej skali 1:100 z gotowych modeli płaskich (rys. 7.9) lub przestrzennych. Najczęściej stosuje się modele płaskie, które są rysunkami rzutów urządzeń lub obrabiarek na płaszczyznę poziomą. Prawidłowo opracowany modelik powinien zawierać możliwie jak najwięcej informacji o urządzeniu, które przedstawia – takich jak:

- zarys rzutu poziomego maszyny lub urządzenia (wymiały gabarytowe),
- skrajne położenie części ruchomych,
- położenie urządzeń pomocniczych (np. szafy sterownicze),
- zarys fundamentu w przypadkach technicznie uzasadnionych,
- położenie stałych miejsc obsługi,
- wielkości charakterystyczne, norma, symbol lub typ maszyny itp.



Rys. 7.9. Przykłady makiet płaskich

Stosowanie modeli do projektowania rozmieszczenia stanowisk roboczych jest coraz bardziej rozpowszechnione, z uwagi na duże (ok. 50 %) zmniejszenie nakładów pracy projektantów.

W projekcie technicznym rozmieszczenia stanowisk roboczych, uwzględniamy już realne warunki ograniczające teoretyczne możliwości rozwiązań, takie jak:

a) specyfika pracy stanowiska i jego wyposażenia

- wymiary i kształty stanowisk roboczych oraz rozmieszczenie elementów ich wyposażenia,
- szkodliwe oddziaływanie na pracę innych stanowisk,
- łatwość dostępu do stanowisk w celu odbioru wiórów, konserwacji itp.

b) organizacja procesu produkcyjnego komórki

- wielkość zapasów międzyoperacyjnych (pola odkładcze),
- sposób przebiegu detali przez stanowiska robocze (produkcja potokowa, gniazdowa),
- sposób obsługi stanowisk³ (wielowarsztatowość, obsługa brygadowa),

c) otoczenie stanowiska

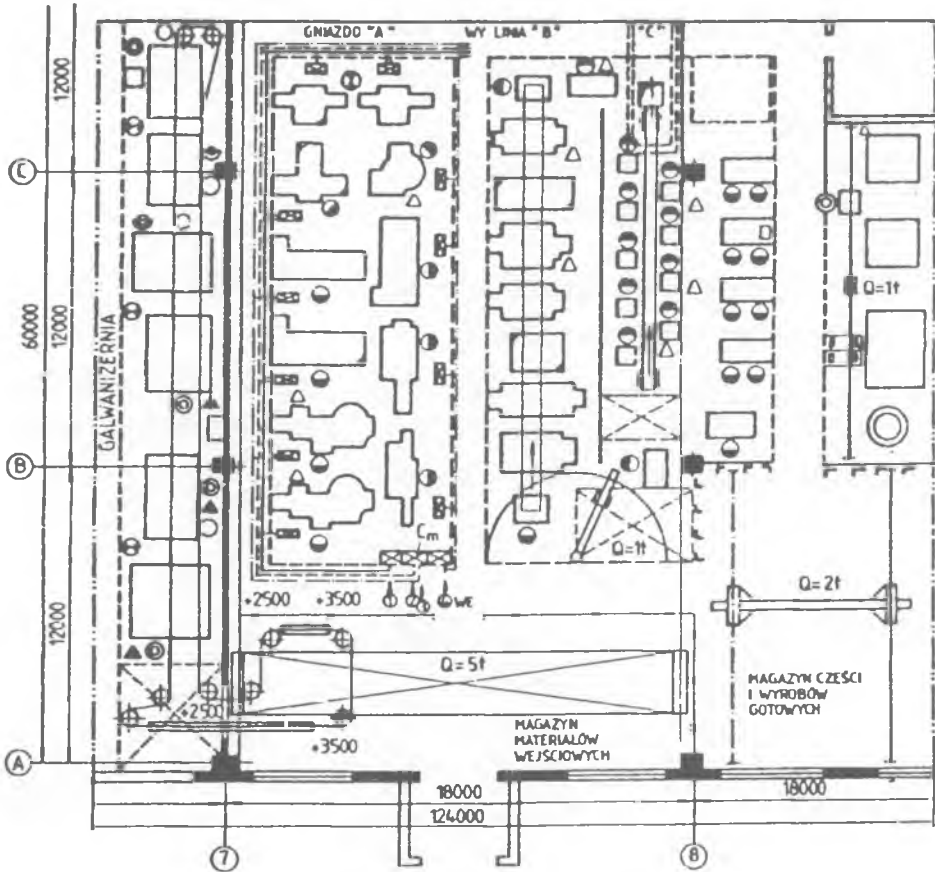
- układ dróg transportu międzystanowiskowego,
- odległość między stanowiskami roboczymi,
- elementy konstrukcyjne hali produkcyjnej,

d) przepisy bhp i zasady ergonomii.

Punkty a) i b) wynikają z charakterystyki samych stanowisk roboczych i procesu produkcyjnego, natomiast c) i d) są wielkościami ujętymi w normach do projektowania (zob. np. [39])

Ostateczny wariant rozmieszczenia stanowisk roboczych, po uwzględnieniu omówionych powyżej wymagań, uzupełnia się schematem przepływu obrabianych wyrobów (detali) przez stanowiska – chodzi o tzw. wykres sznurkowy. Przykładowy projekt rozmieszczenia stanowisk roboczych w gnieździe produkcyjnym przedstawia rys. 7.10.

³ Szczegóły dotyczące systemów obsługi stanowisk roboczych będą przedstawione w dalszej części skryptu.



Rys. 7.10. Projekt przykładowego rozmieszczenia stanowisk roboczych w komórce produkcyjnej [2]

7.5. Projektowanie harmonogramów

Każdy proces produkcyjny przebiega nie tylko w określonej przestrzeni, ale przede wszystkim w czasie, co oddaje dynamiczność procesu produkcyjnego.

Wyniki ustaleń etapu 1 określały pewną statyczność układu, związaną jedynie z przydziałem konkretnych detalooperacji do konkretnych stanowisk roboczych, w wydzielonych KP^I . W etapie 3 dążyć będziemy do usytuowania następujących po sobie operacji produkcyjnych, w czasie trwania całego cyklu

produkcyjnego poszczególnych detali i komórek produkcyjnych w odniesieniu do podstawowych czynników produkcji. Wynikiem procesu harmonogramowania będą następujące graficzne ilustracje przebiegu w czasie procesu produkcyjnego:

- harmonogramy pracy maszyn,
- harmonogramy pracy robotników,
- harmonogramy obsługi przez procesy pomocnicze.

7.5.1. Przygotowanie niezbędnych parametrów do harmonogramowania przebiegu produkcji

Niezbędnym parametrem bezpośrednio związanym z funkcjonowaniem KP^I jest wielkość partii produkcyjnej dla rytmicznej produkcji, określana w oparciu o kryterium organizacyjne⁴ w postaci zależności:

$$S_i = X_p \cdot z_{gi}, \quad (7.18)$$

gdzie: S_i – wielkość partii produkcyjnej i -tego detalu,

X_p – przyjęty okres powtarzalności,

z_{gi} – zadanie godzinowe i -tego detalu.

Jak widać, wyliczona tak wielkość partii odpowiada okresowi powtarzalności produkcji $X_p \geq X_{min,j}$, co gwarantuje harmonizację tej wielkości z całym „otoczeniem produkcyjnym”, ponieważ X_p jest wspólne dla wszystkich stanowisk w KP^I , więc i wielkość partii jest jednakowa dla wszystkich detalooperacji danego detalu.

Następnym parametrem wynikającym z wielkości partii produkcyjnej, jest wielkość partii transportowej (pakietu transportowego). Jej wielkość związana jest z możliwością i efektywnością środków transportu międzystanowiskowego. Przyjęte w danych wejściowych odpowiednie środki transportu posiadają określoną ładowność. Oczywiście każda z wydzielonych w etapie 1 KP^I , będzie miała dobrany właściwy środek transportu, w zależności od odmiany produkcji każdej

⁴ Metoda ta, specyficzna dla rytmicznej produkcji zasadniczo odbiega od poznanych wcześniej metod (zob. cz. I).

z komórek. Mogą to być przenośniki taśmowe lub wałkowe dla potoków stałych, czy też różnego rodzaju wózki transportowe np. dla potoków złożonych.

Obliczenie wielkości partii transportowych przeprowadzamy przy użyciu wzoru:

$$p_{ii} = \frac{S_i}{l_{pt}}, \quad (7.19)$$

$$l_{pt} = \frac{G_o}{l_w} = \frac{S_i \cdot g_o}{l_w}, \quad (7.20)$$

gdzie: p_{ii} – wielkość (liczność) partii transportowej i -tego detalu,

l_{pt} – liczba partii transportowych,

G_o – ciężar partii produkcyjnej,

g_o – norma zużycia materiału,

l_w – ładowność wózka (środka transportu).

Analizując dwa powyższe wzory mogłoby się wydawać, iż dla obliczenia p_{ii} wystarczy podzielić przez siebie l_w oraz g_o . Otóż nie jest to możliwe, gdyż liczba pakietów l_{pt} powinna być liczbą całkowitą i dzielnikiem wielkości S_i . Dlatego najczęściej rezygnujemy ze 100 % wykorzystania ładowności środka transportu, zwiększając tym samym liczbę pakietów transportowych. Po takiej korekcie dopiero ostatecznie możemy określić wielkość partii transportowej p_{ii} . Może wystąpić także sytuacja, gdzie należy skorygować (zawsze w dół) wielkość S_i . Obliczenia wielkości S_i oraz p_{ii} przeprowadzamy w formularzu 6 (rys. 7.11).

Przy opracowaniu harmonogramów produkcji pomocne jest także zestawianie parametrów czasowych w przekroju wszystkich stanowisk. Wzór tablicy obliczeniowej do sporządzania harmonogramów przedstawia formularz 7 (rys. 7.11). Pojawiają się tutaj nowe parametry, które można obliczyć z następujących zależności:

$$T_{jk} = t_{ijk} \cdot S_i, \quad (7.21)$$

$$\eta_{mj} = \frac{\sum t_{pzij} + \sum T_{jk}}{X_p},$$

(7.22)

gdzie: t_{ijk} – korygowana pracochłonność jednostkowa ij-tej detalooperacji,
 T_{jk} – korygowany czas wykonania operacji dla S_i detali w partii produkcyjnej,
 $\sum t_{pzij}$ – łączny czas przygotowawczo-zakończyeniowy występujący w okresie powtarzalności (X_p) na danym stanowisku roboczym,
 $\sum T_{jk}$ – łączny czas obróbki partii detali w okresie powtarzalności na danym stanowisku roboczym,
 η_{mj} – współczynnik obciążenia j-tego stanowiska roboczego w przyjętym okresie powtarzalności X_p .

Mając przygotowane niezbędne parametry czasowe, można przystąpić do projektowania harmonogramów przebiegu produkcji.

Formularz 6

Lp	Detal		Z_{gj}	X_p	S_i	g_o	G_o	t_w	l_{pt}	p_{ti}
	Nazwa	Nr	$\left[\frac{szl.}{godz.}\right]$	[godz.]	[szt.]	$\left[\frac{kg}{szt.}\right]$	[kg]	[kg]	[szt.]	[szt.]

Formularz 7

Nazwa	Symbol (numer)	X_p dla KPl	Symbol (typ) stanow.	Nr stanow	Nr detalu	Nr operacji	t_{ijk}	S_i	T_{jk}	t_{pzij}	$\sum T_{jk}$	$\sum t_{pzij}$	η_{mj}
KPl	KPl	[godz.]					$\left[\frac{godz.}{szt.}\right]$	[szt.]	[godz.]	$\left[\frac{godz.}{partia}\right]$	[godz.]	[godz.]	

Rys. 7.11. Formularze do obliczeń parametrów niezbędnych przy harmonogramowaniu przebiegu produkcji (opr. własne)

7.5.2. Opracowanie harmonogramów pracy maszyn

W każdej wydzielonej KP^I mamy najczęściej do czynienia z licznym zbiorem operacji i czynności produkcyjnych, którego realizacja powinna być wzajemnie usytuowana w czasie (pod względem kolejności), z punktu widzenia wykorzystania czasu pracy maszyn, robotników, rytmiczności spływu detali itd. Różne warianty szeregowania w czasie operacji produkcyjnych tworzą różne reperkusje organizacyjne i ekonomiczne, przede wszystkim zauważalne w zwiększaniu się bądź zmniejszaniu długości cyklu produkcyjnego. W związku z tym przy projektowaniu harmonogramów należy uwzględnić następujące zagadnienia:

- 1) ustalenie właściwej kolejności detalooperacji w harmonogramie, tak aby łączny czas przebrojeń stanowisk roboczych oraz cykl produkcyjny, osiągały odpowiednie wielkości,
- 2) usytuowanie operacji detalu względem siebie i względem innych detalooperacji, tak aby cykle produkcyjne poszczególnych detali były korzystne.

Każda decyzja o wyborze z wielu różnych wariantów jednego, który ma być obowiązujący przy sporządzaniu harmonogramu wzorcowego rytmicznej produkcji (również w trakcie bieżącego rozdzielnictwa robót nierytmicznej produkcji), jest decyzją dotyczącą nadania temu wyrobowi lub operacji priorytetu. W literaturze znanych jest ponad sto reguł priorytetu (zob. [82]) wykorzystujących różne parametry i kryteria optymalizacji przebiegu procesu produkcyjnego w komórce produkcyjnej.

Niezależnie od tego według jakiej reguły priorytetu ustaliliśmy kolejność zapuszczania określonych detalooperacji trzeba pamiętać, że projektowanie harmonogramów produkcji nawet dla KP^I jest bardzo złożonym problemem organizatorskim. Dążenie do uzyskania rozwiązania optymalnego „metodą prób i błędów” nie zawsze jest możliwe, nawet przy użyciu EMC, ze względu na ogromne ilości wariantów. Dlatego najczęściej stosuje się uproszczenia praktyczne, w których dąży się przede wszystkim do uzyskania takich wariantów harmonogramu wzorcowego, przy którym uzyskujemy minimalizację długości cykli produkcyjnych detali w danej KP^I .

Projektując harmonogram pracy maszyn należy pamiętać, że [38]:

- kolejność układania wyrobów w harmonogramie posiada zasadniczy wpływ na wydłużenie się cyklu poszczególnych wyrobów i łączną ich długość,

- w przypadku obrabiania w jednej komórce produkcyjnej grupy detali o różnych średnicach) czasach jednostkowych, najwyższy wskaźnik wydłużania cyklu występuje przy wyrobie, którego t_{jsr} jest najmniejsze, a najniższy przy maksymalnych t_{jsr} ,
- wskaźnik wydłużenia cyklu wzrasta w miarę układania wyrobu w harmonogramie, tzn. wzrost jest coraz większy. Wyrób umieszczany w harmonogramie jako pierwszy w kolejności, posiada najmniejszy wskaźnik wydłużenia cyklu produkcyjnego,
- im większe obciążenie stanowisk roboczych, tym większe są średnie wskaźniki wydłużania cyklu,
- w potokach asynchronicznych przy dużych obciążeniach stanowisk roboczych, nie istnieją możliwości ułożenia powtarzalnego harmonogramu przy zastosowaniu wyłącznie szeregowego przebiegu. Konieczne jest stosowanie również przebiegu równoległego, albo dzielenie partii obróbczej,
- przy układaniu harmonogramu występuje często problem dokonania wyboru czy lepiej podzielić partię produkcyjną, czy lepiej wydłużyć cykl produkcyjny,
- likwidowanie mikroprzerw tzn. zapewnienie ciągłości pomiędzy poszczególnymi operacjami na stanowiskach roboczych, pociąga za sobą wydłużenie cyklu produkcyjnego.

Projektowanie harmonogramu pracy maszyn dla KP^I odbywa się oczywiście nie w całym przedziale cyklu produkcyjnego, lecz dla jednego X_p , gdyż harmonogram wzorcowy opracowany dla okresu powtarzalności jest normatywnym produkcyjnym dla każdego, kolejnego powtórzenia. W porównaniu z innymi rodzajami harmonogramów produkcyjnych, harmonogram wzorcowy wykazuje szereg istotnych udogodnień:

- upraszcza sposób graficznego przedstawiania przebiegu produkcji, gdyż całość harmonogramu sprowadza się do rozrysowania go dla jednego przedziału X_p ,
- daje dogodną podstawę do rozwiązań optymalizacyjnych, szczególnie przy powiązaniu harmonogramu produkcji z harmonogramem pracy robotników,
- uwidacznia czas pracy stanowisk i przerw w większym przedziale czasu będącym wielokrotnością X_p ,

- stanowi podstawę do właściwego przygotowania środków w celu wykonania przewidzianych zadań, a więc do zapewnienia terminów dostaw materiałów, narzędzi, dokumentacji warsztatowej, przebrojenia maszyn itp.

Do oceny kolejnych wariantów harmonogramów stosujemy następujący wskaźnik:

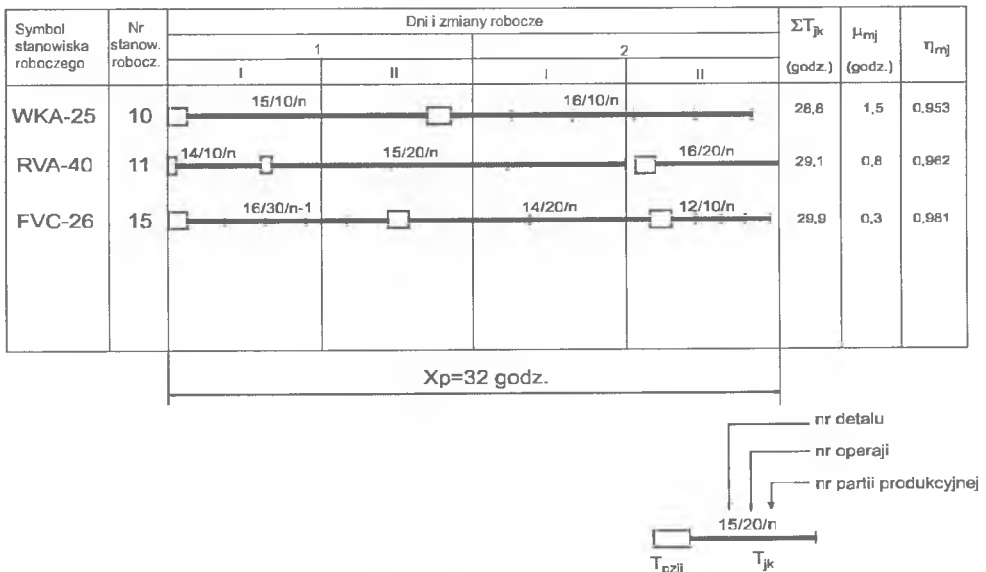
$$W_{nci} = \frac{\sum C_{ni}}{\sum C_{hi}} \leq 1, \quad (7.23)$$

gdzie: W_{nci} – wskaźnik jakości (normatywności) cyklu produkcyjnego,

C_{ni} – normatywny cykl i-tego detalu,

C_{hi} – harmonogramowany cykl i-tego detalu.

Cykle normatywne wyliczamy w zależności od tego jaki jest przebieg detali w partii produkcyjnej (szeregowy, szeregowo-równoległy, równoległy), a cykle harmonogramowane odczytujemy z harmonogramu wzorcowego. Przykład takiego harmonogramu z szeregowo-równoległym przebiegiem detali przedstawia, rys. 7.12.



Rys. 7.12. Fragment przykładowego harmonogramu wzorcowego pracy maszyn w KP^I dla szeregowo-równoległego przebiegu detali w partii produkcyjnej (opr. własne)

7.5.3. Opracowanie harmonogramów pracy robotników

Harmonogramy pracy robotników uwzględniają trzeci czynnik składowy stanowiska roboczego tj. pracę ludzką, którą należy tak zaplanować, aby każdy robotnik miał zapewnione zadania produkcyjne przez pełną zmianę roboczą. Dążymy więc do maksymalizacji wykorzystania funduszu zmianowego pracy robotników, a tym samym do minimalizacji przerw w ich pracy oraz liczby robotników zaangażowanych w obsługę maszyn i urządzeń. Sytuacja ta jest możliwa w przypadku jeżeli dysponujemy robotnikami o kilku specjalnościach zawodowych, co umożliwia przesuwanie ich w czasie, z jednych stanowisk na inne tzn. spełniony jest warunek zmienności zawodów.

Harmonogramy pracy robotników projektujemy na bazie obowiązującego już harmonogramu pracy maszyn, uwzględniając możliwości wykorzystania przerw w pracy na innym stanowisku roboczym. Szukamy rozwiązań, w których uzyskamy jak najwyższy współczynnik wykorzystania pracy robotników:

$$\eta_r = \frac{\sum T_r}{\sum T_r + \sum \mu_r}, \quad (7.24)$$

gdzie: η_r – współczynnik wykorzystania czasu pracy robotnika w okresie powtarzalności,

$\sum T_r$ – łączny czas pracy robotnika w okresie powtarzalności,

$\sum \mu_r$ – łączny czas planowych przerw w pracy robotnika w okresie powtarzalności.

Wobec tego robotnik przechodzi pomiędzy stanowiskami w celu obsługi, w ramach swych przerw, dodatkowych stanowisk roboczych. Przykład harmonogramu pracy robotników przedstawia rys. 7.13.

W praktyce mamy często niewiele możliwości obsługi kilku maszyn przez tego samego robotnika bez naruszenia przyjętego wcześniej wariantu harmonogramu pracy maszyn. W takiej sytuacji należy szukać pośredniego rozwiązania, z niewielkimi przesunięciami detalooperacji w harmonogramie pracy maszyn,

nie burzących zasadniczego ich układu⁵. Jeśli takie pośrednie rozwiązanie nie jest możliwe, to musi zwyciężyć jedna z tendencji, podejmowana w granicach opłacalności. Najczęściej jednak pozostajemy przy niezmienności harmonogramu pracy maszyn, gdyż przestoje maszyny są kosztowniejsze aniżeli przestoje pracowników.

Symbol stanow. robocz.	Zmiana robocz.	Nr marki rob.	Okres powtarzalności (X_p)		ΣT , (godz.)	$\Sigma \mu$, (godz.)	η_r
			Dni robocze				
			1	2			
15	I	001			16,0	0	1,00
	II	002			15,2	0,8	0,95
27	I	003			14,3	1,7	0,89
	II						
12	I	008			16,0	0	1,00
	II	010			12,0	4,0	0,75
23	I						
							

Rys. 7.13. Fragment harmonogramu pracy robotników (opr. własne)

7.5.4. Opracowanie harmonogramów obsługi przez procesy pomocnicze

Podstawowy proces produkcyjny wymaga obsługi przez służby i gospodarki pomocnicze. Obsługa ta warunkuje przebieg wykonania wyrobów produkcji podstawowej. Ustalony w pierwszej kolejności przebieg podstawowego procesu produkcyjnego narzuca automatycznie wymagania dla organizacji procesów pomocniczych⁶. Wymagania te są dość rozległe, a podstawowe z nich sprowadzają się do tego, że obsługa produkcji przez służby i gospodarki pomocnicze

⁵ Opracowywanie wzorcowych harmonogramów pracy robotników jest oczywiście zbyteczne w przypadku, gdy asortyment i pracochłonność produkcji w KP' zapewnia pełne obciążenie stanowisk roboczych. Wtedy harmonogram wzorcowy pracy maszyn jest jednocześnie harmonogramem wzorcowym pracy robotników.

⁶ Ponieważ niniejszy skrypt dotyczy procesów podstawowych, dlatego zagadnienia te zostaną omówione w sposób ramowy, a rozszerzoną problematykę odnajdzie czytelnik w publikacjach do przedmiotu *Organizacja obsługi produkcji* (zob. np. [17], [85]).

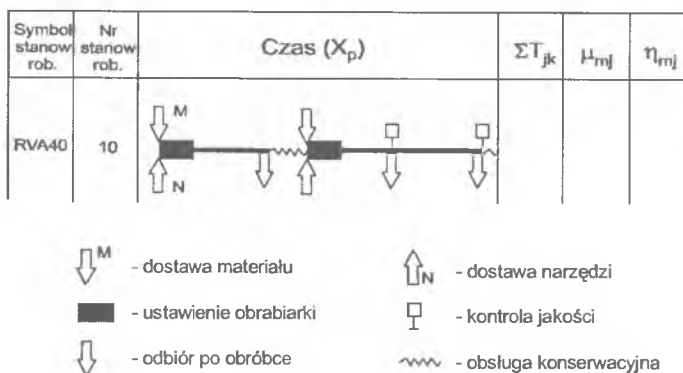
musi rozpoczynać się i kończyć w odpowiednim czasie. Miejsce i czas wykonania obsługi zostały zdeterminowane harmonogramem przebiegu produkcji podstawowej. Na jego tle można wykonać następujące harmonogramy procesów pomocniczych:

- obsługi narzędziowej,
- dostaw materiałowych,
- obsługi transportowej,
- kontroli jakości (KJ),
- obsługi konserwacyjno-remontowej.

Analizując zadania wymienionych procesów pomocniczych można w sposób ramowy scharakteryzować istotne funkcje tych gospodarek w systemie rytmicznej produkcji.

Podstawowym zadaniem gospodarki narzędziowej jest dostarczenie narzędzi i przyrządów na stanowiska robocze. Rodzaj pomocy warsztatowych ustalony został w etapie opracowywania procesów technologicznych. Z harmonogramu pracy maszyn wiadomo kiedy ma się rozpocząć wykonanie każdej z operacji. Znając trwałość narzędzi można określić termin ich wymiany. Mogą tu być stosowane różne warianty organizacji dostaw, np. robotnik otrzymuje narzędzia na wykonanie całego zadania itp. Z harmonogramu produkcji podstawowej wynika również, w którym momencie powinny być dostarczone na stanowisko robocze materiały i odebrane gotowe detale. Wiąże się to bezpośrednio z harmonogramem pracy brygad transportowych. W tym momencie dopiero jest pełny obraz obciążenia, pracą środków transportu i możliwość obliczenia potrzebnej ich liczby.

Zadania gospodarki konserwacyjno-remontowej wynikają z planowych prac remontowych i poza planowych prac awaryjnych. Dlatego też, pomijając tu zdarzenia losowe, można stwierdzić, iż harmonogramem produkcji podstawowej można skorelować wszystkie prace typu remontów, konserwacji, przeglądów. Również zadania ustawiaczy oraz kontroli technicznej (w zależności od formy KJ) wynikają jednoznacznie z harmonogramu produkcji. Dlatego dla systemu rytmicznej produkcji stosuje się rozbudowane harmonogramy produkcji podstawowej o operacje i zabiegi pomocniczo-obługowe. Harmonogram taki przedstawia rys. 7.14.



Rys. 7.14. Fragment harmonogramu obsługi procesu podstawowego przez procesy pomocnicze, z naniesionymi operacjami obsługowymi (opr. własne)

7.6. Opracowania uzupełniające

Zaprojektowane w kolejnych etapach komórki produkcyjne systemu rytmicznej produkcji wymagają dodatkowo opracowania, na bazie wcześniejszych ustaleń i rozwiązań organizacyjnych, następujących grup zagadnień:

- 1) określenie czynników uzupełniających (utrzymujących rytmiczność produkcji)
 - rezerw możliwości produkcyjnych,
 - zapasów produkcyjnych,
 - pól odkładczych,
 - magazynów buforowych itp.,
- 2) określenie formy organizacji pracy i obsługi stanowisk roboczych w KP^I
 - obsługi wielowarsztatowej,
 - obsługi brygadowej,
 - grup autonomicznych.

Представленные выше opracowania uzupełniające, dotyczące zarówno rytmicznej jak i nierytmicznej produkcji, mając charakter uniwersalny – mogą być zaprezentowane po omówieniu obu metodyk projektowania konwencjonalnych systemów produkcyjnych (zob. ust. 8.6).

Deterministyczne traktowanie wszystkich czynników i parametrów procesu produkcyjnego w systemie rytmicznej produkcji wynikało z założenia, że komórka produkcyjna jest obiektem względnie odosobnionym. Ponieważ proces

produkcyjny jest funkcją wielu zmiennych, z których część ma charakter losowy (probabilistyczny), to jest rzeczą oczywistą, iż wewnątrz takiego procesu powstawać będą zakłócenia wynikające z przyczynowo-skutkowych powiązań czynników procesu produkcyjnego. Zmienność w czasie czynników przebiegających w warunkach niepewności wzbudza zakłócenia, które należy niwelować przez przygotowany wcześniej system kompensatorów, tłumiących wszelkie odchylenia od normatywnie ustalonego przebiegu produkcji. Ponieważ nie jest możliwe całkowite wyeliminowanie zakłóceń produkcyjnych, dlatego zaprojektowany system rytmicznej produkcji powinien być przygotowany na wystąpienie zakłóceń, spowodowanych wieloma przyczynami.

Skuteczne przeciwdziałanie zakłóceniom sprowadza się do:

- kompleksowego projektowania (lub usprawnienia) organizacji produkcji,
- stosowania kompensatorów w postaci np. odpowiednich rezerw produkcyjnych.

Utrzymywanie takich rezerw jest mniej kosztowne aniżeli straty spowodowane oddziaływaniem ewentualnych zakłóceń.

Problematyka dynamiki procesów produkcyjnych jest szczególnie złożona i wymaga kompleksowych badań. Wyniki badań dla systemów rytmicznej produkcji zawiera praca [40], które ogólnie można przedstawić w postaci następujących grup zagadnień:

- sklasyfikowanie zakłóceń produkcyjnych i sposoby ich mierzenia,
- określenie probabilistycznych charakterystyk kształtowania się wybranych rodzajów zakłóceń (odpowiednich rodzajów rezerw),
- modelowanie systemów rytmicznej produkcji działających w warunkach zakłóceń produkcyjnych.

Dużą przydatność dla projektantów ma niewątpliwie symulacyjny model rytmicznej produkcji służący do oceny zachowania się zaprojektowanej wcześniej komórki produkcyjnej, w warunkach oddziaływania (wybranych rodzajów) zakłóceń losowych oraz określenia niezbędnych rezerw – przy projektowaniu konkretnej KP' pracującej w systemie rytmicznej produkcji.

Wyniki dalszych, pogłębiających badań zagadnień dynamiczności procesów produkcyjnych, stworzą możliwości do szerszych uogólnień i opracowania metodyki projektowania będącej narzędziem pracy projektanta – organizatora systemów produkcyjnych.

8. SYSTEM PRODUKCJI NIERYTMICZNEJ

8.1. *Ogólna charakterystyka przedmiotu projektowania (produkcji nierytmicznej)*

Przedmiotem projektowania są również systemy produkcyjne charakteryzujące się nierytmicznym sposobem wytwarzania. Rytmiczność podobnie jak proporcjonalność, równoległość i ciągłość, to główne cechy systemu produkcyjnego określające wyższe formy jego zorganizowania. Systemy produkcyjne, które nie posiadają wymienionych cech charakteryzują się niepotokowymi formami organizacji i są określane mianem nierytmicznych (niepotokowych) systemów produkcyjnych. *Produkcja nierytmiczna* odbywa się najczęściej w gniazdach produkcyjnych, przy czym mogą to być technologiczne gniazda produkcyjne i przedmiotowe gniazda produkcyjne.

W *technologicznym gnieździe produkcyjnym*, stanowiska pracy zgrupowane są według ich podobieństwa. Wykonuje się w nich zbliżone do siebie procesy technologiczne. Na przykład w fazach obróbki mechanicznej może być wykonywana w gniazdach: tokarek ciężkich, tokarek lekkich, szlifierek, frezarek i innych. W określonym gnieździe technologicznym wykonuje się tylko wy-cinek procesu technologicznego. Między poszczególnymi stanowiskami nie istnieją żadne powiązania produkcyjne. Obrabiana część może być dostarczana na każde stanowisko, z różnych stanowisk, zgodnie z kolejnością operacji i rodzajem stosowanej obróbki. Gotowe części otrzymuje się w wyniku ich przepływu przez kilka różnych gniazd produkcyjnych. W oparciu o zasadę technologiczną mogą być organizowane komórki produkcyjne wyższych stopni,

jak oddziały i wydziały. Komórki produkcyjne według zasady technologicznej tworzy się głównie w warunkach zmiennych – niestabilizowanego programu produkcyjnego (produkcji jednostkowej i małoseryjnej). Różnorodne wyroby lub części mogą być wytwarzane bądź kolejno, bądź jednocześnie bez zmiany urządzeń produkcyjnych.

Przedmiotowe gniazda produkcyjne powstają drogą łączenia na określonej przestrzeni produkcyjnej różnych maszyn lub innych stanowisk pracy niezbędnych do wytwarzania grupy części, podzespołów lub wyrobów. Stanowiska pracy ustawione są w kolejności przebiegu procesu technologicznego większości obrabianych w nim części (detali). Możliwe jest jednak w gnieździe pominięcie w procesie technologicznym niektórych operacji, nawroty przedmiotów na te same stanowiska oraz skrzyżowanie przebiegu obrabianych przedmiotów. W oparciu o zasadę przedmiotową organizowane są komórki produkcyjne wyższych stopni. W wielu przedsiębiorstwach wytwarzających wyroby pojedynczo lub w niewielkiej ilości (produkcja jednostkowa lub małoseryjna) o dużych gabarytach, gdzie przepływ poszczególnych elementów konstrukcyjnych wyrobów jest utrudniony, zamiast gniazd produkcyjnych tworzy się brygady pracownicze o jednorodnych zawodach (wyspecjalizowanych technologicznie) np.: spawaczy, ślusarzy, traserów, elektryków itp., lub brygady o różnych zawodach wykonujących określone elementy konstrukcyjne wyrobu.

Podstawową cechą produkcji nierytmicznej jest zmienność asortymentu i ilości wyrobów produkowanych w poszczególnych okresach planowo-sprawozdawczych. Program produkcyjny (asortyment i ilość) zmienia się w zależności od potrzeb rynku i otrzymywanych zamówień. Szeroki asortyment produkcji przy równoczesnej niewielkiej powtarzalności wyrobów powoduje, że zakres działalności produkcyjnej komórek produkcyjnych nie jest wyraźnie określony. Różnorodny i szeroki asortyment produkcji wpływa jednocześnie na małe rozmiary ilościowe poszczególnych wyrobów. Powoduje to, iż uruchamianie produkcji odbywa się najczęściej w komórkach technologicznych lub komórkach przedmiotowych organizowanych na bazie idei technologii grupowej.

Produkcję nierytmiczną (niepotokową) można najkrócej scharakteryzować następująco:

1. Stanowiska robocze wykonują różne, przypadkowo przydzielone operacje i przebieg tych operacji w czasie nie jest regulowany cyklicznie powtarzalnymi harmonogramami, lecz wynika z organizacji cyklu produkcyjnego, produkowanych w przedsiębiorstwie wyrobów.
2. Brak trwałych związków między stanowiskami roboczymi oraz operacjami.
3. System sterowania działa w znacznym stopniu w warunkach „luki informacyjnej” odnośnie do takich wielkości jak: długość cyklu produkcyjnego, normy czasowe, bilanse obciążenia maszyn i ludzi itp. Podstawę sterowania stanowi wiedza i niekiedy intuicja kierującego oraz cyklogramy produkcji.

Skoro *nierytmiczne systemy produkcyjne* charakteryzują się niską formą organizacyjną a przebieg procesu wewnątrz komórki produkcyjnej regulowany jest na bieżąco przez kierującego, na podstawie doświadczenia względnie dyskretnych informacji o przebiegu procesu, przeto głównym przedmiotem projektowania jest struktura produkcyjna komórek produkcyjnych odpowiadająca potrzebom realizacji zmiennych, nie ustabilizowanych programów produkcyjnych. Przy aktualnej możliwości typizacji elementów konstrukcyjnych wyrobów i unifikacji procesów technologicznych, istnieje możliwość odchodzenia od technologicznych struktur produkcyjnych na rzecz przedmiotowej specjalizacji komórek produkcyjnych. Projektowanie technologicznych i przedmiotowych komórek produkcyjnych, systemu nierytmicznej produkcji, będziemy przeprowadzali zgodnie z kolejnymi etapami, modułami i procedurami projektowymi.

8.2. Etapy projektowania

Organizowanie nierytmicznej produkcji opiera się na dokumentacji konstrukcyjno-technologicznej wyrobu, zaprojektowanej w fazie technicznego przygotowania produkcji, z tym, że technologia wytwarzania ma charakter ramowy i wielowariantowy. Najczęściej przygotowanie takiej produkcji odnosi się do wzorcowego przedstawiciela typoszereregu określonych wyrobów, gdzie najbardziej charakterystyczną cechą jest ich podobieństwo konstrukcyjno-technologiczne. Inną grupę wyrobów stanowią takie zlecenia, których procesy technologiczne i nieduże wielkości programów produkcyjnych warunkują sto-

sowanie technologicznej struktury produkcyjnej w komórkach produkcyjnych systemu nierytmicznej produkcji.

Proces projektowania organizacji nierytmicznej produkcji został podzielony (zob. rozdz. 6) na następujące etapy i moduły projektowania:

Etap 1. Projektowanie struktury produkcyjnej

Moduł 1.1. Obliczanie parametrów produkcyjno-organizacyjnych.

Moduł 1.2. Wydzielanie przedmiotowych gniazd produkcyjnych.

Moduł 1.3. Wydzielanie technologicznych gniazd produkcyjnych.

Etap 2. Projektowanie rozmieszczenia stanowisk roboczych

Moduł 2.1. Poszukiwanie rozwiązania teoretycznego.

Moduł 2.2. Projektowanie szczegółowe (techniczne).

Etap 3. Projektowanie harmonogramów

Moduł 3.1. Opracowanie cyklogramów produkcji.

Moduł 3.2. Opracowanie harmonogramów Gantta.

Etap 4. Opracowania uzupełniające

Moduł 4.1. Określenie czynników uzupełniających.

Moduł 4.2. Określenie formy organizacji pracy i obsługi stanowisk roboczych.

Stosownie do obiektu mającego być przedmiotem projektowania (najczęściej jest zbiór KP^i) dążymy do optymalnego wykorzystania czynników produkcji, dla których w każdym z czterech etapów występują specyficzne zagadnienia projektowe i optymalizacyjne. W każdym z etapów i w kolejnych modułach, realizowane są rozwiązania projektowe dla poszczególnych obszarów składających się następnie w całość cech i warunków określonych KP systemu nierytmicznej produkcji.

Bazą wyjściową do projektowania są opracowania technologiczne tworzące dane odnoszące się do czynników produkcji:

1) przedmiotu pracy (wyrobu)

- struktura wyrobów,
- wielkość produkcji (zleceń produkcyjnych),
- poziom braków produkcyjnych,
- warianty procesów technologicznych,

2) środków pracy (maszyn)

- fundusz czasu maszyny,
- zmienowość,
- stanowiskochłonność,
- charakterystyki maszyn i urządzeń,

3) pracy (robotnika)

- fundusz czasu robotnika,
- pracochłonność,
- współczynnik wykonania normy,

4) dane dotyczące techniczno-organizacyjnych wielkości normatywnych (odległości między obrabiarkami, szerokości dróg transportowych, koszty postoju jednej godziny pracy maszyny i robotnika itp.).

Potrzebnymi informacjami w projektowaniu są także więzi kooperacyjne projektowanych KP z innymi komórkami w przedsiębiorstwie i na zewnątrz oraz możliwości ich wspólnego oddziaływania na zmieniający się asortyment i częstotliwość nowych zleceń produkcyjnych. Chodzi także o możliwości elastycznego dostosowania się do bieżącego napływu zleceń produkcyjnych, co w przypadku systemów nierytmicznej produkcji ma niewątpliwie pierwszoplanowe znaczenie.

8.3. Projektowanie struktury produkcyjnej

Zgodnie ze schematem etapów i modułów projektowania konwencjonalnych systemów produkcyjnych (zob. rys. 6.1), do etapu 1 projektowania produkcji nierytmicznej zaliczane są wyroby: „z góry” zakwalifikowano w obszar tej formy produkcji oraz wyroby nie zakwalifikowane do projektowania zgodnie z metodyką rytmicznej produkcji. W konkretnych warunkach projektanckich nie muszą występować wyroby z drugiej kategorii, lecz nie ma to oczywiście wpływu na tok postępowania metodyczno-projektowego.

8.3.1. Obliczanie parametrów produkcyjno-organizacyjnych

Parametry produkcyjno-organizacyjne (zob. cz. I) opisujące procesy produkcyjne stanowią w działalności projektanta organizatora elementarne ogniwa, którymi posługuje się we wszystkich etapach projektowania systemu nieryt-

micznej produkcji. Należą do nich obliczeniowe formuły, z których korzystamy posługując się następującymi wzorami.

1. Program produkcji

$$N_i = N_{di} (1 + b_{di}), \quad (8.1)$$

gdzie: N_i – korygowany program produkcji i-tego detalu w szt./zlecenie,
 N_{di} – planowany, docelowy program produkcji i-tego detalu w szt./zlecenie,
 b_{di} – planowany, docelowy poziom braków produkcyjnych w %.

2. Efektywny fundusz czasu stanowiska roboczego F_i (zob. p. 8.3.1)

$$F_i = F_{nj} \cdot \eta_{pj}, \quad (8.2)$$

gdzie: F_{nj} – nominalny fundusz czasu j-tych maszyn w godz./rok,
 η_{pj} – planowany współczynnik uwzględniający przestoje maszyny.

3. Efektywny fundusz czasu robotnika F_r (zob. p. 8.3.1)

$$F_r = F_{nr} \cdot \eta_{pr}, \quad (8.3)$$

gdzie: F_{nr} – nominalny fundusz czasu pracy r-tego robotnika w godz./rok,
 η_{pr} – planowany współczynnik uwzględniający przestoje robotnika.

4. Wielkość partii produkcyjnej S_i (na które podzielone mają być zlecenia produkcyjne N_i):

a) przy użyciu metody minimalnych kosztów produkcji (zob. cz. I)

$$S_{opt.i} = \sqrt{\frac{K_p \cdot 200 \cdot N_i}{K_s \cdot p \cdot F_j}}, \quad (8.4)$$

gdzie: K_p – koszty przygotowania produkcji,

K_s – koszty stałe,

N_i, F_j – określenia jak wyżej,

p – stopa procentowa płacona z tytułu zamrożenia środków obrotowych;

b) lub przy użyciu metody według udziału czasu przebrojenia (zob. cz. I)

$$S_{ek,i} = \frac{t_{pz}}{q \cdot t_j}, \quad (8.5)$$

gdzie: t_{pz} – czas przygotowawczo-zakończeniowy,

t_j – czas jednostkowy,

q – empiryczny współczynnik strat czasu na przebrojenie stanowisk roboczych (0,02 do 0,15).

Przeprowadzone w powyższy sposób obliczenia produkcyjno-organizacyjne są pomocne przy nadawaniu ostatecznego kształtu i charakteru komórkom produkcyjnym w systemie nierytmicznej produkcji. Są to gniazda produkcyjne organizowane zgodnie z tendencją do tworzenia struktury produkcyjnej, przedmiotowej (według technologii grupowej) i technologicznej.

8.3.2. Wydzielanie przedmiotowych gniazd produkcyjnych

Organizacja przedmiotowych gniazd produkcyjnych¹ zgodnie z regułami technologii grupowej sprowadza się do kojarzenia wyrobów (detali) przewidzianych do produkcji w grupy, w celu wspólnego ich rozpatrywania, które wchodzi we wspólny proces technologicznego przygotowania produkcji i proces produkcyjny. W ramach systemu klasyfikacji, detale są grupowane między innymi po to, aby standaryzować procesy technologiczne oraz tworzyć komórki przedmiotowe.

W organizacji produkcji wydzielanie komórek (gniazd) przedmiotowych w oparciu o technologię grup, może odbywać się kilkoma znanymi algorytmami [13], [48], [62], z których algorytm grupowania hierarchicznego AGH, i jego

¹ Termin *Technologia grupowa* został użyty po raz pierwszy przez rosyjskiego uczonego S.P. Mitrofanova z Uniwersytetu w Leningradzie, jako nazwa badań naukowych dotyczących zależności pomiędzy wyrobami, a metodami wytwarzania [48]. W dniu dzisiejszym większość światowych fabryk stosuje rozwinięte metody technologii grupowej, propagowane w krajach zachodnich przez eksperta w tej dziedzinie – J.L. Burbidge'a [13] z Oxford University.

zalety (elastyczność) uprawniają do zalecania go jako narzędzia dla projektanta systemu nierytmicznej produkcji.

Podstawą algorytmu grupowania hierarchicznego AGH (zob. [62]) jest idea kojarzenia części (detali) według współczynników podobieństwa i hierarchicznej metodzie klasyfikacji. Struktura AGH składa się z następujących procedur projektowych:

1. Określanie zadania grupowania i wprowadzania danych.
2. Obliczanie macierzy podobieństwa.
3. Hierarchiczne grupowanie części.
4. Redakcja wyników – identyfikacja rodzin części, grup maszyn oraz budowa dendrogramu.

Procedura 1 dotyczy wprowadzenia danych w trybie konwersacyjnym. W zależności od rozwiązywanego problemu zadana może być liczba rodzin, do których należy klasyfikować części lub graniczny stopień podobieństwa, do którego można łączyć części w rodziny. Istnieje możliwość wprowadzania jednocześnie liczby klas oraz granicznego stopnia podobieństwa i proces grupowania zostaje przerwany wówczas, gdy osiągnie się zadaną liczbę grup lub zadany współczynnik podobieństwa. Danymi wyjściowymi są:

K – liczba rodzin (klas),

N – liczba części,

M – liczba maszyn,

$A = [a_{ij}]$ – macierz przyporządkowań, gdzie $a_{ij} = 1$ – gdy część „i” jest obrabiana w maszynie „j”; 0 – w przeciwnym przypadku,

$D = [d_i]$ – wektor wielkości produkcji poszczególnych części lub liczba operacji wykonywanych na poszczególnych częściach.

W przypadku wymogu uwzględnienia w podobieństwie części kolejności operacji technologicznych elementami macierzy A są liczby z przedziału $0, M$ oznaczające miejsce danej maszyny w procesie technologicznym konkretnej części. W procedurze 2 obliczana jest macierz współczynników podobieństwa $W = [W_{ij}]$, gdzie W_{ij} jest współczynnikiem podobieństwa między częścią „i” oraz „j”. Współczynniki podobieństwa zarówno bez, jak i z uwzględnieniem kolejności operacji obliczane są według formuły Jaccarda (współczynnik podobieństwa Jaccarda między dwoma maszynami określa iloraz liczby części wy-

magających obu maszyn i liczby części wymagających jednej lub drugiej maszyny). Przy czym w drugim przypadku dla każdej części tworzona jest przez program specjalna macierz T , która stanowi podstawę wyznaczania współczynników podobieństwa. Obliczanie współczynników podobieństwa jest najbardziej pracochłonnym procesem. Określenie macierzy W dla n części wymaga obliczenia $((n-1)-n)/2$ współczynników.

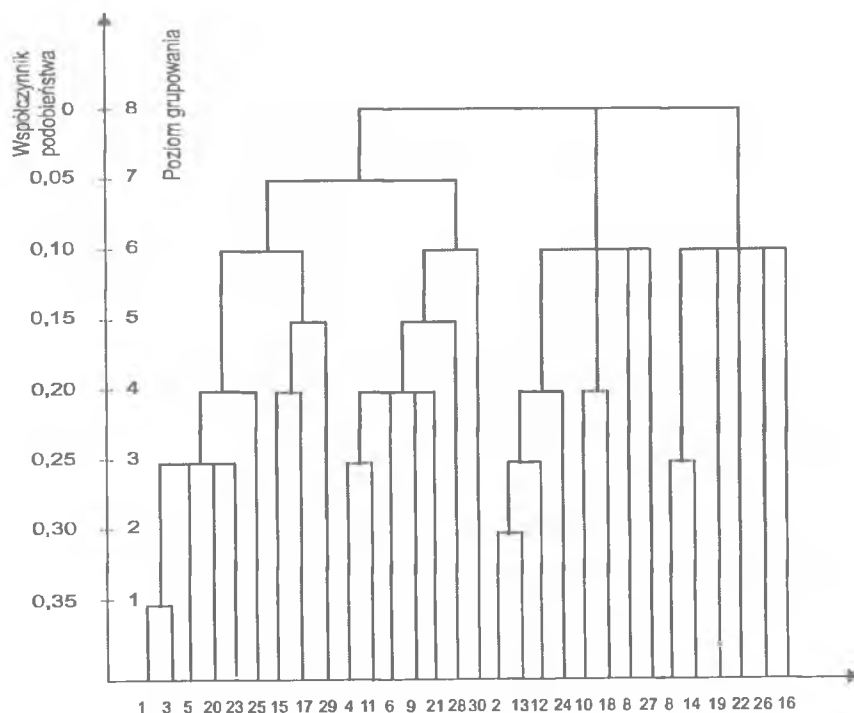
Procedura 3 stanowi centralną część algorytmu. Idea klasyfikacji hierarchicznej jest podstawą tworzenia rodzin części. Na pierwszym poziomie grupowania kojarzone są części o najwyższym współczynniku podobieństwa tworząc pewną liczbę rodzin. Jeżeli po przeprowadzonym na tym poziomie grupowaniu nie są osiągane warunki założone w procedurze 1, to dokonuje się wyboru przedstawicieli rodzin i następuje kolejny proces grupowania rodzin w rodziny poprzez grupowanie przedstawicieli już przy niższym współczynniku podobieństwa. Proces grupowania kończy się po osiągnięciu zadanego w procedurze 1 poziomu podobieństwa lub zadanej liczbie klas.

Jako przedstawiciela rodziny wybiera się tę część, na której wykonywana jest największa liczba operacji (wśród części z danej rodziny) lub, na której wielkość produkcji jest największa. W przypadku gdy nie dysponuje się informacją o wielkości produkcji lub gdy wielkość produkcji poszczególnych części albo liczby operacji wykonywane na częściach są identyczne, jako przedstawiciela grupy wybierany jest pierwszy element zaklasyfikowany do danej grupy. Biorąc pod uwagę fakt, że grupowanie przebiega w sposób hierarchiczny dokonuje się więc wyboru elementu najsilniej związanego z daną grupą w sesie wartości współczynnika podobieństwa i liczbę kolejnych grupowań.

Zadaniem procedury 4 jest odpowiednia redakcja otrzymanych w procedurze 3 wyników. W celu łącznej analizy utworzonych rodzin części i wyłonienia grup maszyn, wyniki przedstawia się w postaci przetransformowanej macierzy przyporządkowań. W macierzy tej wiersze odpowiadające częściom zaklasyfikowanym do jednej rodziny sąsiadują ze sobą. Kolumny odpowiadające maszynom zostają przesunięte tak, aby znalazły się obok siebie te maszyny, które wykonują największą liczbę operacji na częściach z danej rodziny (zob. rys. 8.2). Ważną formą prezentacji procesu grupowania jest generowany w tej procedurze dendrogram (por. rys. 8.1). Umożliwia on użytkownikowi prześledzenie rezul-

tatów grupowania na poszczególnych poziomach i ułatwia wybór najlepszej opcji. Przykładowy wariant grupowania przy użyciu AGH, zgodny z dendrogramem z rys. 8.1 przedstawiono na rys. 8.2. Szczegóły wykorzystywania AGH w projektowaniu, studenci poznają na ćwiczeniach praktycznych, opierając się o założenia i warunki przedstawione w skrypcie do ćwiczeń projektowych.

Projektowanie przedmiotowego gniazda produkcyjnego przy użyciu AGH jest uzupełnione procedurą, która dla wydzielonych rodzin (grup) części i rodzin (grup) maszyn, powinna określać liczbę potrzebnych maszyn określonego typu. Liczbę tych maszyn (stanowisk roboczych) w podziale na typy obliczamy zgodnie ze wzorem 8.12 oraz procedurą postępowania przedstawioną w p. 8.3.3, gdyż owa procedura ma zastosowanie dla obliczania liczby potrzebnych stanowisk roboczych zarówno w gniazdach przedmiotowych jak i technologicznych, systemu nierytmicznej produkcji.



Rys. 8.1. Przykładowy dendrogram procesu grupowania 30 części [62]

		Maszyny																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Detale (części)	1	1	1			1	1								1		1				1
	2			1	1			1							1		1				1
	3		1	1												1					1
	4						1				1							1			1
	5			1				1	1							1					1
	6					1	1										1				1
	7	1					1		1					1			1				1
	8									1	1								1		1
	9							1			1		1							1	1
	10			1	1									1							1
	11								1		1							1		1	1
	15				1	1								1		1					1
	15	1											1		1						1
	15																1		1		1
	16						1	1													1
	17														1		1				1
	18			1	1																1
	19	1												1		1				1	1
	20		1					1							1						1
	21										1	1	1						1	1	1
	22	1										1	1	1							1
	23		1										1		1				1		1
	24			1	1	1					1		1	1							1
	25		1																		1
	26												1	1					1	1	1
	27			1										1							1
	28										1		1						1	1	1
	29			1			1	1											1	1	1
	30							1													1

		Maszyny																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Grupy detali (części)	1	2	1	1	1	1	1														1
	13	1	1	1	1	1	1														1
	12	1	1	1	1	1	1														1
	24	1	1	1	1	1	1														1
	10	1	1	1	1	1	1														1
	18	1	1	1	1	1	1														1
	7							1	1	1	1										1
	27	1		1	1	1	1														1
	3													1	1	1	1	1	1		1
	5													1	1	1	1	1	1		1
	20													1	1	1	1	1	1		1
	23													1	1	1	1	1	1		1
	25													1	1	1	1	1	1		1
	15																1	1	1	1	1
	17																1	1	1	1	1
	29													1	1	1	1	1	1	1	1
	4																1		1	1	1
	11																	1	1	1	1
	6																		1	1	1
	9																		1	1	1
	21																		1	1	1
	28																		1	1	1
	30																		1	1	1
	8																			1	1
	14																			1	1
	19																			1	1
	22																			1	1
	26																			1	1
	16																			1	1

Rys. 8.2. Macierz przyporządkowań przed i po grupowaniu algorytmem AGH [62]

8.3.3. Wydzielanie technologicznych gniazd produkcyjnych

Określenie potencjału wytwórczego KP o specjalizacji technologicznej opiera się o zadania produkcyjne (wyroby), które nie zostały zakwalifikowane do wykonywania w przedmiotowych gniazdach produkcyjnych – zgodnie z technologią grupową. Odrzucone detale muszą być jednak wykonane, stąd dla nich powinny powstać KP grupujące jednorodne stanowiska robocze np. tokarki, frezarki itd., zapewniające wszystkie typy maszyn potrzebne do wykonania pełnej marszruty technologicznej wszystkich tych detali, we wszystkich fazach technologicznych procesu produkcyjnego. Wielkość gniazd technologicznych jest uzależniona od liczby potrzebnych stanowisk roboczych określonego typu.

Podstawą obliczenia niezbędnej liczby stanowisk roboczych jest stanowiskochłonność, która wyraża czas zajęcia stanowiska roboczego przeznaczony do wykonania określonego zadania produkcyjnego (zob. cz. I). Miarą stanowiskochłonności są stanowiskogodziny (sg). Sumę stanowiskochłonności przygotowania i wykonania operacji należących do różnych wyrobów (detali) o różnych

programach produkcyjnych, lecz wykonywanych na danym typie stanowisk w określonym przedziale czasu (roku, kwartale) wyznaczamy:

$$T_{jk} = T_{pk} + T_{jk}, \quad (8.6)$$

gdzie: T_{jk} – globalna stanowiskochłonność dla k-tego typu stanowisk roboczych,

T_{pk} – zajęcie stanowisk k-tego typu czasem pochodzącym od t_{pz} ,

T_{jk} – zajęcie stanowisk k-tego typu czasem pochodzącym od jednostkowej pracochłonności wyrobu (detalu).

Natomiast dla pojedynczego stanowiska roboczego (zob. cz. I) czas jego zajęcia wynosi:

$$t_{zm} = \frac{t_{pz}}{S} + t_j, \quad (8.7)$$

gdzie: t_{zm} – czas zajęcia stanowiska (stanowiskochłonność),

t_{pz} – czas przygotowawczo-zakończeniowy,

t_j – czas jednostkowy,

S – wielkość partii produkcyjnej.

Ponieważ zadania produkcyjne dla stanowisk roboczych wynikają z wielkości programów produkcyjnych N , to:

$$T_{zm} = N \cdot t_{zm} = \frac{N}{S} \cdot t_{pz} + N \cdot t_j, \quad (8.8)$$

a otrzymane zlecenia produkcyjne trzeba podzielić na odpowiednie wielkości partii produkcyjnych. Dokonuje się tego przy użyciu znanymi czytelnikowi (zob. cz. I) metodami (jedną z nich):

- minimalnych kosztów produkcji,
- według udziału czasu przebrojeń.

Obliczone wielkości partii produkcyjnych dla i -tych wyrobów pozwalają na podzielenie zlecenia produkcyjnego N_i na optymalne partie produkcyjne S_i w ilości:

$$n_i = \frac{N_i}{S_i}, \quad (8.9)$$

a wtedy

$$T_{zm} = n_i \cdot t_{pzij} + N_i \cdot t_{ji}, \quad (8.10)$$

i ostatecznie dla k-tych stanowisk roboczych otrzymamy zależność:

$$T_{sk} = \sum_k (n_i \cdot t_{pzij} + N_i \cdot t_{ji}), \quad (8.11)$$

gdzie: n_i – liczba partii produkcyjnych i-tego wyrobu,

t_{pzij} – czas przygotowawczo-zakończeniowy „ij” operacji,

N_i – program produkcji i-tego wyrobu,

t_{ji} – czas jednostkowy „ij” operacji,

k – typ (rodzaj) jednorodnych stanowisk roboczych,

T_{sk} – globalna stanowiskochłonność dla k-tego typu (rodzaju) stanowisk roboczych.

Mając obliczoną wielkość stanowiskochłonności produkcji w typach stanowisk roboczych możemy obliczyć liczbę potrzebnych stanowisk w każdym gnieździe technologicznym:

$$L_{mk}^o = \frac{T_{sk}}{F_{jk}}, \quad (8.12)$$

gdzie: L_{mk}^o – obliczeniowa liczba stanowisk roboczych w dla k-tego typu maszyn,

F_{jk} – fundusz czasu pracy dla k-tego typu maszyn.

Jeżeli z obliczeń otrzymamy liczbę ułamkową, to należy ją zaokrąglić (w górę) do liczby całkowitej, która staje się przyjętą liczbą stanowisk roboczych k-tego typu – L_{mk} . Wszystkie obliczenia prowadzimy w specjalnie przygotowanym formularzu przedstawionym na rys. 8.3.

L.p.	Wyrób (detal)		Program produkcyjny N _i	Partia produkcyjna S _i	Liczba partii produkcyjnych n _i	Typy stanowisk roboczych "k"				Sumaryczne wielkości
	Nazwa	Symbol				Tokarki	Frezarki	Wiertarki		
1						—	—			
2							—	—		
3						—				—
...										
$T_{pi k} = \sum_i n_i \cdot t_{pi k}$										
$T_{ji} = \sum_k N_i \cdot t_{ji k}$										
$T_{ik} = T_{pi k} \cdot T_{ji k}$										
Obliczeniowa liczba stanowisk roboczych L ^o _{nk}										
Przyjęta liczba stanowisk roboczych L _{nk}										



Rys. 8.3. Obliczanie liczby stanowisk roboczych dla gniazd technologicznych (opr. własne)

Przedstawiona powyżej metoda obliczania liczby stanowisk roboczych dla wydzielanych tym samym technologicznych gniazd produkcyjnych typu np. gniazdo tokarek, gniazdo frezarek itd., opiera się o dane dla wyrobów, które w ciągu roku będą wykonywane poza KP przedmiotowymi systemów rytmicznej i nierytmicznej produkcji. Znane są ich wielkości programów produkcyjnych oraz procesy technologiczne wytwarzania. Natomiast dla wyrobów, o których brakuje nam tych informacji (danych wejściowych), ale będących w obszarze technologicznych gniazd produkcyjnych, mogących pojawiać się w zleceniach po zmieniające się częstotliwości i zmiennych o ramach produkcyjnych. W takich sytuacjach należy posługiwać się metodą przybliżoną zwaną porównawczo-wskaźnikową.

Polega to na wzorowaniu się na istniejącym już opracowaniu projektowym (np. powyżej przedstawioną metodą szczegółową), pod warunkiem daleko idącego podobieństwa procesów produkcyjnych i zależy wyłącznie od prawidłowości wyboru i wielkości przyjętych wskaźników. Wartość użytkowa

wskaźników zależna jest od tego, jak dalece podobne lub zbliżone do siebie są warunki projektowania i warunki, w których dany wskaźnik jest ustalany. Powinny one być przyjmowane na podstawie danych z KP o produkcji analogicznej lub zbliżonej pod względem: rodzaju wyrobów, wielkości produkcji, technologii i metod wytwarzania.

Najczęściej stosuje się formułę wagową, przy założeniu, że przy stosunkowo podobnych procesach technologicznych porównywanych wyrobów, stanowiskochłonność (a tym samym pośrednio liczba potrzebnych stanowisk roboczych) jest funkcją zmiany ciężaru obrabianych wyrobów. Łączną liczbę stanowisk roboczych wobec tego ustala się dla wydziału mechanicznego składającego się z KP o strukturze technologicznej według wzoru:

$$\delta_Q = \frac{Q_N^o}{Q_N^p}, \quad (8.13)$$

wtedy

$$L_{mk}^p = \delta_Q \cdot L_{mk}, \quad (8.14)$$

i ostatecznie

$$L_{mk}^{ost} = L_{mk} + L_{mk}^p, \quad (8.15)$$

gdzie: Q_N^o – ciężar produkcji określonego programu produkcyjnego wyrobów w KP technologicznych wydzielonych metodą szczegółową,

Q_N^p – ciężar produkcji określonego programu produkcyjnego planowanych wyrobów,

δ_Q – wskaźnik udziału ciężaru masy wyrobów już obliczonych i planowanych,

L_{mk}^p – planowana liczba stanowisk roboczych k-tego typu (zaokrąglamy ją w górę),

L_{mk} – przyjęta liczba stanowisk roboczych k-tego typu w KP technologicznej wydzielonych metodą szczegółową,

L_{mk}^{ost} – ostateczna liczba stanowisk roboczych k-tego typu w wydzielonych KP.

W praktyce przemysłowej mogą wystąpić takie sytuacje, w których nie ma możliwości zastosowania obliczeń liczby stanowisk roboczych w technologicznych gniazdach produkcyjnych. Wtedy można posłużyć się bardzo uproszczoną formułą wskaźnikową [2]:

$$L_m = \frac{Q}{q_m \cdot z_m \cdot \eta}, \quad (8.16)$$

gdzie: L_m – łączna liczba stanowisk roboczych,

Q – masa wyrobów wytworzonych w ciągu roku w tonach na rok,

q_m – roczna produkcja w tonach na jedno stanowisko robocze i jedną zmianę (tony/rok),

z_m – zmianowość,

η – współczynnik obciążenia, stanowisk roboczych.

W oparciu o tę zależność, liczbę stanowisk poszczególnych typów, ustala się na podstawie wskaźników procentowego udziału w całkowitej liczbie stanowisk. Przykładowe wskaźniki struktury stanowisk dla wybranych wydziałów mechanicznych przedstawiono w tabeli 8.1. Są to wskaźniki najczęściej spotykane w przemyśle maszynowym dla wydziałów mechanicznych o strukturze produkcyjnej typu technologicznego.

Każde (już w ostateczny sposób wydzielone) technologiczne gniazdo produkcyjne o jednoznacznie określonej liczbie stanowisk roboczych powinno mieć również ustaloną liczbę robotników bezpośrednio – produkcyjnych. Liczbę tę ustala się w podziale na stanowiska obrabiarkowe (operatorzy maszyn) i stanowiska obróbki ręcznej (ślusarze). Operatorów maszyn określa się zgodnie z zawodami dla poszczególnych typów maszyn: dla gniazda tokarek – tokarzy, dla gniazda frezarek – frezerów itd.

W przypadku robotników bezpośrednio-produkcyjnych dla stanowisk obrabiarkowych stosujemy dwa sposoby obliczania, uzależnione od tego, czy posiłkujemy się stanowiskochłonnością, czy też pracochłonnością (zob. [2]):

$$L_r = \frac{T_{gk}}{F_r \cdot k_w}, \quad (8.17)$$

lub

$$L_r = \frac{P_{gk}}{F_r}, \quad (8.18)$$

gdzie: L_r – liczba robotników bezpośrednio-produkcyjnych,

T_{gk} – globalna stanowiskochłonność k-tego typu stanowisk roboczych,

F_r – fundusz czasu pracy robotnika,

P_{gk} – pracochłonność prac na k-tym typie stanowisk roboczych,

$k_w^{2)}$ – współczynnik wielowarsztatowości dla k-tego typu stanowisk roboczych.

Tabela 8.1. Struktura stanowisk w wybranych wydziałach mechanicznych (% od całkowitej liczby stanowisk) [2]

Lp.	Rodzaj stanowiska	Wydziały mechaniczne					Wartość średnia
		1	2	3	4	5	
1	Tokarki	6,0	4,6	6,1	3,5	8,0	5,6
2	Tokarki rewolwerowe	8,2	6,7	8,7	3,2	9,5	7,3
3	Tokarki karuzelowe	1,3	0,1	0,6	0,9	–	0,6
4	Tokarki wielonożowe	7,3	11,0	14,4	11,9	6,0	10,1
5	Automaty tokarskie	–	8,5	–	0,6	–	1,8
6	Wytaczarki	3,6	2,6	1,9	4,1	1,4	2,7
7	Frezarki uniwersalne	10,5	12,5	9,9	10,4	13,4	11,3
8	Frezarki specjalne	0,9	1,3	0,8	2,0	–	1,0
9	Wiertarki pionowe	13,1	17,6	19,0	16,2	23,0	17,8
10	Wiertarki promieniowe	5,2	6,1	3,5	4,1	3,4	4,5
11	Wiertarki specjalne	3,4	3,4	1,6	3,2	1,4	2,6
12	Obrabiarki do uzębień	8,7	0,8	17,0	1,7	9,3	7,5
13	Przeciągarki	1,4	1,8	2,5	1,5	1,0	1,6
14	Szlifierki	12,4	12,1	7,0	12,8	14,7	11,8
15	Prasy	0,5	1,6	1,0	2,7	2,7	1,7
16	Urządzenia do mycia	1,5	2,0	1,6	2,0	1,0	1,6
17	Różne urządzenia	16,0	7,3	4,1	19,2	5,2	10,4
Σ		100	100	100	100	100	100

² Współczynnik wielowarsztatowości (zob. cz. I); $k_w = 1$ dla stanowisk prostych, $k_w > 1$ dla stanowisk wielowarsztatowych, $k_w < 1$ dla stanowisk brygadowych.

Przyjmowanie właściwego systemu organizacji i obsługi stanowisk roboczych (a więc k_w) omówione zostanie w ust. 8.6 dotyczącym ostatniego etapu metodyki projektowania.

Liczbę robotników bezpośrednio-produkcyjnych dla stanowisk obróbki ręcznej, w gnieździe produkcyjnym zwanym ślusarnią, określa się analogicznie – przy czym pracochłonność obróbki ręcznej jest wtedy zawsze równa stanowiskochłonności ($k_w=1$), a więc

$$L_{rr} = \frac{P_{gk}}{F_r} = \frac{T_{gk}}{F_r}, \quad (8.19)$$

gdzie: L_{rr} – liczba robotników ślusarzy) dla stanowisk ręcznych,

P_{gk} , F_r , T_{gk} – określenia jak wyżej.

Wykonanie obliczeń dla wydzielonych KP^I o strukturze przedmiotowej i technologicznej systemu nierytmicznej produkcji zamyka Etap 1 projektowania i pozwala na przystąpienie do drugiego etapu metodyki.

8.4. Projektowanie rozmieszczenia stanowisk roboczych

Projektowanie rozmieszczenia stanowisk roboczych jest drugim, obok projektowania struktury produkcyjnej, zagadnieniem składającym się na organizację przestrzenną procesu produkcyjnego w komórkach produkcyjnych. Organizator przestrzeni produkcyjnej jest zmuszony, na skutek zmieniających się warunków działalności, do dostosowania struktury przestrzennej do celów systemu produkcyjnego i w konsekwencji wpływać na efektywność zastosowanego rozwiązania – alokacji stanowisk roboczych w komórkach produkcyjnych. Niewłaściwe usytuowanie stanowisk może powodować wydłużenie dróg transportowych, krzyżowanie się strumieni transportowych i ich nawroty oraz wiele dodatkowych niekorzystnych zjawisk.

W przypadku systemów nierytmicznej produkcji, nastawionych na częstą zmienność programów produkcji i asortymentu wytwarzanych tam wyrobów, problemy ustalenia optymalnego rozstawienia stanowisk roboczych dotyczą

przede wszystkim komórek produkcyjnych o strukturze przedmiotowej. Komórki technologiczne oczywiście mają niezmienną konfigurację przestrzenną wynikającą jedynie z ilości potrzebnych w nich maszyn i urządzeń oraz normatywów stosowanych przy zagospodarowaniu powierzchni gniazd; rozmieszczenia dróg transportowych, wielkości i kształtu gniazda, odległości między obrabiarkami itp. Natomiast w przypadku gniazd przedmiotowych organizowanych zgodnie z technologią grupową, zarówno dla nowych jak i modernizowanych KP, powstaje problem zmieniających się przebiegów produkcyjnych w zależności od zmieniających się przebiegów produkcyjnych w zależności od zmieniającej się ilości produkcji w ustalonym typoszeregu wyrobów.

Wobec powyższego klasyczny podział etapu rozmieszczania stanowisk roboczych na rozwiązanie: teoretyczne i szczegółowe, będzie nieco się różnił od podejścia stosowanego w ramach systemów rytmicznej produkcji. Dlatego dla gniazd technologicznych nie wykonuje się teoretycznego rozstawienia stanowisk roboczych z oczywistych względów, a koncentruje się tutaj na rozwiązaniu szczegółowym (technicznym). Chodzi o dostosowanie powierzchni sąsiadujących gniazd technologicznych do kształtu i wielkości hali produkcyjnej w oparciu przede wszystkim o koncepcję rozmieszczenia dróg transportowych (rys. 8.4).

Brak ustalonych, stałych przebiegów technologicznych wyrobów przez konkretne stanowiska robocze w kolejnych gniazdach technologicznych sprawia, iż zgodnie z obowiązującymi normatywami ustawiamy obrabiarki względem dróg transportu (zob. rys. 8.5):

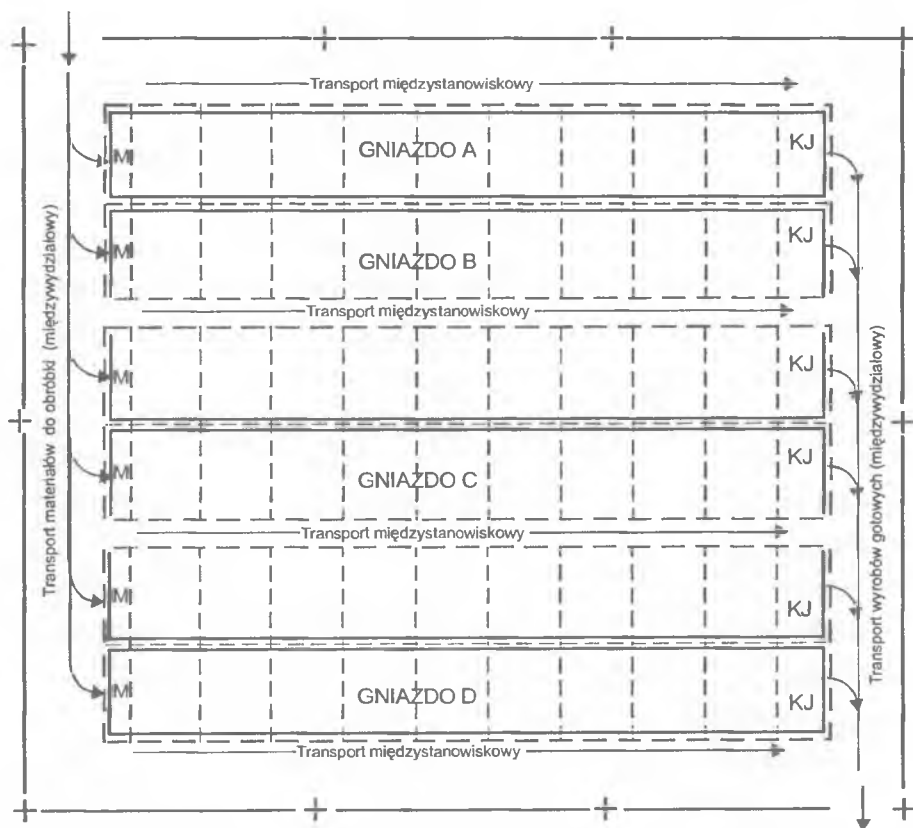
a) równolegle

- przodem do drogi transportowej,
- tyłem do drogi transportowej,

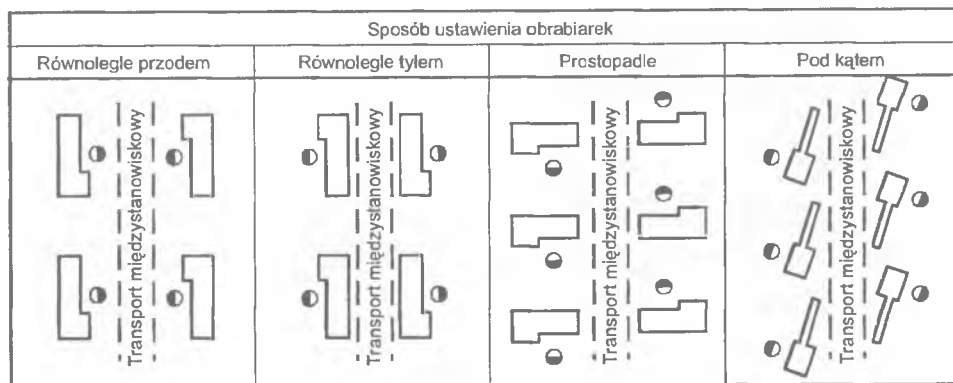
b) prostopadle

c) pod kątem.

Ustawienie prostopadle daje lepsze wykorzystanie powierzchni w stosunku do ustawienia równoległego, pogarsza natomiast obsługę miejsca pracy (zaopatrywanie, pobieranie detali itp.). Ustawienie pod kątem zapewnia lepsze wykorzystanie powierzchni w przypadku długich i wąskich urządzeń (np. strugarki wzdłużne, przeciągarki poziome), a jednocześnie poprawia bezpieczeństwo pracy.



Rys. 8.4. Przykład ogólnej koncepcji rozmieszczenia dróg transportowych oraz miejsc usytuowania stanowisk roboczych [2]



Rys. 8.5. Typowe ustawienie obrabiarek względem dróg transportowych [2]

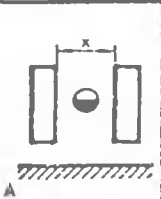
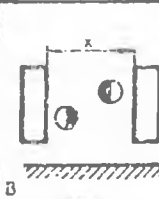
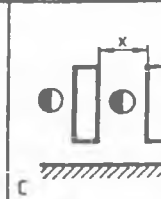
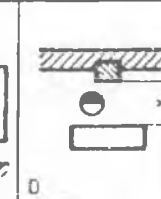
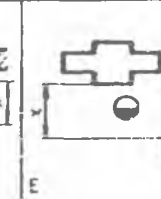
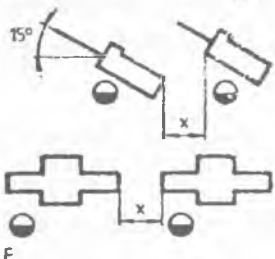
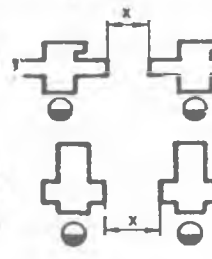
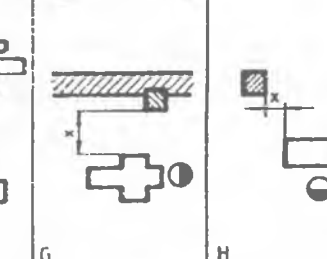
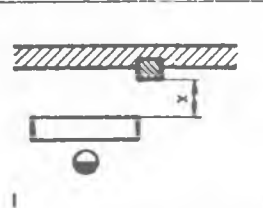
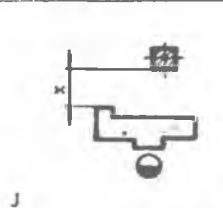
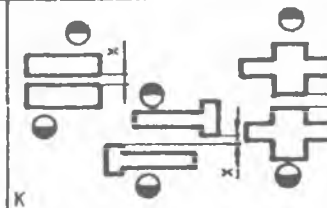
Uwzględnia się również możliwości zastosowania obsługi wielowarsztatowej³, oraz normatywy odległości obrabiarek od siebie oraz ścian i słupów nośnych hali itp. (zob. rys. 8.6 i rys. 8.7). Ostateczny wariant rozmieszczenia stanowisk roboczych w gniazdach technologicznych i tych gniazd w hali produkcyjnej, jest projektem technicznym, obowiązującym przy wdrożeniu systemu produkcyjnego.

Dla gniazd o przedmiotowej strukturze produkcyjnej wykonuje się opracowanie teoretyczne rozstawienia stanowisk roboczych, dla KP składających się z większej ilości stanowisk (najczęściej powyżej piętnastu) – zgodnie z metodami omówionymi w ust. 8.4. W gniazdach o technologii grupowej wytwarzania, gdzie przebiegi technologiczne mają stosunkowo jednoznaczne marszruty dla reprezentanta określonego typoszeregu wyrobów, nie ma potrzeby stosowania optymalizacyjnych metod alokacji. Typowa droga przebiegu produkcyjnego takiego reprezentanta stanowi podstawę do określenia wariantu rozstawienia stanowisk roboczych.

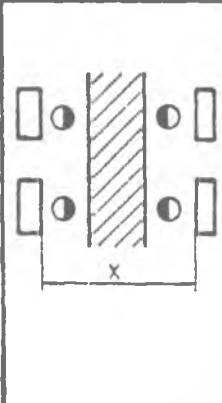
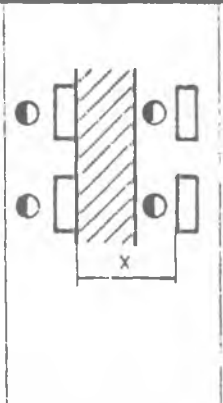
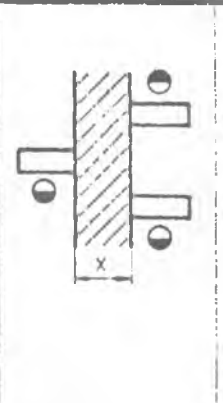
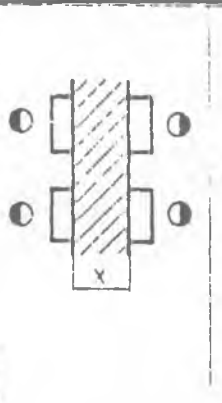
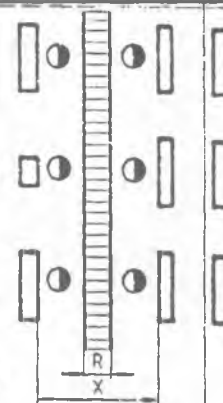
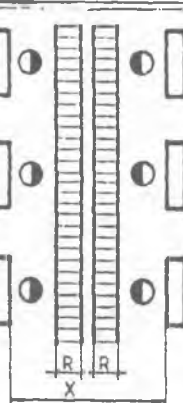
W oparciu o przebiegi typowego procesu technologicznego i normatywy rozplanowania stanowisk roboczych, budujemy techniczny projekt rozstawienia maszyn i urządzeń na podkładzie budowlanym hali produkcyjnej w skali 1:100. Używamy tak jak i poprzednio (zob. ust. 8.4) makiet płaskich stanowisk roboczych i pozostałych elementów opracowywania projektu technicznego, przestrzennego rozplanowania systemu produkcyjnego.

Ponieważ w przypadku nierytmicznej produkcji mogą pojawiać się potrzeby przestawiania produkcji w tych KP, nieraz na wyroby spoza ustalonego typoszeregu, to w takich przypadkach należy przeprojektować ustalony wariant rozstawienia stanowisk roboczych. Dlatego obrabiarki tam angażowane powinny być fundamentowane w oparciu o specjalne metody, dzięki którym można łatwo i szybko przestawiać obrabiarki na hali produkcyjnej. Oczywiście ostateczny wariant rozmieszczenia stanowisk powinien mieć zawsze naniesione wykresy sznurkowe, przebiegu wyrobów przez stanowiska robocze (oprócz KP o specjalizacji technologicznej), podobnie jak dla komórek w systemie rytmicznej produkcji – zob. rys. 7.11.

³ Zagadnienia obsługi wielowarsztatowej w ujęciu całościowym przedstawiono w ust. 8.6.

Elementy, pomiędzy którymi wyznacza się odległości		Szkic	x – odległość [mm]			
			Obrabiarki o wymiarach gabarytowych rzutu poziomego w mm			
			do 1500 × 750	od 1500 × 750 do 3000 × 2000	od 3000 × 2000 do 5000 × 3000	powyżej 5000 × 3000
I	II					
Przód obrabiarki	Przód sąsiedniej obrabiarki obsługiwanej przez tego samego robotnika	A	800	900	1000	1200
	Przód sąsiedniej obrabiarki obsługiwanej przez innego robotnika	B	1600	1600	1800	2000
	Tył sąsiedniej obrabiarki	C	800	900	1200	1500
	Ściana hali produkcyjnej	D	900	1000	1200	1500
	Wolno stojący słup hali	E	800	900	1000	1200
Bok obrabiarki	Bok sąsiedniej obrabiarki	F	400	500	700	900
	Ściana hali produkcyjnej	G	400	500	700	900
	Wolno stojący słup hali	H	400	500	700	900
Tył obrabiarki	Tył sąsiedniej obrabiarki	I	400	500	700	900
	Ściana hali produkcyjnej	J	400	500	700	900
	Wolno stojący słup hali	K	400	500	700	900
Szkic usytuowania obrabiarek						
    						
  						
  						

Rys. 8.6. Minimalne odległości między obrabiarkami i ich usytuowanie względem ścian i słupów hali [2]

Sposób ustawienia obrabiarek względem drogi transportowej		X – odległość [mm]									
		Rodzaj środka transportowego obsługującego drogę transportową									
		Wózek akumulatorowy lub spalinowy widłowy lub platformowy		Samochód ciężarowy	Przenośnik rolkowy		Przenośnik podwieszony				
		Wózek akumulatorowy lub spalinowy widłowy lub platformowy	Samochód ciężarowy		pojedynczy	zdwojony	pojedynczy	zdwojony			
w I rzędzie	w II rzędzie	ruch jednostronny	ruch dwustronny	ruch jednostronny							
przodem	przodem	3200	—	—	R+1600	2R+1600	S+1600	2S+1600			
		szkic A			szkic E	szkic F					
przodem	tyłem	2500	—	—							
		szkic B									
bokiem	bokiem	1900	3200	3500							
		szkic C	szkic C	szkic C							
tyłem	tyłem	1900	3200	3500							
		szkic D	szkic D	szkic D							
Szkice usytuowania obrabiarek względem drogi transportowej											
A		B		C		D		E		F	
											

Rys. 8.7. Minimalne odległości pomiędzy sąsiednimi rzędami obrabiarek rozdzielonych drogą transportową [2]

8.5. Projektowanie harmonogramów

Po określeniu w etapie 2 przebiegu procesu produkcyjnego w przestrzeni, należy przystąpić do projektowania jego przebiegu tzn. harmonogramowania produkcji. Chodzi więc o usytuowanie w czasie, kolejnych operacji procesu produkcyjnego, w odniesieniu do pełnego okresu trwania całego cyklu produkcyjnego określonych wyrobów. W komórkach produkcyjnych systemu nierytmicznej produkcji występuje duża zmienność asortymentu i wielkości programów produkcyjnych, dlatego posługujemy się w procesie harmonogramowania:

- cyklogramami produkcji,
- harmonogramami (wykresami) Gantta.

Przebieg procesu harmonogramowania rozpoczyna się od utworzenia rocznego planu produkcji na podstawie zamówień odbiorców. Z utworzonych w ten sposób pozycji planu powstają serie (partie) wyrobów finalnych, których zbiór może podlegać wariantowaniu i aktualizacji przez wprowadzanie nowych zamówień. Wielkości programów produkcyjnych poszczególnych serii wyrobów bilansowane są ze zdolnościami produkcyjnymi komórek produkcyjnych (wydziałów, oddziałów, KP^l).

Następnie dla poszczególnych serii określone są zapotrzebowania na elementy składowe (czerpiemy te informacje z obliczeń etapu 1) wyrobów, poprzez rozwinięcia programów produkcyjnych (zob. cz. I), i rozwinięcia technologiczne wyrobów złożonych lub schematy montażowe wyrobu oraz przez skomasowanie jednakowych części w ramach serii. Zrealizowanie tego pozwala na przystąpienie do opracowywania harmonogramów dla:

- dłuższych okresów czasu (kwartał, miesiąc) i KP wyższych stopni (wydział, oddział) w postaci cyklogramów produkcji,
- krótkich okresów czasu (3–5 dni) i KP^l w postaci harmonogramów Gantta.

Projektant organizator produkcji dysponując podstawowymi parametrami procesu produkcyjnego; wielkością serii wyrobów finalnych, wielkością partii produkcyjnych detali i podzespołów, długością cyklu produkcyjnego i rozwinięciami technologicznymi wyrobów złożonych, może przystąpić do projektowania wyżej wymienionych harmonogramów produkcji, będących później narzędziem pracy mistrzów i kierowników komórek produkcyjnych.

8.5.1. Opracowanie cyklogramów produkcji

Zdekomponowany roczny plan produkcji wyrobów podlegać będzie rozkładowi na programy produkcji elementów (części i zespołów) z wyznaczeniem terminów ich realizacji, co w efekcie ma doprowadzić do zbudowania cyklogramów produkcji. Jak wcześniej wzmiankowano opieramy się o strukturę wyrobu (zob. cz. I), rozwinięcia programów produkcyjnych wyrobów (zob. cz. I) oraz rozwinięcia technologiczne przy użyciu EMC lub schematy montażowe wyrobów.

W produkcji wieloasortymentowej (a taką jest produkcja nierytmiczna) występuje często pojęcie rodzin, typów i odmian danego wyrobu. Wyroby wchodzące w skład tej samej rodziny (typu, odmiany) charakteryzują się tym, że ich rozwinięcia technologiczne różnią się tylko w pewnych fragmentach jak np. dla technologii grupowej. W tej sytuacji byłoby nieracjonalne tworzenie rozwinięć dla każdej odmiany. Tworzy się wtedy rozwinięcie bazowe, w którym elementy alternatywne są powtarzane w ramach tego rozwinięcia. Właściwego wyboru elementów z rozwinięcia technologicznego dokonuje się w etapie 1, gdzie następuje wydzielanie KP^I specjalizowanych przedmiotowo. W przypadku braku w przedsiębiorstwie komputerowych rozwinięć programów produkcyjnych i rozwinięć technologicznych na EMC, to projektant może posłużyć się przy projektowaniu cyklogramów; strukturą wyrobu oraz schematem montażowym.

Cyklogram produkcji to pewna odmiana harmonogramu, przedstawiającego przebieg obróbki i montażu wyrobu lub serii (partii) wyrobów złożonych. Inaczej mówiąc jest to graficzna metoda ustalania długości cyklu produkcyjnego.

W literaturze przedmiotu najczęściej wyróżnia się dwa rodzaje cyklogramów produkcji, w zależności od stopnia złożoności:

- cyklogramy szczegółowe obejmujące wszystkie części wyrobu oraz wszystkie operacje zgodnie z procesem technologicznym,
- cyklogramy ramowe, obejmujące grupy części bez podziału na poszczególne operacje.

Dokładność i szczegółowość cyklogramu jest zależna od dokładności i szczegółowości opracowania procesu produkcyjnego oraz normatywów zbiorczych, wynikających ze specyfiki procesu, założeń opracowania projektowego (szczegółowy lub ofertowy) itp. Stosowanie różnych rodzajów cyklogramów uzależnione jest także od istniejących w przedsiębiorstwie warunków techniczno-

organizacyjnych określających poziom organizacji, od którego zależą wzajemne powiązania terminów realizacji procesów technologicznych części, podzespołów, zespołów i wyrobów finalnych.

Do sporządzenia cyklogramów potrzebne są następujące parametry⁴ produkcyjno-organizacyjne:

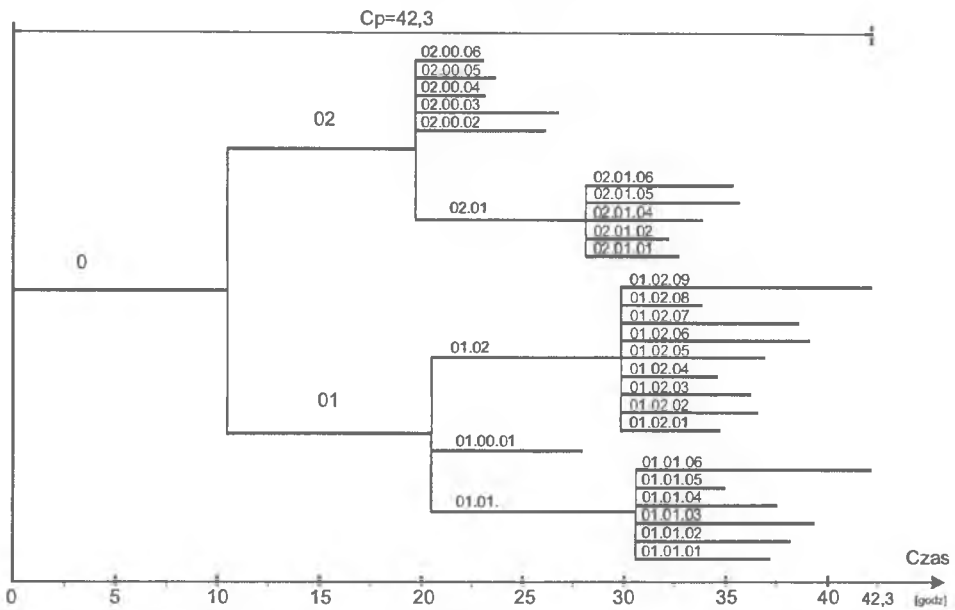
- liczba sztuk serii wyrobów finalnych,
- programy produkcyjne detali i podzespołów,
- wielkości partii produkcyjnych detali i podzespołów,
- pracochłonności poszczególnych operacji i stanowiskochłonność detali, podzespołów i zespołów,
- normatywy przerw międzyoperacyjnych, z podziałem na przerwy międzyoperacyjne przy wykonywaniu przedmiotów pracy w tym samym oddziale, przy przekazywaniu przedmiotów od obróbki w innym oddziale, w innym wydziale itp.,
- normatywy przerw na dokonanie kontroli jakości,
- normatywy przerw na transport, przechowywanie przedmiotów pracy w magazynach międzywydziałowych itp.

Przy opracowywaniu cyklogramów kierujemy się dwoma podstawowymi regułami:

- 1) rozpoczynamy budowę wykresu od terminu zakończenia montażu głównego (kolejność harmonogramowania „od tyłu”),
- 2) umieszczamy cykle poszczególnych wyrobów prostych z takim wyprzedzeniem w czasie, by w określonym terminie doprowadzić je jako półwyroby do dalszego wykorzystania w procesie montażu podzespołów i zespołów (terminy ich zakończenia powinny więc harmonizować z kolejnością przebiegu operacji montażu).

Przykład budowy cyklogramu produkcji opracowanego dla wyrobu przemysłu elektromaszynowego przedstawiono na rysunku 8.8.

⁴ Parametry te obliczono w pkt. 8.3.1, a niezbędne normatywy przerw dobieramy z katalogów. Długości okresów technologicznych obliczamy – ze znanych już zależności (zob. cz. I) najczęściej w przypadku nierytmicznej produkcji dla układu szeregowego i szeregowo-równoległego.



Rys. 8.8. Cyklogram produkcji siłownika pneumatycznego jednostronnego działania (opr. własne)

Podkreślić należy, iż cyklogramy stanowią pewien wzorzec realizacji procesów produkcyjnych wyrobów dla komórek produkcyjnych wyższych stopni w systemie nierytmicznej produkcji. W praktyce często czas trwania cyklu ulega zniekształceniu (wydłużeniu) mimo to jego opracowywanie jest niezbędne, gdyż występowanie w nim korekt następuje w wyniku bilansowania i wyrównywania obciążeń z dysponowanym funduszem czasu pracy stanowisk roboczych w KP^I (realizowanych już przy użyciu harmonogramów Gantta).

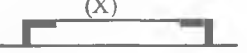
8.5.2. Opracowanie harmonogramów Gantta

Każda z wydzielonych w etapie 1 komórek produkcyjnych (KP^I) zarówno przedmiotowych jak i technologicznych, powinna mieć określone terminy rozpoczęcia i zakończenia produkcji wynikające z uprzednio opracowanych cyklogramów produkcji wyrobów złożonych. Zapewniają to harmonogramy będące graficznym wykresem, wyrażającym chronologiczny porządek czynności następujących kolejno lub odbywających się jednocześnie i wykorzystywanych przez

różne stanowiska robocze, robotników w *KP*. Ponieważ w produkcji nierytmicznej nie występują okresy powtarzalności – rytmy produkcji, to w tych warunkach stosujemy wykresy Gantta⁵, obrazujące przebieg realizacji zadań produkcyjnych (detaloperacji) w *KP*¹.

Harmonogram Gantta jest jedną z najlepszych technik prawidłowego obciążania pracą stanowisk roboczych w komórkach produkcyjnych systemu nierytmicznej produkcji. Sporządzany jest na siatkach o specjalnym wzorze (zob. rys. 8.10) i przy zastosowaniu graficznych symboli zawartych w tabeli 8.2.

Tabela 8.2.

Lp.	Symbol	Znaczenie symbolu
1		rozpoczęcie zadania
2		zakończenie zadania
3		gruba linia u podstawy symbolu pokazuje wielkość wykonanego zadania, w tym przypadku pokazuje wykonanie 25 z 50 jednostek
4		czas nadrobiony w stosunku do planu, następnie zadanie pokazane powyżej linii wg właściwego czasu rozpoczęcia
5		czas opóźniony w stosunku do planowanego
6		ilość do wykonania pokazana z lewej strony
7		symbol identyfikujący zlecenie

Harmonogramy Gantta sporządzamy, tak jak większość harmonogramów produkcji, w układzie współrzędnych, gdzie na osi odciętych mamy czas, a na osi rzędnych stanowiska robocze. W takim układzie przydzielamy, kontrolujemy i weryfikujemy współrzędne określonych zadań przy użyciu powyższych symboli graficznych oraz warunku, że dowolna odległość pomiędzy pionowymi

⁵ Nazywane są wykresami lub harmonogramami Gantta., od nazwiska twórcy tej techniki – H.L. Gantta, znanego organizatora przemysłu USA i bliskiego współpracownika F.W. Taylora.

liniami wyraża pewien okres czasu i zadanie, które w tym okresie powinno być wykonane. Linia pozioma natomiast, wykreślona pomiędzy liniami pionowymi, wyraża stosunek pracy faktycznie już wykonanej, do pracy przydzielonej (zaplanowanej). Jednakowe odcinki na jednej poziomej linii wyrażają jednocześnie:

- jednakowe okresy czasu,
- rozmaite ilości przydzielonej pracy,
- rozmaite ilości wykonanej pracy.

Dzięki temu można zarejestrować zarówno przydzielone zadanie (plan) i jego wykonanie, jak też stosunek czasu zużytego do ilości wykonanej pracy.

Harmonogramy Gantta pozwalają nie tylko przydzielać i kontrolować wykonanie zadań, ale również uwzględniać zmienność przebiegu i napływu zadań produkcyjnych, co w przypadku produkcji nierytmicznej jest niejako potrzebą wypływającą z „natury” tej formy organizacji produkcji. Wobec tego dla takich komórek produkcyjnych, w przeciwieństwie do KP systemu rytmicznej produkcji i występujących tam harmonogramów wzorcowych, budujemy harmonogramy Gantta dla okresów czasu w zależności od struktury produkcyjnej tych KP. Przy tendencji przedmiotowej można wykresy Gantta opracowywać dla dłuższych okresów czasu np. do 10 dni, dla specjalizacji technologicznej do 2–3 dni. Przy dłuższym horyzoncie czasowym rozbieżności występujące między planowanym i rzeczywistym przebiegiem produkcji mogą być tak znaczne, że harmonogram Gantta traci znaczenie wzorca, według którego można prowadzić przebieg produkcji.

Wobec tego „sztywna” postać wykresów Gantta, jest raczej nierealna ze względu na dużą częstotliwość dopływu zleceń, szczególnie w KP o specjalizacji technologicznej. Zaletą jednak tych harmonogramów jest właśnie, możliwość ciągłego uaktualniania przydziału zadań i tak np. w czasie awarii obrabiarki pozwalają łatwo przenieść zlecenie na inną obrabiarkę, nie wprowadzając zamętu do normalnego przebiegu pracy. Jeżeli zajdzie potrzeba wykonania jakiegoś zlecenia w przyspieszonym tempie, stosując wykresy Gantta można to przeprowadzić w możliwie najwcześniejszym terminie, ponieważ harmonogramy te pokazują nie tylko czas potrzebny do wykonania pilnego zlecenia, ale również, które zlecenie należy przesunąć. Można także przeprowadzić na ich podstawie

rozpoznanie w jaki sposób pilne zamówienia (zlecenia) wpływają na wykonanie innych zamówień (czy wywołują ich opóźnienia itp.).

Powstaje wobec tego problem, które z zadań produkcyjnych wprowadzić do produkcji i na jakich stanowiskach je wykonać. Każda decyzja o wyborze ze zbioru jednego takiego zadania, jest nadaniem temu zadaniu priorytetu (z łaciny określenie pierwszeństwa). W harmonogramowaniu produkcji wyroby i operacje na nich wykonywane są zadaniami, którym nadaje się priorytet, a zasady według których nadaje się te priorytety, są regułami priorytetu. Zadaniem tych reguł priorytetu [82], jest więc ustalanie odpowiednich kolejności wykonania operacji na stanowiskach i wpływanie w ten sposób na uzyskiwanie określonych efektów pracy komórek produkcyjnych. W ogólnym przypadku różne reguły priorytetu dają różne kolejności wykonania operacji, a tym samym i różne efekty.

Po otrzymaniu zleceń produkcyjnych wynikających z uprzednio opracowanych rozwinięć produkcyjnych programów i cyklogramów produkcji oraz bieżących zleceń, ustalamy kolejność (zgodnie z określoną regułą priorytetu) i przystępujemy do opracowywania harmonogramów produkcji dla każdej KP^i według techniki Gantta. Kolejność ową oznaczamy przy użyciu poznanych powyżej symboli. Następnie patrzymy na wykresie, kiedy będzie wolna obrabiarka, na której ma być wykonywana kolejna operacja i oznaczamy operację na poziomie tej obrabiarki. W powyższy sposób za pomocą kątowników i cienkiej linii, wykreślamy początek, czas trwania i koniec operacji. W podobny sposób postępujemy z każdą składową operacją obrabiarki (koniecznie trzeba wiedzieć w jakim stadium wykonania jest poprzednie zamówienie). Dlatego też po otrzymaniu sprawozdań dziennych o przebiegu robót, pod cienką linią przeprowadzamy linię grubą, oznaczającą ilość wykonanej roboty.

Jeżeli zlecenie jest realizowane według planu, koniec grubej linii będzie akurat pod datą i godziną planowaną, w przeciwnym razie koniec jej nie dojdzie do daty lub wysunie się naprzód, stosownie do wolniejszego lub szybszego wykonania w porównaniu z planem.

Gdy wykonanie analizowanego zlecenia jest przyspieszone, nowe zlecenie umieszczamy powyżej starego (rys. 8.9a) i wyznaczamy datę rozpoczęcia wcześniejszego, od daty zakończenia poprzedniego zamówienia.

Znak V oznacza dzień, kiedy wykres był uzupełniony. Zlecenie Z 100 jest przyspieszone o 1 dzień i stan zaawansowania pracy pozwala przypuszczać, że będzie ukończone o 1 dzień wcześniej. Z tego powodu rozpoczęcie nowego zlecenia Z 125 jest wyznaczone na czwartek. Jeżeli wykonanie zlecenia Z 200 byłoby opóźnione (rys. 8.9b) nie ma uzasadnienia wyznaczanie nowego zadania Z 215, dopóki dopóty nie będzie ukończony zlecenie poprzednie.

Nr inw. obr.	Poniedziałek				Wtorek				Środa				Czwartek				Piątek			
	2	4	6	8																[h]
424														Z 125						
			Z 100																	

Nr inw. obr.	Poniedziałek				Wtorek				Środa				Czwartek				Piątek			
	2	4	6	8																[h]
521																				
			Z 200															Z 215		

Rys. 8.9. Wykres zlecenia [84]; a) przyspieszonego, b) opóźnionego

Należy więc przesunąć w czasie to nowe zlecenie o tyle, ile niezbędne jest do wykonania poprzedniego i dopiero wtedy wyznaczyć początek nowego zlecenia (rys. 8.9). Zaznaczamy to, łącząc przecinającymi się liniami końce kątowników. W dniu sprawozdawczym (oznaczony znakiem V) wykonanie było opóźnione o 1 dzień, dlatego przed wyznaczeniem początku wykonania zamówienia Z 215, dodano 1 dzień na wykończenie zamówienia Z 200. Nad cienkimi liniami piszemy symboliczne oznaczenie zlecenia. Ten graficzny system układania i weryfikowania planu pozwala na racjonalny rozdział zamówień między obrabiarkami. Przykładowy harmonogram Gantta dla KP o specjalizacji technologicznej przedstawia rys. 8.10.

8.6. Opracowania uzupełniające

Zaprojektowane w kolejnych etapach komórki produkcyjne systemu nierytmicznej produkcji wymagają dodatkowo opracowania, na bazie wcześniejszych ustaleń i rozwiązań organizacyjnych, następujących grup zagadnień:

1) określenie czynników uzupełniających:

- rezerw możliwości produkcyjnych,
- zapasów produkcyjnych,
- pól odkładczych,
- magazynów buforowych itp.

2) określenie formy organizacji pracy i obsługi stanowisk roboczych.

Merytoryczne podstawy zagadnień grupy pierwszej zostały zaprezentowane w cz. I skryptu wykładowego i przerobione praktycznie, według skryptu do ćwiczeń projektowych. Wobec tego w niniejszym ustępie omówimy zagadnienia dotyczące form organizacji pracy i obsługi stanowisk roboczych.

Efektywność pracy wytwórczej i jej wyniki są zależne między innymi od istniejących stosunków między bezpośrednimi wykonawcami w procesie pracy i produkcji. Jedną z ważniejszych kategorii organizacji pracy, obejmującej relację między wykonawcami, jest forma organizacji pracy. W literaturze przedmiotu autorzy, klasyfikując formy organizacji pracy wytwórczej, za podstawowe kryterium podziału przyjmują najczęściej stopień współzależności między wykonawcami, liczbą osób wykonujących daną pracę oraz liczbą maszyn obsługiwanych przez bezpośrednich wykonawców zamierzonej pracy na stanowiskach roboczych KP^o).

Wydzielone i zaprojektowane w poprzednich etapach KP^I zarówno dla rytmicznej jak i nierytmicznej produkcji składają się z KP^o , dla których można zaprojektować szereg form ich organizacji pracy i obsługi. Jeżeli za kryterium klasyfikacji przyjąć liczbę maszyn, w jakie mogą być wyposażone stanowiska robocze, to wyodrębniamy:

- stanowiska jednomaszynowe,
- stanowiska wielomaszynowe.

Uwzględniając natomiast liczbę robotników obsługujących maszynę (obrabiajkę, urządzenie) lub maszyny zainstalowane na stanowisku roboczym, można wyodrębnić:

- stanowiska jednoosobowe,
- stanowiska wieloosobowe.

Rozpatrując te dwa kryteria łącznie, uzyskujemy sytuację jak na rys. 8.11. Typowy, najprostszy i najczęściej spotykany układ to *proste stanowisko robocze*⁶ wyposażone w jedną maszynę i obsługiwane przez jednego robotnika (zakresowane pole na rys. 8.11). Następne układy związane są z kierunkami tworzenia różnorodnych form organizacji pracy na stanowiskach roboczych (nie prostych):

- kierunek tworzenia obsługi wielomaszynowej; gdzie jeden robotnik obsługuje dwie lub więcej maszyn stanowiących stanowisko robocze tzw. wielomaszynowe (wielowarsztatowe),
- kierunek tworzenia obsługi zespołowej prostej; gdzie jedną maszynę obsługuje dwóch lub więcej robotników stanowiących tzw. brygadę prostą (jednomaszynową),
- kierunek tworzenia obsługi zespołowej złożonej; gdzie dwie lub więcej maszyn obsługuje dwóch lub więcej robotników stanowiących tzw. brygadę wielomaszynową, grupę autonomiczną lub zespół zadaniowy.

Reasumując, możemy, oprócz prostego stanowiska roboczego (stanowiska pracy indywidualnej), wyróżnić następujące *formy organizacji pracy* na stanowiskach roboczych:

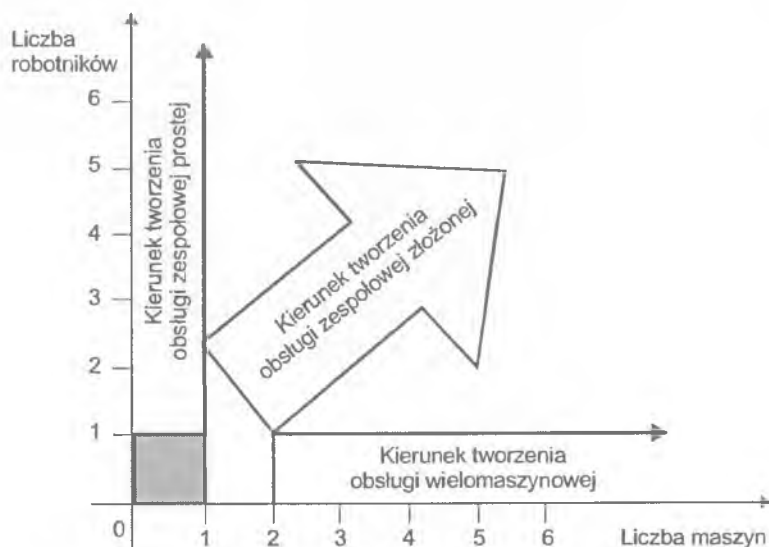
1. Obsługa wielowarsztatowa (wielomaszynowa)
2. Obsługa zespołowa
 - a) obsługa brygadowa
 - brygada klasyczna (prosta – jednomaszynowa),
 - brygada wielomaszynowa.
 - b) grupy autonomiczne,

⁶ Pomijamy tutaj problemy zawarte w przedmiotach: *Organizacja stanowisk roboczych i Ergonomia*.

c) zespoły zadaniowe⁷.

Wybór formy organizacji pracy zależy w znacznym stopniu od struktury zadań, stopnia skomplikowania procesów technologicznych, jak również od typu i formy organizacji produkcji w projektowanych komórkach organizacyjnych. Doświadczenia ostatnich kilkunastu lat wykazują konieczność odchodzenia od tradycyjnego, indywidualnego, prostego stanowiska roboczego, ku nowszym formom organizacji pracy zespołowej we wszystkich jej odmianach.

Należy jednocześnie zaznaczyć, że żadna z wymienionych wyżej form organizacji pracy nie jest formą przestarzałą i której nie należy stosować. Każda z nich przynieść może określone efekty w określonych warunkach produkcyjno-organizacyjnych i właśnie do tych warunków powinien projektant-organizator, dobierać najbardziej przydatną i efektywną formę organizacji pracy na stanowiskach roboczych.



Rys. 8.11. Kierunki tworzenia form organizacji pracy na stanowiskach roboczych
(opr. własne)

⁷ Zespoły zadaniowe obejmują nie tylko operacje technologiczne ale również operacje pomocniczych procesów produkcyjnych oraz procesów zarządzania (info-sterujących). Metodyczne podstawy tworzenia zespołów zadaniowych student poznaje w przedmiotach: *Podstawy zarządzania* oraz *Nauka o pracy*.

8.6.1. Organizacja obsługi wielowarsztatowej⁸

8.6.1.1. Istota obsługi wielowarsztatowej

Obsługa wielowarsztatowa (wielomaszynowa) jest taką formą organizacji pracy na stanowisku roboczym, przy której robotnik pracuje na wielu obrabiarkach (maszynach, urządzeniach), wykonując kolejne czynności na każdej z nich, w czasie gdy pozostałe obrabiarki pracują samoczynnie. Zgrupowanie takie kilku obrabiarek, aparatów, urządzeń itp. (zwanych często pozycjami produkcyjnymi) stanowi komórkę produkcyjną – tzw. *stanowisko wielowarsztatowe*.

Możliwość obsługi wielowarsztatowej wynika z tego, że robotnik praktycznie jest zajęty tylko w czasie wykonywania czynności ręcznych lub niezbędnych obserwacji. Po czasie czynności ręcznych lub obserwacji na danej pozycji produkcyjnej następuje czas maszynowy, w którym pracownik może być zatrudniony do wykonania odpowiednich czynności na drugiej pozycji produkcyjnej. Najbardziej pożądanym jest układ, przy którym czas maszynowy na jednej pozycji produkcyjnej nie jest mniejszy niż czas ręczny robotnika na drugiej pozycji. W przypadku równości tych czasów osiąga się pełne obciążenie pozycji produkcyjnych i pracującego na nich pracownika. Stanowisko wielowarsztatowe spełniające wyżej wymienione warunki nazywamy zsynchronizowanym.

Projektowanie stanowiska wielowarsztatowego rozpoczynamy od analizy czasu jednostkowego operacji technologicznej, którego struktura musi być przygotowana następująco:

$$t_j = t_r + t_{mr} + t_m, \quad (8.20)$$

gdzie: t_r – jest czasem zajęcia pracownika na stanowisku roboczym,

t_{mr} – czasem, w którym zajęty jest zarówno pracownik jak i maszyna,

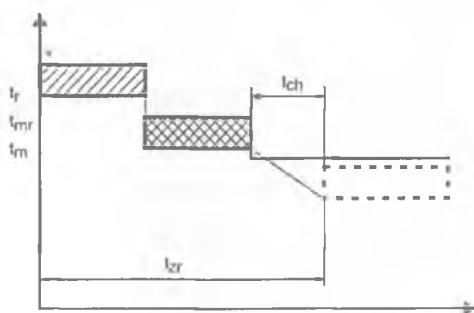
t_m – czasem maszynowym, w którym pracownik na stanowisku nie jest zajęty, jego czas może być przeznaczony na inne prace.

⁸ Wykorzystano tutaj w całości materiały S. Lisa z publikacji [41].

Czas zajęcia pracownika na pozycji produkcyjnej (rys. 8.12) wyniesie

$$t_{zr} = t_r + t_{mr} + t_{ch}, \quad (8.21)$$

gdzie t_{ch} jest czasem przejścia pracownika z jednej pozycji produkcyjnej na drugą



Rys. 8.12. Schemat struktury czasu zajęcia robotnika [41]

Warunkiem umożliwiającym włączenie rozpatrywanej detalooperacji do obsługi wielowarsztatowej jest wskaźnik możliwości obsługi wielowarsztatowej M :

$$M = \frac{t_{zr}}{t_j} = \frac{t_r + t_{mr} + t_{ch}}{t_r + t_{mr} + t_m}, \quad (8.22)$$

Jeżeli $M > 1$, to $t_{ch} > t_m$ i operacja taka nie może być włączona do stanowiska wielowarsztatowego. Czas maszynowy nie wystarczy na przejście do drugiego stanowiska operacyjnego. Jeżeli $M = 1$, to $t_{ch} = t_m$ i operacja taka również nie może być włączona do stanowiska wielowarsztatowego, ponieważ czasy przejść są krótkie, rzędu kilkunastu sekund, a odpowiadają im takie same czasy maszynowe. W tak krótkim czasie maszynowym nie można obsłużyć innej pozycji produkcyjnej. Czas maszynowy będzie w całości wykorzystany na przejście.

W przypadku $M < 1$ jest $t_{ch} < t_m$. Taka detalooperacja może być włączona do stanowiska wielowarsztatowego, ponieważ w czasie maszynowym tego stanowiska będzie możliwa obsługa innego (a nawet innych stanowisk).

W praktyce przemysłowej zachodzi duża różnica między czasem maszynowym, a czasem przejścia, który bywa często pomijany, ponieważ jest bardzo

krótki w stosunku do czasu maszynowego. Obliczenie wskaźników możliwości obsługi wielowarsztatowej dla poszczególnych detalooperacji umożliwia eliminację tych operacji, dla których wartość jest równa lub bliska jedności.

Obsługę wielowarsztatową można zorganizować dla tych detalooperacji, które:

- są możliwe do wykonania, w ramach jednego zawodu (tokarza, frezera itp.),
- są możliwe do wykonania przez pracownika mającego wymagany zawód,
- nie różnią się stopniem trudności wykonywanej pracy, tzn. są określone tą samą grupą zaszeregowania lub zbliżonymi do siebie grupami,
- mają czasy jednostkowe operacji zbliżone do siebie,
- suma wskaźników możliwości obsługi wielowarsztatowej dla jednego stanowiska wielowarsztatowego nie jest większa od 1:

$$\sum_{i=1}^k M_i \leq 1, \quad (8.23)$$

gdzie k jest liczbą pozycji produkcyjnych.

Organizowanie obsługi wielowarsztatowej możliwe jest przy pewnych warunkach:

- 1) Stworzenie stałych warunków prac przez przydział detalooperacji do stanowisk roboczych oraz stworzenie pozostałych warunków rytmicznego procesu produkcyjnego.
- 2) Organizacja pracy na stanowisku roboczym. Zapewnienie obsługi stanowiska roboczego. Uwolnienie pracownika bezpośrednio-produkcyjnego od wykonywania prac obsługowych.
- 3) Mechanizacja pracy na stanowisku roboczym. Zastosowanie pomocy umożliwiających wykonanie czynności pomocniczych. Zastosowanie urządzeń transportowych i innych środków ułatwiających pracę. Właściwe wyposażenie stanowisk roboczych.
- 4) Automatyzacja wykonywania operacji pomocniczych, automatyzacja podawania, sterowania obrabiarki i kontroli przebiegu operacji.

8.6.1.2. Warianty obsługi wielowarsztatowej

W praktyce stosuje się różne warianty obsługi wielowarsztatowej. W zależności od stopnia podobieństwa czy wzajemnego powiązania operacji technologicznych można zorganizować obsługę wielowarsztatową:

- pozycji produkcyjnych wykonujących jednakowe operacje technologiczne,
- pozycji produkcyjnych wykonujących kolejno operacje technologiczne tego samego wyrobu,
- pozycji produkcyjnych jednego typu lub różnych typów, wykonujących różne detalooperacje.

W zależności od wzajemnego stosunku czasu trwania powiązanych operacji możliwe jest różne łączenie pozycji produkcyjnych, w szczególności:

- pozycji produkcyjnych, na których wykonuje się operacje o równym czasie ich trwania,
- pozycji produkcyjnych, na których wykonuje się operacje, których czas trwania stanowi wielokrotność czasu trwania operacji na drugiej pozycji produkcyjnej,
- pozycji produkcyjnych wykonujących operacje o różnym czasie ich trwania (nierówne i niewielokrotne).

Ze względu na powtarzalność operacji rozróżniamy obsługę wielowarsztatową:

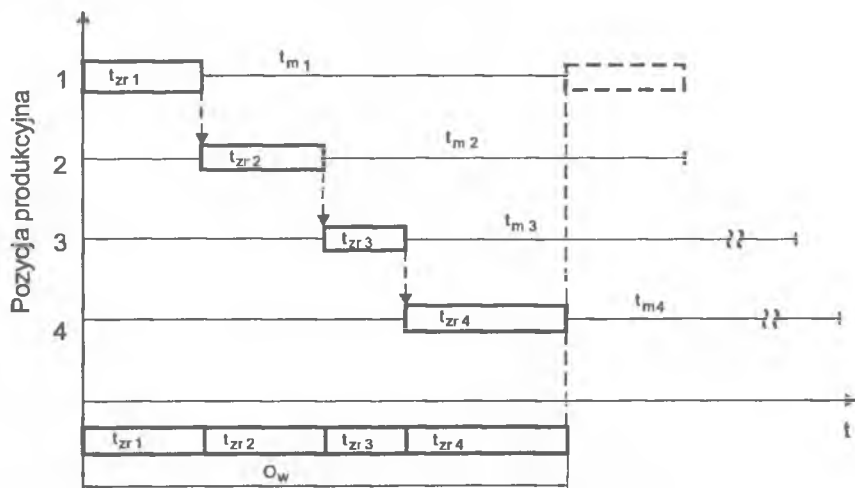
- pozycji produkcyjnych z operacjami stałymi i stale się powtarzającymi (na stanowisku – typ produkcji masowej),
- pozycji produkcyjnych z okresową powtarzalnością operacji,
- pozycji produkcyjnych z nieregularnie powtarzającymi się lub z nie powtarzającymi się operacjami, gdy powiązanie często ma charakter zmienny.

Harmonogram obsługi wielowarsztatowej przy jednakowych czasach operacji przedstawia rys. 8.13. Czasy jednostkowe operacji są równe:

$$t_{j,1} = t_{j,2} = \dots = t_{j,n}.$$

Czasy zajęcia robotnika są równe:

$$t_{zr,1} = t_{zr,2} = \dots = t_{zr,n}.$$



Rys. 8.13. Harmonogram obsługi wielowarsztatowej przy równych czasach operacji [41]

Czasy maszynowe są równe:

$$t_{m,1} = t_{m,2} = \dots = t_{m,n};$$

$$O_w = t_{j,i} = t_{zr,i} + t_{m,i} = \sum_{i=1}^k t_{zr,i}, \quad (8.24)$$

$$k_{t_{zr}} = t_j \quad k = \frac{t_j}{t_{rz}}, \quad (8.25)$$

gdzie $t_{j,i}$ – jest czasem jednostkowym i -tej operacji technologicznej,

$t_{zr,i}$ – czasem, w którym pracownik jest zajęty na i -tej pozycji produkcyjnej,

$t_{m,i}$ – czasem maszynowym, podczas którego nie jest konieczna obecność pracownika na i -tej pozycji produkcyjnej,

O_w – okresem obsługi wielowarsztatowej,

k – liczbą pozycji produkcyjnych.

Linia przerywana (pionowa) oznacza przechodzenie robotnika z jednej pozycji produkcyjnej na drugą.

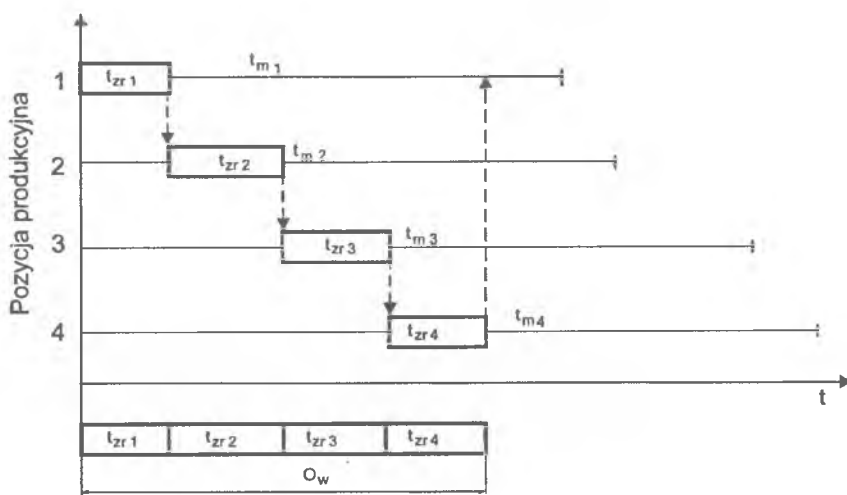
Wariant odznacza się pełnym obciążeniem zarówno pracownika jak i wszystkich pozycji produkcyjnych. Na stanowisku wielowarsztatowym nie występują przerwy. Przerwa w pracy pracownika $\mu_r = 0$. Przerwa w pracy pozycji produkcyjnych $\mu_m = 0$.

Harmonogram obsługi wielowarsztatowej przy różnych operacjach, lecz o jednakowym czasie trwania, przedstawia rys. 8.14. Czasy jednostkowe operacji są równe:

$$t_{j,1} = t_{j,2} = \dots = t_{j,n}$$

Czasy zajęcia pracownika są różne:

$$t_{zr,1} \neq t_{zr,2} \neq t_{zr,n}$$



Rys. 8 14. Harmonogram obsługi wielowarsztatowej dla różnych operacji przy jednakowym czasie ich trwania [41]

Czasy maszynowe są różne:

$$t_{m,1} \neq t_{m,2} \neq t_{m,n}$$

$$O_w = \sum_{i=1}^k t_{zr,i} = t_j.$$

Wariant podobnie jak poprzedni odznacza się pełnym obciążeniem pracownika oraz wszystkich pozycji produkcyjnych. Przerwa w pracy pracownika i pozycji produkcyjnych nie występuje, ponieważ

$$t_{j,i} = \sum_{r=1}^k t_{zr,i}.$$

Może wystąpić inny przypadek. Dla założeń takich jak poprzednio, tj. gdy:

$$t_{j,1} = t_{j,2} = \dots = t_{j,n},$$

oraz czasy zajęcia pracownika są różne:

$$t_{zr,1} \neq t_{zr,2} \neq t_{zr,n},$$

i czasy maszynowe są różne

$$t_{m,1} \neq t_{m,2} \neq t_{m,n},$$

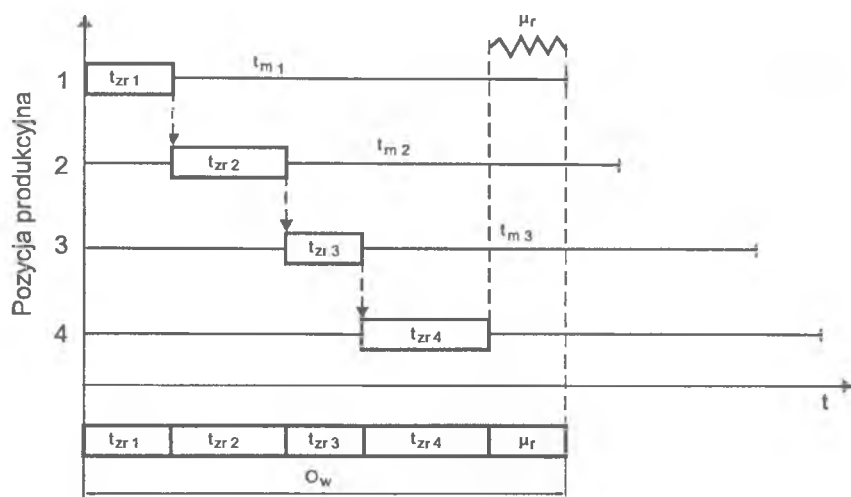
może wystąpić wariant obsługi wielowarsztatowej odznaczający się przestojem pracownika. Pomiędzy zakończeniem pracy na czwartej pozycji i powtórным rozpoczęciem pracy na pozycji pierwszej wystąpi przerwa w pracy pracownika. Okres pracy wielowarsztatowca wyniesie

$$O_w = \sum_{i=1}^k t_{zr,i} + \mu_r, \quad (8.26)$$

lub

$$O_w = t_j.$$

Obciążenie pozycji produkcyjnych pozostaje pełne tak jak w wariantcie poprzednim. Harmonogram pracy stanowiska dla tego przypadku przedstawia rys. 8.15.



Rys. 8.15. Harmonogram obsługi wielowarsztatowej z przestojem pracownika [41]

Harmonogram obsługi wielowarsztatowej przy różnym czasie trwania operacji przedstawia rys. 8.16. Czasy jednostkowe operacji są różne:

$$t_{j,1} \neq t_{j,2} \neq \dots \neq t_{j,n}.$$

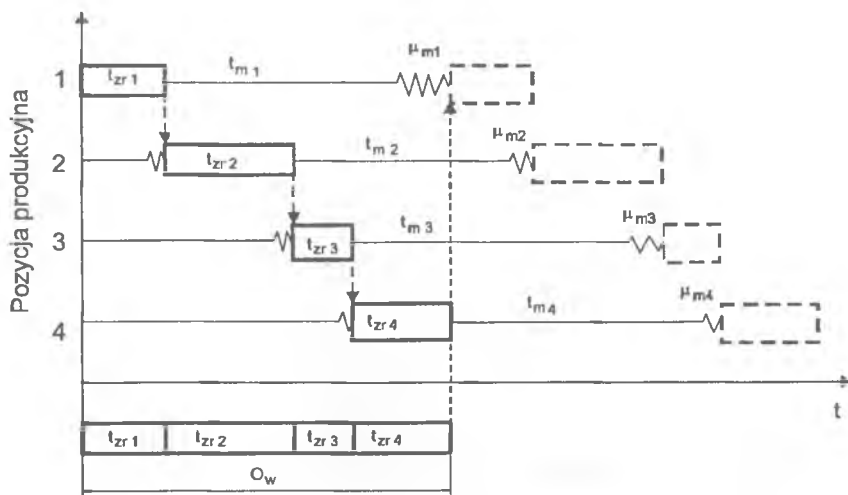
Czasy zajęcia pracownika są różne:

$$t_{zr,1} \neq t_{zr,2} \neq t_{zr,n}.$$

Czasy maszynowe są różne:

$$t_{m,1} \neq t_{m,2} \neq t_{m,n}.$$

Po zakończeniu pracy na czwartej pozycji produkcyjnej pracownik wraca na pierwszą pozycję.



Rys. 8.16. Harmonogram obsługi wielowarsztatowej z przestojem wszystkich pozycji produkcyjnych [41]

Ponieważ $\sum_{i=1}^k t_{zr,i}$, jest większa od czasu jednostkowego $t_{j,1}$ na pierwszej pozycji produkcyjnej powstaje przerwa. W przedstawionym wariancie (rys. 8.16) na każdej pozycji produkcyjnej wystąpi przerwa.

W modyfikacji tego wariantu przerwa może wystąpić tylko na jednej pozycji produkcyjnej lub na niektórych pozycjach:

$$\begin{aligned}
 O_w &= \sum_{i=1}^k t_{zr,i}, \\
 O_w &= t_{j,i} + \mu_{m,i}, \\
 O_w &= \sum_{i=1}^k t_{zr,i}.
 \end{aligned} \tag{8.27}$$

Dla wyżej wymienionych danych mogą występować jeszcze inne warianty harmonogramów, np. wariant, w którym występuje zarówno przestój pracownika jak i pozycji produkcyjnych (rys. 8.17), czasy jednostkowe operacji są nierówne:

$$t_{j,1} \neq t_{j,2} \neq \dots \neq t_{j,n},$$

czasy zajęcia pracownika są nierówne:

$$t_{zr,1} \neq t_{zr,2} \neq t_{zr,n},$$

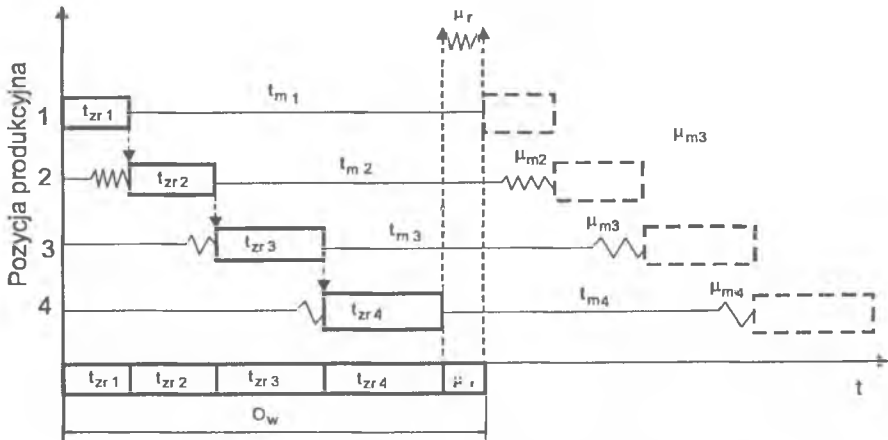
czasy maszynowe są nierówne:

$$t_{m,1} \neq t_{m,2} \neq t_{m,n},$$

$$O_w = \sum_{i=1}^k t_{zr,i} + \mu_r,$$

$$O_w > \sum_{i=1}^k t_{zr,i}, \quad (8.27)$$

$$O_w > t_{j,i}.$$



Rys. 8.17. Harmonogram obsługi wielowarsztatowej z przestojem pracownika (μ_r) i pozycji produkcyjnych (μ_m) [41]

W wariacie występują zarówno przerwy w pracy pozycji produkcyjnych, jak i przerwa w pracy pracownika. Sytuacja taka występuje wtedy, gdy $\sum_{i=1}^k t_{zr,i}$, jest mniejsza od czasu jednostkowego (warunek powstania przerwy w pracy pracownik-

ka) oraz gdy czasy maszynowe dwóch pozycji kończą się jednocześnie (warunek powstania przerwy w pracy pozycji produkcyjnej).

Jeżeli na stanowisku wielowarsztatowym występują przerwy w pracy pozycji produkcyjnej oraz przerwy w pracy pracownika, stanowisko takie nie będzie w pełni obciążone.

Do okresu obsługi wielowarsztatowej wlicza się prace stale powtarzalne przy produkcji kolejnych wyrobów, wchodzących w skład partii produkcyjnej. Nie wlicza się natomiast czasów trwania czynności przygotowania i zakończenia partii, czynności obsługi, czasu na potrzeby fizjologiczne i odpoczynku, a więc takich elementów, które odnoszą się do partii jako całości lub do czasu zmiany roboczej.

8.6.1.3. Wskaźniki obciążenia stanowiska wielowarsztatowego

Do określenia liczbowego stanowisk wielowarsztatowych oraz ich wzajemnego porównywania stosuje się następujące wskaźniki:

1. Wskaźnik zajęcia pracownika

$$W_r = \frac{O_w}{\sum_{i=1}^k t_{zr,i}}, \quad (8.28)$$

jeżeli $W_r = 1$, nie występują przerwy w pracy pracownika, pracującego na stanowisku wielowarsztatowym ($\mu_r = 0$).

Wskaźnik ten może być większy od jedności ($W_r > 1$), co będzie oznaczać, że okres pracy wielowarsztatowca jest większy od sumy czasów jego zajęcia. Jeżeli wskaźnik zajęcia pracownika jest większy od jedności, to pracownik obsługujący stanowisko wielowarsztatowe ma przerwy w pracy ($\mu_r > 0$).

Przypadek trzeci, to gdy $W_r < 1$, jest nierealny.

2. Wskaźnik obciążenia pozycji produkcyjnej

$$W_m = \frac{O_w}{t_j}, \quad (8.29)$$

obliczany jest dla każdej pozycji produkcyjnej, wchodzącej w skład stanowiska wielowarsztatowego. Jeżeli wskaźnik obciążenia, pozycji produkcyjnej równy jest jedności ($W_m = 1$), to okres pracy wielowarsztatowca (O_w) równy jest czasowi jednostkowemu. Przerwa w pracy stanowiska operacyjnego nie występuje. ($W_m > 1$), jeżeli na pozycji występuje przerwa. Wskaźnik mniejszy od jednego ($W_m < 1$) jest nierealny.

Często wygodnie jest posługiwać się wskaźnikiem syntetycznym obsługi wielowarsztatowej:

$$W_s = \frac{W_r}{W_m} = \frac{t_j}{\sum_{i=1}^k t_{zr,i}}. \quad (8.30)$$

Wskaźnik syntetyczny równy jest jedności ($W_s = 1$), jeżeli

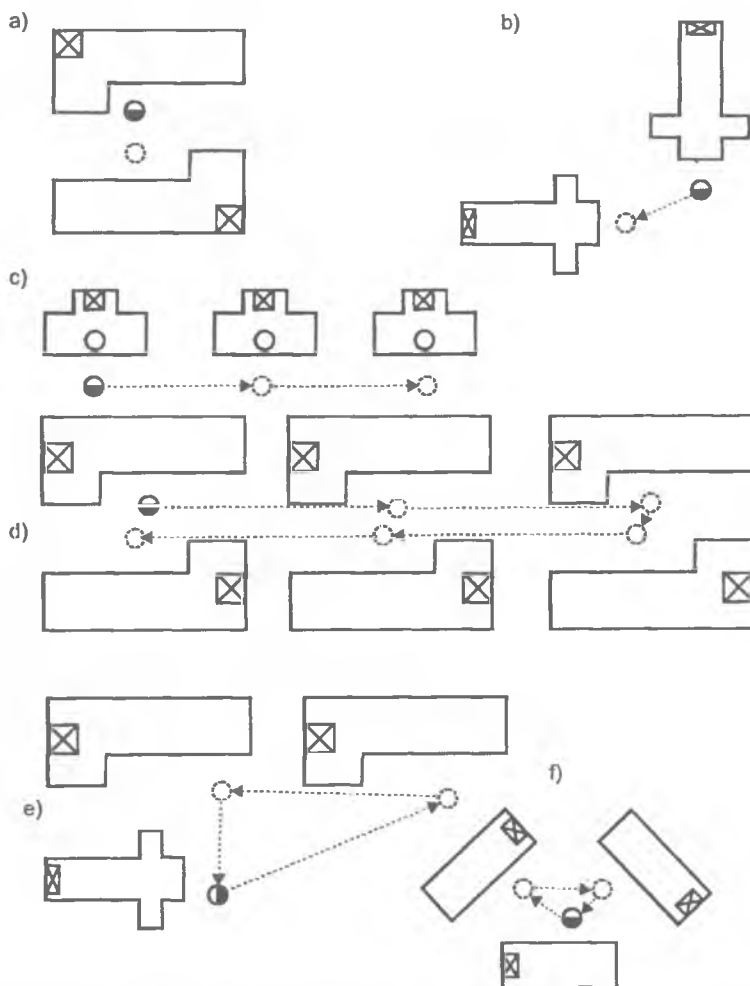
$$\sum_{i=1}^k t_{zr,i} = t_j.$$

Jeżeli czas jednostkowy t_j jest większy od sumarycznego czasu zajęcia pracownika, a dodatkowo pracownik ma przerwę w pracy, to wskaźnik syntetyczny jest większy od jedności ($W_s > 1$).

Wskaźnik syntetyczny jest mniejszy od jedności ($W_s < 1$), jeżeli występuje przerwa w pracy pozycji produkcyjnej, a czas jednostkowy jest mniejszy od sumarycznego czasu zajęcia pracownika $\left(\sum_{i=1}^k t_{zr,i} \right)$.

8.6.1.4. Ustawienie pozycji produkcyjnych stanowiska wielowarsztatowego

Właściwe ustawienie pozycji produkcyjnych ułatwia obsługę wielowarsztatową oraz wpływa na skrócenie czasu przechodzenia pracownika od pozycji do pozycji. Ustawienie pozycji produkcyjnych musi również uwzględniać warunki bezpieczeństwa pracy. Różne rozmieszczenia pozycji produkcyjnych na stanowiskach pracy wielowarsztatowej w przedsiębiorstwie budowy maszyn przedstawia rys. 8.18.

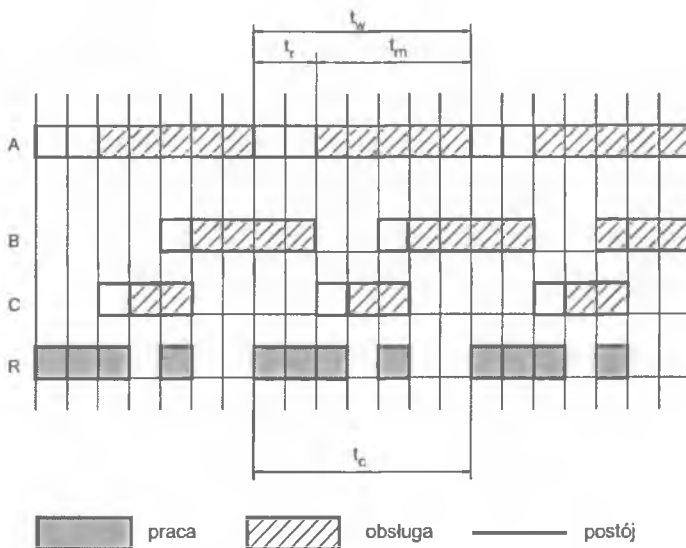


Rys.8.18. Schematy rozmieszczenia pozycji produkcyjnych na stanowisku wielowarsztatowym: a) umieszczenie równoległe, b) prostopadłe, c) liniowe, d) i e) mieszane, f) kołowe [41]

8.6.1.5. Warunki i efektywność obsługi wielowarsztatowej

Liczne obserwacje w zakładach produkcyjnych świadczą o tym, że postęp organizacyjny w zakresie stosowania obsługi wielowarsztatowej jest ciągle niewystarczający. W praktyce można często spotkać produkcyjne operacje obróbki nieraz bardzo pracochłonne, trwające po kilka godzin, a mimo to wykonujące te

operacje robotnik obsługuje tylko jedną obrabiarkę. Jest rzeczą zrozumiałą, że bez wnikliwej analizy przebiegu pracy na konkretnych stanowiskach trudno określić wielkość rezerw ukrytych w przestarzałych formach operatorskiej obsługi stanowisk roboczych. Doświadczenia wielu zakładów przemysłu maszynowego wskazują, że w klasycznych zakładach budowy maszyn jeden robotnik może często obsługiwać dwie obrabiarki, a nierzadko i większą ich liczbę. Ujawnienie tych rezerw ma niewątpliwie istotne znaczenie dla gospodarki narodowej, szczególnie na terenach o niedostatecznej podaży siły roboczej. Istotnym czynnikiem hamującym rozwój pracy wielowarsztatowej jest brak zainteresowania tym problemem oraz opinia, że prace na kilku obrabiarkach można wykonać jedynie w warunkach produkcji powtarzalnej. Należy podkreślić, że jest to pogląd jak najbardziej nieuzasadniony. Dowód może stanowić harmonogram pracy jednego pracownika (rys. 8.19), zatrudnionego równocześnie na trzech obrabiarkach przy obróbce partii różnych przedmiotów. W tym układzie cykl pracy pracownika jest następujący: obsługa obrabiarki A, przejście do obrabiarki C, następnie do B, odpoczynek, powrót do C, odpoczynek, po którym rozpoczyna się następny cykl pracy.



Rys. 8.19. Harmonogram pracy robotnika zatrudnionego przy trzech obrabiarkach A, B, C [41]

Z przeprowadzonych wyżej rozważań dotyczących obsługi wielowarsztatowej wynika, że podstawowa zasada obsługi wielowarsztatowej polega na zestawieniu kilku stanowisk operacyjnych w celu umożliwienia ich obsługi przez jednego pracownika przy zachowaniu ciągłości pracy tych stanowisk.

Zagadnienie to wymaga więc doboru oraz wnikliwej analizy cykli pracy poszczególnych stanowisk i szczegółowych projektów organizacji obsługi wielowarsztatowej dla konkretnych przypadków.

W skład stanowiska wielowarsztatowego mogą wchodzić stanowiska operacyjne odznaczające się następującymi cechami:

- jednakowych czasach jednostkowych i jednakowej strukturze tych czasów (np. stanowiska operacyjne i operacje technologiczne jednakowe przy niezmiennym przedmiocie pracy),
- różnych czasach jednostkowych i różnej strukturze tych czasów (np. stanowiska i operacje różne przy niezmiennym przedmiocie pracy),
- różnych czasach jednostkowych: różnej ich strukturze przy różnych przedmiotach pracy (np. różne stanowiska operacyjne, różne operacje i różne przedmioty pracy),
- kombinacje jednakowych i różnych czasów jednostkowych oraz ich struktur i przedmiotów pracy.

Organizacja obsługi wielowarsztatowej wymaga również kompleksowej analizy różnych zagadnień wchodzących w zakres tego problemu. Zaliczamy do niej:

- szczegółową analizę struktury czasu każdej operacji wykonywanej na stanowisku operacyjnym, które przewidziane jest do obsługi wielowarsztatowej,
- analizę ugrupowania obrabiarek oraz doboru i umiejscowienia wyposażenia
- poszczególnych stanowisk operacyjnych z uwzględnieniem obsługi wielowarsztatowej,
- określenie racjonalnej metody pracy przy obsłudze wielowarsztatowej,
- zapewnienie odpowiednio funkcjonujących gospodarek pomocniczych dla całej grupy stanowisk operacyjnych objętych obsługą wielowarsztatową,
- ustalenie technicznych norm czasu pracy i przerw normowanych dla pracownika oraz norm wydajności dla poszczególnych stanowisk,
- analizę dysponowanych i potrzebnych zawodów do obsługi stanowisk wielowarsztatowych,

- ocenę efektów ekonomicznych projektowanej organizacji obsługi wielowarsztatowej,
- analizę zasad i form płac zapewniających zainteresowanie pracowników w sprawnym funkcjonowaniu obsługi wielowarsztatowej.

Organizowanie obsługi wielowarsztatowej jest jednym z podstawowych elementów racjonalnej organizacji tych stanowisk, pozwalającym na znaczny wzrost wydajności pracy. Do właściwego funkcjonowania obsługi wielowarsztatowej niezbędne jest, obok zaprojektowania i wdrożenia, zapewnienie sprawnej obsługi technicznej i organizacyjnej tych stanowisk. Trudności w zapewnieniu sprawnej obsługi stanowisk wielowarsztatowych stanowią bardzo często czynnik hamujący ich rozwój w naszym przemyśle. Zagadnienia te powinny być rozwiązywane jednocześnie z projektowaniem i wdrażaniem obsługi wielowarsztatowej.

8.6.2. Organizacja brygad

Ogromne korzyści płynące ze stosowania zespołowych form pracy w przedsiębiorstwach były i w dalszym ciągu są czynnikiem wpływającym na organizatorów produkcji (i nie tylko), pobudzającym ich do twórczego działania w poszukiwaniu nowych, niekonwencjonalnych odmian i zastosowań pracy zespołów lub grup pracowniczych.

Autorzy publikacji dotyczących prac zespołowych (niezależnie od ich formy) są zgodni co do tego, że zastosowanie ich w odpowiednim miejscu i czasie przy odpowiednio dobranych pracownikach i po stworzeniu im odpowiednich warunków pracy, przynosi przedsiębiorstwom efekty w różnej postaci. Zależnie od rodzaju i zakresu zastosowania na te efekty (w wymiarze szczegółowym) mogą się składać m.in.:

- ekonomizacja kooperacji wewnątrzwydziałowej,
- uproszczenie planowania ogólnego,
- uproszczenie kontroli i nadzoru,
- łatwość dokonywania usprawnień,
- częściowe czynności naprawy urządzeń itp.

Ogólnie zaś dochodzi do wzrostu wydajności pracy, spadku absencji, wzrostu elastyczności i łatwości wprowadzania zmian oraz wzrostu zadowolenia

pracowników z wykonywanej pracy. Jest to efektem współpracy ludzi dobrze zorganizowanych w zespół, których wyniki wspólnego działania są większe niż suma efektów działań pojedynczych.

Efekt organizacyjny osiągany w pracy zespołowej ma wielkie znaczenie praktyczne i teoretyczne. Wysoka efektywność pracy zespołowej jest następstwem właściwej struktury i harmonizacji działania indywidualnego, umożliwiającej podwyższenie stopnia zorganizowania w określoną formę organizacji pracy zespołowej.

Praca zespołowa występuje wówczas, gdy wykonanie pewnych uporządkowanych zbiorów czynności i operacji powierza się określonej grupie osób, a więc każdy z członków owej grupy współprzyczynia się do osiągnięcia wspólnego celu produkcyjnego. Elementarną jednostką organizacyjną produkcji, której przypisuje się miano pracy zespołowej, jest brygada.

Przez pojęcie *brygady roboczej* rozumiemy taką formę organizacji pracy, przy której robotnicy wchodzi w skład zespołu współpracującego ściśle ze sobą w procesie produkcyjnym i ponoszą wspólną odpowiedzialność za jej wyniki. Jeden z pracowników należących do brygady jest brygadzystą i do jego obowiązków (poza przypadającą na niego pracą) należy organizowanie pracy na stanowiskach roboczych członków brygady, instruktaż pracowników itd. oraz odpowiedzialność za dyscyplinę pracy w brygadzie. Brygadzystą zostaje najczęściej najbardziej doświadczony pracownik, pobierający z tytułu dodatkowych obowiązków tzw. dodatek brygadzystowski.

Brygady robocze tworzy się do realizacji następujących celów [41]:

- 1) wykonanie kompleksowych zadań produkcyjnych, wymagających jednoczesnej pracy kilku pracowników, przy czym zadanie to nie może ulec podziałowi między pojedynczych wykonawców,
- 2) wykonanie pracy, którą w całości można znormować, lecz niemożliwe jest określenie norm czasowych na wykonanie prac przydzielonych poszczególnym pracownikom,
- 3) obsługa dużych i złożonych agregatów produkcyjnych, w których praca związana jest ściśle technologią,

- 4) zapewnienia ścisłej współpracy i kontroli ustalonego taktu pracy w liniach produkcyjnych,
- 5) wytworzenia niezbędnego wzajemnego powiązania między pomocniczymi i podstawowymi procesami produkcyjnymi,
- 6) ułatwienia operatywnego rozdziału zadań produkcyjnych pomiędzy poszczególnych pracowników, gdy brak jest stałego przydziału prac,
- 7) zapewnienia wzajemnej pomocy, kontroli i uzgodnienia działań pracowników mających określone zadania w zakresie racjonalizacji produkcji, przekroczenia zadań planowych i poprawienia jakościowych wskaźników swojej pracy.

Historycznie rzecz ujmując tworzenie brygad następowało od klasycznej już brygady prostej, gdzie przy obsłudze jednej maszyny (np. młot kuźniczy) zatrudnionych jest kilku robotników. Sytuacja taka ma najczęściej miejsce w przypadku, gdy przedmiot pracy jest niepodzielny, maszyna wyspecjalizowana oraz robotnicy tej samej specjalności. Następnie zaczęły się procesy łączenia kilku zawodów w jedną brygadę obsługującą (w sposób wielomaszynowy) kilka maszyn i urządzeń. Tak kompleksowo zorganizowane brygady poszerzały zakres swych zadań i funkcji, obejmujących zarówno operacje z podstawowego procesu produkcyjnego jak również pomocniczych procesów produkcyjnych. Dlatego opierając się o wymieniane cele tworzenia brygad roboczych można wyróżnić typy brygad zawarte w tabeli 8.3.

Organizacja brygady wymaga przestrzegania następujących zasad:

- celowe jest łączenie w brygady pracowników, których zespołowa praca daje zakończony wyrób (dowolnego stopnia),
- podział oraz łączenie pracy w brygadzie powinny być tak zorganizowane, aby zespołowy charakter pracy pozwolił, poza określeniem wyników pracy brygady, określić rezultaty i wkład pracy poszczególnych pracowników,
- powinna być zorganizowana ścisła ewidencja oraz ocena pracy brygady, pozwalająca na sprawiedliwe obliczanie indywidualnych płac pracowników.

Skład brygady i rozdział obowiązków w brygadzie można przedstawić według schematu jak w tab. 8.4.

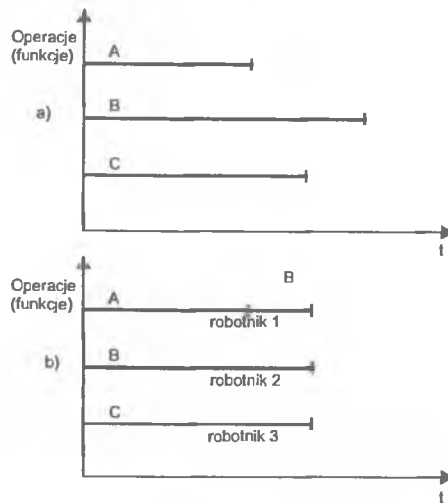
Tabela 8.3.

Typ brygady	Przykład
1	Brygada montażowa, wykonująca pracę w przypadku braku podziału procesu montażowego na poszczególne operacje.
2	Brygady także organizuje się do wykonania remontów kapitalnych obrabiarek i urządzeń.
3	Brygady tego typu występują tam, gdzie charakter urządzenia produkcyjnego decyduje o konieczności zespołowej pracy kilku robotników np. żeliwniki, piece do obróbki cieplnej itp.
4	Brygada obsługująca, linię obróbką lub montażową
5	Brygada, taka łączy w sobie pracowników, którzy wykonują proces podstawowy i pracowników, którzy wykonują operacje procesów pomocniczych np. ostrzenie narzędzi.
6	Brygada transportowa (transport zewnętrzny), w której pracownicy zależnie od potrzeb wykonują powierzone im prace.
7	Brygady tego typu organizuje się w przypadku podnoszenia kwalifikacji pracowników. W tym celu łączy się pracowników z wysokimi kwalifikacjami z pracownikami o niższych kwalifikacjach. Współpraca ma wpływ na podnoszenie kwalifikacji.

Tabela 8.4.

Lp.	Nazwisko i imię	Grupa zaszerogowania	Funkcja	Obowiązki		
				Przed rozpoczęciem pracy	W czasie pracy	Po zakończeniu pracy

Struktura prac wykonywanych w brygadzie powinna charakteryzować się możliwie pełnym i równomiernym obciążeniem jej pracowników, co ilustruje rys. 8.20.



Rys. 8.20. a) Pracochłonność operacji (funkcji), b) podział zadań w brygadzie [9]

Taki podział zadań w brygadzie jest możliwy dzięki temu, że: w systemie brygadowym rozpowszechniona jest praca wielozawodowa (dwie i więcej specjalności opanowanych przez jednego pracownika, średnio 28 % to pracownicy wielozadaniowi obsługujący wszystkie maszyny przydzielone brygadzie), każda brygada otrzymuje potrzebne jej wyposażenie, za które ponosi pełną odpowiedzialność oraz dlatego, że tworzone są zamknięte gniazda przedmiotowe, w których możliwa jest ograniczona dowolność podziału pomiędzy robotników, za którą odpowiedzialny jest brygadzysta.

W systemie pracy brygadowej sporządzone harmonogramy odnoszą się do całości brygady, natomiast podziału prac na poszczególnych pracownikach dokonuje się wewnątrz brygady. Podobnie wszelka dokumentacja technologiczna przydzielana jest brygadzie przed rozpoczęciem realizacji zadania, ewidencja pracy jest sporządzana w oparciu o efekt końcowy.

Z tworzeniem brygad może być związana ich specjalizacja czyli stopień ograniczenia dowolności uczestników w realizacji zadań. Obecnie dąży się do posiadania wysoko wykwalifikowanej kadry specjalistów o szerokiej wiedzy zawodowej, którzy pracując w zespołach, likwidując negatywne skutki wynikłe z wysokiej specjalizacji.

Wewnątrz brygady powinna być możliwa szczegółowa ocena wkładu pracy poszczególnych pracowników oparta na wcześniejszym podziale obowiązków, zaś system wynagradzania jej członków powinien być prosty, zrozumiały dla wszystkich.

Do najczęściej stosowanych systemów wynagradzania zalicza się:

- system czasowy,
- system akordowy,
- system dniówki zadaniowej z premią ruchomą, stosowany tam gdzie praca wymaga dużej odpowiedzialności i koncentracji umysłowej,
- system NCR (niekontrolowanego czasu pracy) stosowany w brygadach o dużej autonomii, w przypadku pracowników wysoko wykwalifikowanych, nie wymagających stałej kontroli mistrza.

Brygadziście z tytułu pełnionych dodatkowych funkcji koordynacyjnych przysługuje dodatek brygadzistowski, który na ogół stanowi określony procent (np. 15 %) od jego zarobku podstawowego.

8.6.3. Organizacja grup autonomicznych

Doświadczenia z pierwotnych form organizacji pracy zespołowej i efekty z nich płynące, spowodowały dalsze poszukiwania w tej dziedzinie i przyczyniły się do poszerzenia funkcji i zadań brygadowych form organizacji pracy, aż do poziomu pracy w grupach autonomicznych. Uczestnicy autonomicznych grup pracowniczych, stykając się z problemami gospodarowania w mikroskali, uczą się przedsiębiorczości, samoorganizacji oraz liczenia na własne siły w realizacji przyjętych zadań produkcyjnych. Aktywność w grupach autonomicznych przyczynia się zazwyczaj do ujawnienia jednostek z inicjatywą, tworzących w sposób spontaniczny, formę organizowania się demokracji pracowniczej na niższych szczeblach struktury produkcyjnej przedsiębiorstwa.

Wewnętrzne, organizacyjne i ekonomiczne warunki tworzenia i działania autonomicznych grup pracowniczych to przede wszystkim istnienie w procesie produkcyjnym faz dających się organizacyjnie wyodrębnić oraz możliwości rozliczania nakładów i efektów pracy poszczególnych grup autonomicznych, co pozwala w tej formie organizacji pracy, na powiązanie zapłaty z wynikami pracy (wydajnością pracy).

Grupą autonomiczną nazywamy taki zbiór pracowników, środków i przedmiotów pracy oraz ich powiązania, które gwarantują wysoki stopień ich samodzielności w realizacji celów i zadań produkcyjnych. Nie istnieją w zasadzie dwie identyczne grupy autonomiczne, nawet jeśli zostały utworzone w tym samym przedsiębiorstwie, gdyż o ostatecznym kształcie decydują same zespoły jako wiarygodne podmioty przygotowane do wzięcia na siebie odpowiedzialności oraz inicjatywy.

Obszar autonomii grupy określają uprawnienia do:

- a) doboru członków grupy – robotnicy, mający pracować w grupie sami dobierają jej skład oraz ustalają jej liczebność (najczęściej są to wysokiej klasy fachowcy, mający duże doświadczenie, którzy opanowali podobną liczbę operacji potrzebnych do wytworzenia danego wyrobu – co później decyduje o ich wzajemnym zaufaniu i możliwości wzajemnej zamiany na stanowiskach pracy);
- b) wyboru lidera – liderem (inaczej rzecznikiem grupy) jest taki sam pracownik, co pozostali członkowie grupy, z tym, że jego dodatkowym zadaniem jest reprezentowanie grupy w kontaktach z kierownictwem przedsiębiorstwa;
- c) planowania i podziału grupy – grupa, na podstawie podpisanej przez lidera umowy określa cel działalności, dokonuje wewnętrznego podziału zadań z określeniem trybu ich rotacji (każdy członek grupy zależnie od umiejętności i liczby opanowanych operacji decyduje o tym: co i kiedy będzie wykonywał – taka sytuacja sprzyja podnoszeniu kwalifikacji pracowników, którzy często w dni wolne od pracy uczestniczą w organizowanych samodzielnie szkoleniach – motywacją w tym przypadku jest premiowanie liczby opanowanych operacji);
- d) ustalania tempa i czasu pracy – grupa ma możliwość ustalania długości i ilości przerw w prac oraz godzin jej rozpoczęcia i zakończenia (ze względu na fakt, że nie wymaga nadzoru) – nie jest to tylko możliwe w przypadku taśmy produkcyjnej.

Wprowadzenie nowego systemu pracy w przedsiębiorstwie musi być odpowiednio przygotowane i przeprowadzone. Przed jego wprowadzeniem należy zapoznać pracowników z pracą grupową, każdy z nich musi poznać swoją rolę w grupie i wiedzieć, czego będzie się od niego oczekiwać. Nie można zmuszać

pracowników do pracy w grupach, lecz osiągnąć to drogą negocjacji i konsultowania. Kierownictwo nie może narzucać powstania grupy (zob. np. [33], [63]), powinna ona powstać np. wówczas, gdy pojawia się jakiś problem, który należy rozwiązać. Utworzenie przez kierownictwo zespołu doradczego pilotującego całe przedsięwzięcie, sprzyjającego zmianom i przygotowującego program działalności grupy sprzyja skróceniu czasu jej tworzenia i podnosi efektywność tego procesu.

Wstępne określenie autonomii i grupy (samoorganizacji) przez delegowanie uprawnień, obszar przez nią zajęty, wielkość zadania produkcyjnego, czynności pomocnicze przez nią wykonywane, stałość zadań produkcyjnych (specjalizacja) a także ustalenie form wynagradzania w grupie, również w znacznym stopniu wpływają na powodzenie przedsięwzięcia. O powodzeniu pracy grup autonomicznych decydują głównie:

1. Rozmiary grupy – powinny być związane z warunkami techniczno-technologicznymi przedsiębiorstwa; decydują o możliwości bezpośrednich kontaktów członków grupy (poniżej 5 osób – mała operatywność grupy, powyżej 15 – trudności w koordynacji pracy) w czasie wykonywania procesu produkcyjnego. Liczebność grupy jest także uzależniona od kwalifikacji jej członków, gdyż grupa wykonując zespoły lub gotowe wyroby potrzebuje robotników o różnych specjalnościach. Tak więc rozmiary grupy powinny być elastyczne. Najczęściej jako najwłaściwsze podaje się rozmiary 5 do 15 osób; autorzy różnych opracowań dotyczących rozpatrywanego tematu są zgodni co do optymalnej liczby pracowników wynoszącej 8 osób.
2. Warunki techniczne – narzędzia, materiały i surowce, maszyny. W tym przypadku istnieją dwa podejścia:
 - grupa zajmuje się tylko produkcją, dostawy zapewniane są przez odpowiedzialnego mistrza lub członka nadzoru,
 - grupa ma w zakresie swoich obowiązków zaopatrywanie się w wymienione środki techniczne. Odbywa się to nie na zasadzie „zdobywania”, lecz uzupełniania potrzeb.

Takie rozwiązanie uniezależnia grupę od służb zaopatrzenia przedsiębiorstwa i daje możliwość uzupełniania zapasów w najbardziej odpowiadającym grupie momencie.

3. Dopływ informacji – dotyczących całego przedsiębiorstwa (sytuacja ekonomiczna, zamówienia, kooperacje, zmiany organizacji pracy) jak i pracy samej grupy (rozmiary produkcji, stopień wykonania planu, jakość produkcji), na ich podstawie grupa określa metody dalszej pracy.
4. System wynagrodzeń i budżet grupy – w tym przypadku nie można wydzielić systemów identycznych, najczęściej jednak stosuje się dwa sposoby wynagradzania (dzielenia wypracowanego funduszu płac): płace jednakowe, płace zróżnicowane. Płace jednakowe są stosowane tam, gdzie poziomy prac i kwalifikacji są wyrównane. Płace zróżnicowane stosuje się zależnie od liczby opanowanych operacji i czynności, co jest czynnikiem motywującym do podnoszenia kwalifikacji i zniesienia prac mniej lub bardziej płatnych do systemu płac równych sobie (system opracowany w Szwecji). Kryteriami różnicowania płac są: wspomniany poziom kwalifikacji oraz rodzaj pracy, uciążliwość, osiągane wyniki i zdyscyplinowanie pracownika. Ostatnio rośnie udział stałej części płac w wynagrodzeniu pracowników, maleje rozpiętość płac w grupach zaś premie są dzielone równomiernie, co sprzyja ich integracji. Często grupy autonomiczne otrzymują od kierownictwa przedsiębiorstwa własny budżet na środki bhp lub usprawnienia, co czyni je jeszcze bardziej samodzielnymi.
5. Wyodrębnienie terytorialne grupy – sprzyja integracji i stabilności grupy, która na swoich stanowiskach może utrzymywać czystość i porządek. Często stosowanym sposobem wyodrębniania terytorium grupy jest charakterystyczne ustawianie jej maszyn lub malowanie ich na kolory wybrane przez daną grupę.
6. Zaplecze socjalne grupy – osobne szatnie, natryski, pokoje wypoczynkowe, wydzielone pomieszczenia (np. fabryki „Volvo” – Göteborg specjalne, odrębne wejścia dla pracowników grup).

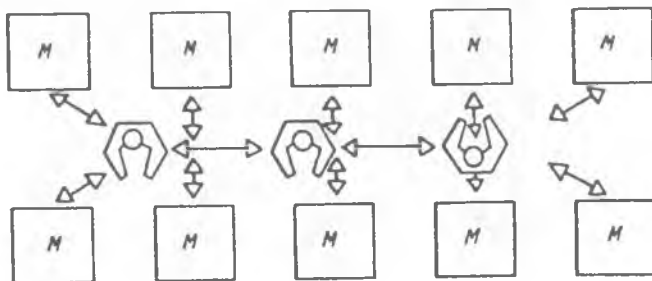
Tak przygotowane grupy mogą pracować przy różnych procesach wytwórczych w różnych systemach produkcyjnych. Cykl pracy w grupach opiera się głównie na procesie rozszerzania i wzbogacania zadań [53]. Odbywa się to poprzez zmniejszanie liczby stanowisk roboczych i zwiększanie liczby zadań na nich wykonywanych. Dochodzi tu do wykonywania całego detalu przez grupę autonomiczną, co sprzyja likwidacji taśmy produkcyjnej, wyspecjalizowanych

sekcji w ramach jednego procesu produkcyjnego i podziału na fazy produkcyjne. Następuje zintegrowanie czynności przygotowawczych, wykonawczych, kontrolnych i zakończytowych. Informacje o wynikach grupy, które w początkowym okresie mogą być niezbyt zachęcające, sprzyjają podnoszeniu jakości pracy i poszukiwaniu alternatywnych metod usprawnienia procesu produkcji wyrobu. W grupie zaczynają panować stosunki „klient – dostawca” tj. takie, w których osłabieniu ulega kontrola tego, co mówią koledzy i dlatego ma się chęć do rozwiązywania podnoszonych przez nich problemów. Bezpośrednia komunikacja wewnątrz grupy sprzyja jej integracji i zapobiega powstawaniu nieporozumień w takiej sytuacji np. grupa montująca ma bezpośredni wpływ na grupę wytwarzającą detale, dzięki czemu produkcja części jest bardziej dostosowana do zapotrzebowania na nie.

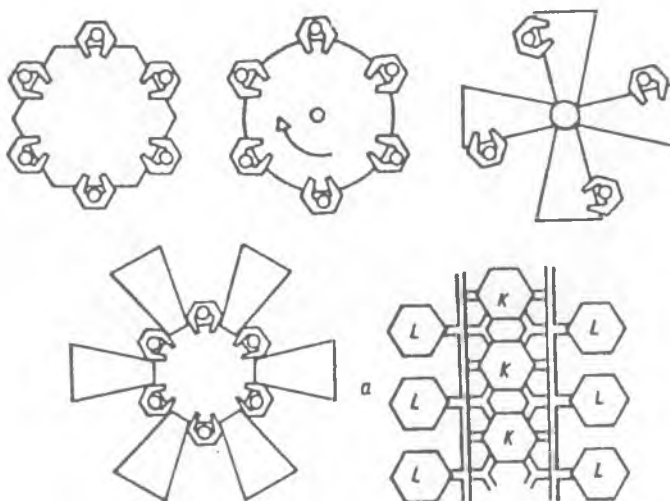
Dotychczasowe rozważania na temat grup autonomicznych nasuwają pytanie o możliwości wprowadzenia tej formy organizacji pracy w konkretnych warunkach produkcyjno-organizacyjnych określonych komórek produkcyjnych w przedsiębiorstwie. W literaturze przedmiotu spotkać można różne poglądy na temat przydatności grup autonomicznych w różnorodnych systemach produkcyjnych. Panuje w zasadzie zgodność, iż tylko w zautomatyzowanych liniach produkcyjnych nie ma możliwości zastosowania tej formy organizacji pracy. W pozostałych odmianach rytmicznej formy organizacji produkcji zalecane jest jej stosowanie, ale przede wszystkim dla nierytmicznej formy organizacji produkcji tzn. dla komórek przedmiotowych o obróbce grupowej i technologicznych gniazd produkcyjnych.

Oczywiście należy zaznaczyć, że grupy autonomiczne są formą organizacji pracy wysoce zindywidualizowaną i nie w każdych warunkach mogą przynosić pozytywne i pożądane rezultaty. Przykładem zastosowań grup autonomicznych (w praktyce firma „Volvo”) są rozwiązania przedstawione na rys. 8.21÷8.25, które to przypadki dotyczą następujących komórek produkcyjnych:

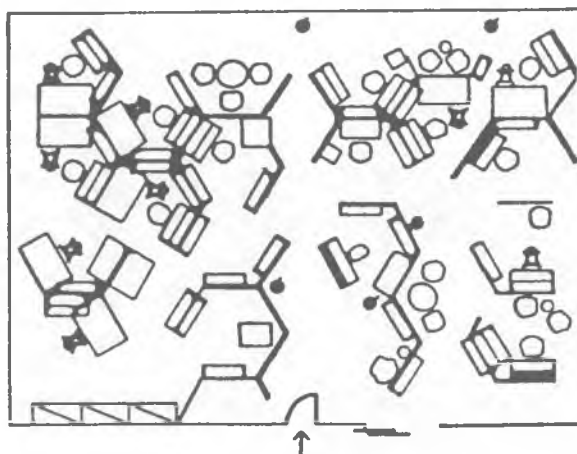
- 1) wydział gniazd technologicznych,
- 2) komórka pracy grupowej,
- 3) oddział i wydział grupowy,
- 4) linia.



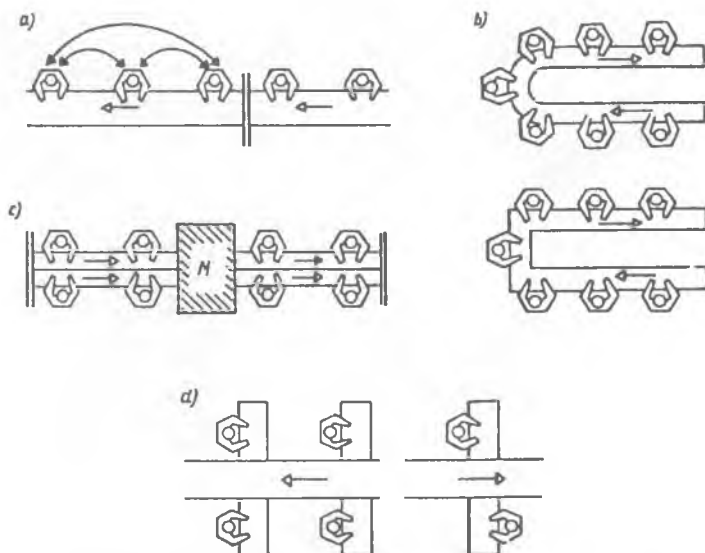
Rys.8.21. Zasada „kiosku” [71]. Pracownicy mogą zamieniać się miejscami i mają swobodny dostęp do kilku maszyn (M)



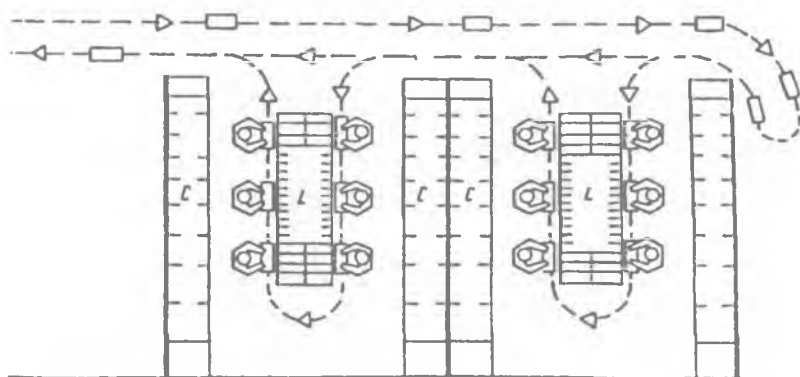
Rys. 8.22. „Wyspy” montażowe [71]. Pracownicy wysp mają swobodę zorganizowania sobie pracy we własnym zakresie, mogą np. wymieniać się miejscami, zbiorowo przygotowywać pracę itp. Po zakończeniu (a) montażu lekkiego (L) pracownicy przechodzą do montażu końcowego (K)



Rys. 8.23. Wydział pracy grupowej [71]. Składa się z wydzielonych odcinków pracy grupowej



Rys. 8.24. Różne formy pracy grupowej na linii potokowej [71]. a) odcinkowe zamianie się co kilka godzin stanowiskami, b) linie w kształcie litery U ułatwiają zamianę miejsc i wzajemny kontakt między pracownikami, c) linia podzielona na odcinki przedzielone magazynem (M), d) zamiana ustawienia stolików przy linii ułatwiająca, wzajemny kontakt między pracownikami



Rys. 8.25. Zatoka montażowa [71]. Części lekkie (L) przechowuje się na stołach rolkowych, elementy cięższe (C) w zasięgu dźwigu

Wydział gniazd technologicznych – jest rozwiązaniem zapewniającym rotację zajęć i umożliwiającym np. przechodzenie pracownika ze stanowiska na stanowisko razem z wykonywanym przez niego przedmiotem. Rozwiązanie to wymaga od pracownika wysokich kwalifikacji i opanowania dużej (różnej w zależności od rodzaju przedmiotu) liczby operacji.

Komórka pracy grupowej – inaczej odcinek – polega na skoncentrowaniu w jednym miejscu różnych urządzeń potrzebnych grupie; w tym przypadku stosuje się zasady: a) kiosków (samodzielne warsztaty z maszynami różnych typów rozmieszczonymi zgodnie z procesem produkcyjnym za pomocą metod alokacyjnych w celu skrócenia czasu dojście do potrzebnej maszyny) oraz: b) wysp (okrągłe lub sześciokątne stoły umożliwiające pracownikom dowolne zorganizowanie ich pracy).

Oddział i wydział grupowy – są kombinacjami wydzielonych, charakterystycznie przedzielonych hal produkcyjnych.

Linia – w tym przypadku stosuje się:

- zamiennność stanowisk roboczych w celu zapoznania się robotników z całością zadań realizowanych przez grupę;
- kształt litery „U” dla ułatwienia zmiany miejsc i wzajemnego kontaktu pracowników;
- przebrojenie linii pod kątem łączenia operacji i rozszerzenia jej taktu;

- d) odcinki pracy grupowej z magazynami wyrównawczymi zapewniającymi pracę z własną wydajnością;
- e) ustawienie stolików przy linii i wykonywanie na nich rozszerzonych prac. Przenośnik w tym przypadku ~ dostarcza części i odsyła wyroby. Każdy pracownik pracuje we własnym rytmie przy jednoczesnej łatwości porozumiewania się.
- f) „zatoki” – są połączeniem pracy przy przenośnikach z pracą wysp montażowych. Dzięki temu uzyskuje się dużą elastyczność produkcji, przy jednoczesnej możliwości stosowania różnorodnych wariantów organizacyjnych.

Tworzenie grup autonomicznych sprzyja skróceniu tradycyjnych linii montażowych, rozszerza stopień samodzielności grupy, zapewnia wysoką elastyczność tak powstałych zespołów pracowników w przypadku produkcji skomplikowanych wyrobów lub częstego wprowadzania zmian produkcji. Wzrasta wszechstronność pracowników (a przez to rosną możliwości ich wykorzystania przy minimalnych nakładach środków na ich szkolenie), następuje lepsze wykorzystanie czasu pracy, rośnie wydajność pracy, przy jednoczesnym spadku absencji. Zastosowanie pracy grupowej sprzyjać może między innymi: ekonomizacji i kooperacji wewnątrzwydziałowych, uproszczeniu planowania ogólnego (małe jednostki produkcyjne z wysoko wykwalifikowanymi specjalistami), uproszczeniu kontroli i nadzoru (występuje tu zjawisko samokontroli i autonadzoru pracowników i produkcji), łatwemu dokonywaniu usprawnień częściowym czynnościom naprawy urządzeń, następuje przekazanie kompetencji: kontroli, władzy i odpowiedzialności na niższy szczebel zarządzania itp.

Część III

Nowoczesne i przyszłościowe systemy produkcyjne

9. ELASTYCZNY SYSTEM PRODUKCYJNY

9.1. *Ogólna charakterystyka przedmiotu projektowania (ESP)*

9.1.1. Cechy elastycznych systemów produkcyjnych

W ostatnich latach dało się zaobserwować wiele zmian w organizacji systemów produkcyjnych, które zwiastują zupełnie nowe rozumienie nowoczesnego przedsiębiorstwa (nowoczesnego systemu produkcyjnego). Zmiany te, charakteryzujące rozwój systemów produkcyjnych, można wyodrębnić w dwie podstawowe grupy przesłanek stanowiących czynniki sprawcze następujących przekształceń. Pierwsza związana jest ze zmieniającymi się wymaganiami stawianymi przedsiębiorstwom przemysłowym przez rynek, a druga wynikająca z nowych możliwości technicznych i organizacyjnych pobudzanych szybkim postępem techniczno-organizacyjnym.

Przedsiębiorstwa są zatem zmuszane do przechodzenia od orientacji produkcyjnej do marketingowej, gdyż w sytuacji, gdy problemy ilościowe produkcji zostały rozwiązane, pojawiają się problemy sprzedaży. U podstaw takiego podejścia leży założenie, że żadne przedsiębiorstwo nie jest w stanie szybko reagować na zmiany w otoczeniu rynkowym, z powodu sztywnej (nieelastycznej) struktury produkcji i zarządzania. W związku z tym marketing, w swych skutkach oddziaływania, obejmuje nie tylko metody i formy sprzedaży, ale również proces produkcyjny.

Wobec tego nowocześnie zorganizowany proces produkcyjny powinien spełniać wymóg elastyczności wytwarzania, po to aby mógł reagować na:

- zmienność żądań rynkowych (krótkie serie i krótkie terminy),
- wdrażanie nowych uruchomień (innowacje produktowe i procesowe),
- zmienności wewnętrzne (stopień wykorzystania stanowisk roboczych i efektywność pracy).

Odpowiedzią na takie oczekiwania jest powstanie i rozwój elastycznych systemów produkcyjnych (ESP), które jak na razie, nawet w wysoko rozwiniętych krajach, pojawiają się jako „wyspy nowoczesności” na tle konwencjonalnych systemów produkcyjnych. Jeszcze przez wiele najbliższych lat utrzymywać się będzie duża różnica w poziomie nowoczesności przedsiębiorstw w różnych krajach, ale międzynarodowa konkurencja i podział pracy, doprowadzą do coraz szerszego stosowania ESP, również w krajowych przedsiębiorstwach przemysłowych. Warunki panujące aktualnie w przemyśle polskim są porównywalne pod wieloma względami, do tych które kilkanaście lat temu zmusiły gospodarki krajów zachodnich do wprowadzania pierwszych ESP. Dlatego również w naszej gospodarce panują warunki sprzyjające upowszechnianiu tej nowoczesnej formy organizacji systemów produkcyjnych, łatwo i elastycznie dostosowujących się do zmiennych wymagań rynkowych.

Mianem elastycznego systemu produkcyjnego, najogólniej rzecz ujmując, określa się najczęściej system produkcji, w którym zastosowano tzw. środki elastycznej automatyzacji produkcji, tj. urządzenia produkcyjne sterowane komputerowo, charakteryzujące się dużą wielostronnością i łatwością przezbierania. Elastyczność systemu produkcyjnego jest jedną z jego najistotniejszych cech osiąganych różnymi drogami; poczynając od ukształtowania asortymentu wyrobów, poprzez dobór maszyn i urządzeń produkcyjnych, strukturę organizacyjną, systemy sterowania produkcją, współpracę pracowników, aż do odpowiedniego ukształtowania powiązań ESP z otoczeniem.

Elastyczny system produkcyjny łączy w sposób skuteczny dwie przeciwstawne właściwości systemów produkcyjnych:

- 1) wysoką wydajność; taką jak w automatycznych liniach produkcyjnych (w systemie rytmicznej produkcji),
- 2) różnorodność asortymentu produkcji; taką jak w gniazdach technologicznych (w systemie nierytmicznej produkcji).

Dlatego ESP pozwala na wypełnienie luki pomiędzy wysoko wyspecjalizowanymi KP o sztywnej automatyzacji produkcji, a KP o dużym stopniu uniwersalizacji produkcji, dzięki elastycznej automatyzacji.

Niezaprzeczalnie najważniejszą cechą ESP jest *elastyczność*, polegająca na zdolności dostosowywania, do zmieniających się warunków i zadań produkcyjnych. Elastyczność wytwarzania choć rozumiana jest różnie i niejednoznacznie, najczęściej uważana jest za czynnik implikujący najnowocześniejsze rozwiązania produkcyjno-organizacyjne.

Typowe rodzaje elastyczności charakterystyczne dla elastycznych systemów produkcyjnych to [67]:

1. *Elastyczność maszyn*. Określa ona podatność maszyn systemu, na przeprowadzenie niezbędnych zmian, przy produkcji rodziny typów części, dla której system był oryginalnie zaprojektowany. Miarą takich zmian może być czas wymiany zużytego lub uszkodzonego narzędzia, czas przygotowania produkcji na danej obrabiarce itp.
2. *Elastyczność asortymentu produkcji*. Jest to zdolność do szybkiego i ekonomicznego przejścia do produkcji nowego typu wyrobów. Jako miarę tej elastyczności można przyjąć czas konieczny dla przejścia od produkcji jednej rodziny wyrobów do innej.
3. *Elastyczność wielkości produkcji*. Jest to zdolność systemu do rentownej produkcji przy różnych wielkościach produkcji. Miarą tej elastyczności może być najmniejsza wielkość produkcji dla wszystkich typów wyrobów, przy której system jest jeszcze rentowny.
4. *Elastyczność procesu technologicznego*. Jest to zdolność do produkowania danego zbioru typów części różnymi sposobami i przy użyciu różnych materiałów. Elastyczność procesu wzrasta, gdy koszty przygotowania produkcji na każdej obrabiarce maleją. Miarą elastyczności może być liczba typów części, które mogą być jednocześnie wytwarzane w sposób jednostkowy. Elastyczność tę uzyskuje się dzięki elastyczności maszyn oraz stosowaniu wielozadaniowych komputerowo sterowanych gniazd obróbkowych.
5. *Elastyczność marszrut technologicznych*. Jest to zdolność systemu do kontynuowania produkcji danego zbioru typów części w warunkach występowania awarii. Pod pojęciem *marszrut* rozumiemy ciąg maszyn, przez

które przechodzi kolejno dany typ części w procesie wytwórczym. Elastyczność marszrut istnieje wtedy, gdy dany typ części można produkować wykorzystując różne marszruty przepływu przez system lub gdy operację tego samego typu można wykonywać na wielu obrabiarkach. Można mieć do czynienia z elastycznością marszrut:

- potencjalną, gdy marszruty są z góry ustalone, a w przypadku awarii są one automatycznie korygowane,
- faktyczną, gdy części tego samego typu są wytwarzane przy różnych marszrutach niezależnie od sytuacji awaryjnych.

Elastyczność marszrut jest miarą odporności systemu na awarie, w przypadku których przy dużej elastyczności wydajność nie spada, a proces jest kontynuowany. Elastyczność marszrut osiąga się poprzez automatyzację korekt marszrut, agregowanie maszyn w grupy lub dublowanie przydziałów operacji do maszyn. Można przyjąć następującą miarę elastyczności marszrut:

$$EM = (\text{liczba wszystkich marszrut/liczba typów części}) - 1.$$

Jeżeli dla każdego typu części istnieje tylko jedna ustalona marszruta przepływu przez system, to elastyczność marszrut EM wynosi zero (przypadek taki występuje w konwencjonalnych systemach produkcyjnych). Dodatnia wartość EM wskazuje na możliwość wykorzystania alternatywnych marszrut przepływu części przez system.

6. **Elastyczność rozwoju systemu.** Jest to zdolność systemu do łatwej i modularnej rozbudowy i rozwoju w miarę potrzeb. Elastyczność rozwoju osiąga się poprzez:

- rozmieszczenie urządzeń tak, aby nie były przeznaczone dla jednego specyficznego procesu,
- stosowanie elastycznego systemu transportu,
- stosowanie modularnych, elastycznych gniazd obróbkowych ze zmieniającymi palet,
- elastyczność marszrut technologicznych.

7. **Elastyczność ograniczeń kolejnościowych.** Jest to zdolność do zmiany kolejności wykonywania pewnych operacji dla każdego typu części. Elastyczność tę można osiągnąć poprzez planowanie procesu technologicznego tak, aby pozostawić swobodę wyboru marszrut i nie ustalać z góry następnej operacji lub następnej maszyny. Decyzje te podejmuje się w czasie rzeczywistym w zależności od aktualnego stanu systemu.
8. **Elastyczność wielkości personelu.** Jest to zdolność do prowadzenia procesu produkcyjnego ze zmienną liczbą operatorów. System ma wysoką elastyczność personelu, gdy jest zdolny kontynuować pracę w nocy przy dużo mniejszej obsłudze niż w ciągu dnia.
9. **Elastyczność produkcji.** Określa ogół typów części, które ESP może produkować. Elastyczność produkcji mierzona jest poziomem nowoczesności istniejącej technologii. Jest ona tym wyższa, im nowocześniejsza jest zastosowana technologia oraz im większa jest uniwersalność obrabiarek. Dla elastyczności produkcji wymagane są wszystkie dotychczas wymienione typy elastyczności.

Analiza, przedstawionych powyżej rodzajów elastyczności w ESP pozwala dodatkowo wyróżnić dwa *poziomy* elastyczności:

- elastyczność na poziomie maszyny
- elastyczność na poziomie zarządzania systemem.

Innymi słowy, elastyczność w ESP można osiągnąć na poziomie maszyny oraz na poziomie zarządzania systemem.

Przy projektowaniu elastycznych systemów produkcyjnych należy pamiętać, że nie jest trudno poprawić elastyczność systemu, zbudować nowy, bardziej elastyczny. Najtrudniej zaprojektować system zarówno elastyczny jak i wydajny. Elastyczność wiąże się jednak z ogromnymi kosztami, dlatego też dobrze zaprojektowany system powinien być na tyle elastyczny, na ile jest to absolutnie niezbędne.

Drugą po elastyczności cechą wyróżniającą ESP, jest **automatyzacja** produkcji oznaczająca w ogólnym rozumieniu, zastąpienie człowieka przez maszyny i urządzenia nie tylko w sferze działalności fizycznej, ale także w pracy

umysłowej. W klasycznym ujęciu dotyczyła ona produkcji masowej¹, a w kolejnych fazach rozwojowych automatyzacji procesu produkcyjnego obejmowała: wytwarzanie, transport, kontrolę, konserwację i magazynowanie. To spowodowało, że tradycyjnie pojmowana automatyzacja zaczęła nabierać cech elastycznej automatyzacji produkcji, którą osiągnęła w wyniku zintegrowania systemu produkcyjnego tak, aby funkcjonował wykorzystując w pełni sterowanie komputerowe. Rozwojowi elastycznej automatyzacji produkcji sprzyjał więc nie tylko postęp techniczny, w zakresie nowych technologii i nowych urządzeń produkcyjnych, ale przyczynił się także w nie mniejszym stopniu, postęp w zakresie środków i metod informatycznych.

Właśnie rozwój środków sterowania numerycznego i komputerowego umożliwił oraz stworzył konieczność integracji systemów produkcyjnych.

Integracja będąca trzecią ważną cechą we własnościach ESP, realizowana jest poprzez podsystemy przepływu strumieni materiałowo-energetycznych i informacyjnych. Jest ona rozumiana w dwu aspektach, jako integracja techniczna i funkcjonalna.

Integracja techniczna oznacza fizyczne zespolenie elementów systemu produkcyjnego, wyznaczające określony poziom techniczny i przestrzenny elementów materialnych systemu. Natomiast **integracja funkcjonalna** polega na włączeniu do danego systemu niezbędnych procesów tak, aby system obejmował większy zakres funkcji i procesów, a w rezultacie integracji odznaczał się większą autonomią. Zwróćmy uwagę, że omówione ostatnie dwie cechy ESP, działają niejako we wspólnym kierunku tzn. wzrost stopnia automatyzacji powoduje wzrost stopnia integracji i odwrotnie. Są więc to cechy i własności komplementarne.

Należy również podkreślić, że integracja systemów produkcyjnych zmierza w kierunku powstania zintegrowanej komputerowo fabryki w kierunku powstania zintegrowanej opartej na komputerowo zintegrowanym wytwarzaniu. Według tej koncepcji – fabryki przyszłości – wszystkie funkcje przedsiębiorstwa będą realizowane przez komputery lub maszyny i urządzenia przez nie nadzorowane i wspomagane.

¹ W określonych warunkach produkcja konwencjonalna nadal zachowuje swoje dominując w przemyśle znaczenie i charakteryzuje się równie wysoką efektywnością ekonomiczną. Chodzi tutaj o automatyczne linie produkcyjne i tzw. automatyzację sztywną.

9.1.2. Formy elastycznej organizacji produkcji.

Wysokie wymagania gospodarki rynkowej zmuszają do produkowania szerokiego asortymentu wyrobów, dostosowanego do wymagań indywidualnych klientów, w seriach o niewielkiej liczebności, co spowodowało ogromny wzrost udziału wyrobów wytwarzanych w warunkach produkcji mało- i średnioseryjnej. Określiło to jednocześnie potrzebę zmiany spojrzenia na klasyczne podejście („taylorizm” – od nazwiska jednego z twórców naukowej organizacji pracy F.W. Taylora), w organizacji procesów produkcyjnych. Analizując historyczne zmiany zauważamy, odejście od tendencji specjalizacji, do tendencji uniwersalizacji oraz rozwoju automatyzacji i wzrostu elastyczności produkcji. Porównania charakterystycznych cech obu podstawowych tendencji przedstawiono w tabeli 9.1.

Ewolucja własności i nowych cech systemów produkcyjnych doprowadzała w kolejnych latach, do ukształtowania się następujących form elastycznej organizacji produkcji:

- elastyczny moduł produkcyjny,
 - elastyczne gniazdo produkcyjne, elastyczna linia produkcyjna,
 - elastyczna sieć produkcyjna (nazywana także elastycznym wydziałem produkcyjnym).
1. **Elastyczny moduł produkcyjny.** Składa się z jednej obrabiarki ogólnego przeznaczenia sterowanej numerycznie przez komputer (CNA), bufora półfabrykatów i obrabianych detali oraz zmieniacza narzędzi i palet (np. robota). Jest nim zwykle autonomiczne stanowisko obróbkowe (ASO) – samodzielna jednostka wytwórcza, która może pracować bez nadzoru człowieka i zasilania zewnętrznego w materiały przez dłuższy okres czasu. Przystosowany jest on do wbudowania w elastyczne systemy produkcyjne wyższych stopni.
 2. **Elastyczne gniazdo produkcyjne.** Składa się z kilku modułów produkcyjnych związanych z pewnym typem wyrobu lub procesu technologicznego, zintegrowanych wzajemnie przez transport, magazynowanie i wspólne sterowanie komputerowe (najczęściej mikrokomputerem).

Tabela 9.1. Odwrócenie podstawowych tendencji w organizacji produkcji [42]

Era taylorizmu	Era elastyczności
specjalizacja pracowników	wielostronność pracowników
ustalone metody pracy	samodzielny dobór metod pracy
zarządzanie dyrektywne	zarządzanie partycypatywne
struktury liniowe	struktury zadaniowe
ścisły nadzór centralizm decyzyjny	samokontrola, autonomia
motywacje materialne negatywne	motywacje intelektualne, pozytywne
orientacja na procesy	orientacja na wyniki
orientacja na cele cząstkowe	orientacja na cele ogólne
dominacja wysiłku fizycznego	dominacja intelektu ekonomia
ekonomia skali	różnorodności sieci samodzielnych
duże korporacje	jednostek
potokowe linie produkcyjne	linie i gniazda elastyczne
produkcja na zapas	produkcja na zamówienie
przebieg szeregowy prac	przebieg szeregowo-równoległy
rozdzielenie przepływów materiałowych i informacyjnych	integracja przepływów materiałowych i informacyjnych
minimalizacja cykli operacji	minimalizacja cykli zamówień
maksymalizacja wydajności	maksymalizacja produktywności
produkcja w partiach	produkcja jednostkowa
proste zadania i operacje	zadania i operacje złożone
niskie znaczenie pracy	dominujące znaczenie pracy
typowe wyroby	różnorodne wyroby (typowe elementy)
orientacja na koszty cząstkowe	orientacja na koszty łączne
wysoka powtarzalność	niska powtarzalność
zmiany kosztowne	zmiany bez dodatkowych nakładów
długie cykle	krótkie cykle

3. *Elastyczna linia produkcyjna*. Zbiór specjalistycznych maszyn rozmieszczonych w ustalonym porządku, w którym każda operacja może być wykonana na jednej tylko maszynie. Pracuje podobnie jak automatyczna linia produkcyjna (system rytmicznej produkcji), w odróżnieniu od której cha-

rakteryzuje się dużą zdolnością do częstych i szybkich przebrojeń. Stanowi to właśnie o jej elastyczności.

4. **Elastyczna sieć produkcyjna.** Jest to najbardziej złożona forma elastycznego systemu produkcyjnego, najczęściej na poziomie wydziału produkcyjnego. Składa się z kilku wzajemnie powiązanych modułów, gniazd i linii, umożliwiających najczęściej pełną realizację procesu produkcyjnego określonego asortymentu wyrobów.

Przedstawiony powyżej sposób definiowania i pojmowania nowych form organizacji produkcji obejmuje obszar, który w literaturze przedmiotu określany jest wspólnym hasłem (choć najczęściej mając na uwadze problematykę obejmującą złożony system, a więc elastyczną sieć produkcyjną) – elastyczny system produkcyjny. Nazwę tę wprowadziła (ang. *Flexible Manufacturing System – FMS*) północnoamerykańska firma Kearney and Trecker i na ogół odnosiła się ona do systemów obróbki mechanicznej. Jednakże z upływem lat pojawiać się zaczęły elastyczne systemy montażowe, w skrócie FAS (ang. *Flexible Assembly System*), których zastosowania praktyczne są na poziomie elastycznych gniazd montażu i stanowią stosunkowo niewielki procent, pracujących w przemyśle światowym, elastycznych systemów produkcyjnych.

W większości istniejących systemów produkcyjnych istnieją duże rezerwy wzrostu efektywności produkcji, które mogą być uruchamiane przez poszukiwanie zmian w strukturze i organizacji procesu produkcyjnego, oraz takie – w silniejszych ekonomicznie przedsiębiorstwach – poprzez wdrażanie, mniej nadzieję i w polskich przedsiębiorstwach, omówionych powyżej form elastycznej organizacji produkcji, a może w dalszej przyszłości komputerowo zintegrowanych systemów wytwarzania (ang. *Computer Integrated Manufacturing – CIM*)

9.1.3. Budowa ESP

Głównym celem działalności wszelkich systemów produkcyjnych jest realizacja określonych procesów produkcyjnych w systemie tworzącym określoną strukturę. ESP traktować możemy, tak jak każdy z systemów produkcyjnych, jako konfigurację elementów składowych w odniesieniu do:

- 1) podobieństwa realizowanych przez nie funkcji (tworzących podsystemy funkcjonalne);

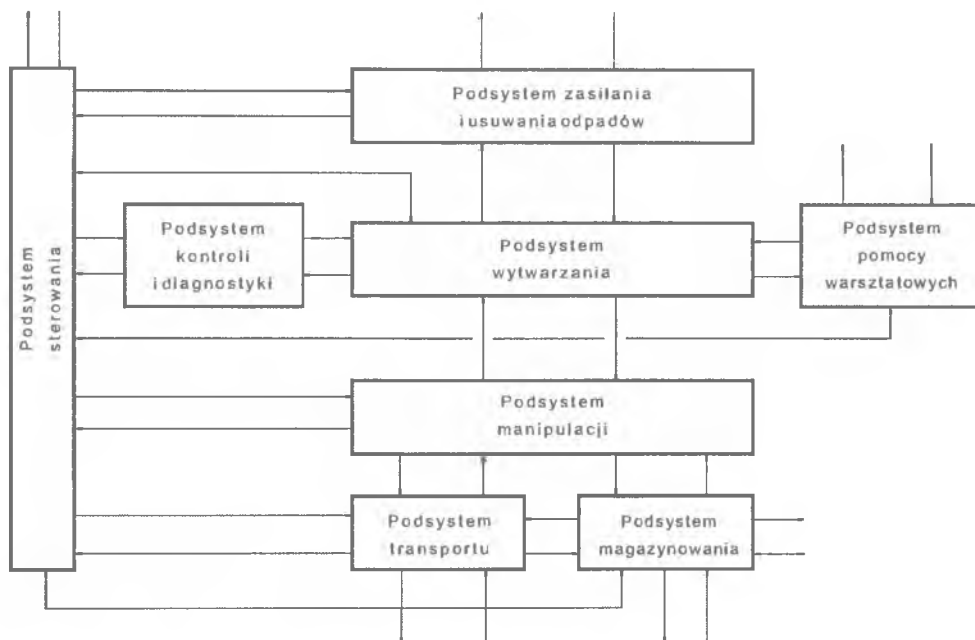
- 2) rodzajów maszyn i urządzeń (tworzących park maszynowy i zbiory urządzeń towarzyszących);
- 3) przepływu określonych strumieni – zasileń (materiałowych, informacyjnych i energetycznych).

W pierwszej płaszczyźnie dekompozycji ESP wyróżniamy następujące podsystemy funkcjonalne (zob. rys. 9.1) [42]:

- *podsystem wytwarzania*; obejmuje stanowiska robocze: obróbkowe, przygotowawcze, pomocnicze i kontroli,
- *podsystem transportu*; urządzenia i środki techniczne potrzebne do przemieszczania przedmiotów pracy a także palet, narzędzi i in.,
- *podsystem magazynowania*; urządzenia i środki techniczne dla przechowywania półfabrykatów, zapasów produkcji w toku, palet, narzędzi i in.,
- *podsystem manipulacji*; urządzenia i środki techniczne umożliwiające przekazywanie przedmiotów pracy, palet i narzędzi pomiędzy podsystemami: wytwarzania, transportu, magazynowania,
- *podsystem pomocy warsztatowych*; zbiór narzędzi: skrawających, pomiarowych i kontrolnych oraz palet i uchwytów stosowanych w systemie produkcyjnym,
- *podsystemy zasilania i usuwania odpadów*; urządzenia i środki techniczne realizujące zasilenie systemu w materiały pomocnicze, energię oraz usuwające odpady poprodukcyjne,
- *podsystem sterowania*; urządzenia i środki techniczne zapewniające sprawne współdziałanie wszystkich podsystemów funkcjonalnych a także sterowanie techniczne elementami podsystemów i systemem,
- *podsystem kontroli diagnostyki*; urządzenia i środki techniczne dla pomiarów i zapewnienia jakości produkowanych wyrobów oraz niezawodności środków produkcji.

W drugiej płaszczyźnie podziału, identyfikującej rodzaje maszyn i urządzeń, w poszczególnych podsystemach ogólnej konfiguracji ESP, wyróżniamy [42]:

- *maszyny i urządzenia produkcyjne*; obrabiarki numerycznie sterowane (uniwersalne lub specjalistyczne z automatyczną wymianą narzędzi i stałym lub wymiennym magazynkiem np. centra obróbkowe CNC), oraz maszyny pomiarowe CNA,



Rys. 9.1. Podsystemy funkcjonalne ESP [42]

- **urządzenia transportowe**; roboty przemysłowe, wózki kierowane automatycznie radiowo, przewodowo, szynowo, itp., (ang *AGV – Automated Guided Vehicle*), transportery, przenośniki karuzelowe, zmieniacze palet, suwnice i układnice regałowe,
- **magazyny**; zautomatyzowany magazyn centralny (ang. *AS/RS – Automated Storage Retrieval System*), magazyny lokalne, bufory międzyoperacyjne przy obrabiarkach,
- **sieci komputerów i mikroprocesorów**; realizujących m.in.: kierowanie marszrutami przepływu części przez system, śledzenie stanu wykonania wytwarzanych części, przekazywanie instrukcji wykonania poszczególnych operacji, nadzorowanie prawidłowości wykonania operacji i sygnalizowanie zdarzeń wymagających interwencji.

Według trzeciego przekroju dekompozycji ESP, system traktujemy jako zbiór podsystemów związanych z przepływem określonych rodzajów strumieni (zasilen), wyróżniamy [42]:

- *podsystemy przepływu strumieni materiałowych*; w tym przedmiotów pracy, pomocy warsztatowych, materiałów pomocniczych, odpadów i in.,
- *podsystemy przepływu strumieni energetycznych*; w tym: energii elektrycznej, sprężonego powietrza, oleju hydraulicznego i in.,
- *podsystemy przepływu strumieni informacyjnych*; w tym: podsystem sterowania, podsystem kontroli i diagnostyki.

Powyższy podział elastycznego systemu produkcyjnego² na podsystemy, dekomponował pewną całość, jaką jest każdy system produkcyjny (o określonym składzie – zasoby fizyczne i ludzie), który zawsze musi posiadać określoną *strukturę przestrzenną* (zob. cz. I). W przypadku ESP najważniejszym czynnikiem określającym tę strukturę jest przepływ strumienia materiałów (produkowanych wyrobów), gdzie ze względu na sposób realizacji tego przepływu wydziela się następujące typy struktur systemów (zob. rys. 9.2) [42]:

- 1) brak powiązań stanowisk produkcyjnych,
- 2) systemy o bezpośrednich powiązaniach stanowisk,
- 3) systemy o pośrednich powiązaniach stanowisk z magazynem centralnym.

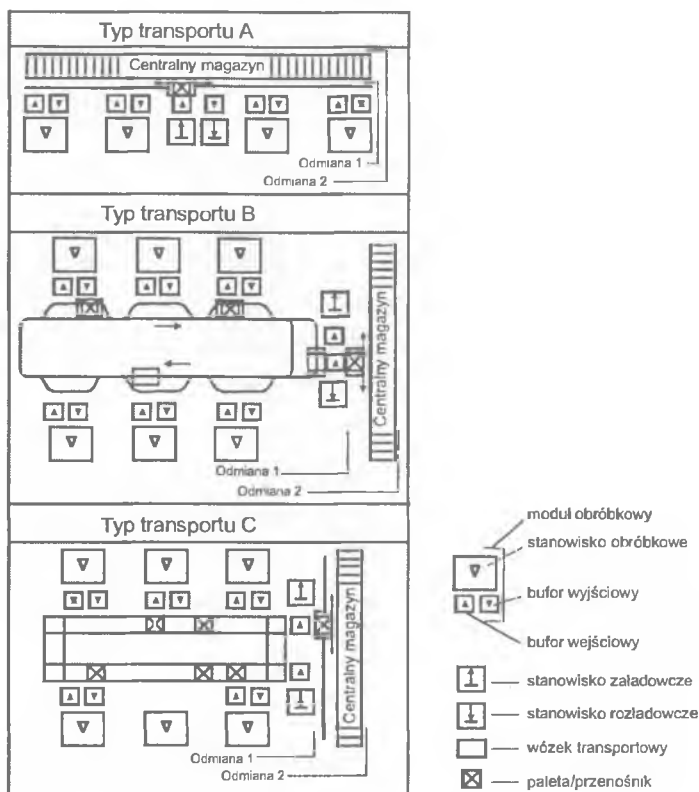
W sytuacji braku powiązań między stanowiskami (przypadek 1) w systemie produkcyjnym, obróbka wyrobów skoncentrowana jest na jednym stanowisku produkcyjnym. Każde takie stanowisko oczywiście może realizować obróbkę wielu zmieniających się wyrobów. Zależy to od jego zakresu możliwości technologicznych, np. jednostanowiskowe ESP to:

- centra obróbkowe (w tym także spaletyzowane),
- autonomiczne centra obróbkowe (ASO).

Zbiory takich jednostanowiskowych systemów mogą tworzyć elastyczne systemy produkcyjne wyższych stopni (elastyczne moduły produkcyjne).

² Szeroki wachlarz praktycznych rozwiązań poszczególnych podsystemów i przykłady pracujących ESP (o wszystkich formach organizacyjnych) w światowym przemyśle, znajdzie czytelnik w pracach [66], [68].

W drugim przypadku tj. systemów o bezpośrednich powiązaniach stanowisk napotykamy systemy o: strukturze liniowej i strukturze gniazdowej, z transportem związanym ze stanowiskami produkcyjnymi bądź z centralnym systemem transportu (typ A1, B1, C1 – rys. 9.2). Wytwarzane tam wyroby najczęściej magazynowane są w magazynkach przystanowiskowych lub na środku transportu (przenośniku).



Rys. 9.2. Podstawowe konfiguracje przestrzenne ESP o bezpośrednich i pośrednich powiązaniach stanowisk [42]

Do systemów o bezpośrednich powiązaniach stanowisk zaliczamy:

- elastyczne linie produkcyjne; stanowiska są tutaj rozmieszczone zgodnie z kolejnością marszruty technologicznej, a elastyczność linii wynika z łatwości przeobrażania dla różnych wyrobów oraz łatwości programowania przebiegu

obróbki i możliwości rozbudowy linii, przy zachowaniu istniejących obrabiarek (NC, CNC) i dróg przepływu materiałów,

- elastyczne gniazda produkcyjne; stanowiska są tutaj również powiązane ze sobą bezpośrednio, lecz występuje nieukierunkowany (pomijanie stanowisk, nawroty) przepływ strumienia materiałów oraz asortyment produkowanych wyrobów jest szerszy, niż w linii a stanowiska produkcyjne mogą być specjalizowane lub technologicznie zamienne.

W systemach o pośrednich powiązaniach stanowisk, przepływ strumienia produkowanych wyrobów realizowany jest poprzez centralny magazyn produkcyjny³ typ A2, B2, C2 – rys. 9.2), który może być: statyczny lub dynamiczny oraz wewnętrzny lub zewnętrzny. Magazyn statyczny to zwykle regał wysokiego składowania obsługiwany przez układarkę regałową i sterowany przez komputer. Magazyn dynamiczny stanowi najczęściej przenośnik (podwieszony, podłogowy), na którym składowane są wyroby przed i po obróbce. Magazyn wewnętrzny usytuowany jest wewnątrz systemu produkcyjnego, magazyn zewnętrzny na skraju lub poza systemem. W tym ostatnim przypadku konieczny jest wydzielony podsystem transportu łączący magazyn ze stanowiskami.

Struktura przestrzenna oraz podsystemy funkcjonalne ESP wyznaczają problemy występujące w poszczególnych obszarach zagadnień projektowych i stanowią punkty wyjściowe dla wyboru metod i modeli rozwiązywania zagadnień optymalizacyjnych, wchodzących w zakres przygotowania i organizacji elastycznych systemów produkcyjnych.

9.2. Metodyka projektowania technologiczno-organizacyjnego ESP

9.2.1. Charakterystyka procesu projektowania ESP

Elastyczne systemy produkcyjne to „nowa jakość” wśród systemów produkcyjnych, więc znajomość tych zagadnień wydaje się być niezbędnym ele-

³ Szczegóły opisu działalności i funkcji rozdziału zadań centralnego magazynu można odnaleźć w pracy [66].

mentem wiedzy współczesnego projektanta-organizatora produkcji. Projektowanie ESP jest problemem złożonym i procesem iteracyjnym, gdzie dochodzenie do rozwiązań optymalnych – poprzez kolejne powtórzenia – wymaga często wielokrotnego oceniania otrzymywanych wariantów i podejmowania decyzji, co do wyboru ostatecznych rozwiązań projektowych. Ostatnie lata, w związku ze wzrostem liczby zainstalowanych ESP i prognozami dalszych wdrożeń, przyniosły wzrost zainteresowania poszukiwania ogólnych metod projektowania.

Przedmiotem projektowania technologiczno-organizacyjnego każdego systemu produkcyjnego jest kształtowanie przebiegu procesów produkcyjnych (podstawowych i pomocniczych) oraz związanych z nimi procesów informacyjno-decyzyjnych w przestrzeni i w czasie, dobór urządzeń umożliwiających realizację procesów, co do rodzaju i liczby oraz ustalenia między nimi powiązań tak, by osiągnięte zostały cele projektowe przy spełnieniu założonych warunków organizacyjnych [66]. Dlatego metodyka projektowania technologiczno-organizacyjnego ESP, w porównaniu z metodykami projektowania konwencjonalnych systemów produkcyjnych (rytmicznej i nierytmicznej produkcji), wymaga stosowania wspomaganie komputerowego. Wykorzystywane tutaj modele i metody projektowe uwzględniają dużą dynamikę⁴ funkcjonowania ESP, wynikającą z następujących powodów:

- szerokiego i często zmieniającego się asortymentu wyrobów,
- konieczności rozpatrywania wielu wariantów projektu,
- złożoności rozwiązań projektowych, będącej wynikiem m.in. integracji systemu,
- potencjalnych ograniczeń i in.

Cały proces projektowania ESP może być podzielony na dwie fazy: wstępną i właściwą oraz na następujące etapy [42]:

- określenie zadań produkcyjnych i sposobu ich realizacji,
- projektowanie wariantów realizacji zadań systemu,
- identyfikacja i projektowanie podsystemów funkcjonalnych ESP,

⁴ W konwencjonalnych systemach produkcyjnych realizowane tam procesy produkcyjne mają charakter stacjonarny (w przeciwieństwie do ESP) i mogą być w długim horyzoncie czasowym traktowane statycznie (szczególnie systemy rytmicznej produkcji).

- projektowanie elementów wejścia, wyjścia, obsługi i eksploatacji ESP,
- projektowanie sterowania systemem produkcyjnym.

W odniesieniu do fazy wstępnej wyróżniamy sformułowania projektowe obejmujące określenie:

- zadań produkcyjnych, czyli asortymentu i programów produkcyjnych wyrobów,
- wymagań dotyczących zdolności produkcyjnych systemu,
- typu struktury systemu produkcyjnego,
- ograniczeń i innych wymogów projektowych.

Faza wstępna ma charakter ogólny i jest wykonywana zawsze, przy czym jej treść zależy od typu i przeznaczenia projektowego ESP.

Treść fazy właściwej jest specyficzna dla systemów produkcyjnych określonego typu. W przypadku ESP obejmuje ona następujące etapy:

- opracowanie wariantów wstępnych systemu i wybór wariantu do realizacji,
- projektowanie struktury systemu i projektowanie wstępne wyodrębnionych podsystemów funkcjonalnych,
- projektowanie szczegółowe.

W każdym z wymienionych etapów metodyki projektowania ESP rozwiązywanych jest szereg zadań projektowych odnoszących się do podsystemów (zob. rys. 9.1 i p. 9.1.3) w zdekomponowanym ESP. Wśród wyróżnionych podsystemów kluczową rolę pełni podsystem przepływu strumieni materiałowych w ESP, obejmujący następujące systemy funkcjonalne:

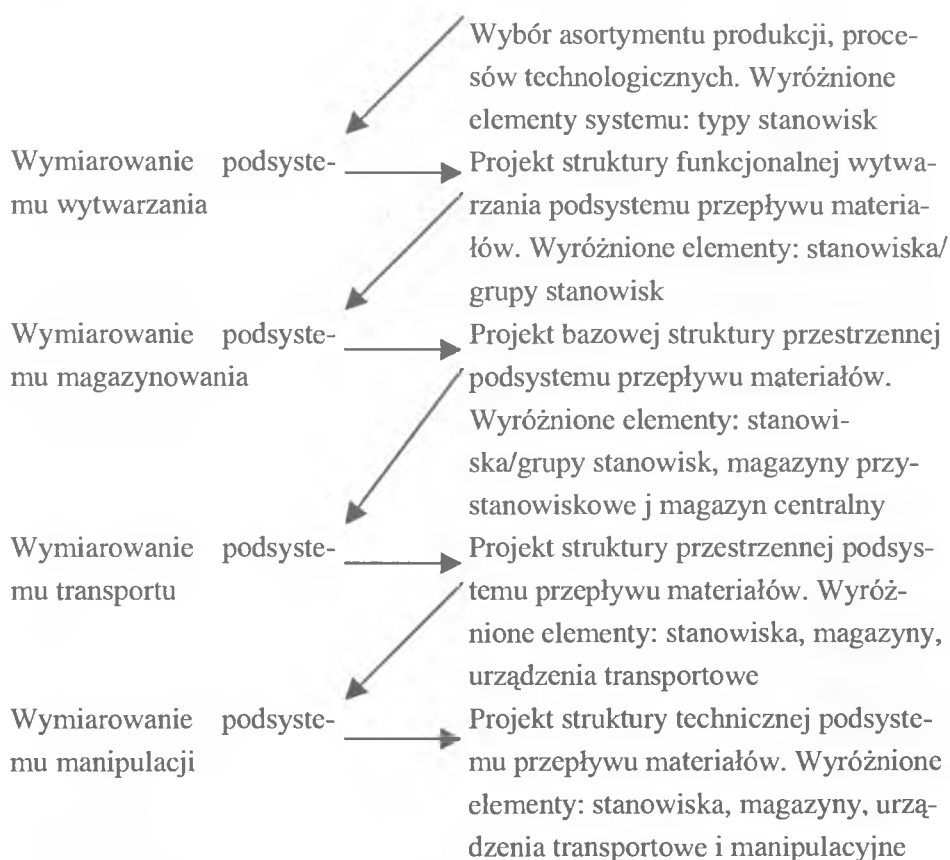
- podsystem wytwarzania,
- podsystem magazynowania,
- podsystem transportu i manipulacji.

Projektowanie podsystemu przepływu materiałów, jak wcześniej wzmiankowano, jest również procesem iteracyjnym i na jego przykładzie (zob. rys. 9.3) wyjaśnione zostaną metodyczne aspekty projektowania ESP.

9.2.2. Projektowanie podsystemu wytwarzania

Każda ze znanych metodyk projektowania ESP, podsystem wytwarzania traktuje jako główny obszar projektowy wśród podsystemów funkcjonalnych, determinujący niejako pozostałe problemy i rozwiązania oraz ostateczny (cało-

ściowy) obraz zaprojektowanego ESP. Natomiast głównym czynnikiem określającym sposób projektowania podsystemu wytwarzania i pozostałych oraz budowę ESP, jest oczywiście asortyment produkowanych (planowanych do produkcji) wyrobów. Wiadomo, że ESP projektowane i budowane są dla określonych klas wyrobów tj. np. do obróbki części obrotowych, korpusów, kół zębatach (FZ-200 w Hucie Stalowa Wola) itp.



Rys. 9.3. Schemat procesu projektowania podsystemu przepływu strumieni materiałów w ESP [42]

Niemniej bez względu na klasę i typoszereg wyrobów (detali), dla których projektujemy ESP, tok postępowania przy doborze zbioru detali składa się z następujących kroków:

- 1) ustalenia założeń wstępnych,
- 2) wstępny dobór detali, wydzielenie grup detali,
- 3) zebranie dodatkowych informacji o wybranych detalach (aktualne procesy technologiczne, koszty produkcji),
- 4) oszacowanie kosztów produkcji każdego detalu w ESP,
- 5) ustalenie typów maszyn niezbędnych do produkcji każdego wydzielonego zbioru detali, określenie kosztów zakupu maszyn,
- 6) dobór detali o największej przewidywanej obniżce kosztów produkcji i obciążenie nimi wybranych typów maszyn,
- 7) ocena wskaźników efektywności ekonomicznej wariantu,
- 8) wybór innego zestawu maszyn, ocena efektywności nowego wariantu,
- 9) powtarzać kroki: 6, 7, 8 aż do znalezienia wariantu o największej efektywności oraz spełniającego zbiór wymagań i ograniczeń.

Bardzo przydatnym narzędziem określenia, wstępnego doboru detali do produkcji w projektowanym ESP, jest powszechnie znany w kraju Jednolity Klasyfikator Konstrukcyjno-Technologiczny Przedmiotów Produkcji – JKKTPP, choć nie zawsze wystarczającym. W szczególnych przypadkach należy stosować celowo tworzone klasyfikatory specjalizowane, na bazie klasyfikatorów uniwersalnych.

Przedstawione powyżej kroki postępowania mają na celu efektywne skojarzenie zbioru detali – potencjalnych kandydatów do produkcji w ESP – ze zbiorem maszyn możliwych do zastosowania w projektowanym ESP. Kojarzenie to jest realizowane z punktu widzenia zgodności charakterystyk konstrukcyjnych detali z możliwościami technologicznymi maszyn (zob. tab. 9.2), gdzie wynikiem jest zbiór lub szereg zbiorów przedmiotów (detali) wraz z przypisanymi im wariantowymi zestawami maszyn.

W dalszej kolejności dla utworzonych zbiorów opracowywane są procesy technologiczne przy uwzględnieniu kryteriów technologicznych i z zastosowaniem programów komputerowych⁵. Wiąże się to także z opracowaniem, już w tym stadium projektowania, procesów technologicznych (wariantowo), którymi

⁵ Np. FLEXPLAN – system dla ESP do obróbki części korpusowych, opracowany w Instytucie Organizacji Systemów Produkcyjnych Politechniki Warszawskiej.

można się posiłkować przy wyznaczaniu liczby maszyn (elementów podsystemu wytwarzania) metodami symulacyjnymi lub metodami sieci masowej obsługi (zob. ust. 9.3).

Tabela 9.2. Kryteria kojarzenia obrabianych przedmiotów – korpusów i obrabiarek (fragment) [42]

Przedmiot obrabiany – korpus	Obrabiarka – centrum obróbkowe
wymiary korpusu: długość, szerokość, wysokość	wymiary przestrzeni roboczej: długość, szerokość, wysokość
masa przedmiotu	maksymalne obciążenie stołu
liczba i położenie stron obróbki	rodzaj stołu i położenie osi wrzeciona
rodzaj elementów kształtu korpusu	możliwości technologiczne obrabiarki, rodzaj sterowania
chropowatość powierzchni	możliwości technologiczne obrabiarki, zakres posuwów i obrotów
położenie elementów kształtu korpusu względem bazy	rodzaj stołu obrabiarki, możliwości technologiczne, rodzaj sterowania, liczba osi sterowanych, położenie osi wrzeciona
liczba elementów kształtu	pojemność magazynu narzędzi
maksymalna wielkość elementu kształtu	pojemność magazynu narzędzi, maksymalna średnica i długość narzędzia
wielkość partii produkcyjnej	rodzaj układu sterowania
Tolerancja wykonania, odchyłki położenia i kształtu	rodzaj układu sterowania, dokładność pozycjonowania, wiek obrabiarki

Również przy doborze detali do produkcji w ESP przydatne mogą być koszty obróbki tych detali w ESP, które niestety na tym etapie mogą być oszacowane tylko w sposób przybliżony (zob. np. [43]). Można w największym uproszczeniu porównać dane statystyczne dotyczące produkcji podobnych wyrobów już funkcjonujących.

Mając dobrany zbiór detali do produkcji w ESP oraz zbiór maszyn (wypożyczenie technologiczne) i wielowariantowe marszrutę technologiczną, można

ocenić potencjał produkcyjny projektowanego ESP, możliwości optymalizacji zdolności produkcyjnych systemu stopnia automatyzacji, integracji i elastyczności. Czynniki te w przypadku nowo uruchomionych ESP dają się praktycznie poznać dopiero w fazie eksploatacji (stopień wykorzystania, elastyczność stosowanych marszrut technologicznych itp.).

Projektując podsystem wytwarzania, należy przestrzegać następujących zasad [42]:

1. Stosowanie w miarę możliwości stanowisk (obrabiarek) technologicznie zamiennych lub też w części technologicznie zamiennych i uzupełniających się (specjalizowanych). Korzyści tego podejścia są następujące:
 - większa elastyczność krótkookresowa (odporność na zakłócenia wynikłe z awarii obrabiarek),
 - prostsze sterowanie produkcją (np. przydział zadań do stanowisk) oraz łatwiejszy transport i magazynowanie.
2. Tworzenie automatycznych modułów produkcyjnych składających się z kilku stanowisk. Zmniejszeniu ulegają wówczas zadania transportowe i magazynowe.
3. Dążenie do osiągnięcia wysokiego stopnia integracji funkcjonalnej elementów i całego ESP. Pozwala to uzyskać wysoki stopień przedmiotowości systemu oraz niewielki zakres powiązań kooperacyjnych z otoczeniem. Daje to duże efekty w postaci zmniejszania liczby elementów systemu, skrócenia długości cykli produkcyjnych, zmniejszenia powierzchni produkcyjnej, a także zadań transportowych i magazynowych.
4. Stosowanie rozwiązań eliminujących bądź ograniczających liczbę elementów i liczbę operacji przemieszczania ładunków. Koncentracja różnych metod obróbki na jednym stanowisku umożliwia stosowanie procesów o małej liczbie stopni obróbki, a to z kolei pozwala zmniejszyć liczbę operacji technologicznych.
5. Zastosowanie rozwiązań eliminujących bądź ograniczających liczbę operacji magazynowania międzyoperacyjnego. Magazyny centralne i przystanowiskowe) są niezbędnymi składnikami wyposażenia ESP. Wyrównują one różnice w wydajności poszczególnych stanowisk, gromadzą zapasy międzyoperacyjne, a także zwiększają stabilność i niezawodność pracy systemu.

Liczba i pojemność magazynów mogą być mniejsze w przypadku realizacji w jednym systemie kilku faz procesu technologicznego, np. obróbka metali i montaż. Ulega wówczas redukcji liczba operacji transportowych oraz upraszcza się sterowanie produkcją.

6. Minimalizacja liczby sprzężeń w systemie. Przemieszczanie detali między obrabiarką, środkiem transportu i magazynem, a także zakładanie i zdejmowanie detali z obrabiarki wymaga dodatkowych operacji manipulacji i przemieszczania. Stosując odpowiednie rozwiązanie techniczne środków transportu, magazynowania a także samych obrabiarek można znaczną ich część wyeliminować. Upraszcza to przepływ strumienia materiałów i czyni cały system bardziej niezawodnym.
7. Dążenie do uzyskania wysokiego stopnia integracji technicznej elementów systemu. Zasada ta polega na stosowaniu urządzeń realizujących wiele funkcji np. transport, magazynowanie i przemieszczanie, obróbka, manipulacja, magazynowanie i kontrola obrobionych wyrobów. Możliwa jest dzięki temu dalsza redukcja liczby elementów oraz zmniejszenie powierzchni systemu.
8. Uzyskanie wysokiego stopnia automatyzacji i integracji systemu wymaga uprzedniej racjonalizacji procesów realizowanych w systemie. Osiągnąć to można drogą odpowiedniego doboru detali do produkcji w ESP, stosując zasady podobieństwa konstrukcyjno-technologicznego detali oraz obróbki grupowej. Tak więc kolejność postępowania winna być następująca: typizacja i uproszczenie procesów technologicznych → integracja funkcji → automatyzacja elementów → integracja systemu → automatyzacja systemu.

Powyższe zalecenia należą do kluczowych w trakcie projektowania podsystemu wytwarzania. Są one również słuszne w przypadku projektowania innych podsystemów funkcjonalnych oraz przepływu strumieni materiałów w ESP.

9.2.3. Projektowanie struktur podsystemów przepływu strumieni materiałowych

Procesy produkcyjne realizowane w ESP, tak jak w każdym zresztą systemie produkcyjnym, wymuszają przepływ określonych strumieni materiałowo-energetycznych i informacyjnych. W projektowaniu ESP, jak wzmiankowano powyżej, największą uwagę poświęcamy tzw. dominującemu podsystemowi

przepływu strumieni materiałów, do którego wchodzi podsystemy funkcjonalne; wytwarzania, magazynowania, transportu i manipulacji produkowanych wyrobów (zob. tab. 9.3)

Tabela 9.3. Elementy podsystemu przepływu strumieni materiałów i ich funkcje [42]

Podsystem	Rodzaj elementu	Funkcje
wytwarzania	stanowiska robocze (obrabiałki, stanowiska kontroli, mycia i usuwania wiórów, zmiany zamocowania)	realizacja operacji technologicznych, kontroli i konserwacji
magazynowania	urządzenie magazynowe (centralny magazyn produkcyjny, magazyny lokalne – przystanowiskowe i in.)	przechowywanie zapasów międzyoperacyjnych, dystrybucja ładunków
transportu	urządzenia transportowe (przenośniki, wózki, suwnice i in.)	transport ładunków między stanowiskami i magazynem
manipulacji	urządzenia manipulacyjne (roboty, manipulatory, zmieniające palet i in.)	przemieszczanie ładunków między stanowiskami, urządzeniami transportowymi i magazynowymi

Przebieg typowych procesów technologicznych wyrobów ustala relacje pomiędzy wyróżnionymi elementami systemu produkcyjnego tj. stanowiskami lub grupami stanowisk technologicznie zamiennych, tworząc strukturę funkcjonalną systemu. Następne etapy, uwzględniające procesy magazynowania i transportu, uszczegóławiając relacje między stanowiskami (grupami stanowisk) oraz magazynami tworzą konfiguracje ESP czyli tzw. bazową strukturę przestrzenną systemu przepływu materiałów. Graficznym obrazem tej konfiguracji przestrzennej (podobnie jak w konwencjonalnych systemach produkcyjnych) jest plan rozmieszczenia maszyn i urządzeń w ESP. Dlatego dominującym problemem w trakcie projektowania podsystemu przepływu strumieni materiałowych jest projekt struktury ESP, gdzie również w analogii do konwencjonalnych systemów produkcyjnych, po rozwiązaniach teoretycznych, projektujemy na wyższym poziomie szczegółowości – rozwiązanie techniczne struktury systemu, będące podstawą realizacji ESP.

Głównymi czynnikami kształtującymi strukturę systemu produkcyjnego są:

- przebieg procesu produkcyjnego,
- stopień integracji systemu produkcyjnego.

Rozpatrując przebieg procesu produkcyjnego wyrobów, wyróżnia się następujące formy struktur (funkcjonalnych) systemów produkcyjnych [64]:

- elastyczne (skoncentrowane),
- liniowe,
- zwarte (gniazdowe),
- rozproszone (systemy specjalizowane technologiczne).

Dalsze różnicowanie struktur systemów produkcyjnych jest wynikiem integracji technicznej systemu produkcyjnego. Rozpatrując procesy technologiczne, transportu i magazynowania, wyróżnia się następujące rodzaje integracji systemów produkcyjnych [65]:

1. Obróbka jednostopniowa, wyrobów lub wielostopniowa lecz w tym samym systemie produkcyjnym. Procesy transportu i magazynowania są zdecentralizowane.
2. Obróbka wielostopniowa wyrobów realizowana w wielu systemach (na wielu stanowiskach). Procesy transportu i magazynowania są zdecentralizowane.
3. Obróbka wielostopniowa wyrobów. Centralny system transportu oraz zdecentralizowane magazynowanie (magazyny przystanowiskowe).
4. Obróbka jednostopniowa lub wielostopniowa wyrobów. Centralny magazyn produkcyjny oraz zdecentralizowany transport.
5. Obróbka jednostopniowa lub wielostopniowa wyrobów. Centralny magazyn produkcyjny oraz niezależny, centralny system transportowy.
6. Obróbka jednostopniowa lub wielostopniowa wyrobów. Centralny magazyn produkcyjny zintegrowany z centralnym systemem transportowym magazynowanie wyrobów realizowane jest na środku transportu, transport realizowany jest poprzez magazyn.

Struktury systemów produkcyjnych można zatem podzielić ze względu na sposób realizacji powiązań elementów systemu produkcyjnego na trzy typy:

- systemy, w których brak jest powiązań stanowisk (elementów podsystemu wytwarzania) związanych z przepływem materiałów (1),

- systemy o bezpośrednich powiązaniach stanowisk produkcyjnych – magazynowania zdecentralizowane (2, 3),
- systemy o pośrednich powiązaniach stanowisk – z centralnym magazynem produkcyjnym (4, 5, 6).

Klasyfikacja taka umożliwia identyfikację typu struktury systemu produkcyjnego. Budowa systemu produkcyjnego winna umożliwiać realizację powiązań stanowisk zgodnie z marszrutą wyrobów. Oznacza to zgodność pomiędzy typem struktury systemu produkcyjnego, a typem struktury procesów realizowanych w tym systemie. Typ struktury systemu produkcyjnego można wyznaczyć w sposób przybliżony posługując się wskaźnikiem kooperacji stanowisk:

$$\kappa = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n}, \quad (9.1)$$

w którym: n jest liczbą stanowisk w systemie produkcyjnym, d_i liczbą stanowisk, z którymi stanowisko „ i ” ma powiązanie kooperacyjne.

Wskaźnik kooperacji stanowisk κ oznacza przeciętną liczbę stanowisk, z którymi kooperuje każde stanowisko w systemie produkcyjnym. Liczba kooperujących stanowisk wynika z marszruty technologicznej produkowanych wyrobów oraz przydziału zadań do stanowisk. Wskaźnik kooperacji stanowisk κ przyjmuje charakterystyczne wartości dla podstawowych struktur funkcjonalnych systemów produkcyjnych (tab. 9.4).

Wartości wskaźnika kooperacji dla struktur liniowych w pewnym zakresie pokrywają się z wartościami κ dla struktur gniazdowych. Kryterium zaliczenia struktury do jednej z form jest występowanie nawrotów w przepływie strumieni materiałów. Znajac sieć sprzężeń pomiędzy elementami podsystemu wytwarzania należy obliczyć wartość x , która wskazuje typ struktury systemu produkcyjnego. Metoda identyfikacji typu struktury systemu produkcyjnego lepiej różnicująca systemy o różnej strukturze, wykorzystująca grafowe metody analizy powiązań elementów systemu produkcyjnego jest omawiana w pracy [65].

Tabela 9.4. Wartości wskaźnika kooperacji stanowisk dla typowych struktur funkcjonalnych systemu produkcyjnego [42]

Typ struktury funkcjonalnej		Wartość wskaźnika kooperacji κ
skoncentrowana		$\kappa_s = 0$
liniowa	prosta	$\kappa'_L = 2 - \frac{2}{n}; \quad 1 \leq \kappa'_L \leq 2 \quad \text{dla } n \geq 2$
	złożona	$\kappa''_L = 4 - \frac{6}{n}; \quad 2 \leq \kappa''_L \leq 4 \quad \text{dla } n \geq 3$
gniazdowa	prosta	$\kappa'_G = 2 - \frac{2}{n}; \quad 1 \leq \kappa'_G \leq 2 \quad \text{dla } n \geq 2$
	złożona	$\kappa''_G = 5 - \frac{8}{n}; \quad 3 \leq \kappa''_G \leq 5 \quad \text{dla } n \geq 4$
rozproszona		$5 - \frac{8}{n} \leq \kappa_R \leq n - 1 \quad \text{dla } n \geq 4$

Typ struktury systemu produkcyjnego wyznacza jedynie ogólną konfigurację przestrzenną systemu produkcyjnego. Szczegółowa ocena i wybór typu struktury systemu produkcyjnego wymaga ustalenia rozmieszczenia maszyn i urządzeń w ESP oraz analizy sposobu funkcjonowania systemu o danej konfiguracji. Odpowiednim narzędziem mogą tu być modele optymalizacyjne i symulacyjne omawiane w ust. 9.3.

9.2.4. Projektowanie podsystemu transportowo-magazynowego

W obszarze projektowania podsystemu przepływu strumieni materiałów w ESP dużą rolę odgrywa właściwe zaprojektowanie podsystemu transportowo-magazynowego, którego zadania dla transportu w ESP można podzielić na cztery rodzaje:

- zadania wykonywane na paletach transportowych przemieszczanych między magazynem centralnym, a obiektami spoza systemu, dostarczającymi detale do obróbki i odbierającymi wyroby gotowe z systemu,
- zadania wykonywane na paletach przedmiotowych lub transportowych przemieszczanych między magazynem centralnym systemu, a pierwszymi stanowiskami obróbczymi systemu,

- zadania wykonywane na paletach przedmiotowych przemieszczanych między stanowiskami obróbczymi systemu,
- zadania wykonywane na paletach przedmiotowych między magazynem centralnym a stanowiskami obróbczymi systemu, wykonującymi kolejne operacje technologiczne.

Dla wymienionych zadań transportu i przepływu strumieni materiałowych wyróżniamy trzy etapy służące do:

- 1) ustalenia liczby palet transportowych i przedmiotowych,
- 2) ustalenia liczby środków transportowych i magazynowych w systemie,
- 3) rozmieszczenia stanowisk roboczych w systemie produkcyjnym (oraz weryfikacji i oceny rozwiązań podsystemu transportowo-magazynowego).

W pierwszym z powyższych etapów zajmujemy się paletami stosowanymi w ESP, które dzielą się na dwa rodzaje:

1. Palety na wejściu i wyjściu ESP – palety transportowe. Są to palety znormalizowane lub specjalne używane w przedsiębiorstwie do transportu materiałów, przygotówek oraz wyrobów gotowych (po obróbce). Palety tego rodzaju nie są przystosowane do operowania nimi wewnątrz ESP; mogą być jedynie składowane w wydzielonej części podsystemu magazynowego ESP.
2. Palety w obrocie wewnętrznym ESP – palety przedmiotowe, obróbkowe. Są to palety znormalizowane o szerokim zastosowaniu w różnych podsystemach ESP lub też palety konstruowane specjalnie do określonego wyrobu z możliwością zastosowania tylko w określonym systemie produkcyjnym.

Palety transportowe możliwe do stosowania w ESP ujęte są Polskimi Normami, np. PN-66M-78211 lub normami międzynarodowymi np. UIC 435-3. Przykładowe charakterystyki palet transportowych przedstawiono w tabeli 9.5.

Kryteria doboru palet transportowych są następujące [42]:

- należy stosować 1 lub 2 typy palet o znormalizowanych wymiarach 1200x800x970 (980). Palety te będą składowane w wydzielonych sektorach magazynu centralnego (składowanie wyrobów przed obróbką i wyrobów gotowych po obróbce),
- maksymalizacja wykorzystania objętości palet poprzez składowanie w nich większej liczby detali,
- maksymalizacja wykorzystania nośności nominalnej palety.

Tabela 9.5. Charakterystyki palet transportowo-magazynowych [42]

Typy palet (nazwa)	Symbol	Wymiary, mm			Nośność, kg
		długość	szerokość	wysokość	
Paleta, ładunkowa skrzy- niowa metalowa	211	1200	800	970	1000
Paleta ładunkowa skrzy- niowa ażurowa metalowa	UIC 435-3	1200	800	980	1000
Paleta ładunkowa płaska jednopłytowa drewniana	EUR 216	1200	800	144	1000

Przy doborze palet przedmiotowych należy uwzględniać następujące kryteria [42]:

- możliwość umieszczenia i mocowania detalu na palecie bezpośrednio lub za pomocą przyrządu umieszczonego na palecie,
- wymiary detalu i jego kształt, co decyduje o kształcie palety (kwadratowa, prostokątna) oraz o jej wymiarach,
- możliwość umieszczenia na palecie więcej niż jednego detalu,
- możliwość umieszczenia palety bezpośrednio na stole obrabiarki,
- minimalizacja liczby typów palet stosowanych w systemie (stosowanie tych samych palet do obróbki różnych detali),
- minimalizacja wielkości palet używanych w systemie, maksymalizacja wykorzystania nośności nominalnej palet.

Po doborze dwu rodzajów palet wyznaczamy potrzebną ich liczbę za pomocą modeli symulacyjnych, modeli sieci masowej obsługi (zob. ust. 9.3).

Przechodząc do drugiego etapu tj. ustalenia liczby środków transportowych i magazynowych w ESP, kierujemy się następującymi czynnikami przy wyborze typu systemu transportowego i środków transportowych (zob. rys. 9.4 i rys. 9.5):

- typ struktury systemu produkcyjnego (konfiguracja przestrzenna stanowisk i magazynów),

- charakterystyka jednostek ładunkowych, sieć przepływu strumieni materiałowych,
- wielkość zadań transportowych, wynikająca z intensywności powiązań stanowisk i magazynów,
- wymagania techniczne urządzeń współpracujących ze środkami transportowymi,
- ograniczenia architektoniczne, budowlane, wymagania ergonomiczne, bhp.,
- względy ekonomiczne.

Dobierając środki transportu, projektant dokonuje oceny ich charakterystyk z punktu widzenia możliwości i przydatności zastosowania w ESP. Wynikiem doboru jest określenie typu środka transportowego właściwego do zastosowania w projektowanym ESP. Dokładne parametry techniczno-eksploatacyjne środka transportu, liczba środków transportu, zasady eksploatacji, koszty zakupu i eksploatacji są ustalane w trakcie dalszych etapów projektowania. Tak dla przykładu wyznaczenie liczby środków transportu, wymaga uwzględnienia w czasie zadań transportowych, wzajemnych interakcji podsystemu transportu, magazynowania i wytwarzania a także wpływu reguł sterowania przepływem produkcji w systemie. Odpowiednimi metodami postępowania są tu metody symulacyjne, metody sieci masowej obsługi oraz sieci Petriego.

Dla obszaru doboru (w etapie 2) środków magazynowych w ESP, należy wziąć pod uwagę możliwe układy przepływu materiałów w ESP, obejmujące trzy podstawowe warianty [42]:

- A – ESP z centralnym magazynem produkcyjnym i elastycznym systemem transportowym,
- B – ESP z centralnym magazynem produkcyjnym jako systemem transportu (magazyn dynamiczny – magazynowanie na środku transportu),
- C – ESP z centralnym magazynem produkcyjnym jako systemem transportu (magazyn statyczny – transport poprzez magazyn).

Układy magazynów w ESP można również podzielić w zależności od ich położenia w systemie: magazyny wewnętrzne i magazyny zewnętrzne (rys. 9.6).

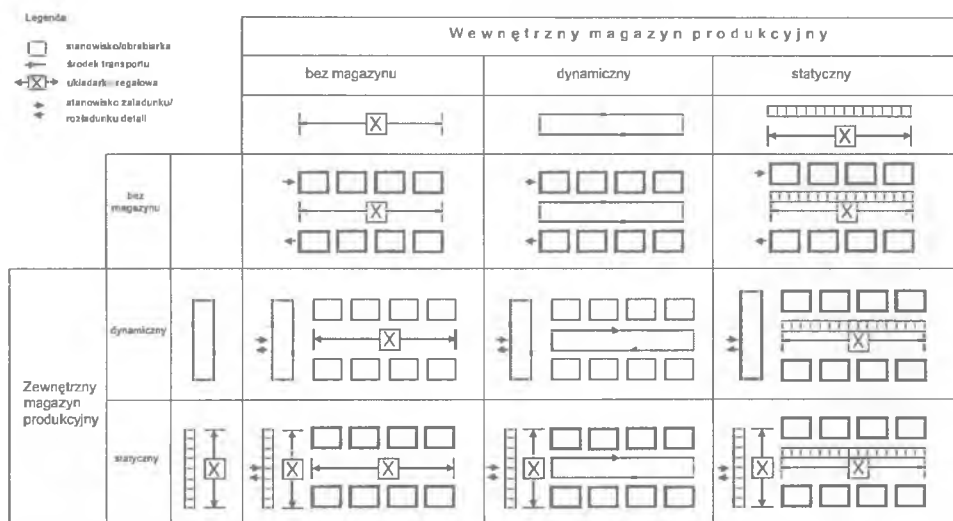
Parametry wejściowe	Przeñośnik podwieszony	Przeñośnik podłogowy	Wózki wódlowe roboty	Układnice regalowe	Przeñośnik podwieszony	Przeñośnik podłogowy	Wózki wódlowe i roboty	Kombinowany system transportowo-magazykowy	Jednoszynowa kolej podwieszona	Suwnice
1. Masa transportowana do 320 kg do 630 kg do 1120 kg	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	●	● ● ●	●
2. Wykonanie specjalne	●	●	●		●	●	●		●	
3. Stopień wrażliwości detali 1 2 3	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●
4 Stopień automatyzacji - sztywno zaprogramowany - wolno programowany - bez automatycznego sterowania	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●
5. Warunki budowlane - przebiegi i skrzyżowania torów - dopuszczalne obciążenie podłogi i stropu do 500 kg/m ² do 1000 kg/m ² do 2000 kg/m ² - pochyłość toru do 10 % ponad 10 %	● ● ● ● ●	● ● ● ● ●	● ● ● ● ●	● ● ● ● ●	● ● ● ● ●	● ● ● ● ●	● ● ● ● ●	● ● ● ● ●	● ● ● ● ●	● ● ● ● ●
6. Sterowanie palet na stanowisku roboczym			●	●			●	●	●	●
7. Charakterystyka drogi i czasu - odstępy między stanowiskami do 5 m do 10 m do 50 m ponad 50 m czas obsługi do 1 min do 5 min do 15 min ponad 15 min	● ● ● ● ● ● ● ●	● ● ● ● ● ● ● ●	● ● ● ● ● ● ● ●	● ● ● ● ● ● ● ●	● ● ● ● ● ● ● ●	● ● ● ● ● ● ● ●	● ● ● ● ● ● ● ●	● ● ● ● ● ● ● ●	● ● ● ● ● ● ● ●	● ● ● ● ● ● ● ●
8. Zapas buforowy na środku transportu									●	
9. Dominujące wolne kierunki wosi x wosi y wosi z	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●
10. Pobieranie ładunków aktywne pasywne	● ●	● ●	● ●	● ●	● ●	● ●	● ●	● ●	● ●	● ●

Rys. 9.4. Dane wejściowe dla doboru środków transportu w ESP [42]

Ocena:

○○○○	– 10 pkt odpowiada b. dobrze
○○○	– 7 pkt odpowiada dobrze
○○	– 5 pkt odpowiada
○	– 3 pkt ledwo odpowiada
	– 10 pkt odpowiada b. dobrze

Rys. 9.5. Charakterystyka środków transportu w ESP [42]



Rys. 9.6. Przykładowe warianty struktur ESP z centralnym magazynem produkcyjnym [42]

Centralny magazyn produkcyjny (CMP) pełni szereg funkcji, z których najważniejsze to:

- magazyn produkcyjny, wyrównujący różnice w wydajności i terminach pracy współpracujących stanowisk oraz przechowujący zapasy międzyoperacyjne,
- magazyn kompensacyjny, gromadzący zapasy kompensujące zakłócenia wynikające z przyczyn zewnętrznych, jak i wewnętrznych, np. awarie modułu produkcyjnego,
- magazyn rezerwowy, przechowujący detale oczekujące na rozpoczęcie obróbki w systemie i oczekujące na wyprowadzenie z systemu po obróbce.

Centralny magazyn produkcyjny może również pełnić funkcje dodatkowe, takie jak:

- magazyn przystanowiskowy, gdy wydzielone półki regału stanowią miejsce odkładcze dla stanowiska roboczego lub modułu produkcyjnego,
- magazyn półfabrykatów i magazyn kompletacyjny,
- magazyn pomocy warsztatowych dla ESP,
- magazyn pustych palet i pojemników używanych w ESP,

- magazyn materiałów pomocniczych, części zamiennych.

Wymiarowanie centralnego magazynu produkcyjnego obejmuje:

- ustalenie rodzaju magazynu,
- obliczenie pojemności magazynu,
- obliczenie wymiarów magazynu.

Obliczanie pojemności magazynu produkcyjnego można prowadzić jedną z następujących metod:

- wskaźnikową,
- analityczną (opartą na zadaniach transportowych lub zakładanej wydajności systemu produkcyjnego),
- symulacyjną.

Wszystkie powyżej wymienione elementy w całości obejmują również składniki powierzchni systemu tj. podsystem wytwarzania, magazynowania, transportu i manipulacji, a także sterowania, utrzymania ruchu i in. W różnych fazach procesu projektowania ESP mogą być stosowane odmienne metody wyznaczania powierzchni⁶, nie mniej powinny one zawsze być w korelacji z jednym z ostatnich etapów projektowania tzn. rozmieszczeniem stanowisk w ESP. Odbywa się ono w trzech fazach:

- wstępnej (identyfikacja typu struktury systemu produkcyjnego określającego ogólną konfigurację systemu oraz opracowanie rozmieszczenia idealnego – teoretycznego maszyn i urządzeń),
- projektowej (opracowanie rozmieszczenia realnego i rozmieszczenia szczegółowego),
- realizacyjnej (wykonanie projektu realizacyjnego).

Rozmieszczenie idealne – teoretyczne ma postać schematu rozmieszczenia nie uwzględniającego wielu elementów systemu, np. wymiary i wielkości rozmieszczanych stanowisk, elementy podsystemy manipulacji, instalacje i in. Skutecznym sposobem tworzenia takich rozmieszczeń jest stosowanie modeli i metod optymalizacyjnych (zob. ust. 9.3).

⁶ Szczegółowe metody oraz bogatą bibliografię dotyczącą tych zagadnień znajdzie czytelnik w pracy [42]. Wybrane metody studenci stosować będą w praktycznych ćwiczeniach projektowych w tym przedmiocie.

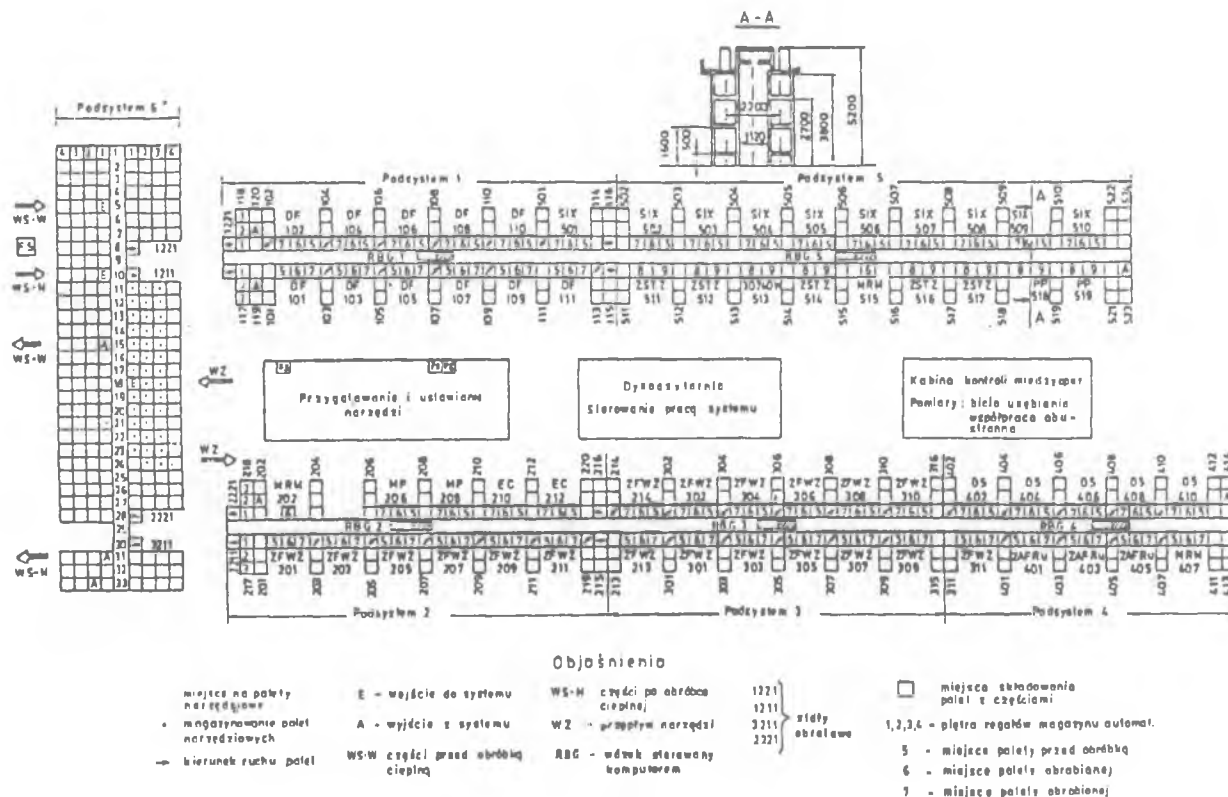
W projektowaniu rozmieszczeń elementów ESP stosowane są odmienne kryteria w porównaniu z projektowaniem systemów konwencjonalnych. Są to najczęściej:

- 1) minimalizacja kosztów transportu,
- 2) maksymalizacja wykorzystania powierzchni i przestrzeni produkcyjnej,
- 3) minimalizacja kosztów budowy podsystemu zasilania i usuwania odpadów z ESP,
- 4) minimalizacja kosztów budowy fundamentów.

Niezależnie od obowiązujących kryteriów, metodyczna strona postępowania przy projektowaniu rozmieszczania stanowisk w ESP, jest zgodna z metodyką poznaną w poprzednich rozdziałach skryptu. Pozostaje tylko problem doboru właściwej metody (obecnie już z ponad stu) alokacji stanowisk roboczych, uzależnionej od kryterium i warunków, w których ma być realizowany ESP. Korzystamy tutaj z metod zawartych w trzech podstawowych w literaturze polskiej monografiach (zob. [39], [64], [65]) dotyczących modelowania struktur przestrzennych obiektów produkcyjnych (zbiorów stanowisk lub KP).

Opracowanie rozmieszczenia realnego, rozmieszczenia szczegółowego (zob. rys. 9.7), a także wykonania projektu realizacyjnego wymaga (tak jak w poprzednich formach organizacji produkcji – rozdz. 7 i 8) użycia metod projektowania modelowego płaskiego i trójwymiarowego. Plany rozmieszczenia mogą być również sporządzane ze wspomaganie komputerowym, gdzie przykładem takiego narzędzia jest system FLEXPLAN, opracowany w Instytucie Organizacji Systemów Produkcyjnych Politechniki Warszawskiej (zob. [42]).

Uważny czytelnik dostrzeżł już zapewne, że często powołujemy się, w omawianych wcześniej zagadnieniach projektowych, na możliwości stosowania w projektowaniu metod i modeli zawartych w ust. 9.3. Właśnie tymi problemami zajmiemy się poniżej, pamiętając, iż z wiadomych względów możemy tylko zasygnalizować niewielką część metod i modeli znanych już w światowej literaturze dotyczącej ESP (odniesiemy się do tych, które wykorzystywane są praktycznie przez studentów na zajęciach ćwiczeniowych).



Rys. 9.7. Schemat rozmieszczenia stanowisk w ESP, FZ-200 w Hucie Stalowa Wola [42]

9.3. Wybrane modele i metody projektowania ESP⁷

9.3.1. Ogólna charakterystyka modeli i metod projektowania ESP

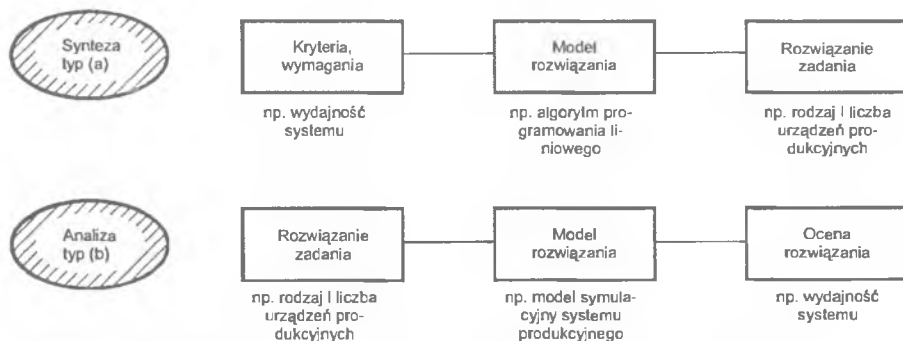
W procesach projektowania ESP występuje wiele zagadnień optymalizacyjnych, dlatego do ich rozwiązywania stosuje się wiele różnych modeli tych systemów (zob. [43]). Różnorodność sterowanych modeli wynika z zakresu rozważanych zagadnień uwzględniających wybrane własności strukturalne lub funkcjonalne systemów, skalę systemu (np. KP^I , gniazda, czy wydziały) oraz specyfikę budowy, przeznaczenia i działania systemów, uwzględniającą np. dynamikę przebiegających procesów, charakterystyki zmiennych, rodzaj funkcji celu itp. Złożoność i koszt realizacji oprogramowania wspomagającego proces projektowania, narzuca konieczność podejmowania prób standaryzacji z wykorzystaniem wielu modeli i metod projektowych.

W projektowaniu ESP użyteczne są zarówno modele myślowe (abstrakcyjne), w tym zwłaszcza modele matematyczne, jak również modele materialne (fizyczne). Ze względu na istotę czynności – ukierunkowane na podjęcie decyzji będzie ustalenie nieznanych cech lub parametrów systemu produkcyjnego, można wyróżnić dwa rodzaje zadań projektowych (rys. 9.8):

- a. Zadania typu syntezy – oparte na zadanych kryteriach i wymaganiach dotyczących całego systemu produkcyjnego, dzięki czemu istnieje możliwość wyznaczenia parametrów oraz charakterystyk ESP, jak również jego elementów.
- b. Zadania typu analizy – oparte na znanych charakterystykach techniczno-eksploatacyjnych elementów i podsystemów ESP, dzięki czemu istnieje możliwość wyznaczenia parametrów charakteryzujących cały system produkcyjny.
- c. Zadania typu syntezy są formułowane i rozwiązywane zazwyczaj w celu generowania wariantów rozwiązań ESP i wymagają stosowania modeli normatywnych. Zadania typu analizy, opisywane modelami deskryptywnymi są rozwiązywane głównie w celu weryfikacji (oceny) wariantów rozwiązań na różnych etapach projektowania ESP. Przykładem modeli normatywnych stosowanych w projektowaniu ESP są modele optymalizacyjne. Przedstawicie-

⁷ Wykorzystano tutaj w całości materiały K. Santarka z publikacji [43].

lami modeli deskryptywnych są modele sieci masowej obsługi oraz modele symulacyjne.



Rys. 9.8. Zadania typu syntezy (a) i analizy (b) w projektowaniu ESP [42]

Zadania typu syntezy są formułowane i rozwiązywane zazwyczaj w celu generowania wariantów rozwiązań ESP i wymagają stosowania modeli normatywnych. Zadania typu analizy, opisywane modelami deskryptywnymi są rozwiązywane głównie w celu weryfikacji (oceny) wariantów rozwiązań na różnych etapach projektowania ESP. Przykładem modeli normatywnych stosowanych w projektowaniu ESP są modele optymalizacyjne. Przedstawicielami modeli deskryptywnych są modele sieci masowej obsługi oraz modele symulacyjne.

9.3.2. Modele optymalizacyjne

Ogólna postać modelu optymalizacyjnego jest następująca: znaleźć zbiór zmiennych decyzyjnych X^* taki, że:

$$Q = f(X^*) = \min_{X \in \{D\}} f(X), \quad (9.2)$$

gdzie: X oznacza zbiór zmiennych decyzyjnych (parametrów) opisujących poszukiwane rozwiązanie,

$\{D\}$ zbiór rozwiązań dopuszczalnych zadania optymalizacji,

$Q = f(X)$ funkcja kryterium – oceny jakości rozwiązania.

Modele optymalizacyjne stosowane są w zadaniach doboru wyposażenia produkcyjnego ESP, projektowania struktury funkcjonalnej i przestrzennej ESP, planowaniu produkcji w ESP i in.

Rozpatrzmy elastyczny system produkcyjny z wewnętrznym magazynem dynamicznym (rys. 9.9). Jest nim zbiór liczący N stanowisk umieszczonych wokół przenośnika o ruchu okrężnym. Współpraca systemu z otoczeniem realizowana jest poprzez stację załadowczo-rozładowczą (dostawa półfabrykatów i przekazywanie gotowych wyrobów), która stanowi wyodrębnione stanowisko w ESP. Zadanie rozmieszczenia stanowisk wokół przenośnika o ruchu okrężnym można przedstawić jako kwadratowe zadanie przydziału.

Niech $V = \{V_{ij}\}_{n \times n}$ będzie macierzą powiązań transportowych stanowisk, gdzie w ogólnym przypadku mamy $V_{ij} \neq V_{ji}$ dla $i, j = 1, \dots, n$; $n = N + 1$. Odległości między miejscami p, q położonymi wzdłuż przenośnika (ruch przenośnika jest jednokierunkowy) są równe:

$$L_{pq} = \begin{cases} q - p, & \text{dla } p \leq q \\ n + q - p, & \text{dla } p > q \end{cases} \quad p, q = 1, \dots, n. \quad (9.3)$$

Rozmieszczenie stanowisk przenośnika przedstawia permutacja n kolejnych liczb naturalnych $G = \{g(1), g(2), \dots, g(n)\}$; $g(p)$ oznacza numer stanowiska stojącego na miejscu p . Modelem rozmieszczenia jest kwadratowe zadanie przydziału:

$$f(G) = \sum_{p=1}^n \sum_{q=1}^n V_{g(p)g(q)} L_{pq}. \quad (9.4)$$

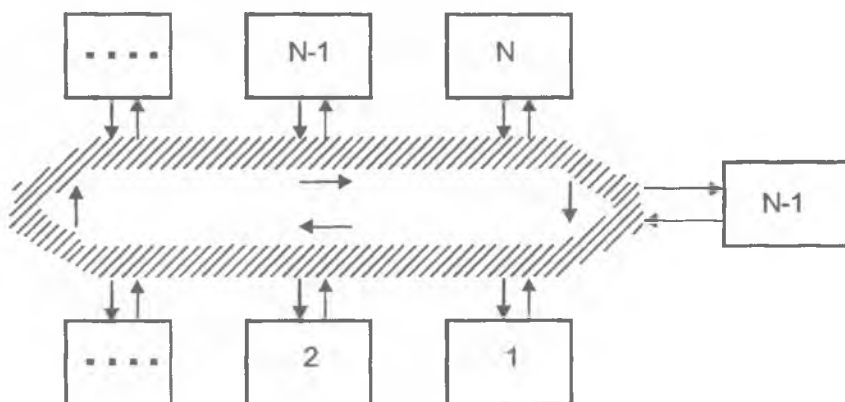
Do jego rozwiązania stosuje się najczęściej metody przybliżone, np. metodę zamiany stanowisk miejscami.

9.3.3. Modele sieci masowej obsługi

Przy wyznaczaniu parametrów ESP lub jego podsystemów funkcjonalnych przydatne są różnego rodzaju modele i metody teorii masowej obsługi:

- klasyczne modele i metody teorii masowej obsługi,

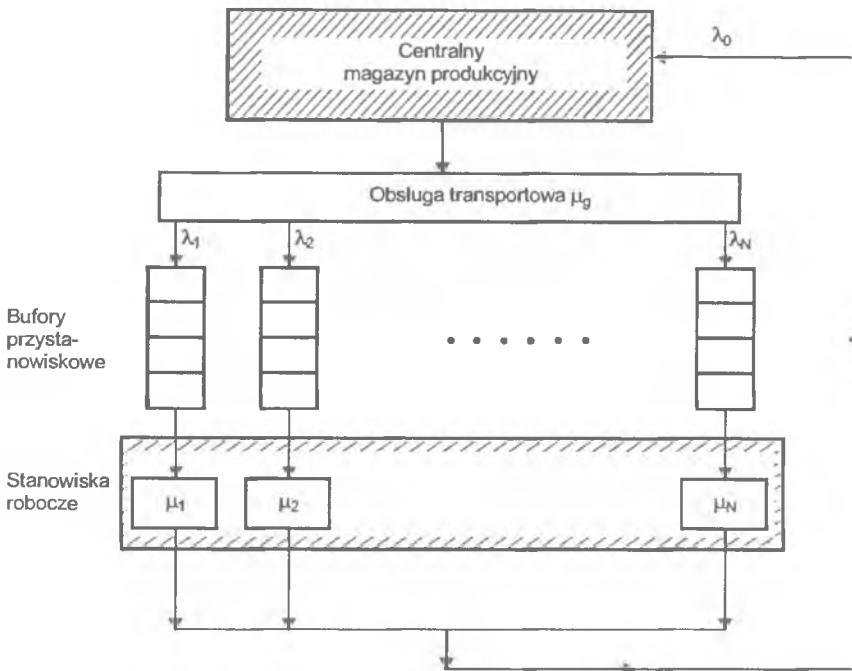
- modele i metody sieci masowej obsługi (sieci kolejek), w tym:
 - otwartych sieci masowej obsługi,
 - zamkniętych sieci masowej obsługi.



Rys. 9.9. Elastyczny system produkcyjny z wewnętrznym magazynem dynamicznym, gdzie: N – liczba zadań na stanowisku [42]

W modelach sieci masowej obsługi system produkcyjny traktuje się jako zbiór $N = \{0, 1, \dots, N\}$ kanałów obsługi: jedno- lub wielostanowiskowych (obrabiarki, stanowiska uzbrajania i załadunku palet, urządzenia transportowe i in.) oraz kolejek zadań (wyrobów, narzędzi) oczekujących na obsługę. W systemie produkowanych jest K rodzajów wyrobów zwanych zadaniami. Przepływ zadań w systemie odbywa się zgodnie z określoną marszrutą. Zadania napływają do kanałów obsługi z intensywnością λ_i^k . Dla każdego kanału obsługi znane są intensywności obsługi α_i^k . Są to zmienne losowe o określonym rozkładzie prawdopodobieństwa. Napływające zadania tworzą kolejki przed stanowiskami. W modelach otwartych sieci masowej obsługi, zadania napływają do systemu z zewnątrz i po pewnym czasie opuszczają go. W modelach zamkniętych sieci masowej obsługi w systemie produkcyjnym, znajduje się stała liczba zadań m_k , $k = 1, \dots, K$.

$$\sum_{k=1}^K m_k = M. \quad (9.5)$$



Rys. 9.10. Model zamkniętej sieci kolejek dla ESP z centralnym magazynem produkcyjnym, μ_i – intensywność obsługi, λ_i – intensywność napływu zadań [42]

Modele zamkniętych sieci masowej obsługi dobrze opisują systemy obróbki korpusów ze stałą liczbą palet przedmiotowych w systemie.

Przykładowy diagram modelu zamkniętej sieci masowej obsługi dla ESP z centralnym magazynem produkcyjnym przedstawia rys. 9.10.

W modelach sieci kolejek stan systemu jest jednoznacznie określony liczbą zadań znajdujących się na każdym stanowisku w danej chwili czasu. Jest nim wektor $n = (n_o, n_b, \dots, n_N)$, $n_i > 0$, $i = 0, 1, \dots, N$.

Bardziej szczegółowo można opisać stan systemu podając liczbę zadań określonego rodzaju na stanowisku $n = n_{il}, \dots, n_{jk}$, $n_{ij} > 0$.

W modelach sieci kolejek podstawowym sposobem opisu zachowania się ESP są procesy Markowa.

Znajomość stacjonarnego rozkładu prawdopodobieństwa wszystkich rozróżnialnych stanów systemu pozwala wyznaczyć szereg ważnych parametrów ESP:

- rozkład $p_i(n_i)$, $i = 0, 1, \dots, N$ liczby zadań na każdym stanowisku oraz w systemie $p(n)$,
- średni czas pobytu zadania na stanowisku t_i oraz w systemie T ,
- wydajność stanowiska w_i i systemu W ,
- współczynnik obciążenia stanowiska η_i i in.

Modele sieci masowej obsługi opisują funkcjonowanie systemu w stanie stacjonarnym, w stanie równowagi – po długim okresie czasu. Wyznaczone charakterystyki ESP są zatem wartościami średnimi.

9.3.4. Modele symulacyjne

Modelowanie symulacyjne jest techniką badania własności systemów poprzez wykonywanie eksperymentów na ich modelach. W projektowaniu ESP przedmiotem badań mogą być zarówno modele komputerowe (w symulacji komputerowej) jak również modele materialne (w symulacji fizycznej). Model (w symulacji komputerowej) stanowi program komputerowy napisany w określonym języku programowania (języku symulacyjnym). Istnieje wiele rodzajów języków symulacyjnych:

- klasyczne języki symulacyjne (np. GPSS, CSL, SIMULA),
- język i pakiety symulacyjne oparte na językach algorytmicznych ogólnego przeznaczenia (np. PASCAL, ALGOL),
- języki graficzne umożliwiające automatyczne generowanie modelu symulacyjnego na podstawie graficznego modelu badanego systemu (np. SLAM II),
- systemy symulacyjne wspomagające wszystkie etapy modelowania, w tym budowę modelu, przeprowadzenie eksperymentów, analizę wyników (np. TESS).

Ze względu na rodzaj modelowanego systemu wyróżnia się modele dyskretne i ciągłe. W modelach parametry modelowanego systemu, zwane zmiennymi stanu, zmieniają się ciągle w czasie. W modelach dyskretnych zmienne stanu zmieniają się jedynie w określonych momentach zwanych zdarzeniami. Zazwyczaj systemy produkcyjne są opisywane dyskretnymi modelami symulacyjnymi.

Główną korzyścią stosowania symulacji jest całościowa ocena skutków zmian wprowadzanych w systemie produkcyjnym (istniejącym lub też projek-

towanym) np. wyznaczanie wydajności podsystemu wytwarzania w zależności od wielkości zasobów innych podsystemów np. magazynów (ich pojemności), urządzeń transportowych (liczba, ładowność, prędkość jazdy) i in. Eksperyment symulacyjny umożliwia wyznaczenie wszystkich charakterystyk strumieni przepływu materiałów w ESP na podstawie znanych (lub zakładanych) rozkładów występowania zdarzeń. Pozwala uwzględnić istotny z punktu widzenia dynamiki procesów wpływ przyjętych reguł sterowania przepływem produkcji w ESP. Tym samym jest to narzędzie umożliwiające kompleksową ocenę wariantów rozwiązań ESP wyznaczane w modelowaniu symulacyjnym i modelowaniu masowej obsługi są podobne. W porównaniu z modelami sieci masowej obsługi, modele symulacyjne umożliwiają dokładniejszą ocenę wariantów rozwiązań ESP, jednakże za cenę znacznie większej pracochłonności (i kosztów) budowy i przeprowadzenia eksperymentów symulacyjnych.

9.4. Wdrażanie ESP

Wdrażanie ESP, zarówno od strony jakościowej i ilościowej, zmienia możliwość realizacji postępu naukowo-technicznego w rozwoju gospodarczym. Otrzymane efekty produkcji zależą przede wszystkim od dwóch czynników; po pierwsze od relacji między jednorazowymi nakładami inwestycyjnymi a obniżeniem nakładów ponoszonych na wyrób, po drugie od istnienia możliwości poprawy jakości produktów. W obu relacjach niepoślednią rolę odgrywa również czynnik czasu.

Czynniki te określają ekonomiczną istotę elastycznej automatyzacji, ponieważ rachunek ekonomiczny powinien pomóc w osiągnięciu innowacji procesu produkcyjnego i produktów za pomocą minimum nakładów jednorazowych i bieżących. W zależności od przypadku zastosowania, elastycznie zautomatyzowana produkcja może cechować się różnymi efektami. Może charakteryzować ją:

- 1) skrócenie czasu przebiegu procesu produkcji o 50 do 70 procent przy odpowiednim zmniejszeniu stosowanych środków,
- 2) zmniejszenie czasu obróbki o 20 do 50 procent,
- 3) zwiększenie uzbrojenia pracy o 40 do 60 procent,

- 4) zmniejszenie czasu reakcji na wymagania rysunku przy równoczesnym wzroście produktywności o 200 do 400 procent,
- 5) odzyskanie siły roboczej, która może być wykorzystana do innych czynności uważne dla rozwiniętych gospodarek o niskiej stopie bezrobocia),
- 6) oszczędności maszyn i innego wyposażenia technicznego o 30 do 70 procent,
- 7) redukcja powierzchni produkcyjnych o 20 do 40 procent,
- 8) obniżenie kosztów braków i zużycia materiałowego o 10 do 20 procent,
- 9) uniezależnienie produkcji od uwarunkowanych subiektywnie zakłóceń i postojów.
- 10) polepszenie warunków pracy człowieka.

Wymieniona tak duża liczba pozytywnych czynników i efektów wynikających z wdrażania ESP, nie może przysłaniać faktów – ulegając pewnej modzie – rzeczywistości przemysłowej w kraju i nawet przodujących gospodarkach świata, iż tak nowoczesne systemy produkcyjne stanowią zaledwie niewielki procent potencjału wytwórczego, w stosunku do konwencjonalnych systemów produkcyjnych. Nie mniej uruchamianie ESP w perspektywie kilkudziesięciu lat zmieni możliwości realizacji postępu naukowo-technicznego i produkcyjnego w przedsiębiorstwach przyszłości tzw. fabrykach bez ludzi⁸, do których będzie zmierzał rozwój nowoczesnych systemów produkcyjnych, w pełni integrujących wszystkie funkcje i podsystemy przedsiębiorstwa.

Zbudowane i użytkowane w różnych krajach światowego przemysłu ESP, różnią się pomiędzy sobą wielkością, strukturą, stopniem i zakresem integracji i automatyzacji. Przodują tutaj firmy z Japonii, USA, Niemiec, Francji i to tylko z grona tych najbogatszych przedsiębiorstw, w których oprócz niezbędnych środków finansowych istnieje wysoki poziom techniczny i organizacyjny, ukierunkowany na innowacyjność produktową i wytwórczą, oraz kultury produkcyjno-organizacyjnej przede wszystkim kadry inżynieryjno-technicznej.

⁸ Oczywiście absolwent naszego kierunku powinien, jako organizator produkcji, być przygotowany już w chwili obecnej do merytorycznych problemów związanych z komputerowo zintegrowanym wytwarzaniem – CIM oraz wspomaganie komputerowym CAD/CAM, CAPP, CAQC, JIT i fabryką przyszłości (studenci poznają tę problematykę w przyszłym semestrze – w odrębnym przedmiocie).

Zdecydowane zmniejszenie dystansu wobec krajów wysoko rozwiniętych w tej dziedzinie, wymaga opracowania własnych rozwiązań projektowych dla ESP. Im wcześniej dokonywać będziemy własnych oryginalnych wdrożeń, tym szybciej zmniejszy się dystans dzielący nas od przodujących w tym zakresie krajów. Jak dotychczas w naszych warunkach zanotować można bardzo skromny wkład w rozwój i wprowadzanie ESP. W latach 1977-1978 opracowano pilotowe wersje takich systemów o przyjętych symbolach: KOR-1, TOR-1, TOR-1 M, które następnie skierowano do badań w warunkach przemysłowych, lecz po niedługim okresie zaprzestano ich próbnej eksploatacji i przekazano do likwidacji.

Pierwszym w Polsce ESP, w pełni eksploatowanym od 1982 r. (Huta Stalowa Wola) w warunkach przemysłowych, jest system FZ-200, który zbudowany i wdrożony przez niemieckiego licencjodawcę, służy do produkcji kół zębatych. Drugim w kraju ESP funkcjonującym na warunkach przemysłowych jest wdrożony w 1990 r. w Fabryce Maszyn Górniczych FAMUR w Katowicach, przez niemiecką firmę Scharmann, system do obróbki pięciu typów korpusów do maszyn górniczych, stosowanych w kopalniach węgla kamiennego. W warunkach laboratoryjnych pracują także doświadczalne moduły produkcyjne np. w: Politechnice Wrocławskiej, Politechnice Szczecińskiej, OBK KOPROTECH w Warszawie, CBKO w Pruszkowie. Funkcjonowanie owych ESP oraz wyniki badań procesów wdrażania FZ-20U przedstawiona w publikacjach autora; dla FZ-200 i dla systemu Scharmann w [7]. Nie wnikając w szczegóły badawcze można stwierdzić, iż systemy te będące pionierskimi inwestycjami przemysłowymi tego typu w naszym kraju, mogą być bazą porównawczą dla przyszłych wdrożeń ESP.

Wprowadzanie ESP do krajowych przedsiębiorstw przemysłowych wymagać będzie szeroko zakrojonych studiów dotyczących określenia, podobnie jak w przypadku konwencjonalnych systemów produkcyjnych, metodyki postępowania i projektowania rozruchu produkcji w ESP. Jak wiele publikacji w literaturze przedmiotu poświęcono już różnym aspektom projektowania ESP, sterowania i harmonogramowania produkcji dla ESP itp., tak problematyce wdrażania, rozruchu ESP, rozruchu produkcji w ESP, nie poświęcono należytej uwagi. Wynika to przede wszystkim z prototypowości rozwiązań każdego ESP i często z nie ujawniania swoich doświadczeń przez ośrodki doświadczalno-

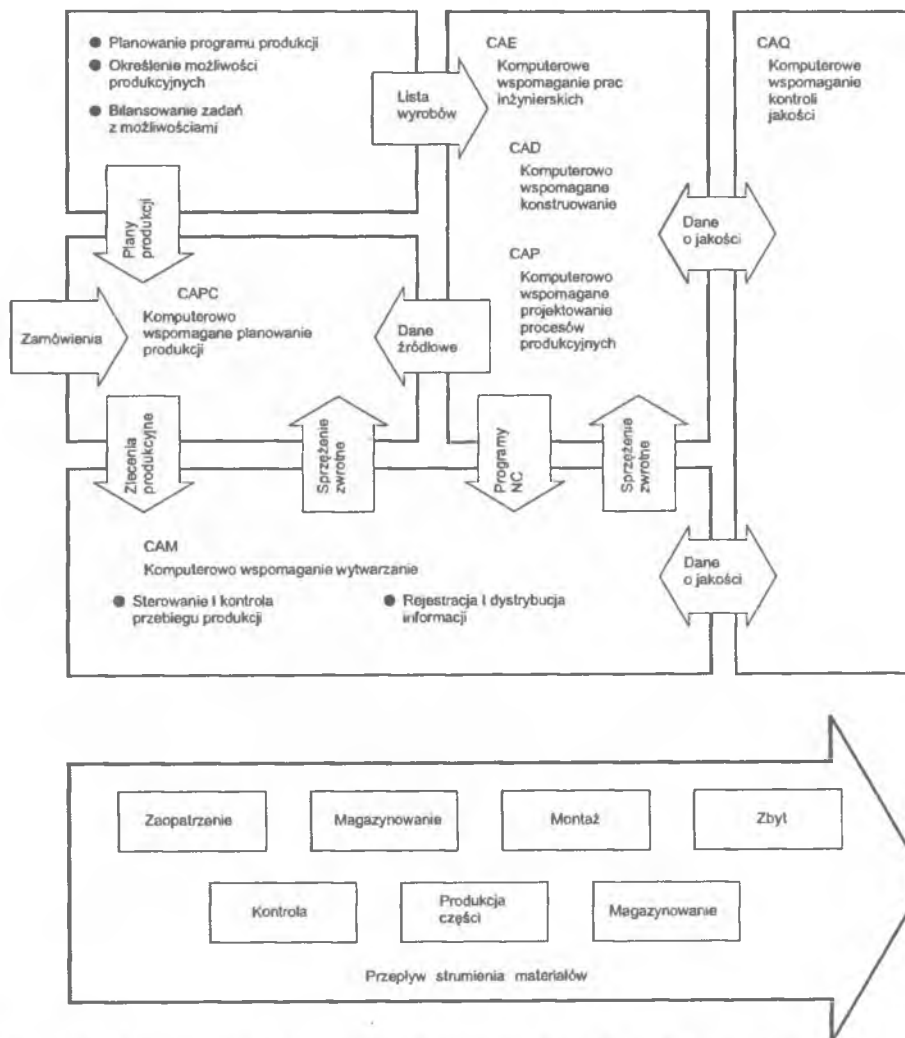
wdrożeniowe i naukowe, kierujące się względami konkurencyjności na rynkach krajów zachodnich. Wobec tego w Katedrze Organizacji Przedsiębiorstwa powstała taka metodyka (zob. [7]), która obejmuje – oprócz konwencjonalnych systemów produkcyjnych – również ESP. Poszukiwanie podobieństw i różnic metodologicznych pomiędzy tymi formami organizacji produkcji, pozwoliło na opracowanie kompleksowej metodyki projektowania rozruchu nowej produkcji.

10. KOMPUTEROWO ZINTEGROWANY SYSTEM PRODUKCYJNY

Współczesne przedsiębiorstwa przemysłowe, wyposażone w nowoczesne systemy produkcyjne, zaczynają wykorzystywać nową filozofię organizacji produkcji wymuszoną nie tylko przez teorię lecz także narzuconą przez rozwój nauki i techniki, przez nowsze generacje systemów technicznych, a przede wszystkim przez elastyczną automatyzację produkcji. Powstają więc nowe modele uwzględniające pełniej dynamikę przekształceń technologicznych, organizacyjnych i informatycznych. W sferze technologiczno-organizacyjnej dąży się do tworzenia systemów elastycznych, które obejmowałyby, cały proces produkcyjny wyrobu, poczynając od wytworzenia przygotówki, poprzez obróbkę części, kończąc na montażu wyrobów. W sferze przygotowania produkcji i bieżącego sterowania dąży się do integracji z systemami wytwarzania przy użyciu odpowiednich systemów informatycznych ewoluujących ku komputerowo zintegrowanym systemom wytwarzania¹ (ang. *Computer Integrated Manufacturing – CIM*). Stan zaawansowania współczesnej techniki komputerowej umożliwia pełną automatyzację praktycznie wszystkich etapów podstawowego cyklu wytwórczego: „projektowanie wyrobu – projektowanie procesu technologicznego – projektowanie procesu produkcyjnego – planowanie i sterowanie procesem wytwarzania wyrobu”.

¹ Problematykę tę sygnalizujemy tylko w ogólnym zarysie, gdyż w strukturze naszych studiów znajduje się odrębny przedmiot z tego zakresu.

Przejście od konwencjonalnego ujęcia procesu produkcyjnego do zintegrowanego komputerowo, odbywa się poprzez rozwiązania pośrednie w kolejnych etapach, obejmujących poszczególne stadia przygotowania produkcji i wytwarzania (rys. 10.3 [66]).



Rys. 10.1. Komputerowo zintegrowane wytwarzanie (CIM) – funkcje [66]

Komputerowe wspomaganie konstruowania CAD (ang. *Computer Aided Design*) obejmuje zestaw środków technicznych wraz z oprogramowaniem oraz

metod ich stosowania wspomagających działanie projektanta – konstruktora w wykonywaniu takich czynności jak: opracowywanie koncepcji rozwiązania, obliczenia i analizy konstrukcji np. wytrzymałościowe, rozkładu temperatur i in., wykonywanie rysunków konstrukcyjnych, sporządzanie wykazu części.

Komputerowo wspomagane projektowanie procesów produkcyjnych CAP (ang. *Computer Aided Planning*) stanowi zbiór środków technicznych wraz z oprogramowaniem oraz metod ich stosowania wspomagających procesy technologicznego przygotowania produkcji w zakresie projektowania procesów produkcyjnych, wraz z opracowaniem programów obróbki dla określonej maszyny technologicznej lub urządzenia (obrabiarka, maszyna pomiarowa itp). CAD, CAP umożliwiają zatem wspomaganie prac technicznego przygotowania produkcji, co łącznie nosi nazwę **komputerowe wspomaganie prac inżynierskich CAE** (ang. *Computer Aided Engineering*).

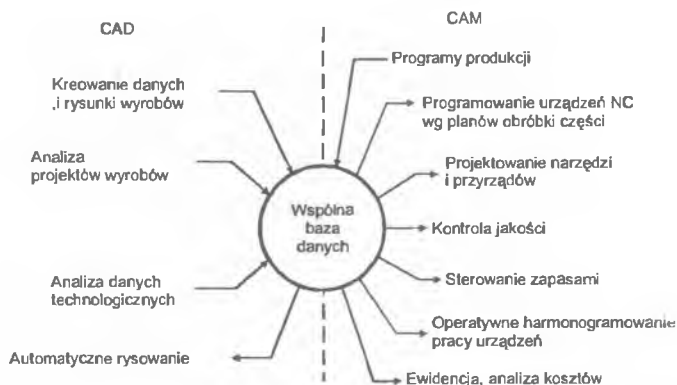
Integracja i automatyzacja funkcji i elementów związanych z realizacją procesów produkcyjnych w tym zwłaszcza: przygotowanie planów realizacji procesu, sterowanie przebiegiem procesu oraz gromadzenie i rejestracja danych o przebiegu procesu prowadzą do powstania systemów **komputerowo wspomagane wytwarzania CAM** (ang. *Computer Aided Manufacturing*). CAM obejmuje zatem pewne funkcje sterowania przepływem produkcji w tym zwłaszcza planowanie wykonawcze (operatywne) oraz ewidencję produkcji.

Integracja procesów technicznego przygotowania produkcji dotyczy w pierwszej kolejności projektowania konstrukcji wyrobów i procesów technologicznych wraz z przygotowaniem programów sterujących NC, a także projektowania pomocy warsztatowych (uchwyty i narzędzia). Prowadzi to do powstania systemów **komputerowo wspomagane konstruowania i wytwarzania CAD/CAM**.

W systemach CAD/CAM wyniki obliczeń konstrukcyjnych oraz wygenerowane rysunki wyrobów są wykorzystywane bezpośrednio do opracowywania procesów technologicznych oraz programów obróbki. Elementem integrującym system CAD z systemem CAM jest wspólna baza danych konstrukcji i technologii wyrobu (rys. 10.2).

Integracja komputerowa dalszych stref działalności przedsiębiorstwa prowadzi do powstania systemów **komputerowo zintegrowane wytwarzania**

CIM (ang. *Computer Integrated Manufacturing*) – rys. 10.1. Termin CIM oznacza system, w którym wszystkie funkcje i elementy uczestniczące w realizacji procesu produkcyjnego są zintegrowane przepływem informacji i sterowane przez komputer. Skrótowo zarysowane tutaj zagadnienia, związane z CAD/CAM i CIM będą rozwinięte w oddzielnym przedmiocie przewidzianym w strukturze naszych studiów.

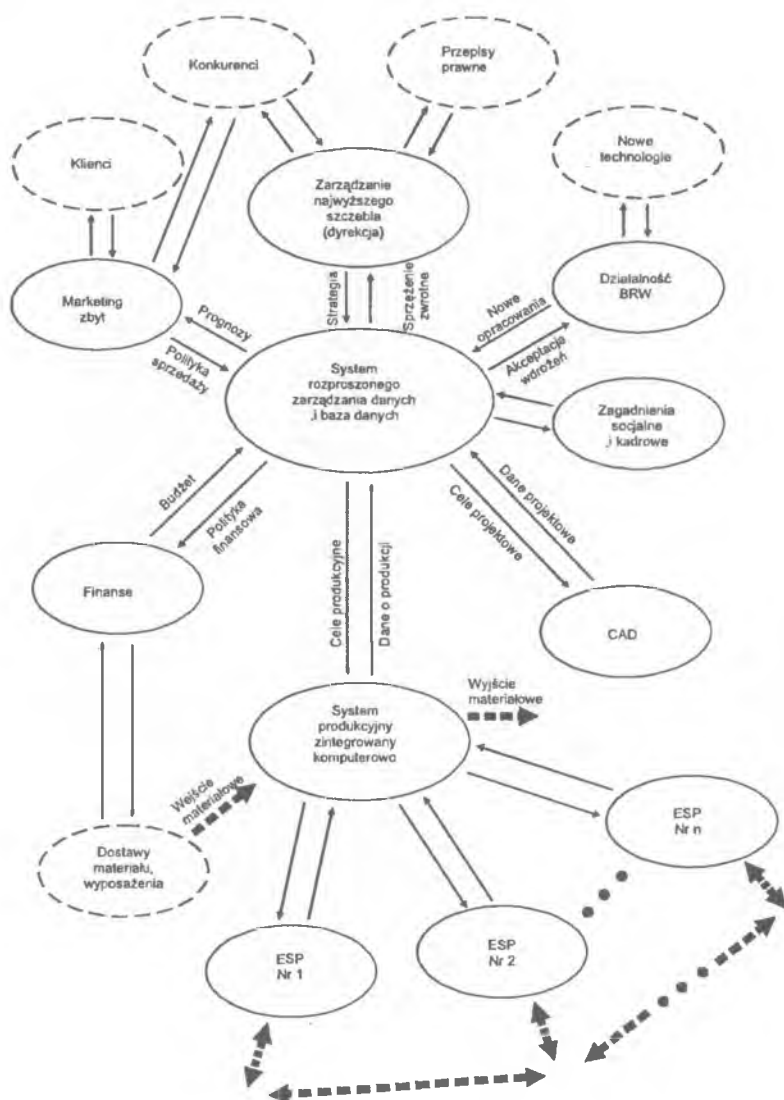


Rys.10.2. Podział zadań w zintegrowanym systemie CAD/CAM na przykładzie przemysłu maszynowego [20]

Tak jak pewne obszary systemów CAD/CAM oraz CIM są już praktycznie wykorzystywane w produjących firmach świata, to następująca po nich w ewolucji forma organizacyjna zwana „fabryką przyszłości”, traktowana być może w chwili obecnej, jako perspektywiczny system produkcyjny. Rozwój techniki, elektroniki i informatyki prawdopodobnie stworzy w ciągu najbliższych 10 – 15 lat nowy kształt makrosystemu technicznego, przekraczający ramy przedsiębiorstwa przemysłowego w obecnej formie organizacyjnej. Będą to komputerowo zintegrowane obszary działalności przedsiębiorstwa, funkcjonujące bez udziału człowieka lub z jego ograniczonym udziałem, w postaci ewoluującej ku idei fabryki przyszłości – rys. 10.3.

Funkcjonowanie takiej fabryki przyszłości jest opisywane następująco [66]. Proces projektowania wyrobów będzie wykonywany w drodze interaktywnej współpracy projektanta z komputerem. Projektant będzie generował koncepcje wyrobu oraz nakładał stosowne ograniczenia, wykonując w ten sposób twórczą część pracy. Komputer będzie wykonywał obliczenia projektowe oraz dostar-

czał niezbędne dane pomocnicze. Już w trakcie opracowywania poszczególnych wariantów konstrukcji komputer będzie szacował koszty produkcji i określał wymagania co do urządzeń produkcyjnych.



Rys. 10.3. Koncepcja zintegrowanego obiegu danych i materiałów w fabryce przyszłości oparta, o rozproszone bazy danych i sterowanie [66]

Prawie równolegle podsystem planowania produkcji będzie wykorzystywał powstające dane do optymalizacji planu produkcji poprzez wybór odpowiedniego wyposażenia produkcyjnego, procesu, marszruty, sekwencji operacji. Dane o wyrobie w postaci numerycznej będą z kolei wykorzystywane do sterowania pracą obrabiarek i innych urządzeń produkcyjnych, które będą realizować obróbkę części i montaż gotowych wyrobów. Całe wyposażenie produkcyjne będzie miało możliwość samoprzezbierania się, automatycznego manipulowania przedmiotami i pomocami warsztatowymi, doboru odpowiedniego oprzyrządowania oraz wykorzystywania różnorodnych technik wytwarzania (cięcie materiałów, obróbka, spajanie, nakładanie powłok itd.).

Urządzenia te będą samooptymalizować swoją pracę dzięki przekazywaniu informacji do nadrzędnego systemu sterowania oraz wewnętrznym układom sprzężenia zwrotnego. Taki system będzie na bieżąco uzyskiwał informacje o aktualnym stanie urządzeń i przebiegu procesów. Jego zachowanie nie będzie istotnie odbiegać od założonego wcześniej idealnego przebiegu pracy, ze względu na ograniczony wpływ zakłóceń. O ile jednak wystąpiłyby znacznie większe odchylenia przebiegów rzeczywistych procesu produkcyjnego od założonego optimum, następować będzie rekonstrukcja wyjściowego planu i powtórne zaprojektowanie harmonogramu z uwzględnieniem aktualnych warunków, tak by uzyskać nowe optimum. Równolegle obrabiarki i inne urządzenia produkcyjne będą wykonywać autodiagnostykę swojego stanu. W przypadku wykrycia błędów w działaniu wykonywane będą odpowiednie czynności korekcyjne, w tym: automatyczna wymiana wadliwie funkcjonujących podzespołów. Co więcej, wykonywana będzie automatyczna bieżąca, kontrola parametrów wyrobów na każdym etapie produkcji tak, że ewentualne błędy będą wykrywane dostatecznie wcześnie, by działania korygujące były skuteczne. Tak więc gotowy wyrób będzie w pełni skontrolowany i w pełni będzie odpowiadał wymogom określonym w projekcie.

11. ZARYS PROBLEMATYKI BADANIA I PROJEKTOWANIE ROZRUCHU NOWEJ PRODUKCJI

11.1. Wprowadzenie

Globalizacja rynków i skracanie cykli życia produktów powoduje, iż analizy marketingowe przeprowadzane w gospodarkach wielu krajów świata uzasadniają stwierdzenie, że w ciągu ostatnich 10 lat udział nowych wyrobów w obrotach różnych gałęzi przemysłu wynosi ok. 80%. Wobec tego również polski przemysł, przeobrażający się ku rozwiązaniom rynkowym, powinien częściej wprowadzać nową produkcję, z uwagi na niebezpieczeństwo przyspieszonego starzenia się wyrobów. Im szybsze jest tempo wdrażania innowacji w przedsiębiorstwie, czyli im częściej uruchamia się nową produkcję i modernizuje procesy produkcyjne, tym większego znaczenia nabierają zagadnienia organizacyjnego przygotowania nowej produkcji. Potrzebne są więc narzędzia dla projektantów systemów produkcyjnych przydatne w obecnych warunkach. Muszą one bazować z jednej strony na doświadczeniach światowych, a z drugiej – na badaniach dotyczących nowych uruchomień w Polsce.

Wprowadzaniu nowej produkcji towarzyszy zawsze konieczność opanowywania nowych warunków produkcyjno-organizacyjnych, powodujących pewne zaburzenia i zwłokę w osiąganiu stanu pełnej dojrzałości, co jest niejako „chorobą wieku dziecięcego” w odniesieniu do fazy docelowej, ustabilizowanej produkcji. Tych zjawisk, obiektywnie występujących, uniknąć nie można, lecz

poprzez ich zbadanie i właściwe projektowanie pożądanych rozwiązań można doprowadzić do racjonalizacji wdrażania nowej produkcji.

Powyższe przesłanki były podstawą podjęcia studiów literaturowych i badań przemysłowych, dotyczących nowych uruchomień, w różnorodnych formach organizacyjnych komórek produkcyjnych. Problematyka owa, mimo że jest jednym z kluczowych zagadnień praktyki zarządzania przedsiębiorstwem, traktowana jest w niewystarczający sposób w literaturze z zakresu organizacji produkcji, a ponadto żadne z opracowań nie obejmuje całokształtu tych zagadnień. Z reguły mówi się o przygotowaniu nowej produkcji dla fazy jej stabilizacji, a rozruch produkcji pozostaje znacznie mniej rozpoznany. Sytuacja ta oraz zapotrzebowanie praktyki przemysłowej, szczególnie w sferze projektowania, na nowe metody organizacji i zarządzania produkcją w pełni uzasadniały potrzebę podjęcia badań w tym zakresie.

Na przestrzeni wielu lat, w krajowych i zagranicznych ośrodkach naukowych, powstały zręby teorii organizacji i zarządzania produkcją oraz wypracowane zostały metody projektowania organizacji procesów i systemów produkcyjnych. Bogaty dorobek twórczy w zakresie projektowania organizacji produkcji, zogniskowany jest głównie w następujących ośrodkach naukowych:

- w Warszawie: Instytut Organizacji Systemów Produkcyjnych Politechniki Warszawskiej oraz Instytut Organizacji i Zarządzania w Przemśle ORGMASZ,
- we Wrocławiu: Instytut Organizacji i Zarządzania Politechniki Wrocławskiej, Instytut Organizacji i Zarządzania oraz Katedra Ekonomiki i Organizacji Przedsiębiorstwa Akademii Ekonomicznej .

Wieloletnia współpraca z tymi ośrodkami (studia, staże naukowe, praca doktorska itp.) pozwoliły czerpać autorowi inspiracje naukowe do badań nad rozruchem nowej produkcji.

Natomiast wśród ośrodków zagranicznych największe doświadczenie badawcze w zakresie *procesów uczenia się*, które są główną przyczyną, problemów związanych z rozruchem nowej produkcji, posiada Boston Consulting Group (BCG). Działalność badawcza i doradcza BCG promieniuje nie tylko na ośrodki naukowe i przemysłowe USA, lecz także przenika do Europy Zachod-

niej i częściowo Wschodniej [6], [29]. Klasyką jest już sformułowanie wieloletniego prezesa BCG – B. D. Henderson'a „...*teoria krzywych uczenia się jest prawie tak ważna dla amerykańskiego przemysłu, jak $E = mc^2$ dla fizyki, pod warunkiem właściwego jej stosowania...*” [29].

W niniejszej pracy procesy uczenia się będą wykorzystywane, nie w przypadku BCG do analizy i planowania strategicznego, lecz do projektowania procesu produkcyjnego w fazie rozruchu nowej produkcji.

Prowadzona przez autora działalność naukowo-badawcza koncentrowała się na przyjętych celach cząstkowych i końcowych, zgodnie z cyklem badawczym obejmującym swym zakresem podejście diagnostyczno-prognostyczne (rys. 11.1).

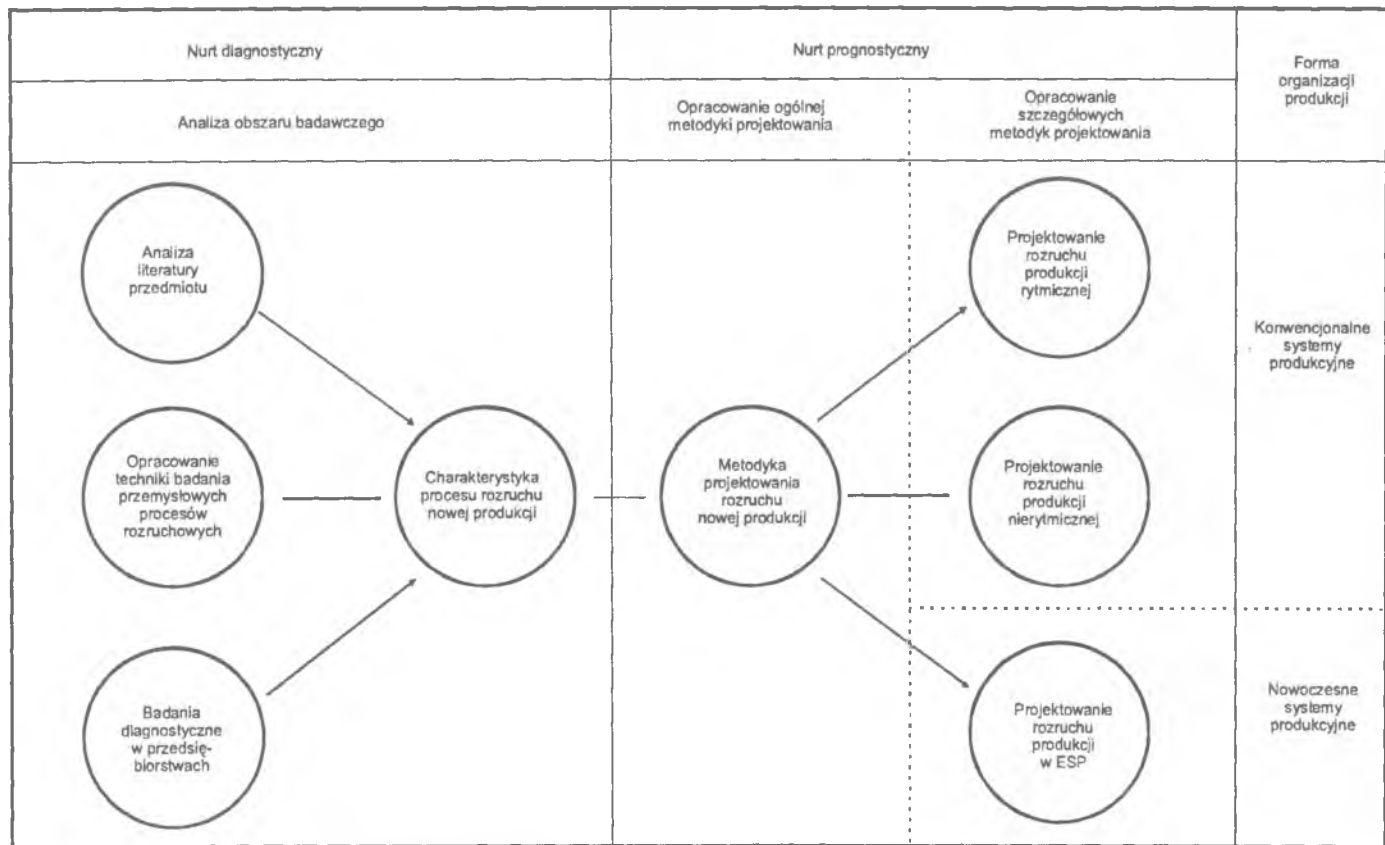
Analiza dostępnej literatury potwierdziła dużą złożoność problematyki, a przede wszystkim ujawniła potrzebę:

- przeprowadzenia kompleksowych badań fazy rozruchu nowej produkcji (pod względem parametrycznym i w aspekcie organizacyjnym),
- opracowania metodyki projektowania organizacji rozruchu nowej produkcji.

Kompleksowym badaniom fazy rozruchu produkcji, przeprowadzanym w warunkach przemysłowych, przyświecały następujące cele:

- określenie struktury nowych uruchomień i struktury procesów rozruchowych,
- ustalenie dynamiki, charakteru i prawidłowości kształtowania się parametrów produkcyjno-organizacyjnych w fazie rozruchu nowej produkcji,
- utworzenie banku normatywnych parametrów, niezbędnych dla projektantów rozruchu nowej produkcji i systemów produkcyjnych.

Badaniom podlegały formy organizacyjne realnie istniejące w warunkach przemysłowych i dotyczące konwencjonalnych systemów produkcyjnych (rytmicznej i nierytmicznej produkcji) oraz nowoczesnych systemów produkcyjnych (elastycznych systemów produkcyjnych – ESP). Diagnostowano kilkadziesiąt komórek produkcyjnych w fazie rozruchu 400 wyrobów (dla konwencjonalnych form organizacji produkcji) i 70 wyrobów – w dwóch eksploatowanych w polskim przemyśle ESP.



Rys. 11.1. Przebieg cyklu badawczego (opr. własne)

Przygotowanie do przeprowadzenia kompleksowych badań polegało na opracowaniu techniki badawczej obejmującej segmenty podane w tabeli 11.1.

Tabela 11.1. Segmenty techniki badania przemysłowych procesów rozruchowych

L.p.	Zakres badań	Okres badawczy	Narzędzie badawcze
1	Badanie warunków nowego uruchomienia	Faza uruchomienia jednostki produkcyjnej	Zbiór przygotowanych ankiet
2	Badanie parametrów produkcyjno-organizacyjnych	Faza rozruchu produkcji	Procedury zgodne z opracowanym grafem przeprowadzania badań nowych uruchomień
3	Opracowanie danych empirycznych, ich analiza i wnioskowanie		

Odtworzone zostały warunki rozruchu produkcji, które dotyczyły analizy w przekroju:

- **komórek produkcyjnych:** rodzajów rozruchów (mechaniczny, technologiczny itd.) oraz czynników wpływających na ich przebieg,
- **wyrobów:** procesu rozruchu (okres startu, okres rozwoju produkcji) oraz czynników wpływających na ich przebieg.

Wyniki tak szeroko zakrojonych badań warunków i czynników wpływu na rozruch nowej produkcji zostały usystematyzowane i posłużyły do ostatecznego sformułowania obszaru badawczego, jego struktury, współzależności czasowych, zdefiniowania zawartych w nim pojęć i problemów.

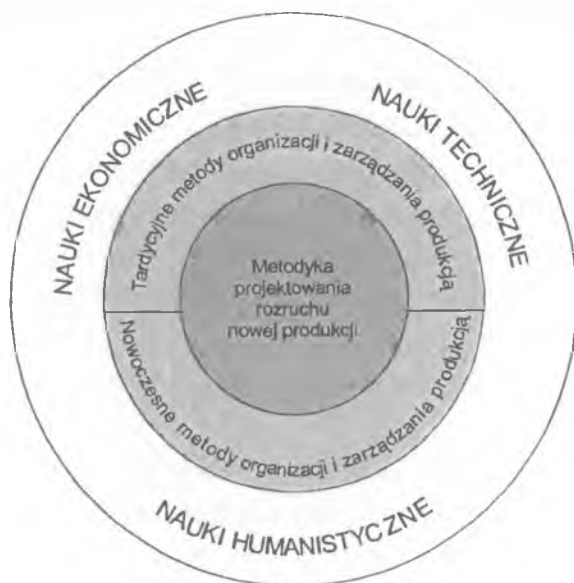
Następne analizy dotyczyły kształtowania się parametrów opisujących procesy produkcyjne w fazie ich rozruchu, zostały poselekcjonowane w grupy parametrów, charakterystyczne dla określonych zjawisk zachodzących w tej fazie. Przebadano również, które z parametrów produkcyjno-organizacyjnych wpływają na siebie i dlaczego, oraz jakie są źródła ich parametrycznej współzależności.

Syntetyzujące wnioski z badań literaturowych i wyniki diagnozowania przemysłowych procesów rozruchowych, pozwoliły na ostateczny opis obszaru zainteresowań oraz opracowanie założeń metodycznych, warunków i celów

projektowych, które mają charakteryzować proponowaną koncepcję metodyki projektowania rozruchu nowej produkcji.

W przyjętym cyklu badawczym (rys. 11.1) dotyczącym zagadnień nowych uruchomień, ostatecznym celem było opracowanie podstaw projektowania rozruchu nowej produkcji oraz postaci ogólnej metodyki projektowej, możliwej do rozwinięcia w szczegółowe metodyki projektowania, dla poszczególnych form organizacji produkcji. Ten prognostyczny nurt działalności organizatorskiej ma niezwykle znaczące implikacje w zarządzaniu produkcją. Dlatego proponowana metodyka projektowania rozruchu nowej produkcji ma szansę stać się ważnym narzędziem wykorzystywanym w pracy projektantów – organizatorów.

Niniejsza praca znajduje się (rys. 11.2), tak jak większość opracowań z zakresu organizacji i zarządzania, na styku trzech obszarów nauki: nauk ekonomicznych, technicznych i humanistycznych (w tym przypadku psychologii przemysłowej). Zawiera się także pomiędzy metodami organizacji i zarządzania produkcją, uznanymi już jako tradycyjne oraz metodami nowoczesnymi – korzysta z bogatych doświadczeń tych pierwszych i nowatorstwa drugich.

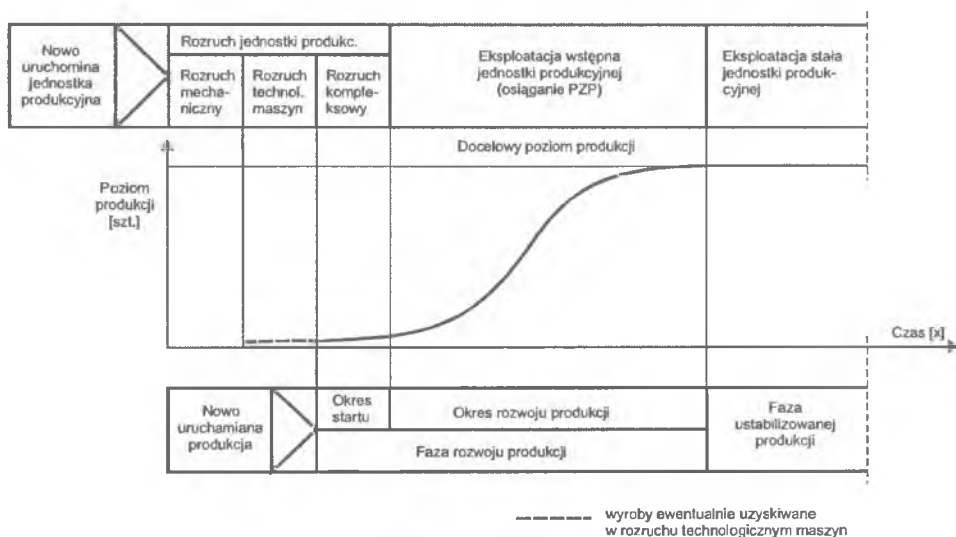


Rys. 11.2. Umiejscowienie pracy w obszarze nauki (opr. własne)

11.2. Charakterystyka procesu rozruchu nowej produkcji

Nowoczesne podejście – zgodne z duchem najpopularniejszej w świecie organizacji i zarządzania metody *Business Process Reengineering* jako sposobu gruntownego przekształcania całościowych procesów – wymagał uporządkowania i określenia modelu procesu rozruchu nowej produkcji.

Problematykę tzw. nowych uruchomień (uruchamiania jednostki produkcyjnej lub uruchamiania produkcji) należy rozpatrywać w przekroju komórkowym lub w przekroju wyrobu, gdzie modelową sytuację ich przebiegu przedstawia rys. 11.3.



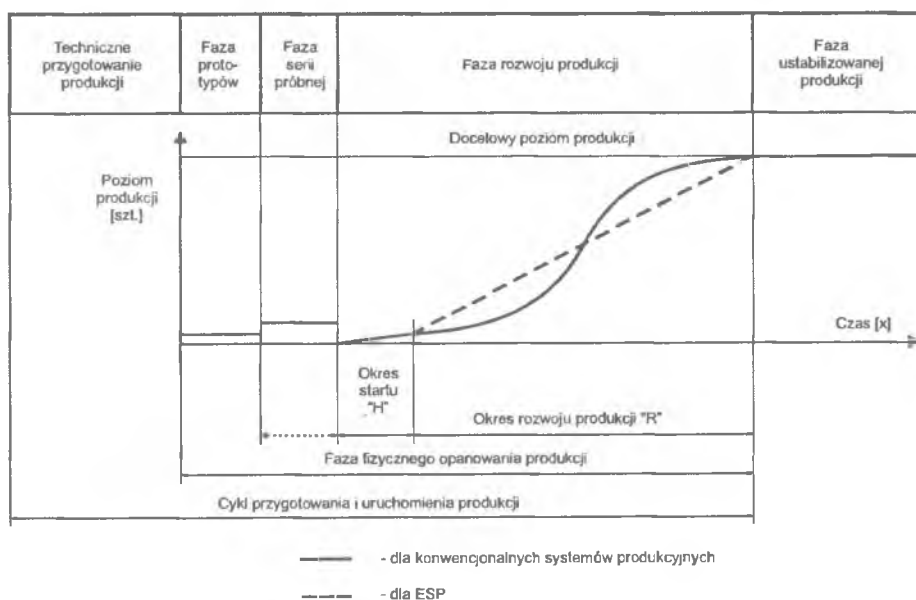
Rys. 11.3. Struktura nowych uruchomień (opr. własne)

Wprowadzanie nowej produkcji może się odbywać zasadniczo w dwóch formach uruchomieniowych:

- **rozruchu produkcji w nowo uruchamianej** (nowo projektowanej, nowo utworzonej) **jednostce produkcyjnej** (komórce produkcyjnej), tj.: gnieździe, oddziale, wydziale itd.,
- **rozruchu produkcji w istniejącej w jednostce produkcyjnej** (komórce produkcyjnej), tj.: gnieździe, oddziale, wydziale itd.

W pierwszej formie występuje najbardziej ogólna sytuacja, uwzględniająca całokształt problematyki rozruchu produkcji nowego, nieznanego produkcyjnie wyrobu w nowo tworzonej jednostce produkcyjnej. Druga forma dotyczy niejako typowych sytuacji występujących w bieżącej eksploatacji, w istniejącej jednostce produkcyjnej, gdzie organizacyjne przygotowanie nowej produkcji (najczęściej podobnej technologicznie) nie jest „wydarzeniem”, lecz normalnym, niemal codziennym działaniem wielu komórek przedsiębiorstwa.

Analizując procesy w odniesieniu do wyrobu (rys. 11.4), przyjmujemy następujące określenia podstawowych pojęć:



Rys. 11.4. Fazy cyklu przygotowania i uruchomienia produkcji oraz ich wzajemne powiązania (opr. własne)

- **nowa produkcja** to ta, która w programie produkcyjnym producenta pojawia się po raz pierwszy, niezależnie od tego, czy była wcześniej wytwarzana w kraju lub za granicą. Chodzi więc o produkcję wyrobów nowych, udoskonalonych lub przemieszczanych (zmieniających wytwórców). Nowa produkcja, to tym samym dla pracowników i kadry zarządzającej w jednostce produkcyjnej, nowy lub zmodernizowany proces produkcyjny;

- **rozruch produkcji** obejmuje okres produkcji od uzyskania pierwszych sztuk wyrobu, poprzez kolejne partie rozruchowe, aż do osiągnięcia poziomu parametrów produkcyjno-organizacyjnych, obowiązującego dla opanowanej (ustabilizowanej) produkcji.

Specyfiką produkcji będącej w fazie rozruchu jest to, że z chwilą rozpoczęcia nie można jej prowadzić na poziomie, który wynika z wielkości zaprojektowanych dla fazy stabilizacji. Wtedy rzeczywisty poziom produkcji, jak wykazano w badaniach przemysłowych, odbiega (in minus) od poziomu docelowego. W miarę upływu czasu, w którym dokonuje się proces opanowywania produkcji, różnice poziomów maleją i osiągają zero z chwilą całkowitego wdrożenia produkcji. Na podstawie wspomnianych badań, w fazie rozruchu wyróżnić można dwa okresy (rys. 11.4):

- **okres startu produkcji** (używać też będziemy nazwy rozruch wstępny lub początkowy),
- **okres rozwoju produkcji** (lub właściwy rozruch produkcji).

Wczesne stadia rozruchu produkcji są momentami częściowego eksperymentowania całego personelu wdrażającego nową produkcję. Dlatego wydzielony okres startu spełniać może rolę buforową, poprzez niedopuszczanie błędów technicznego przygotowania produkcji, do okresu realizacji rozruchu właściwego (rozwoju produkcji).

Wyniki badań przemysłowych – zachowania się parametrów opisujących procesy produkcyjne w fazie rozwoju produkcji – ujawniły źródła ich parametrycznej współzależności. Pozwoliło to na wyselekcjonowanie grup i podgrup parametrów charakterystycznych dla określonych zjawisk zachodzących w okresie rozruchu właściwego (w zależności od formy organizacji produkcji). Ostatecznie w najogólniejszym wymiarze (zbioru wejściowego i wyjściowego) wydzielono grupy parametrów, które nazywać będziemy:

- **parametrami głównymi**; są to parametry, których dynamika wpływa z natury zjawisk zachodzących w procesie rozruchu nowej produkcji,
- **parametrami pochodu**; są to parametry, których dynamika jest bezpośrednio zależna od dynamiki parametrów głównych.

Tę „naturę” procesów rozruchowych odzwierciedla dynamika parametrów, ujawniająca się jako skutki zjawiska **produkcyjnego uczenia się**. Rozruch no-

wej produkcji jest więc procesem szeroko pojętego uczenia się (*learning by doing*), czyli zdobywania doświadczenia przez system produkcyjny podejmujący nowe uruchomienie. W literaturze przedmiotu zaprezentowano kilka formuł *produkcyjnego uczenia się*, które są odmianami historycznie najwcześniej opracowanej formuły T. P. Wright'a i jej zmodyfikowanej przez J. R. de Jong'a postaci. Weryfikacja przeprowadzona w warunkach przemysłowych w: USA, Europie Zachodniej i Wschodniej oraz Polsce, potwierdziła zasadność stosowania obu formuł w zagadnieniach rozruchu nowej produkcji. Uzupełnieniem w parametrycznym opisie zjawiska produkcyjnego uczenia się są zaproponowane przez autora: formuła *jakościowego uczenia się* oraz formuła *zapominania nawyków roboczych* dla „przerywanych i wznowianych” rozruchów produkcji.

Mając na uwadze otrzymane wyniki badawcze – w polskich warunkach przemysłowych – specyfikę zweryfikowanych formuł oraz formy organizacji produkcji, w tabeli 11.2 przedstawiono możliwości i obszary zastosowań owych formuł w procesach rozruchu nowej produkcji.

Tabela 11.2.

Nazwa formuły	Produkcja nierytmiczna		Produkcja rytmiczna		ESP
	Gniazda technologiczne	Gniazda przedmiotowe	Wszystkie formy organizacji	I generacji	II generacji
T.P. Wright'a					
J.R. de Jong'a					
Jakościowego uczenia się					
Zapominania nawyków roboczych					

	– właściwe pole zastosowań
	– możliwe pole zastosowań
	– niewłaściwe pole zastosowań

Narastanie produkcji w kolejnych przedziałach czasowych fazy jej rozruchu jest wynikiem tego, iż zbiór parametrów wejściowych i wyjściowych (głównych i pochodnych) opisujących procesy produkcyjne „dociera się” i dąży do pełnego uzyskania docelowego, normalnego poziomu produkcyjno-organizacyjnego i ekonomicznego. Właściwe więc przygotowanie (zaprojektowanie), a następnie poprawna realizacja rozruchu produkcji, stanowiąc może podstawę dalszego funkcjonowania komórek produkcyjnych w fazie ustabilizowanej produkcji.

11.3. Metodyka projektowania rozruchu nowej produkcji

11.3.1. Metodyka ogólna

W praktyce przemysłowej zazwyczaj napotykamy na bardzo zróżnicowane zadania projektowe, dlatego wiodącą cechą proponowanej metodyki będzie dążenie do sformułowań na tyle ogólnych, aby mogły się one odnosić do różnorodnych, potencjalnie możliwych sytuacji w warunkach rzeczywistych.

Architekturę metodyki ogólnej i szczegółowej (zob. [7]) tworzą, w miarę jednorodne problemy projektowania, połączone w określone jednostki projektowe. Formuły obliczeniowe i procedury projektowe w przyjętej konfiguracji są grupowane w moduły projektowe, a następne ich połączenia tworzą etapy metodyki. Oczywiście ogólna postać jest wspólna dla wszystkich modułów i etapów projektowania. Można ją przedstawić w postaci spójnego ciągu zagadnień projektowych (rys. 11.5).

O skuteczności procesu projektowania decyduje w dużej mierze jakość danych wejściowych. Zatem szczególną uwagę poświęcono tutaj opracowaniu sposobu weryfikacji danych, ich archiwizowania i wykorzystania w formie bazy wiedzy. Przygotowuje to moduł 1, w którym opracowano metodę:

- budowy i użytkowania normatywnego banku charakterystyk rozruchu produkcji,
- kwalifikacji wyrobów dla potrzeb ESP.

Dobre przez projektanta wielkości potrzebnych normatywów i warunków uruchomieniowych tworzą podstawę do prowadzenia projektowania według kolejnych modułów i etapów.

Parametryczny opis nowo uruchamianego systemu produkcyjnego pozwala na dokonanie szczegółowych obliczeń dynamiki parametrów wejściowych i wyjściowych (moduł 2 i 4) oraz długości fazy rozruchu produkcji wszystkich nowo uruchamianych wyrobów (moduł 3). Ponieważ przy projektowaniu organizacji produkcji dla fazy jej stabilizacji, zbiory parametrów wejściowych i wyjściowych są traktowane w ujęciu statycznym, to w fazie rozruchu musi być uwzględniona ich dynamiczność, z uwagi na źródła niestabilności procesu rozruchu, które dynamizują owe parametry. Uwzględnianie tego odbywa się poprzez zastosowanie formuł projektowo-obliczeniowych, umożliwiających precyzyjne określanie parametrycznego opisu zachodzących zmian, w kolejnych przedziałach planistycznych i w każdym momencie fazy rozruchu produkcji. ETAP I proponowanej metodyki przygotowuje więc od strony parametrycznej możliwości projektowania różnorodnych harmonogramów określających przebieg rozruchu produkcji.

W ETAPIE II powstają dla okresu rozruchu właściwego wszelkiego rodzaju harmonogramy zapewniające optymalne przydzielanie zadań w czasie (moduł 5), harmonogramy procesów obsługowych (moduł 6) oraz harmonogramy umożliwiające koordynację wszystkich elementów procesu produkcyjnego (moduł 7), pozwalające na efektywną realizację kolejnych stadiów fazy rozruchu nowej produkcji. Uwzględnia się tutaj oczywiście specyfikę formy organizacji produkcji. W module 8, który zamyka cykl projektowania, dokonuje się doboru właściwych systemów międzykomórkowego i wewnątrzkomórkowego sterowania rozruchem produkcji. Wszystko to przygotowuje nowo uruchamiany system produkcyjny do właściwego funkcjonowania w fazie rozruchu produkcji.

11.3.2. Metodyki szczegółowe

Przedstawiony schemat ogólnej metodyki projektowania rozruchu nowej produkcji obowiązuje również dla metodyk szczegółowych, które będą różniły się między sobą charakterem poszczególnych form organizacji produkcji (rys. 11.6). Metodyki te składają się z wielu procedur i formuł projektowych, specyficznych dla określonych warunków organizacyjnych i typów produkcji.

Dla poszczególnych metodyk przyjęto odpowiednio: systematykę problemów oraz klasyfikację parametrów produkcyjno-organizacyjnych i ich umiej-

scowienie w kolejnych modułach projektowych, zgodnie z przyjętą kolejnością całego cyklu projektowania. Wyprowadzono kilkadziesiąt zależności matematycznych dla parametrów z grupy wejściowych i wyjściowych (głównych i pochodnych) oraz połączono je w określone procedury projektowe. Wykorzystywane są one w obszarze właściwej metodyki szczegółowej, bądź wspólnej metody, stosowanej we wszystkich metodykach, jak np. metoda harmonogramowania przebiegu rozruchu produkcji wyrobów złożonych i komórek produkcyjnych wyższych stopni. Potencjalny użytkownik, poruszając się zgodnie z przedstawioną kolejnością „rozwijania się” metodyk szczegółowych, osiąga efekt końcowy tj. projekt organizacji produkcji w fazie jej rozruchu.



Rys. 11.6. Podział metodyk według formy organizacji produkcji (opr. własne)

Najogólniej rzecz ujmując, każda z metodyk uwzględnia najistotniejsze cechy każdej formy organizacji produkcji i dopiero na tej podstawie budowane są procedury projektowe, uwarunkowane charakterem tych form organizacyjnych.

Systemy rytmicznej produkcji cechują duże programy produkcyjne, więc osiągają one fazę pełnej stabilizacji produkcji. Wobec tego projektowanie ich rozruchu przebiegać będzie w pełnym cyklu, przygotowującym płynne przejście przez fazę rozruchu w fazę ustabilizowanej produkcji. Wymaga to najbardziej szczegółowego i pieczołowitego opracowania projektu rozruchu, z uwagi na dużą „sztywność” (projektową i realizacyjną) tych systemów produkcyjnych.

W przypadku **systemów nierytmicznej produkcji**, charakteryzujących się dużą przemiennością i niewielkimi programami produkcyjnymi, pojawiają się problemy przerywania procesów rozruchowych (całkowitego lub częściowego zaniechania produkcji i ponownego uruchamiania). Takie sytuacje powodować

mogą stan „permanentnego rozruchu”. Połączenie więc procesu uczenia się i zapominania w zaproponowanej formule oraz ponownego uczenia się, już z innego pułapu, umożliwiło określenie poziomu parametrów produkcyjno-organizacyjnych i realizację pełnego cyklu projektowania.

Projektowanie rozruchu produkcji w *elastycznych systemach produkcyjnych* ma na celu dobranie całościowych zadań tak, aby etapowemu wdrażaniu kolejnych elastycznych modułów produkcyjnych i podsystemów, towarzyszyło osiągnięcie nominalnych zdolności produkcyjnych. Zapewniać to będzie uruchamianie tzw. kontrolnego pakietu zadań, dla którego wyliczone zostały obciążenia cząstkowe modułów i całej konfiguracji ESP. Osiągnięcie takiego stanu jest potwierdzeniem dojścia systemu do eksploatacji stałej. Niezmiernie ważnym problemem stają się tutaj zagadnienia koordynacji współpracy ESP z otaczającymi komórkami produkcyjnymi, zorganizowanymi w konwencjonalne systemy produkcyjne.

11.3.3. Możliwości stosowania metodyki

Metodyka przeznaczona jest do wykorzystywania w jednostkach projektowo-wdrożeniowych i konsultingowych oraz działach organizacji produkcji przedsiębiorstw przemysłowych. Obejmuje problemy rozruchu nowej produkcji w komórkach (systemach) produkcyjnych, realnie występujących w warunkach przemysłowych i odnoszących się do dwóch form uruchomieniowych: w nowej i w istniejącej jednostce produkcyjnej.

Elastyczność zaproponowanej koncepcji umożliwia zaadoptowanie poszczególnych jej modułów projektowych do konkretnych warunków i wariantów określonego podejścia projektowego. Także umowny przecież podział na rytmiczną i nierytmiczną formę organizacji produkcji oraz elastyczne systemy produkcyjne, który funkcjonuje w teorii i praktyce projektowej, daje pełne możliwości stosowania tej metodyki do projektowania wszelkich typów produkcji i komórek produkcyjnych (systemów produkcyjnych). Świadczy to o uniwersalności przeprowadzanych rozważań i metodycznych założeń, sprawdzających się w różnorodnych przypadkach wprowadzania nowo uruchamianej produkcji.

Każda metoda organizatorska podlega cyklowi życia, dlatego omawiana metodyka – będąca na początku swej drogi – ma szansę rozwijać się, dojrzewać i wejść w fazę dyfuzji. Okres inicjacji i częściowego eksperymentowania reali-

zowany jest poprzez: publikacje, powołanie przedmiotu obieralnego na kierunku *Zarządzanie i Marketing* Politechniki Lubelskiej oraz projekty wdrożeniowe w przedsiębiorstwach Lubelszczyzny.

Metodyka ogólna wraz z metodykami szczegółowymi, pomimo swej merytorycznej spójności i kompletności, pod względem naukowo-badawczym może tworzyć początki nowych kierunków badań zmierzających do rozwinięcia, pogłębienia i uszczegółowienia problemów oraz ich rozwiązań. Możliwości takie wynikają z szeroko pojmowanego przedmiotu pracy, z którym zazębia się wiele teoretycznych zagadnień związanych z problematyką nowych uruchomień.

Świadomość rangi tematyki nowych uruchomień w gospodarce rynkowej, uzasadnia potrzebę wskazania najważniejszych kierunków dalszych badań i rozwoju metodyki zmierzających do:

- rozszerzania metodyki o wyprzedzające problemy techniczno-organizacyjnego i inwestycyjnego przygotowania nowych uruchomień,
- zarządzania zmianami w aspekcie wdrażania projektów rozruchu nowej produkcji,
- rozwijania metod oceny ekonomicznej efektywności innowacji, w szczególności dla fazy wdrożeniowej,
- rozszerzenia metodyki o problematykę związaną z uruchomieniem innowacji technicznych w przyszłościowych systemach produkcyjnych.

Ilościowy i jakościowy opis problemów i procesów zachodzących podczas realizacji nowych uruchomień, analiza i propozycje rozwiązań, stanowiąc będą możliwości dogłębnego ich poznania oraz opanowania poprzez wypracowanie zasad przygotowania i projektowania tych zagadnień. Poszerzenie metodycznych podstaw projektowania pozwoli na lepsze ukształtowanie warunków do realizacji procesów innowacyjno-wdrożeniowych w przedsiębiorstwach przemysłowych i możliwości eliminowania błędów uruchomieniowych oraz minimalizacji związanego z tym ryzyka.

12. SYSTEMY PRZYSZŁOŚCI

W warunkach współczesnej gospodarki rynkowej i poszerzenia się procesów globalizacyjnych, niezbędne jest widzenie całości poprzez myślenie systemowe i elastyczne reagowanie na dynamiczne zmiany w otoczeniu przedsiębiorstw i adaptowanie się do zmieniających się warunków. Proces transformacji każdej organizacji jest więc nieunikniony i musi opierać się na holistycznym podejściu do tych przekształceń.

Organizacje przyszłości powinny zapewniać symultaniczne i skoordynowane zmiany we wszystkich obszarach swej działalności, gdyż drobne nawet zakłócenia w jednym z nich zagrażają funkcjonowaniu całego systemu produkcyjnego. Wobec tego transformacja „organizacji teraźniejszości” w „organizację przyszłości” jest procesem, który ma zharmonizować ich przekształcanie opierające się na potrzebach ożywienia i odnowy (rewitalizacji) współczesnych przedsiębiorstw (zob. np. [24], [52], [80]).

Modele, do których będą zmierzać *organizacje przyszłości*, to przede wszystkim: organizacje uczące się, organizacje wirtualne, organizacje biologiczne i organizacje fraktalne¹. Przystają one być jedynie ideami, ograniczającymi się do samej konceptualizacji problemu, ale mają także przykłady rozwiązań i zastosowań praktycznych w wielu przodujących firmach świata.

¹ Wykorzystano tutaj materiały pochodzące z pracy magisterskiej, aktualnie pisanej pod kierunkiem autora, przez A. Leszczyńską.

12.1. Organizacja ucząca się

12.1.1. Charakterystyka organizacji uczącej się

Wizja *organizacji uczącej się*² (ang. *learning organization* – *LO*) posiada szereg definicji. Wynika to m.in. z odrębnej interpretacji każdego z autorów, co to jest przedsiębiorstwo uczące się i jak ma ono wyglądać. Z reguły jednak przyjmuje się, że:

- organizacja ucząca się jest to miejsce, gdzie ludzie stale poszerzają swoje zdolności do osiągania wyników, których prawdziwie pragną, gdzie ludzie stale uczą się tego, jak uczyć się razem, gdzie ludzie stale odkrywają, że tworzą rzeczywistość [70];
- przedsiębiorstwo uczące się jest to organizacja, która umożliwia i ułatwia uczenie się wszystkim swoim członkom oraz świadomie przekształca zarówno siebie, jak i kontekst, w którym istnieje [55];
- organizacja ucząca się świadomie wykorzystuje proces uczenia się na poziomach indywidualnym, grupowym i systemowym do stałego przekształcania organizacji w kierunku zmierzającym do zwiększania satysfakcji beneficjentów [54].

Jak wynika z definicji organizacja ucząca się opiera się przede wszystkim o proces uczenia się i umieszcza go centralnie w stosunku do własnych wartości. Taka organizacja świadomie wykorzystuje uczenie się poszczególnych grup i zespołów w obrębie samej firmy oraz poprzez kontakty z handlowymi partnerami organizacji. Każdy z pracowników ma prawo do uczestniczenia w szkoleniach i kursach, które go interesują, a także w odpowiednich grupach, działających wewnątrz firmy. W przedsiębiorstwie inteligentnym powinien występować nie tylko proces wzbogacania wiedzy poszczególnych osób, ale również świadomie ukształtowany system ułatwiający i skłaniający do zdobycia wiedzy wszystkich jego pracowników [51]. To zdobywanie nie może mieć jednak

² Zwana często *organizacją inteligentną*. Wydaje się jednak, że organizacja inteligentna ma szerszy wymiar funkcjonalny, w stosunku do organizacji uczącej się. Dlatego osiąganie formy organizacji inteligentnej następuje poprzez „przejście” przez fazę organizacji uczącej się.

charakteru działań indywidualnych. Powinno być zbudowane w oparciu o system motywacyjny, zachęcający do działań zespołowych oraz umożliwiający interakcje pomiędzy pracownikami a zespołami. Potraktowanie uczenia się jako wartości nadrzędnej pociąga za sobą konieczność poszanowania praw każdego człowieka – prawa do nauki we własnym tempie, prawa do wprowadzania koniecznych zmian, a nawet prawa do nieuczenia się. Podobnie, jak ustanowienie uczenia się wartością nadrzędną, tak i przewodzenie organizacjom uczącym się wymaga ogromnych kompetencji. Przełożeni powinni być przekonani, że muszą się uczyć oraz pozytywnie wpływać na otoczenie. Ich ważną powinnością jest również śledzenie skutków swego oddziaływania na innych.

W literaturze przedmiotu ucząca się organizacja, bardzo często traktowana jest jako pewna suma wiedzy, którą dysponują poszczególni współpracownicy. Oznacza to, że organizacja taka nigdy nie osiąga stanu końcowego, ponieważ występujący w niej proces uczenia się zapewnia stałą ciągłość rozwojową.

Do podstawowych cech organizacji uczącej się zaliczamy:

- zdolność unikania błędów i zapobiegania im,
- umiejętność pozytywnego patrzenia na przemiany i usprawnienia (zamiast reagować po czasie na jakieś zjawiska taka firma jest stale „przy piłce”),
- szybkie korygowanie struktur i reagowanie na życzenie klientów oraz tendencje rynkowe (w tym kontekście uczące się przedsiębiorstwo oznacza również zmniejszanie biurokracji),
- zdolność wprowadzania szybkich korekt przez podejmowanie drobnych kroków i wypróbowywanie nowych możliwości,
- unikanie marnotrawstwa i niepotrzebnych wysiłków,
- znaczne obniżanie liczby usterek, które dotychczas uchodziły za „normalne”.

Ogólne podnoszenie efektywności i produktywności dokonuje się poprzez:

- włączanie innych działów do prac badawczo-rozwojowych, eksperymentów i poszukiwań innowacji,
- rozszerzanie często sterylnego ruchu racjonalizatorskiego w szeroki proces wszelkich możliwych usprawnień przez wspólne systematyczne działania,
- podnoszenie konkurencyjności już nie przez samo zwiększanie poziomu sprzedaży, lecz elastyczne dostosowywanie się do warunków na różnych rynkach i do upodobań różnych grup klientów.

Tabela 12.1. Myślenie w tradycyjny sposób i w organizacji uczącej się [70]

Myślenie w tradycyjny sposób	Myślenie w organizacji uczącej się
• ja i moje stanowisko to jedno • obowiązki określone przez granice stanowisk	• jestem w stanie wpływać na swoje życie
• wróg jest na zewnątrz • ktoś lub coś jest przyczyną niepowodzeń	• nasza działalność powoduje konsekwencje niekiedy bolesne dla nas samych
• bycie aktywnym, agresja wobec wroga • reakcja emocjonalna	• prawdziwa aktywność, szukanie w swoim postępowaniu przyczyn problemów • reakcja intelektualna
• koncentracja na wydarzeniach • nie uczymy się tworzenia	• koncentracja na powolnych, stopniowych procesach • uczymy się tworzenia
• nieprzystosowanie do wzrastających stopniowo zagrożeń	• nauczanie się obserwowania powolnych zagrożeń
• iluzja uczenia się przez doświadczenie • konsekwencje działań mogą być bardzo odległe w czasie, nie można się uczyć metodą prób i błędów	• kluczowe decyzje muszą być podejmowane w kontekście konsekwencji systemowych na długie lata
• utrzymywanie pozorów zgranego zespołu, wyciszanie różnicy zdań	• uczenie się zespołowe

Uczące się przedsiębiorstwo lepiej przechodzi wahania koniunktury, ponieważ nie musi dokonywać trudnej reorganizacji dopiero po wystąpieniu trudności. W tego rodzaju przedsiębiorstwie przewyższające są skostnienia w różnych dziedzinach m.in. przez:

- uwypuklanie znaczenia całych procesów przy ograniczaniu roli tradycyjnych hierarchii i stosowanie w myśleniu nowych kategorii (myślenie procesami, tworzenie wartości, kluczowe umiejętności),

- zastępowanie orientacji na rynki orientacją na klientów, a więc oferowanie wyrobów i usług „na miarę”.

Elastyczność struktur oraz uczenie się na zasadzie sieci ma ułatwić szybką zmianę struktur i zmierzać do zaspokojenia wymagań zarówno pracowników, jak i klientów. Powinna przyczynić się do podniesienia całej efektywności przedsiębiorstwa i przynosić korzyści w stosunku do tradycyjnych podejść w konwencjonalnych systemach produkcyjnych (zob. tab. 12.1).

12.1.2. Formy organizacji uczącej się

Właściwie nie istnieje żaden wzorcowy model organizacji inteligentnej. Wynika to z faktu, że nurt LO traktowany jest częściej jako jeden z kierunków rozwoju organizacji, jako specyficzna filozofia działania, niż jako skrytaliczowana forma działalności. Organizacja ucząca się może więc przyjmować różnorodne formy działalności, przy jednoczesnym wprowadzaniu strategii ciągłego uczenia się. Strategia taka musi być jednak oparta o technologię uczenia się, której podstawą jest poznanie, wprowadzenie i praktykowanie różnych technik uczenia się oraz budowanie „mikroświatów” [70].

Oczywiście poza wprowadzeniem strategii uczenia się, filozofia LO powinna dodatkowo spełniać szereg wymagań. Są to [55]:

- współuczestnictwo w wytyczaniu polityki firmowej – wszyscy członkowie organizacji nadają kierunek polityce wspólnie z beneficjentami tak, aby polityka ta odzwierciedlała różnorodne koncepcje,
- informacyjność – oznacza wprowadzenie automatyzacji i wykorzystywanie jej do informowania pracowników,
- kształcenie finansowo-księgowe – polega na stworzeniu takiego systemu rozliczeń księgowych, aby wspierać naukę umiejętnego wykorzystywania środków finansowych,
- wymiana wewnętrzna – uczenie się od innych działów na zasadzie sieci,
- elastyczność wynagrodzeń – wynikająca ze zwiększonej autonomii pracowników i poszerzenia zakresu odpowiedzialności,
- elastyczność struktur – mająca ułatwić szybką zmianę struktur zmierzającą do zaspokojenia wymagań pracowników lub klientów,

- nauka międzyzakładowa – poprzez wspólne przedsięwzięcia, związki i porozumienia,
- klimat sprzyjający uczeniu się – taki, w którym menedżerowie ułatwiają sobie i innym pracownikom przeprowadzanie doświadczeń, a także uczenie się poprzez doświadczenia, wzajemne reakcje,
- możliwość rozwoju dla wszystkich,
- analiza środowiska – dokonywana przez „skrajnych” pracowników, którzy mają kontakt z otoczeniem.

Cechy te stwarzają pewnego rodzaju „wzorzec idealny”, do którego firmy powinny dążyć. Tym, co zasadniczo różni organizacje uczące się od organizacji tradycyjnych, opartych na autorytecie i odgórnym sterowaniu, jest mistrzostwo osiągane przez nie w poszczególnych dyscyplinach podstawowych. Nie konieczne wydaje się zatem być posiadanie wszystkich ww. cech jednocześnie, a jedynie niektórych z nich, przy spójnym, holistycznym podejściu.

12.1.3. Tworzenie organizacji uczącej się

Wprowadzanie filozofii LO uzależnione jest przede wszystkim od stanu przygotowania pracowników i sprawności systemów informacyjnych. Ponadto potrzeba jeszcze wielu czynników, które mogą przyspieszyć lub opóźnić ten proces. Są to [54]:

- troska o warunki sprzyjające uczeniu się, a więc unikanie stresów, obniżenie barier informacyjnych, udzielanie pomocy przez menedżerów, zapewnianie dostatecznych ilości czasu;
- opracowanie odpowiadającego praktyce programu pozyskiwania, transferu i wykorzystywania wiedzy;
- opanowanie procesów stopniowego rozwiązywania problemów przez pracowników i menedżerów i podnoszenie zarówno indywidualnej umiejętności uczenia się, jak i uczenia się w grupach oraz w ramach całego przedsiębiorstwa;
- wypracowanie metody mierzenia i oceny efektów poszerzania wiedzy;
- organizowanie spotkań dotyczących działań we wszystkich przyszłościowych dziedzinach, jak: prace rozwojowe, marketing, strategia, planowanie, tendencje technologiczne, zmiany strukturalne, procesy przebiegające ponad specjalnościami i funkcjami, odwiedziny u klientów i dostawców;

- wprowadzanie bardziej spłaszczonych hierarchii, które sprzyjają uczeniu się (w tym samym kierunku idą elastyczne, modułarne struktury organizacyjne zapewniające równowagę między chaosem a porządkiem. Pomocne są pewne struktury doraźne, które zresztą trzeba tworzyć także z innych względów, jak zespoły zadaniowe, koła jakości, dyskusje robocze);
- myślenie o potrzebach klientów na wszystkich szczeblach i we wszystkich działach tak, by zintensyfikować uczenie się bezpośrednio od rynku;
- wykorzystywanie edukacyjnych programów komputerowych, programów symulacyjnych, sieci informacyjnych;
- wprowadzanie pracy zespołowej w produkcji przemysłowej;
- stawianie większej liczby pytań zamiast wyrażania opinii.

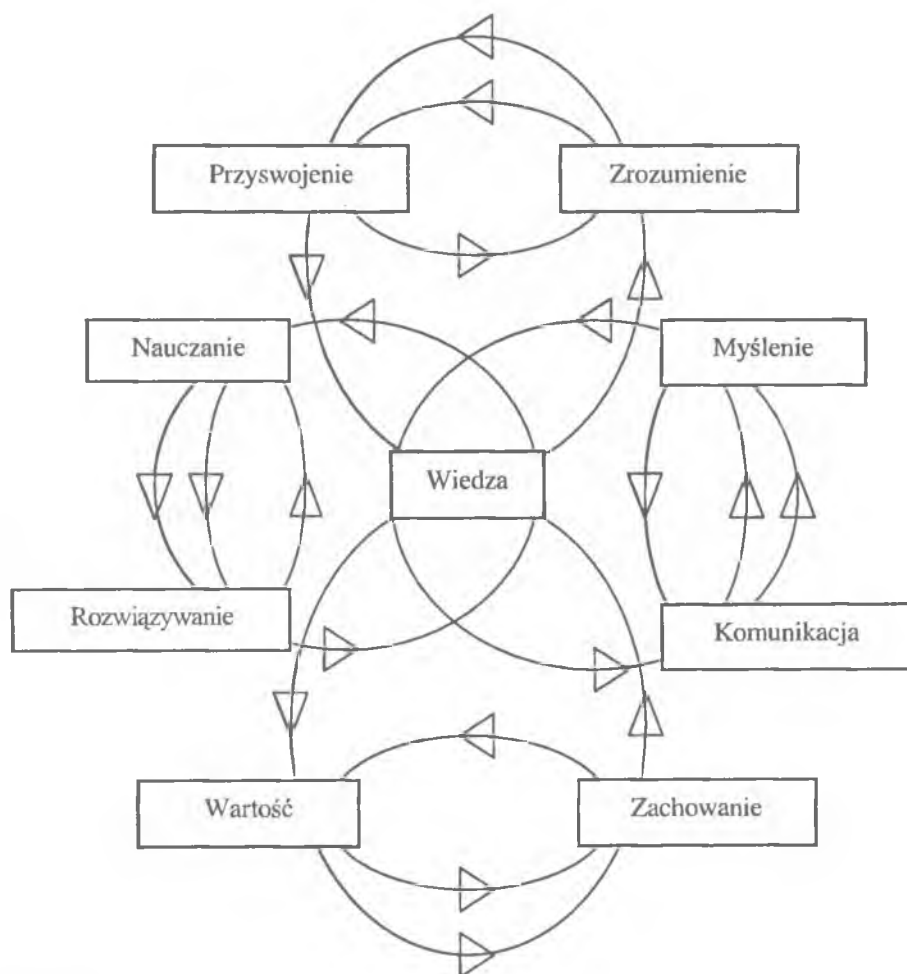
Ponieważ cykl organizacyjnego uczenia się dotyczy całego przedsiębiorstwa (zob. np. [10], [12], [54], [70]) dla każdej organizacji przebiega on odmiennie. Jego długość i gwałtowność uzależniona jest od warunków wewnętrznych. Wynika to przede wszystkim ze społecznej konstrukcji wiedzy i jej lokalnego usytuowania, znajdując swoje źródło w indywidualnych pomysłach lub w pracy zespołowej.

Generalnie jednak cykl organizacyjnego uczenia się można przedstawić jak na rys. 12.1.

Każdy element cyklu jest skutkiem i przyczyną zachodzącą prawie w tym samym czasie. Jakakolwiek zmiana wywołuje reakcję pozostałych elementów. Poszczególne cykle określają zdolność działania i strukturę organizacji:

- 1) Cykl adaptacji (wiedza, nauczanie, rozwiązywanie) odzwierciedla proces przyswajania wiedzy.
- 2) Cykl realizacji (wiedza, wartość, zachowanie) określa zdolność do wykorzystywania posiadanej wiedzy.
- 3) Cykl innowacji (wiedza, myślenie, komunikacja) wykorzystuje potencjał twórczy pracowników, ma za zadanie poszukiwanie nowych rozwiązań.
- 4) Cykl poznania (wiedza, zrozumienie, przyswojenie) wskazuje na sposób zdobywania wiedzy oraz umiejętności selekcji informacji.

Elementem łączącym wszystkie cykle jest wiedza, na której całokształt w organizacji składa się doświadczenie kierowników, teoria systemów, rozwiązania personalne i organizacyjne, itd.



Rys. 12.1. Cykl organizacyjnego uczenia się [25]

Reasumując można stwierdzić, że filozofia organizacji uczącej się może stanowić pewną postać efektu wzmocnienia w złożonych układach i przedsiębiorstwach ludzkich. Budowanie organizacji inteligentnych powoduje rozwój ludzi, którzy rozwijają mistrzostwo osobiste, którzy zmieniają nie tylko to co myślą, ale również to jak myślą.

12.2. Organizacja wirtualna

12.2.1. Charakterystyka organizacji wirtualnej

W literaturze przedmiotu istnieje wiele definicji opisujących *organizację wirtualną*. Wśród nich do najczęściej powtarzanych zalicza się [89]:

- organizacja wirtualna jest rozwiązaniem organizacji sieciowej, składającej się z mniejszych jednostek ogniskujących w sobie podstawowe umiejętności,
- organizacja wirtualna jest połączeniem zasobów współpracujących ze sobą firm, przeznaczonych do realizacji wspólnego przedsięwzięcia,
- organizacja wirtualna to połączenie dziesiątek firm, przy czym każda z nich, skupiona jest na tym rodzaju działalności, który wykonuje najlepiej, oraz wszystkie są połączone elektroniczną siecią, tak że pracują jako jedna całość – elastycznie i przy innych kosztach bez względu na swoją lokalizację.

Koncepcja organizacji wirtualnej bazuje na :

- samodzielnych jednostkach,
- szeroko rozprzestrzenionej wiedzy fachowej w wolnym partnerstwie,
- współdziałaniu,
- zaufaniu,
- rezygnacji z hierarchii,
- sieci powiązań z gospodarką.

Wirtualne zarządzanie łączy się z takimi metodami jak tworzenie zespołów wirtualnych, telepraca, pobudzanie indywidualnej przedsiębiorczości, efektywne sterowanie specjalistami. Głównym składnikiem sukcesu stają się elastyczność oraz integracja.

Organizacja wirtualna to organizacja samoucząca się. Jej podstawą jest wiedza wirtualna gromadzona w niematerialnym łańcuchu wartości przedsiębiorstwa. Jej nosicielami są przede wszystkim pracownicy, którzy powinni charakteryzować się [34]:

- gotowością do pracy na odległość, wysoką wydajnością, fachową wiedzą i zdolnością samomotywacji,

- umiejętnością nawiązywania kontaktów na zewnątrz zespołu i zdobywania zewnętrznych informacji,
- umiejętnością przejęcia odpowiedzialności za czynności o charakterze kierowniczym, odpowiedzialnością za jakość wykonywanych zadań.

W związku z delegowaniem coraz większych uprawnień do pracowników zmienia się również rola menedżera. Menedżerowie nie kontrolują, lecz sterują pracownikami i tworzonymi przez nich zespołami, poprzez ustalenie jasnych celów i występowanie w roli koordynatora (ewentualnie trenerów). Wynikają stąd wyższe wymagania wobec wszystkich. Specjalista przekształca się w przedsiębiorcę, korzysta z dużego zakresu swobody i ma ciągle okazję do przejawiania własnej odpowiedzialności. Kontrola zastępowana jest przez zaufanie. W efekcie menedżerowie powinni mniej czasu poświęcać na kierowanie operacyjne, natomiast skupić się na wypracowywaniu wizji.

Praca w organizacji wirtualnej może przybierać trzy zasadnicze formy:

- pracy grupowej – przy wytwarzaniu innowacyjnych produktów;
- *networking* – pozyskiwanie dóbr (usług) od innych jednostek z sieci;
- *teleworking* – rozproszone wykonywanie zadań.

Interesującą formą organizacji wirtualnej jest także system swobodnej przedsiębiorczości wewnątrzorganizacyjnej (ang. *free-intra-price system*). Polega on na zapewnieniu możliwości wyboru w ramach organizacji pomiędzy dwoma (lub więcej) dostawcami tych samych usług.

Reasumując należy stwierdzić, że organizacja wirtualna:

- skupia się na realizacji podstawowych celów działalności gospodarczej,
- wykorzystuje możliwości radykalnego obniżenia kosztów,
- zapewnia elastyczność,
- jest otwarta na wszelkie zmiany,
- rozwija i oferuje innowacyjne produkty (usługi).

Jest ona sztucznym tworem, który bazuje na indywidualnych kompetencjach kluczowych i integruje niezależne firmy wzdłuż wspólnego łańcucha wartości produkcji [89].

Tabela 12.2. Zalety i wady wirtualnego przedsiębiorstwa [89]

Zalety	Wady
• optymalizacja łańcucha wartości produkcji jest możliwa dzięki integracji indywidualnych kompetencji kluczowych • istotny wzrost produktywności jest skutkiem wykorzystania kompetencji kluczowych w realizacji zadań i wynikających z tego oszczędności czasu • wzrasta płynność i elastyczność przedsiębiorstwa • udostępnienie potencjału synergicznego uczestnikom wirtualnego przedsiębiorstwa	• konieczność regulacji zysku • możliwość nadużycia władzy i wywołania samowoli partnerów • problem z identyfikacją współpracowników • koncepcja wirtualnego przedsiębiorstwa może, na podobieństwo ewolucji K. Darwina, przerodzić się w tendencję do zawierania między partnerami o bardzo atrakcyjnych kompetencjach kluczowych krótkotrwałych umów

12.2.2. Formy organizacji wirtualnej

Podstawową formą istnienia organizacji wirtualnej jest sieć składająca się z coraz mniejszych jednostek ogniskujących w sobie jedynie podstawowe umiejętności, dające w danej konfiguracji przewagę konkurencyjną.

Ponieważ organizacja wirtualna składa się z szeregu organizacji stale zmienia ona swoją strukturę, wchodząc w alianse z innymi firmami. Funkcjonowanie w jej ramach trwa do tego momentu, do kiedy uczestnicy są przekonani, że jest to bardziej opłacalne, niż gdyby każdy z nich funkcjonował oddzielnie. Czas trwania związku ustalany jest przez przedsiębiorstwo, które pierwsze uzna, że jego dalszy byt jest dla niego niekorzystny.

Według specjalistów powstająca sieć powinna składać się z centrum (firmy tworzące długoletni sojusz) i z partnerów, którzy są włączeni do realizacji zleceń. Przedsiębiorstwa wirtualne są bardzo dobrą formą współpracy dla małych i średnich firm, aczkolwiek sama wielkość nie ma większego znaczenia. Nowe

zamówienie oznacza nowe specyfikacje i odpowiedni dobór partnerów. Jednak organizacja wirtualna może z powodzeniem funkcjonować tylko jeśli:

- partnerzy wnoszą uzupełniające się kluczowe umiejętności,
- oferują innowacyjne wyroby (usługi),
- radykalnie wykorzystują możliwość obniżenia kosztów,
- umieją współpracować z innymi członkami sieci,
- dysponują nowoczesną technologią informacyjną.

Uczestnikom sieci stawiane są wysokie wymagania. Poza zaufaniem wszyscy muszą przedstawić kalkulacje finansowe z całkowitą otwartością, zrezygnować z ochrony własnych tajemnic technicznych oraz prowadzić wspólne prace rozwojowe. Partner, który nie spełnia któregoś z wymogów powinien odejść.

Szczególnie istotną cechą organizacji wirtualnej są niskie koszty działania. Nie ma w nich bowiem, dublowania czynności oraz rozbudowanego aparatu zarządzającego. Potrzebują one co najwyżej koordynatora, który steruje tworzeniem sieci i utrzymuje kontakty ze zleceniodawcą. Wszystkie inne zadania przejmują zdecentralizowane jednostki. Przekształcenie w przedsiębiorstwo wirtualne następuje więc przez outsourcing, czyli przekazywanie pewnych dziedzin działalności na zewnątrz. Duża elastyczność zapewnia szybkość realizacji transakcji, przy jednoczesnym obniżeniu kosztów, pomimo istniejących barier organizacyjnych.

12.2.3. Tworzenie organizacji wirtualnej

Ostra konkurencja na rynku software'owym spowodowała szeroko rozumiany rozwój technologii informatycznych obejmujący:

- wzrost ilościowych i jakościowych parametrów sprzętu komputerowego,
- coraz szersze stosowanie obiektowo zorientowanych procesów gromadzenia i przetwarzania danych,
- stosowanie technologii multi i hypermedialnych,
- powszechny dostęp do elektronicznej wymiany danych (EDI),
- coraz szersze stosowanie języków czwartej generacji (4GL).

Tak gwałtowny rozwój przyczynił się m.in. do powstania organizacji wirtualnych, w których odpowiednie środowisko technologiczne jest niejako nie-

zbędnym warunkiem do ich funkcjonowania. Oczywiście nie wszystkie organizacje posiadają system informacyjny znajdujący się na jednakowym poziomie. Najprostszy z nich tzw. wyizolowany system informacyjny, to komputer osobisty nie połączony z siecią. Stanowi on pierwszy stopień wirtualności. Na kolejnym stopniu znajdują się systemy zintegrowane, w których pewne zestawy czynności traktowane są jako całościowy proces. Bardziej rozwinięty wariant drugiego stopnia wirtualności polega na wymianie danych za pomocą Internetu, Intranetu i Extranetu. Trzeci stopień wirtualności polega na szerokim otwarciu działalności na zewnątrz. Powstaje w ten sposób otwarty system informacyjny, który umożliwia efektywne komunikowanie się z otoczeniem.

Do wykreowania wirtualnego przedsiębiorstwa niezbędne są trzy elementy: system EDI (elektronicznej wymiany danych), programy do pracy grupowej (groupware) oraz rozległa sieć komputerowa.

System EDI wykorzystuje zespół formatów powszechnie stosowanych do elektronicznej komunikacji pomiędzy przedsiębiorstwami. System ten umożliwia sporządzenie standartowych form dla każdej z przesyłanych informacji, tak aby dowolny użytkownik mógł ją odebrać w standardzie zgodnym z jego systemem informatycznym.

Aplikacje groupware służą przede wszystkim do zorganizowania pracy zespołu. Aplikacje udostępniają zasoby informacyjne firmy każdemu z członków zespołu oraz umożliwiają pracę na ostatniej dostępnej wersji projektu (np. w przypadku zmiany lokalizacji). Służą one także jako platforma do interaktywnej komunikacji i dyskusji. Rozległa sieć komputerowa musi umożliwić podłączenie różnorodnych komputerów, wykorzystywanych przez poszczególnych jej uczestników.

Innym wymaganiem stawianym sieci jest zapewnienie wysokiego poziomu bezpieczeństwa przekazywanych danych między dostawcą a klientem oraz zapewnienie uczestnikom sieci szerokiej gamy usług. Zaliczyć do nich można umożliwienie dostępu do wspólnych zasobów danych, transfer plików między komputerami itd. Narzędzia Technologii Informacyjnej umożliwiają przedsiębiorstwom utrzymywanie bezpośrednich kontaktów z klientem.

W przyszłości funkcjonować będzie bardzo wiele małych firm, w strukturach wirtualnych, relatywnie coraz mniejszych, które posługiwać się będą pa-

kietami o względnie małym zasięgu dziedzinowym. Potrzeby tych firm będą jednak ewoluować w kierunku pakietów silniej zintegrowanych. Warunkiem sprawnego funkcjonowania organizacji wirtualnych muszą być więc sprawne informatyczne systemy zarządzania, zdolne do reprezentowania organizacji oraz do realizowania jej celów. Jednak odpowiednie środowisko technologiczne nie wystarcza, ponieważ przedsiębiorstwo wirtualne orientuje się według zamówień. Oznacza to, że sygnałem do stworzenia takiego przedsiębiorstwa jest zamówienie klienta. Kolejne etapy tworzenia obejmują :

- uzyskanie zamówienia,
- koncepcję wyrobu dostosowanego do potrzeb klienta,
- stworzenie sieci partnerów wnoszących kluczowe umiejętności,
- powstanie konkurencyjnego wyrobu.

Niezbędnym aspektem o którym należy również pamiętać jest całkowita dobrowolność dotycząca przyłączania się nowych partnerów. Oznacza to konieczność wzajemnego zaufania oraz stworzenia odpowiednich relacji pomiędzy firmami.

Budując organizację wirtualną trzeba mieć również na uwadze nie tylko potencjalne korzyści, ale i niebezpieczeństwa poniesienia strat oraz ewentualne ryzyko. Wirtualna organizacja tworzy jednak niewątpliwie przyszłościową alternatywę dla obecnie funkcjonujących firm , gdyż posługując się różnymi formami współpracy w ramach swej struktury i poza nią może operować znacznie większymi środkami niż te, którymi aktualnie dysponuje i obejmować szersze obszary rynku.

12.3. Organizacja biologiczna

12.3.1. Charakterystyka organizacji biologicznej

Organizacja biologiczna (ang. *Biological Manufacturing System, Bionic Manufacturing System – BMS*) ma na celu dostosowanie się do dynamicznych zmian w wewnętrznym i zewnętrznym otoczeniu przedsiębiorstwa. Oparta jest ona na inspiracji biologią, zwłaszcza na zasadniczych cechach organizmów ży-

wych: ewolucji, rozwoju i samoorganizacji. Do podstawowych cech organizacji biologicznej zalicza się [76]:

- spontaniczność,
- ruchliwość,
- harmonię.

Głównymi właściwościami takich przedsiębiorstw są:

- integracja elementów funkcjonalnych i hierarchii,
- zorganizowanie informacji w DNA,
- użycie naturalnej inteligencji,
- dynamiczna struktura.

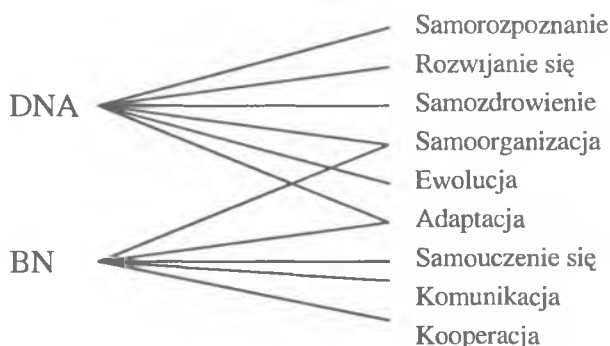
Postawą funkcjonowania organizacji biologicznej są informacje. Najczęściej wskazywanym rodzajem systemu informacyjnego, o który oparty jest przepływ informacji w takiej firmie jest system DNA. Opiera się on o informacje „dziedziczone” tzn. przenoszone w zakodowanej formie. Obok nich występują również informacje indywidualne (BN), które podmiot nabywa w ciągu życia. Oba typy wiadomości przechowywane są w oddzielnych systemach, będąc jednak jednocześnie dostępnymi. Rozwiązanie to powoduje, że w organizacjach biologicznych rezygnuje się z centralnego planowania i administracji. „Elementem łączącym autonomiczne jednostki jest wyłącznie obszerny system informacyjny, który czyni wszystkie informacje dyspozycyjnymi w płaszczyźnie pokrywającej wszystkie te jednostki. Taka struktura może przyjmować dwa stany: symulację i rzeczywistą operację” [78].

Informacje powiązane powinny być przez sieci neuronowe, głównie z racji swojego podobieństwa do wzorca biologicznego. Oprócz tego, ustalane są odpowiednie klasy hierarchii obiektów tzw. modelony, za pomocą których istnieje możliwość ustruktulizowania (rys. 12.2).

Jak już wspomniano wcześniej jedną z właściwości systemu bionicznego są dynamiczne struktury, które uzyskuje się dzięki wysokim zdolnościom adaptacyjnym firmy. Adaptacja do zmian w systemach biologicznych dokonywana jest poprzez ewolucję i samoorganizację. Oznacza to więc, że system BMS musi cechować m.in.:

- dynamiczne projektowanie,

- projektowanie samoorganizacji,
- adaptacja produktów do potrzeb klientów,
- adaptacja do zmian w produkcji,
- adaptacyjność wielopoziomowych sieci.



Rys. 12.2. Informacje DNA a informacje BN [76]

W systemie biologicznym metoda kontroingu i zarządzania wyłaniającymi się strukturami (nowo powstającymi) powinna być oparta na idei ewolucji. Adaptacja systemu jest osiągana poprzez fakt, że łatwiej jest modelować elementy otoczenia poprzez proste komponenty, niż poprzez kompleksową przebudowę struktury.

12.3.2. Formy organizacji biologicznej

Podstawą do określenia formy organizacji biologicznej, jest każdorazowo stwierdzenie jakie cechy żywych organizmów biologicznych zostały przeniesione w jej zakres. Generalnie jednak istnieją dwie główne orientacje dotyczące produkcji lub samego produktu. Orientacja produkcyjna polega na określeniu systemu wytwórczego jako „społeczeństwa” indywidualnych komórek, które korespondują z otoczeniem stymulując jednocześnie proces produkcyjny. Orientacja na produkt, polega natomiast na widzeniu produktu jako organizmu żyjącego w określonym środowisku. Produkt jest określany wówczas przez swój kształt, funkcjonalność i inne charakterystyki. Charakterystyki te deter-

minowane są przez informacje DNA, które z kolei mogą ulegać modyfikacji jedynie przy produkcji nowego wyrobu.

Podstawową formą systemu BMS są niezależne jednostki wytwórcze. Posiadają one zarówno autonomię, jak i możliwość kooperacji. Połączone zostają dzięki zastosowaniu sieci neuronowej lub układów neuropodobnych (wewnątrz łączącej je sieci komputerowej). Od wyboru parametrów konstrukcyjnych sieci neuronowej zależą możliwości produkcyjne i ogólna przydatność sieci komputerowej. Przy wprowadzaniu nowych danych (nieznanych wcześniej) sieć generalizuje je, wykorzystując istniejące już dane (informacje DNA). Powoduje to większą zdolność adaptacyjną sieci oraz uwzględnienie szeregu danych równocześnie (zdolność do aproksymacji wartości funkcji wielu zmiennych). Jednak główną zaletą sieci neuronowych jest ich tolerancja na zaburzenia i nieciągłości procesu, analogicznie do reakcji organizmów żywych.

12.3.3. Tworzenie organizacji biologicznej

Rozpoczęcie budowy organizacji biologicznej rozpocząć się powinno od zmiany postrzegania komórki produkcyjnej. W organizmach biologicznych otoczenie stymuluje pewne działania poprzez określone zachowania (np. ruch wywołuje reakcję). W porównaniu do nich odpowiedzią systemów wytwórczych może być jedynie produkt. Proces generowania odpowiedzi systemu składa się z sieci lokalnych procesów, wywołujących reakcję na poziomie globalnym. Podczas gdy w organizmach żyjących lokalne procesy są interakcjami pomiędzy komórkami, w systemach produkcyjnych są one wewnętrznymi zmianami pomiędzy stanowiskami roboczymi. Podejście takie powoduje określenie komórki produkcyjnej jako „społeczeństwa” komórek, które współpracują ze sobą w określonej sieci. Struktura sieci powinna być zdefiniowana tak, aby odległość do transportu półproduktów była jak najmniejsza oraz żeby ładunek był rozprowadzany równomiernie.

W systemie BMS produkt i proces zostają określone w postaci relacji składników składających się na nie. Składniki te przedstawione są jako graf, gdzie występują komponenty (węzły) i relacje między nimi (krawędzie). Surowce, jak również kondycja systemu wytwarzania, w przeciwieństwie do tradycyjnych sposobów produkcji, nie jest znana wcześniej. Planowanie pro-

dukcji rozpoczyna się w momencie wprowadzenia danych do komputera. Nowe żądania (wymagania dotyczące produkcji) wprowadzane są i system musi przystosować się do nich w określonym (rzeczywistym) czasie. Koncepcja systemu umożliwia automatyczną samopoprawę systemu, w przypadku multifunkcyjności wyposażenia produkcyjnego.

Wszystkie dane zarejestrowane są jako tzw. pola atrakcji (ang. *attraction fields*). Opis pól atrakcji i ich dynamiki zawarty jest w informacjach DNA. Oprócz tego informacje te powinny zawierać opis czynników determinujących produkcję danego wyrobu. Pole atrakcji każdej czynności definiowane jest przez umiejętności, które musi posiadać osoba obsługująca. Podobnie pole atrakcji każdej maszyny jest określone poprzez jej zdolności wytwórcze. Dopasowanie pól atrakcji dokonywane jest od najmniejszego (tzn. posiadającego najmniej możliwości). Kiedy proces produkcyjny jest już prawie zakończony, pola są zawracane (w kolejności otrzymywania kolejnych danych). Rezultatem jest otrzymanie dynamicznego harmonogramu, który może się przystosowywać do zewnętrznych i wewnętrznych zmian.

12.4. Organizacja fraktalna

12.4.1. Charakterystyka organizacji fraktalnej

Pierwotnie termin „fraktal” pochodził z matematyki i oznaczał miarę dla struktur o wysokiej złożoności. Przez długi okres czasu poważnym problemem był matematyczny opis nieregularnych i popękanych form naturalnych. Gdy rozpatruje się tzw. zjawisko zachowania się skali, obiekty proste stają się coraz prostsze wraz ze wzrostem powiększenia, natomiast obiekty naturalne zawsze odkrywają nowe elementy. Struktury fraktalne więc to takie, które w elemencie odzwierciedlają strukturę całości. Do podstawowych cech fraktala zalicza się:

- samopodobieństwo,
- samoorganizację.

Samopodobieństwo jest to sposób i rodzaj wykonywania usług. „Jednym z istotnych wymagań, jakie musimy postawić przyszłościowym strukturom pro-

dukcyjnym jest zdolność wszystkich działów i poszczególnych pracowników do przedsiębiorczego myślenia i działania. Jeżeli wprowadzony stąd obraz o samodzielnie działających jednostkach jest słuszny, to każdy fraktal musi być ze swojej strony (małą) „fraktalną fabryką” [78]. Każda jednostka (pracownik, dział) powinna więc wykonywać swoje zadania tak obszernie, jak całe przedsiębiorstwo.

Fraktal powinien dążyć do całkowitego usamodzielnienia, pozostając jednak w ścisłym powiązaniu komunikacyjnym z centralą. Funkcje centralne natomiast powinny być mierzone swym wkładem do procesu tworzenia wartości. Samodzielne rozwiązywanie zadań przez fraktal cechuje: szybkość, niezależność, oszczędność (zasobów), ilość i jakość. Oczywiście, jeśli fraktal nie jest w stanie autonomicznie wykonać powierzonych mu zadań, może zwrócić się do innych fraktali. Konieczna pomoc powinna być jednak minimalizowana, ograniczając się do funkcji centralnych.

Samoorganizacja w fabryce fraktalnej dotyczy płaszczyzny operacyjnej, taktycznej i strategicznej. W sensie operacyjnym oznacza ona zastosowanie właściwych metod do opanowania procesów. Często obserwowaną, typową praktyką jest zwiększanie elastyczności systemu produkcyjnego, nastawionego na produkcję masową. Fraktale ułatwiają podział pomiędzy poszczególnymi liniami i jednocześnie sprzyjają integracji różnych rodzajów wytwarzania. Samoorganizacja taktyczna i strategiczna dotyczy wytyczonych celów działania fraktali. Nie wystarczy bowiem stworzyć jedną wizję przedsiębiorstwa. Podporządkowanie jednej idei gwarantuje powiązanie poszczególnych celów w jedną, spójną i harmoniczną całość. W praktyce jednak, każdy fraktal znając ogólną wizję, powinien ją uszczegółowić i skonkretyzować. „Spójność systemu celów zapewnia przy tym mechanizm dziedziczenia: każdy fraktal uzupełnia uzgodnione na nadrzędnej płaszczyźnie system celów wg punktów widzenia celowości, ponieważ im zadanie jest bliższe produkcji, tym bardziej konkretny musi być system celów” [78].

Organizacja fraktalna to wobec tego samodzielnie działająca jednostka przedsiębiorstwa, która spełnia nie tylko powyższe cechy, ale posiada także charakterystyki zawarte w tab. 12.3.

Tabela 12.3. Zalety organizacji fraktalnych [78]

korzyści możliwości	wyższa skuteczność	wyższa reagowalność i witalność	szybsza innowacja	oszczędzanie zasobów
struktura	- orientacja na cel - samoptymalizacja - samoregulacja	- przejrzystość - małe układy regulacji - dynamika struktury - konkurencja	- samorganizacja - dynamika struktury	
otoczenie	kooperacja	przejrzystość	- kooperacja - tworzenie rynku	etyka przedsiębiorstwa
pracownicy	- kwalifikacje - praca w zespole - system bodźców - samoptymalizacja	- myślenie przedsiębiorcze - kwalifikacje	- system bodźców - myślenie przedsiębiorcze	- etyka przedsiębiorstwa - kwalifikacje
wiedza	- kwalifikacje - system bodźców - samoptymalizacja	przejrzystość	- dynamika struktury - otwartość	- świadomość jakości - całościowe myślenie
dane	- system informacji - nawigacja	system informacji		system informacji
metoda	- kwalifikacje - praca w zespole	dynamika struktury	dynamika struktury	kwalifikacje

12.4.2. Formy organizacji fraktalnej

Nie istnieje jeden, stały zapis organizacji fabryki fraktalnej. Układ strukturalny powinien powstawać w zależności od każdorazowych warunków i ograniczeń. Generalnie jednak, struktura fabryki składa się z małych, szybkich układów regulacji (fraktali), które są „odgórnie” wstępnie strukturyzowane i koordynowane, „od dołu” natomiast są przedmiotem ciągłego kształtowania optymalizującego. Układy takie są strukturami prostymi, zdecentralizowanymi i o dużym poziomie wykształcenia we wszystkich dziedzinach. Redukcja złożoności prowadzi do małych, odchudzonych systemów. Jednostki podstawowe są, z reguły, fizycznie rozdzielone i połączone jedynie wspólną bazą informacyjną i pewnymi funkcjami całościowymi (np. oddzielne oddziały produkcji posiadają własny system zaopatrzenia i księgowości, a połączone są poprzez dział marketingu).

Funkcje centralne przyporządkowane są grupom produktów. W praktyce oznacza to istnienie małych fabryk „pod wspólną banderą” połączonych tylko na płaszczyźnie niektórych działów, jak np. marketing, sprzedaż.

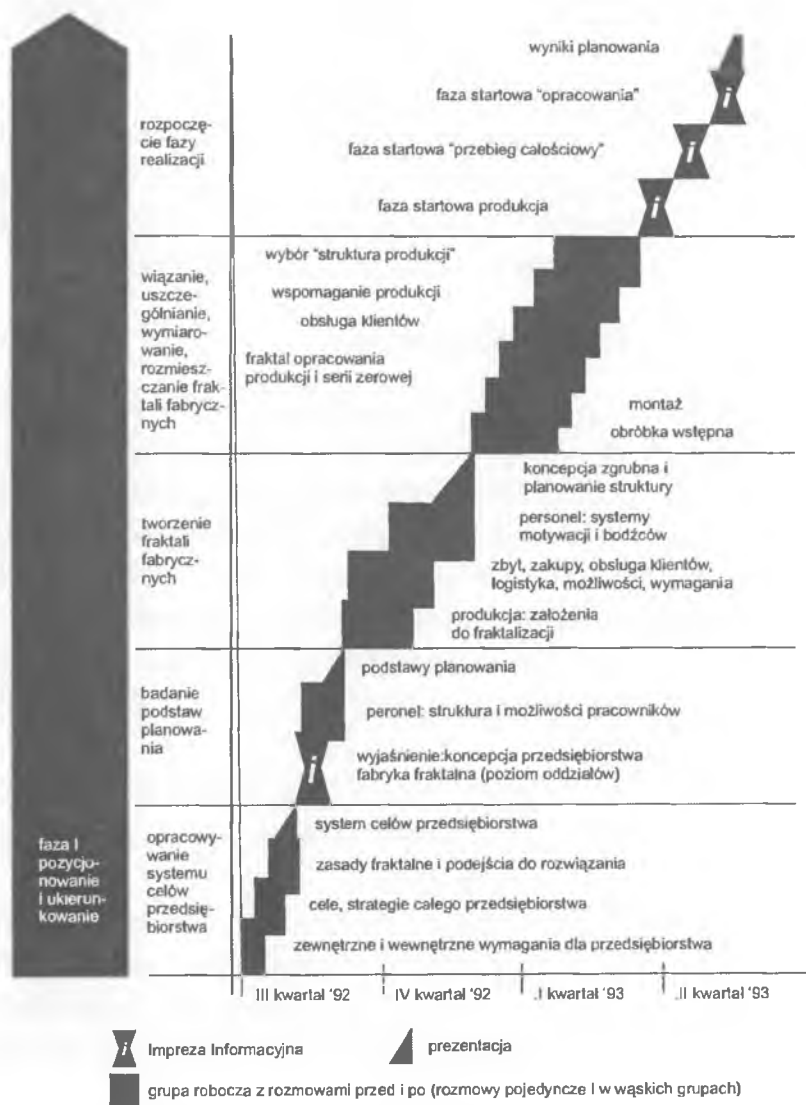
W rezultacie w fabryce fraktalnej funkcjonuje wiele komórek, które się wzajemnie zazębiają. Panujące układy regulacji nie są stałe i podlegają ciągłemu procesowi zmian (np. specjaliści, którzy nie są w pełni wykorzystani we fraktalu operacyjnym muszą zostać przeniesieni do fraktala usługowego).

12.4.3. Tworzenie organizacji fraktalnej

Ponieważ podstawą do wdrożenia jakiejkolwiek nowości jest informacja, również w fabryce fraktalnej wysiłek poniesiony na poinformowanie pracowników jest nie bez znaczenia. Pracownicy powinni zostać włączeni do prac dotyczących planowania, w ramach interdyscyplinarnych grup i dyskusji. Spotkania takie ułatwiają wyjaśnienie podstawowych celów i założeń fabryki fraktalnej. Przykładowo, główne cele mogą zostać sformułowane następująco [78]:

- maksymalna zdolność reakcji i elastyczność na zmiany produktu i popytu dzięki dynamicznym i przekształcalnym strukturom produkcyjnym (fabryka jako witalny organizm),
- maksymalna skuteczność i witalność dzięki konsekwentnemu wykorzystaniu wszystkich zasobów, szczególnie możliwości pracowników za pomocą odpowiednich systemów motywacji i bodźców,
- minimalizacja nakładów na kontrolę, sterowanie i działanie dzięki absolutnej przejrzystości procedur zakładowych (odpowiadające potrzebom systemu komunikacyjne i informacyjne, powszechnie przyjęta koncepcja pojemników) w połączeniu z samosterującymi układami regulacji i krótkimi pętlami sprzężenia zwrotnego,
- długoterminowe zapewnienie istnienia przedsiębiorstwa dzięki ciągłej poprawie jakości przedsiębiorstwa, jakości pracy, jakości procesu i jakości produktu.

W ramach projektów, sugeruje się aby najpierw zostały opracowane koncepcje dla najbardziej wrażliwych elementów łańcucha tworzenia wartości – produkcji i logistyki. Wybór optymalnych rozwiązań, pozwoli na dostosowanie (kolejno) zarządzania oraz pośrednich działów do potrzeb produkcji (zob. rys. 12.3).



Rys. 12.3. Wprowadzanie struktury fraktalnej [78]

W fabrykach fraktalnych pracownicy organizują się sami. W przyszłości powinni oni w coraz większym stopniu przejmować prace pośrednie, jak planowanie i przeprowadzanie badań. Prace bardziej złożone, jak naprawa narzędzi itp. także w przyszłości będą wykonywane przez fraktale „usługowe”. Dzięki

decentralizacji następuje wzbogacenie treści pracy. To powoduje automatycznie spłaszczenie hierarchii zakładowej. Aby zapewnić dostosowanie poszczególnych fraktali wprowadzeni zostają odpowiedni koordynatorzy. Otrzymują oni zadania obejmujące kilka fraktali równocześnie, jak np. rozdział zasobów ludzkich. Równolegle do rozwoju struktur fraktalnych powinny zostać opracowane koncepcje bardziej efektywnego wykorzystania możliwości pracowników. Sugeruje się udrożnienie przepływu informacji i komunikacji m.in. poprzez szerokie wprowadzenie grup dyskusyjnych. Awans oznaczać ma wykonywanie czynności bardziej interesującej i urozmaiconej. W długoterminowej perspektywie przewidziane powinno być kierowanie grupami projektowymi tak, aby awans pionowy i poziomy posiadały taką samą wartość. Nabywanie kwalifikacji praktycznych, bez dużych okresów przestojowych, prowadzi do metody rotacyjnej, w której pracownik cyklicznie powraca do działu początkowego.

LITERATURA

- [1] Agor W.H. (red.), *Intuicja w organizacji*, WPSzB, Kraków 1998. (tłum z j. ang.).
- [2] Bałuk J., Lenard W., *Organizacja procesów produkcyjnych. Materiały pomocnicze do ćwiczeń*, WPW, Warszawa 1991.
- [3] Blaik P., *Logistyka*, PWE, Warszawa 1997.
- [4] Bednarek M., Borowski J., Dworczyk M., Wąs A., *Obrabiarki sterowane numerycznie. Podstawy eksploatacji*, WNT, Warszawa 1985.
- [5] Bratnicki M., *Transformacja przedsiębiorstwa*, AE, Katowice 1998.
- [6] Brzeziński M., *Formuły produkcyjnego uczenia się w teorii i badaniach przemysłowych*, WPL, Lublin 1983.
- [7] Brzeziński M., *Podstawy metodyczne projektowania rozruchu nowej produkcji*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1996.
- [8] Brzeziński M., (red.), *Organizacja podstawowych procesów produkcyjnych. Materiały do ćwiczeń i projektowania*, WPL, Lublin 1997.
- [9] Brzeziński M., *Organizacja podstawowych procesów produkcyjnych*, cz. I i II, WPL, Lublin 1997, 1998.
- [10] Brzeziński M., *Proces uczenia się a działalność przemysłowa*, „Ekonomika i Organizacja Przedsiębiorstwa” nr 6/1998.
- [11] Brzeziński M. (red.), *Sterowanie produkcją*, WPL, Lublin 1999.
- [12] Brzeziński M., *Proces uczenia się w nowoczesnej organizacji*, „Przegląd Organizacji” nr 4/1999.
- [13] Burbidge J.L., *Production Flow Analysis (PFA) for planning Group Technology (GT)*, Oxford University Press, 1989.

- [14] Chajtnman S., *Podstawy organizacji procesu produkcyjnego*, PWE, Warszawa 1971.
- [15] Chajtnman S., *Organizacja produkcji rytmicznej*, PWE, Warszawa 1973.
- [16] Chajtnman S., *Systemy i procesy informacyjne*, PWE, Warszawa 1986.
- [17] Ciesielski K., Humpich M., Kawczyński W., *Organizacja pomocniczych procesów produkcyjnych*, WPP, Poznań 1989.
- [18] Drucker P.F., *Spółczeństwo pokapitalistyczne*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999 (tłum. z j. ang.).
- [19] Durlik I., *Organizacja i zarządzanie produkcją. Zarys problematyki*, PWE, Warszawa 1992.
- [20] Durlik I., *Inżynieria zarządzania*, cz. I i II, Placet, Warszawa 1998.
- [21] Durlik I., *Restrukturyzacja procesów gospodarczych*, Placet, Warszawa 1998.
- [22] Dworczyk M., *Organizacja technicznego przygotowania produkcji*, PWE, Warszawa 1973.
- [23] Gasparski W. (red.), *Projektoznawstwo. Elementy wiedzy o projektowaniu*, WNT, Warszawa 1988.
- [24] Gouillart F.J., Kelly J.N., *Transforming The Organization*, McGraw-Hill, 1995.
- [25] Grudzewski W.M., Hejduk I., *Koncepcja kreowania organizacji inteligentnej w przedsiębiorstwach*, „Organizacja i Kierowanie” nr 4/1997.
- [26] Grzybowski S., *Metoda węzłowa szeregowania procesów produkcyjnych*, ORGMASZ, Warszawa 1992.
- [27] Hammer M., Champy J., *Reengineering w przedsiębiorstwie*, Newmann Management Institute, Warszawa 1996 (tłum. z j. ang.).
- [28] Hammer M., *Reinżynieria i jej następstwa*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999 (tłum. z j. ang.).
- [29] Henderson B.D., *Die Erfahrungskurve in der Unternehmensstrategie*, Frankfurt a. M., New York 1986.
- [30] Jackowicz R., Santarek K., *Organizacja podstawowych procesów produkcyjnych. Materiały do projektowania*, WPW, Warszawa 1982.
- [31] Jackowicz R., Lis S., *Podstawy projektowania struktur przedsiębiorstw przemysłowych*, PWN, Warszawa 1987.
- [32] Jasiński Z. (red.), *Zarządzanie produkcją*, AE, Wrocław 1992.

- [33] Jay R., *Build a Great Team*, Pitman Publishing, Londyn 1995.
- [34] Kamiński R., *Organizacja wirtualna – wady i zalety*, „Przegląd Organizacji” nr 5/1999.
- [35] Koźmiński A.K., Piotrowski W. (red.), *Zarządzanie. Teoria i praktyka*, Wydawnictwa Naukowe PWN, Warszawa 1997.
- [36] Libal V. (red.), *Organizacja i zarządzanie produkcją*, PWE, Warszawa 1976 (tłum. z j. czeskiego).
- [37] Lichtarski J. (red.), *Podstawy nauki o przedsiębiorstwie*, AE, Wrocław 1992.
- [38] Lis S., *Podstawy projektowania systemu rytmicznej produkcji*, PWN, Warszawa 1978.
- [39] Lis S., Santarek K., *Projektowanie rozmieszczenia stanowisk roboczych*, PWN, Warszawa 1980.
- [40] Lis S. (red.), *Rytmiczność procesu produkcyjnego. Zakłócenia i ich kompensacja*, PWE, Warszawa 1982.
- [41] Lis S., *Organizacja i ekonomika procesów produkcyjnych w przemyśle maszynowym*, PWN, Warszawa 1984.
- [42] Lis S., Santarek K., Strzelczak S., *Organizacja elastycznych systemów produkcyjnych*, PWN, Warszawa 1994.
- [43] Marciniak S. (red.), *Efektywność ekonomiczna elastycznej produkcji*, Prace Naukowe, seria: Organizacja i Zarządzanie Przemysłem, z. 9, WPW, Warszawa 1992.
- [44] Martyniak Z. (red.), *Nowoczesne metody zarządzania produkcją*, AGH, Kraków 1996.
- [45] Martyniak Z., *Metody organizowania procesów pracy*, PWE, Warszawa 1996.
- [46] Matczewski A., *Zarządzanie produkcją przemysłową. Problemy, Metody, Środki*, PWE, Warszawa 1990.
- [47] Mikołajczyk Z., *Techniki organizatorskie w rozwiązywaniu problemów zarządzania*, PWN, Warszawa 1994.
- [48] Mitrofanov S.P., (red.), *Organizacjonno-technologiceskoe проектиrowanie GPS*, Leningrad, Masinotroenie 1986.
- [49] Mulawka J., *Systemy ekspertowe*, WNT, Warszawa 1997.

- [50] Muhlemann A.P., Oakland J.S., Lockyer K.G., *Zarządzanie. Produkcja i usługi*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1997 (tłum. z j. ang.).
- [51] Nogalski B., *Kultura organizacyjna – duch organizacyjny*, TNOiK, Bydgoszcz 1998.
- [52] *Organizacja przyszłości*, red. Hesselbein F., Goldsmith M., Beckhard R., Business Press, Warszawa 1998 (tłum. z j. ang.).
- [53] Pawlak M., *Algorytmy ewolucyjne jako narzędzie harmonogramowania produkcji*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999.
- [54] Pedler M., Aspinwall K., *Przedsiębiorstwo uczące się*, Petit, Warszawa 1999 (tłum. z j. ang.).
- [55] Pedler M.J., Burgoyne J.G., Boydell T.H., *The Learning Company: A Strategy for Sustainable Development*, Mc Graw-Hill, Maidenhead 1997.
- [56] Pełka B., *Zarządzanie przedsiębiorstwami i menedżeryzm*, ORGMASZ, Warszawa 1996.
- [57] Pełka B., *Przemysł polski w perspektywie strategicznej*, ORGMASZ, Warszawa 1998.
- [58] Penc J., *Innowacje i zmiany w firmie*, Placet, Warszawa 1999.
- [59] Penc J., *Kreatywne kierowanie*, Placet, Warszawa 2000.
- [60] Perechuda K., *Metody zarządzania przedsiębiorstwem*, AE, Wrocław 1998.
- [61] Pilawski B., *Komputer narzędziem pracy organizatora*, PWE, Warszawa 1984.
- [62] Rudnicki J., Wilimowska Z., *Organizacja komórek przedmiotowych z wykorzystaniem algorytmu grupowania hierarchicznego*, „Problemy Postępu Technicznego” nr 6/1988.
- [63] Rudolf S., *Gdzie tworzyć grupy autonomiczne*, „Przegląd Organizacji” nr 7/1984.
- [64] Santarek K., *Podstawy metodyczne projektowania rozmieszczenia komórek produkcyjnych*, PWN, Warszawa 1987.
- [65] Santarek K., *Modelowanie struktur przestrzennych w projektowaniu zakładów przemysłowych*, Prace Naukowe, seria: Organizacja i Zarządzanie Przemysłem, z. 5, WPW, Warszawa 1989.
- [66] Santarek K., Strzelczak S., *Elastyczne systemy produkcyjne*, WNT, Warszawa 1989.

-
- [67] Sawik T., *Optymalizacja dyskretna w elastycznych systemach produkcyjnych*, WNT, Warszawa 1992.
- [68] Sawik T., *Planowanie i sterowanie produkcji w elastycznych systemach montażowych*, WNT, Warszawa 1996.
- [69] Schlesinger P.F., Sathe V., Schlesinger L.A., Kotter J.P., *Projektowanie organizacyjne*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999 (tłum. z j. ang.).
- [70] Senge P.M., *Piąta dyscyplina. Teoria i praktyka organizacji uczących się*, Dom Wydawniczy ABC, Warszawa 1998 (tłum. z j. ang.).
- [71] Stępowski M., *Organizacja stanowisk roboczych*, WPW, Warszawa 1988.
- [72] Strzelecki T.J., *Organizacja pracy*, WPW, Warszawa 1995.
- [73] Sudoł S., *Przedsiębiorstwo*, TNOiK, Toruń 1999.
- [74] Świć A., *Elastyczne systemy produkcyjne. Technologiczno-organizacyjne aspekty projektowania i eksploatacji*, WPL, Lublin 1998.
- [75] Trocki M., *Metody projektowania organizacji*, WPW, Warszawa 1989.
- [76] Ueda K., *The Biological Manufacturing System and Interactive Manufacturing*, w: „New Manufacturing Era”, Osaka, Japan 1997.
- [77] Urbanowska-Sojkin E., *Zarządzanie przedsiębiorstwem. Od kryzysu do sukcesu*, AE, Poznań 1998.
- [78] Warnecke H.J., *Rewolucja kultury przedsiębiorstwa. Przedsiębiorstwo fraktalne*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999 (tłum. z j. niem.).
- [79] Wasilewski L., *Modele strategii jakości firm przemysłowych*, ORGMASZ, Warszawa 1994.
- [80] Wawrzyniak B., *Odnawianie przedsiębiorstwa. Na spotkanie XXI wieku*, Poltext, Warszawa 1999.
- [81] Wróbel J. (red.), *Organizacja zautomatyzowanych systemów produkcyjnych*, WUWSI, Zielona Góra 1992.
- [82] Wróblewski K.J., Krawczyński R., Kosieradzka A., Kasprzyk S., *Reguły priorytetu w sterowaniu przepływem produkcji*, WNT, Warszawa 1984.
- [83] Wróblewski K.J., *Podstawy sterowania przepływem produkcji*, WNT, Warszawa 1993.
- [84] Zbichorski Z., *Metody graficzne w zarządzaniu i organizacji produkcji*, WNT, Warszawa 1977.
- [85] Zbichorski Z., *Ekonomika i organizacja produkcji*, KiW, Warszawa 1981.

-
- [86] Zbichorski Z., *Mistrz menedżerem produkcji*, ORGMASZ, Warszawa 1997.
- [87] Zimniewicz K., *Współczesne koncepcje i metody zarządzania*, PWE, Warszawa 1999.
- [88] Żuber R., *Planowanie i kierowanie przygotowaniem produkcji*, PWN, Warszawa 1991.
- [89] Żuber R., *Zarządzanie przedsiębiorstwami*, WPW, Warszawa 1999.