



www.pl2022.pollub.pl
e-mail: pl2022@pollub.pl



Zintegrowany
Program
Rozwoju
Politechniki
Lubelskiej

Biuro Projektu:
ul. Nadbystrzycka 38H
20-618 Lublin

PROJEKTOWANIE SYSTEMÓW WYTWÓRCZYCH

Workbook

Autor: Arkadiusz Gola

Lublin, 2020 rok

PROGRAM WIEDZA EDUKACJA ROZWÓJ



Fundusze
Europejskie
Wiedza Edukacja Rozwój



Rzeczpospolita
Polska

Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny



1. Wprowadzenie

Celem projektowania jest rozwiązanie ekonomicznych i technicznych problemów doboru środków technicznych, społecznych i finansowych, koniecznych do osiągnięcia celów produkcyjnych i usługowych, wywołujących pożądane skutki techniczne i ekonomiczne¹. Każdy system wytwarzania składa się z szeregu elementów, które powinny wchodzić w skład procesu projektowania systemu. System taki rozpatrywany w ujęciu rzeczowym obejmuje²:

1) Techniczne środki produkcji, w skład których wchodzi:

- infrastruktura techniczna: instalacje wodne i kanalizacyjne, energetyczne, telefoniczne, oświetleniowe itp. wraz z terenem, na którym są rozmieszczone;
- budynki i budowle;
- wyposażenie technologiczne (maszyny, narzędzia, przyrządy technologiczne i kontrolno-pomiarowe, układy automatycznej identyfikacji materiałów i wyrobów, komputerowe systemy sterowania itp.);
- środki transportu wewnętrznego (wózki załogowe lub bezzałogowe, przenośniki, suwnice, dźwigi, podnośniki itp.) i zewnętrznego (pojazdy i jednostki transportowe);
- środki techniczne do zbierania, gromadzenia, składowania i usuwania odpadów;
- środki techniczne do eksploatacji maszyn i urządzeń, budynków i budowli, środków transportu wewnętrznego i zewnętrznego itp.;
- środki techniczne do obsługi administracyjnej, zabezpieczenia i ochrony majątku produkcyjnego, utrzymania czystości, zapewnienia bezpieczeństwa i higieny pracy itp.;
- urządzenia do pozyskiwania, gromadzenia, przetwarzania, przesyłania i udostępniania informacji: komputery, sieci komputerowe, urządzenia do przechowywania informacji.

2) Przedmioty pracy, czyli materiały (surowce, półfabrykaty, części, podzespoły, moduły montażowe itp.) nabywane z zewnątrz i przeznaczone do przetworzenia w systemie lub do wykorzystania w montażu gotowych wyrobów.

3) Czynniki energetyczne: energia elektryczna, paliwa, nośniki energii cieplnej (gorąca woda, para, gorące powietrze itp.), nośniki energii mechanicznej (sprężone powietrze lub inne gazy), zimna woda i powietrze niezbędne w procesach technologicznych.

4) Czynniki ludzkie (zatrudnieni pracownicy), w tym personel: administracyjny, inżyniersko-techniczny, wykonawczy, pomocniczy i zarządzający.

5) Zbiory informacji dotyczących: prognoz i informacji rynkowych, wyrobu i jego funkcji użytkowych, jakości i niezawodności, kosztów, warunków pracy i doświadczenia załogi, warunków podejmowania decyzji związanych z zarządzaniem produkcją, sposobów przetwarzania, gromadzenia, przesyłania archiwizacji informacji, form obiegu kapitału, stóp dyskontowych itp.

6) Środki finansowe, w tym: zamrożone w technicznych środkach produkcji, materiałach, półwyrobach i wyrobach gotowych, w kasie, w bankach itp.

¹ J. Dietrych, Projektowanie i konstruowanie, WNT, Warszawa 1974.

² L. Dwiliński, Zarządzanie produkcją. Oficyna Wyd. Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2002.

7) Wyroby w kolejnych stadiach ich wytwarzania, magazynowania, przechowywania i dystrybucji oraz sprzedaży klientom i opieki serwisowej.

W procesie projektowania systemów produkcyjnych, w pierwszej kolejności należy odpowiedzieć na pytania³:

- Co wytwarzać? – jakie wyroby?
- Czego potrzeba ażeby wytwarzać – jakie zasoby?
- Jak to wytwarzać – jakie technologie zastosować?
- Gdzie to wytwarzać? – jakie są miejsca lokalizacji zasobów?
- Kiedy wytwarzać – jakie są czasowe możliwości wykorzystania zasobów?
- Dlaczego tak wytwarzać? – jakie są alternatywne ścieżki wytwarzania?

Uzyskanie odpowiedzi na powyższe pytania pozwala na określenie ogólnej koncepcji projektowej.

Cele dydaktyczne zajęć w ramach niniejszego przedmiotu obejmują:

- Zapoznanie studentów z istotą i znaczeniem systemów wytwórczych.
- Wykształcenie u studentów podstawowych umiejętności korzystania z metod (w tym wspomaganych komputerowo) w celu rozwiązywania praktycznych problemów związanych z funkcjonowaniem i organizacją systemów wytwórczych.
- Wykształcenie u studentów podstawowych umiejętności w zakresie projektowania usprawnień w obszarze funkcjonowania i organizacji systemów wytwórczych.
- Wzmocnienie u studentów postawy ukierunkowanej na samodzielne uczenie się, pogłębianie wiedzy oraz wykorzystywanie jej w celu rozwiązywania problemów powstających w pracy zawodowej.

2. Projektowanie systemów produkcyjnych dla produkcji rytmicznej

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.

³ M. Dudek, Projektowanie szczupłych systemów wytwarzania, Wyd. Difin, Warszawa 2016.

Proces projektowania organizacji rytmicznej produkcji obejmuje następujące etapy i moduły projektowania⁴:

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 komórce produkcyjnej pierwszego stopnia (KP^I).

Proces projektowania rytmicznej produkcji przedstawia się najczęściej 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^I) 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.

⁴ Brzeziński M. (red.), Organizacja i sterowanie produkcją. Projektowanie systemów produkcyjnych i systemów sterowania produkcją, Agencja Wyd. Placet, Warszawa 2002.

2.1. 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.

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

Parametry produkcyjno-organizacyjne wejściowe i wyjściowe (zob. rozdz. 2) stanowią w działalności projektanta-organizatora elementarne ogniwa, którymi posługuje się we wszystkich etapach projektowania systemu rytmicznej produkcji. Należą do nich obliczeniowe formuły, które w usystematyzowanej kolejności prezentują poniższe wzory.

1) Program produkcji

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

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

$$F_j = (K_d - N^r - S_w - S_{wo}) \cdot 8 \cdot z_m \cdot \eta_{pj}, \quad (2)$$

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

$$z_{gi} = \frac{N_i}{F_j}, \quad (3)$$

gdzie: z_{gi} – zadanie godzinowe i-tego detalu w szt./godz.,
 N_i , F_j – określenia jak wyżej.

4) Takt produkcji

$$\tau_i = \frac{F_j}{N_i}, \quad (4)$$

gdzie: τ_i – takt produkcji i-tego detalu w godz./szt.,
 N_i, F_j – określenia jak wyżej.

5) Możliwość godzinowa

$$m_{gij} = \frac{I}{t_{ijk}} = \frac{\varphi_j}{t_{ij}}, \quad (5)$$

gdzie: m_{gij} – możliwość godzinowa ij-tej detalooperacji w szt./godz.,
 φ_j – planowany, korekcyjny współczynnik wykonania normy i-tego stanowiska roboczego,
 t_{ij} – pracochłonność jednostkowa (normatywna) ij-tej detalooperacji w godz./szt.,
 t_{ijk} – korygowana pracochłonność jednostkowa ij-tej detalooperacji w godz./szt.

6) Współczynnik obciążenia stanowiska roboczego detalooperacją

$$\eta_{gij} = \frac{z_{gi}}{m_{gij}}, \quad (6)$$

gdzie: η_{ij} – współczynnik obciążenia j-tego stanowiska roboczego określoną detalooperacją „ij”,
 z_{gi}, m_{gij} – określenia jak wyżej.

Obliczenia według zależności (1)-(4) zamieszczamy w formularzu 1, a (5)-(6) w formularzu 2 (rys. 1). Otrzymane parametry stanowią zbiór wielkości, którymi posługiwać się będziemy w kolejnych modułach etapu 1 prezentowanej metodyki.

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:

$$\eta_j = \sum_{i=1}^{i_d} \eta_{ij} \leq 1, \quad (7)$$

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 1

Lp.	Wyrób (detal)		N_{di}	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} $\left[\frac{\text{godz.}}{\text{szt.}}\right]$	φ_j	N_{ijk} $\left[\frac{\text{godz.}}{\text{szt.}}\right]$	m_{gij} $\left[\frac{\text{szt.}}{\text{godz.}}\right]$	t_{pzij} $\left[\frac{\text{godz.}}{\text{partia}}\right]$	η_{ij}
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Rys. 1. Formularze do obliczeń parametrów produkcyjno-organizacyjnych detali i detałoooperacji
Źródło: M.Brzeziński, Organizacja produkcji w przedsiębiorstwie, Wyd. Difin, Warszawa 2013.

Sumaryczne obliczanie obciążenia określonych typów stanowisk roboczych (wynikających z technologii wytwarzania określonych wyrobów) przeprowadzamy przy użyciu formularza 3 (rys. 2) 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) 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 inżyniersko-technicznej.

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	•	•	•	•	•
•	⊥	⊥			
•	⊥	⊥			
•					
•					
•					
•					
$\sum \eta_{ij}$	•	•	•	•	•
$\sum t_{pizj}$	•	•	•	•	•
$1 - \sum \eta_{ij}$	•	•	•	•	•
X_{minj}	•	•	•	•	•



Rys. 2. Formularze dla przydziału detalooperacji do stanowisk roboczych
Źródło: M.Brzeziński, Organizacja produkcji w przedsiębiorstwie, Wyd. Difin, Warszawa 2013.

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

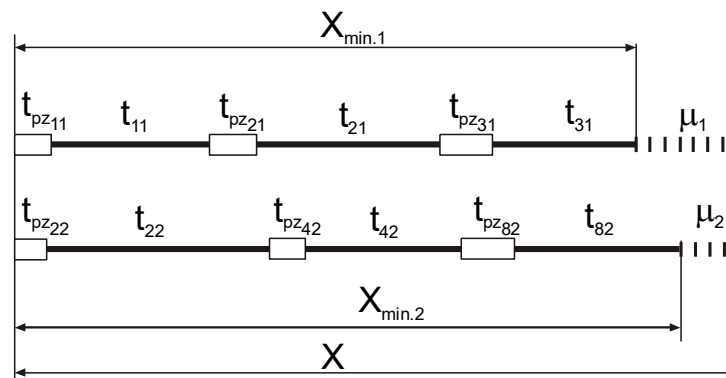
- maksymalizacji wykorzystania maszyn i urządzeń,
- minimalizacji przestojów robotników,
- przydziału detalooperacji z punktu widzenia wzajemnego stosunku $\sum t_{pizj}$ do $\sum \eta_{ij}$,
- minimalizacji $\sum t_{pizj}$,
- podobieństwa technologicznego detalooperacji, minimalizacji długości dróg 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 uwzględnić 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. 3). Dążymy do $\sum \eta_{ij} \leq 1 \rightarrow \max$, z tym, że należy jednocześnie pamiętać o pewnym niebezpieczeństwie związanym z wielkością otrzymywanego okresu powtarzalności (X).

Przykładowo na rys. 3 pokazano dla dwóch stanowisk roboczych kształtowanie się minimalnego okresu powtarzalności.



Rys. 3. Porównanie minimalnego okresu powtarzalności stanowiska ze zwiększonym okresem X

Źródło: Brzeziński M. (red.), Organizacja i sterowanie produkcją. Projektowanie systemów produkcyjnych i systemów sterowania produkcją, Agencja Wyd. Placet, Warszawa 2002.

Ponieważ każde stanowisko robocze posiada własne parametry (t_{pzij} , 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 $X = X_{min,j}$, a wtedy:

$$X_{min,j} = \frac{\sum t_{pzij}}{1 - \sum \eta_{ij}}. \quad (8)$$

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 wariancie, 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).

2.1.2. Wydzielanie komórek produkcyjnych pierwszego stopnia

W poprzednim module projektowym zdecydowaliśmy ostatecznie o przydziale określonych detalooperacji do określonych stanowisk roboczych, czyli uzyskaliśmy niejako macierzowy zapis (formularz 4 na rys. 2) 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. 4.6).

Krok 2. Porządkowanie macierzy I według wierszy.

Dokonujemy tego w oparciu o współczynnik:

$$W_{pt} = \frac{O_{pi}}{O_{pw} - O_{pi}}, \quad (9)$$

gdzie: W_{pt} – 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.

Obliczone współczynniki W_{pt} dla wszystkich detali (każdy z każdym) zapisujemy w tzw. tablicy podobieństwa detali – macierz II (rys. 4). 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.

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

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

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

Macierz IV					
Nr. detalu \ Nr. st.	4	3	1	2	...
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. stanow. robocz. \ Nr. detalu	4	3	1	2	
78	\perp	\perp			KP_1^I
125	\perp	\perp	\perp		
45			\perp	\perp	
...					KP_2^I
$\Sigma \eta_i$					
X_p					
H_i					

Rys. 4. Wzory pomocniczych formularzy do wydzielania KP^I

Źródło: Brzeziński M. (red.), Organizacja i sterowanie produkcją. Projektowanie systemów produkcyjnych i systemów sterowania produkcją, Agencja Wyd. Placet, Warszawa 2002.

Kierując się ustaloną w powyższy sposób uporządkowaną kolejnością detali w wierszach, zapisujemy macierz I w postaci uporządkowanej macierzy III (rys. 4).

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. 4)

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 nierytmicznej produkcji).

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. 2). 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:

$$X_p \geq \max\{X_{\min.j}\}. \quad (10)$$

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^I 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:

$$X_{\min.j} = \frac{\sum t_{pzij}}{1 - \sum \eta_{ij}}, \quad (11)$$

$$X_p = \frac{\sum t_{pzij} + \mu_j}{1 - \sum \eta_{ij}}, \quad (12)$$

Po przekształceniu otrzymujemy:

$$\mu_j = (X_p - X_{min.j}) (1 - \sum \eta_{ij}) \quad (13)$$

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^I nanosimy w formularzu 5 (rys. 2) jak również wyliczone wielkości przerw μ_j . Jest to zamknięcie parametrycznego opisu wydzielonych KP^I i tym samym zakończenie etapu 1 projektowania systemu rytmicznej produkcji.

Przykład

Zadanie:

Należy wydzielić komórki produkcyjne pierwszego stopnia (KP^I) dla produkcji czterech części (W1-W4) o procesach technologicznych zamieszczonych w tabelach 1-4.

Tab. 1. Proces technologiczny części W1

Nr operacji	Symbol. stan. robocz.	Czas przygotowawczo-zakończeniowy (t_{pz}) [godz.]	Czas jednostkowy (t_{ij}) [godz.]	Wsp. wykonania normy (ϕ_j) [godz.]
10	RNA 14	0,60	0,01	1,2
20	FNB 26	0,40	0,03	1,2
30	WS 15	0,25	0,04	1,1
40	Ślus.	0,15	0,01	1,2
50	SBB 75	0,30	0,04	1,2
60	SWA 10	0,15	0,01	1,2

Tab. 2. Proces technologiczny części W2

Nr operacji	Symbol. stan. robocz.	Czas przygotowawczo-zakończeniowy (t_{pz}) [godz.]	Czas jednostkowy (t_{ij}) [godz.]	Wsp. wykonania normy (ϕ_j) [godz.]
10	TUD50	0,40	0,25	1,1
20	TUD50	0,40	0,40	1,2
30	TUD50	0,40	0,28	1,1
40	FYC26	0,40	0,12	1,1
50	PHW12	0,30	0,50	1,2
60	WKA25	0,20	0,08	1,3

Tab. 3. Proces technologiczny części W3

Nr operacji	Symbol. stan. robocz.	Czas przygotowawczo-zakończeniowy (t_{pz}) [godz.]	Czas jednostkowy (t_{ij}) [godz.]	Wsp. wykonania normy (ϕ_j) [godz.]
10	TUD50	0,40	0,42	1,3
20	TUD50	0,40	0,58	1,2
30	WKA25	0,20	0,09	1,1
40	PHW12	0,50	0,07	1,1

Tab. 4. Proces technologiczny części W4

Nr operacji	Symbol. stan. robocz.	Czas przygotowawczo-zakończeniowy (t_{pz}) [godz.]	Czas jednostkowy (t_{ij}) [godz.]	Wsp. wykonania normy (ϕ_j) [godz.]
10	TUD50	0,40	0,11	1,1
20	TUD50	0,40	0,09	1,3
30	WKA25	0,50	0,06	1,2
40	PHW12	0,20	0,12	1,1

Zakłada się, iż średnia roczna wielkość produkcji dla każdej części będzie wynosić odpowiednio:

- $N_{W1} = 208\,750$ szt./rok,
- $N_{W2} = 11\,200$ szt./rok,
- $N_{W3} = 11\,400$ szt./rok,
- $N_{W4} = 34\,800$ szt./rok.,

a przewidywana średnia wielkość braków produkcyjnych będzie wynosić:

- $b_{W1} = 3\%$
- $b_{W2} = 4\%$
- $b_{W3} = 2\%$
- $b_{W4} = 5\%$

Do obliczeń przyjąć rok kalendarzowy, w którym występuje 365 dni roboczych, 52 niedziele (wolne od pracy), 26 sobót niepracujących oraz 7 wolnych dni świątecznych (nie przypadających w soboty i niedziele).

Przedsiębiorstwo pracuje na dwie zmiany, a planowany współczynnik uwzględniający przestoje stanowiska roboczego wynosi $\eta_{pj} = 0,915$

Rozwiązanie

W pierwszej kolejności należy obliczyć niezbędne parametry techniczno-organizacyjne wykorzystując formularze 1 i 2 (tab. 5 i 6).

I. FORMULARZ I

Tab.5. Obliczone parametry techniczno-organizacyjne – Formularz I

Nr części	N _{wi}	b _{wi}		N _i	F _j	Z _{gi}	τ _i
		[%]	[szt./rok]				
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
W1	208 750	3	6 263	215 013	4100	52,44	0,019
W2	11 200	4	448	11 648	4100	2,84	0,352
W3	11 400	2	228	11 628	4100	2,84	0,353
W4	34 800	5	1 740	36 540	4100	8,91	0,112

Do obliczenia poszczególnych parametrów w tabeli 5 wykorzystano formuły (1)-(4).

II. FORMULARZ II

Tab.6. Obliczone parametry techniczno-organizacyjne – Formularz II

Nr operacji	Symbol. stan. robocz.	t _{ij} [godz./szt.]	φ _j	t _{ijk} [godz./szt.]	m _{gij} [szt./godz.]	t _{pizj} [godz./ partię]	η _{ij}
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Numer wyrobu: W1							
10	RNA 14	0,01	1,2	0,01	120,00	0,6	0,437
20	FNB 26	0,03	1,2	0,03	40,00	0,4	1,311
30	WS 15	0,04	1,1	0,04	27,50	0,25	1,907
40	Ślus.	0,01	1,2	0,01	120,00	0,15	0,437
50	SBB 75	0,04	1,2	0,03	30,00	0,3	1,748
60	SWA 10	0,01	1,2	0,01	120,00	0,15	0,437
Numer wyrobu: W2							
10	TUD50	0,25	1,1	0,23	4,40	0,4	0,646
20	TUD50	0,4	1,2	0,33	3,00	0,4	0,947
30	TUD50	0,28	1,1	0,25	3,93	0,4	0,723
40	FYC26	0,12	1,1	0,11	9,17	0,4	0,310
50	PHW12	0,5	1,2	0,42	2,40	0,3	1,184
60	WKA25	0,08	1,3	0,06	16,25	0,2	0,175
Numer wyrobu: W3							
10	TUD50	0,42	1,3	0,32	3,10	0,4	0,916
20	TUD50	0,58	1,2	0,48	2,07	0,4	1,371
30	WKA25	0,09	1,1	0,08	12,22	0,2	0,232
40	PHW12	0,07	1,1	0,06	15,71	0,5	0,180
Numer wyrobu: W4							
10	TUD50	0,11	1,1	0,10	10,00	0,4	0,891
20	TUD50	0,09	1,3	0,07	14,44	0,4	0,617
30	WKA25	0,06	1,2	0,05	20,00	0,5	0,446
40	PHW12	0,12	1,1	0,11	9,17	0,2	0,972

Do obliczenia poszczególnych parametrów w tab. 6 wykorzystano formuły (5)-(7).

Aby dokonać przydziału detalooperacji w pierwszej kolejności należy opracować formularz 3. Do jego wykonania wykorzystamy parametry techniczno-organizacyjne obliczone uprzednio w formularzu 2 (tab. 6).

Formularz 3 ma formę tabelaryczną, gdzie w kolejnych wierszach umieszcza się nazwy wszystkich części, które będą wytwarzane w projektowanym systemie; w kolumnach zaś symbole wszystkich stanowisk roboczych, które występują w procesach technologicznych poszczególnych części.

UWAGA: W przypadku gdy stanowisko robocze występuje w kilku miejscach – w formularzu 3 symbol wpisujemy tylko jeden raz!

Dwa ostatnie wiersze formularza 3 służą obliczeniu sumarycznemu obciążeniu stanowisk roboczych danego typu ($\eta_j = \sum_{i=1}^{i_d} \eta_{ij}$) oraz wstępnie obliczonej liczbie potrzebnych stanowisk roboczych danego typu.

Dla analizowanego przykładu wstępnie przygotowany formularz będzie więc wyglądał jak na rys. 5.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1	FORMULARZ 3																				
2	symbol st rob	TUD50	FNB26	FYC26	RNA14	WS15	WKA25	SBB75	SWA10	PHW12	Ślus.										
3	Nr detalu																				
4	W1																				
5	W2																				
6																					
7																					
8																					
9	W3																				
10																					
11																					
12																					
13	W4																				
14																					
15																					
16																					
17	W4																				
18																					
19																					
20																					
19	$\eta_i = \sum \eta_{ij}$																				
20	Lmo																				

Rys. 5. Wstępnie przygotowany formularz 3 dla analizowanego przykładu.

Wypełniając formularz, w pierwszej kolejności należy „przenieść do niego” z formularza 2 trzy parametry (tj. numer operacji, długość czasu przygotowawczo-zakończeniowego (t_{pzij}) oraz współczynnik obciążenia stanowiska roboczego detalooperacją (η_{ij})) dla poszczególnych części i poszczególnych detalooperacji w sposób przedstawiony na rys. 6.

Nr operacji	Symbol. stan. <u>robocz.</u>	<u>t_{ij}</u> [godz./szt.]	<u>φ_{ij}</u>	<u>t_{ijk}</u> [godz./szt.]	<u>m_{gij}</u> [szt./godz.]	<u>t_{gij}</u> [godz./ partię]	<u>η_{ij}</u>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Numer wyrobu: W1							
10	RNA 14	0,01	1,2	0,01	120,00	0,6	0,437

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1	FORMULARZ 3																				
2	symbol st rob	TUD50	FNB26	FYC26	RNA14	WS15	WKA25	SBB75	SWA10	PHW12	Ślus.										
3	Nr detalu				10	0,6															
4	W1				0,437																

Rys. 6. Sposób przenoszenia parametrów z formularza 2 do formularza 3.

W przedostatnim wierszu obliczamy sumaryczne obciążenie stanowisk roboczych danego typu, sumując dla każdego typu stanowiska współczynniki obciążenia stanowiska roboczego detalooperacją (η_{ij}) zgodnie z formułą $\eta_j = \sum_{i=1}^{i_d} \eta_{ij}$.

Wstępnie obliczona liczba potrzebnych stanowisk roboczych danego typu – L_{mo} (ostatni wiersz formularza) stanowi zaokrągloną w górę wartość z wiersza przedostatniego.

Wykonany w całości formularz 3 dla analizowanego przykładu pokazano na rys. 7.

W następnej kolejności należy przygotować formularz 4. Formularz 3 (podobnie jak formularz 4) ma formę tabelaryczną, gdzie w kolejnych wierszach umieszcza się nazwy wszystkich części, które będą wytwarzane w projektowanym systemie; w kolumnach zaś symbole wszystkich stanowisk roboczych, które występują w procesach technologicznych poszczególnych części. Tym razem jednak liczba kolumn będzie odpowiadać liczbie stanowisk roboczych.

Przy ustalaniu ilości stanowisk roboczych należy pamiętać, iż:

- 1) Sumaryczny współczynnik obciążenia stanowiska roboczego nie może przekraczać wartości 1 (tj. należy zachować warunek (7)).
- 2) Jeżeli współczynnik obciążenia stanowiska detalooperacją przekracza wartość 1 – należy zastosować wielostrumieniowość – tj. zaplanować kilka takich samych stanowisk dla realizacji danej operacji, dzieląc obciążenie proporcjonalnie na każde ze stanowisk (patrz rys. 8).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1	FORMULARZ 3																				
2	symbol st rob Nr detalu	TUD50	FNB26	FYC26	RNA14	WS15	WKA25	SBB75	SWA10	PHW12	Ślus.										
3	W1		20 0,4		10 0,6	30 0,25		50 0,3	60 0,15		40 0,15										
4			1,311		0,437	1,907		1,748	0,437		0,437										
5	W2	10 0,4		40 0,4			60 0,2			50 0,3											
6		0,646		0,310			0,175			1,184											
7		20 0,4																			
8		0,947																			
9	W3	30 0,4																			
10		0,723																			
11		10 0,4					30 0,2			40 0,5											
12		0,916					0,232			0,180											
13	W4	20 0,4																			
14		1,317																			
15		10 0,4					30 0,5			40 0,2											
16		0,891					0,446			0,972											
17	W4	20 0,4																			
18		0,617																			
19	$\eta_i = \sum \eta_{ij}$	6,057	1,311	0,31	0,437	1,907	0,853	1,748	0,437	2,336	0,437										
20	Lmo	7	2	1	1	2	1	2	1	3	1										

Rys. 7. Wypełniony formularz 3 dla analizowanego przykładu.

symbol st rob Nr detalu	TUD50	FNB26	FYC26
W1		20 0,4	
		1,311	

Formularz 3

FNB26	FNB26
9	9
20 0,4	20 0,4
0,655	0,656

Formularz 4

Rys. 8. Sposób zastosowania wielostrumieniowości przy tworzeniu formularza 4.

UWAGA: Jeżeli np. wartość współczynnika obciążenia wynosi np. 2,619 – należy wydzielić 3 stanowiska robocze danego typu (obciążając je w równym stopniu tj. po 0,873 na każdym ze stanowisk) – wynika to bowiem z jednej z zasad organizacji procesu produkcyjnego, tj. zasady proporcjonalności.

- Jeżeli istnieje możliwość „umieszczenia” kilku detalooperacji na jednym stanowisku roboczym – w taki sposób aby sumaryczny współczynnik obciążenia stanowiska nie przekraczał wartości 1 –

należy to zrobić!!! (dążymy bowiem do tego aby każde ze stanowisk było obciążone w maksymalnie możliwy sposób rys. 9).

5	WKA25	SBB75	SBB75	SWA10	PHW12	6
	15	16	17	18	19	
1,24		50 0,3	50 0,3	60 0,15		
4		0,874	0,874	0,437		
	60 0,2				50 0,3	5
	0,175				0,592	
	30 0,2				40 0,5	
	0,232				0,180	
	30 0,5					
	0,448					

Rys. 9. Sposób umieszczania kilku detalooperacji na jednym stanowisku roboczym

Cztery ostatnie wiersze formularza czwartego zawierają kolejno:

1. Sumaryczne obciążenie danego stanowiska – liczone tak jak w przypadku formularza 3 (tj. $\eta_j = \sum_{i=1}^{i_d} \eta_{ij}$).

UWAGA: W przypadku żadnego ze stanowisk wartość tego wskaźnika nie powinna przekraczać 1.

2. Sumaryczną wartość czasów przygotowawczo-zakończeniowych ($\sum t_{pzij}$) dla wszystkich detalooperacji realizowanych na danym stanowisku.
3. Wartość rezerw zdolności produkcyjnej danego stanowiska roboczego – liczoną jako: $1 - \sum_{i=1}^{i_d} \eta_{ij}$.
4. Wartość minimalnego okresu powtarzalności, liczoną według wzoru:

$$X_{min.j} = \frac{\sum t_{pzij}}{1 - \sum \eta_{ij}}.$$

Formularz 4 sporządzony dla analizowanego przykładu został pokazany na rys. 10.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1	FORMULARZ																						
2	symbol st.rob Nr detalu	TUD50	TUD50	TUD50	TUD50	TUD50	TUD50	TUD50	TUD50	TUD50	TUD50	TUD50	TUD50	TUD50	TUD50	TUD50	TUD50	FNB26	FNB26	FNB26	FNB26	FNB26	FNB26
3		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11											
4	W1																	20	0,4	20	0,4		
5																		0,655	0,656				
6	W2	10	0,4	20	0,4	30	0,4															40	0,4
7		0,646	0,947	0,723																			0,310
8	W3					10	0,4	20	0,4	20	0,4												
9						0,916	0,658	0,659															
10	W4									10	0,4	20	0,4										
11										0,891	0,617												
12	$\Sigma \eta_{ij}$	0,646	0,947	0,723	0,916	0,658	0,659	0,891	0,617	0,655	0,656	0,310											
13	Σ_{tpz}	0,40	0,40	0,92	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40											
14	$1 - \Sigma \eta_{ij}$	0,354	0,053	0,277	0,084	0,342	0,341	0,109	0,383	0,345	0,344	0,690											
15	$X_{min,j}$	1,130	7,547	3,307	4,762	1,170	1,173	3,670	1,044	1,159	1,163	0,580											

X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS							
Z 4																												
RNA14			WS15			WS15			WKA25			SBB75			SBB75			SWA10			PHW12		PHW12		PHW12		Šlus.	
12			13			14			15			16			17			18			19		20				21	
10	0,6	30	0,25	30	0,25			50	0,3	50	0,3	60	0,15													40	0,15	
0,437		0,953		0,954				0,874		0,874		0,437												0,437				
						60	0,2							50	0,3	50	0,3											
						0,175								0,592		0,592												
						30	0,2							40	0,5													
						0,232								0,180														
						30	0,5											40	0,2									
						0,446												0,972										
0,437			0,953			0,954			0,621			0,874			0,874			0,437			0,772		0,592		0,972		0,437	
0,60			0,25			0,25			0,90			0,30			0,30			0,15			0,80		0,30		0,20		0,15	
0,563			0,047			0,046			0,379			0,126			0,126			0,563			0,228		0,408		0,028		0,563	
1,066			5,319			5,435			2,375			2,381			2,381			0,266			3,509		0,735		7,143		0,266	

Rys. 10. Wypełniony formularz 4 dla analizowanego przykładu

Wydzielanie komórek produkcyjnych pierwszego stopnia realizowane jest w następujących krokach:

Krok 1. W kroku pierwszym, na podstawie zapisu z formularza 4 (rys. 4), tworzymy „0–1” macierz powiązań detali ze stanowiskami. Liczba kolumn w macierzy odpowiada liczbie niezbędnych

stanowisk roboczych (komórek produkcyjnych 0-stopnia); liczba wierszy zaś – liczbie wyrobów, które będą produkowane w projektowanym systemie wytwórczym. Fakt występowania operacji zapisujemy w postaci „1”, a jej braku w postaci „0”. Otrzymujemy w ten sposób **macierz I** (rys. 11).

Nr stan. Nr wyrobu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
W1									1	1		1	1	1		1	1	1				1
W2	1	1	1								1				1				1	1		
W3				1	1	1									1				1			
W4							1	1							1						1	

Rys. 11. Macierz I

Uwaga: Jeżeli na danym stanowisku roboczym jest przewidziane do realizacji kilka detalooperacji wykonywanych na jednej części „1” w macierzy wpisujemy tylko 1 raz.

Krok 2. W kroku 2 dokonujemy porządkowania I według wierszy. W pierwszej kolejności należy jednakże policzyć współczynniki podobieństwa technologicznego porównywanych części (detali) wykorzystując formułę 1. Dokonujemy tego dla wszystkich możliwych kombinacji par wierszy, tj. 1-2, 1-3, 1-4, 2-3, 2-4, 3-4.

Przeanalizujemy szczegółowo sposób obliczenia współczynnika W_{pt} dla pary wyrobów W2-W3. W analizowanym przypadku wartość parametru O_{pi} będzie wynosić **4** co pokazano kolorem zielonym na rysunku 12.

Nr stan. Nr wyrobu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
W1									1	1		1	1	1		1	1	1				1
W2	1	1	1								1				1				1	1		
W3				1	1	1									1				1			
W4							1	1							1						1	

Rys. 12. Sposób wyznaczania współczynnika O_{pi} dla pary wyrobów W2-W3

Wartość parametru O_{pw} w analizowanym przypadku będzie wynosić **12** co pokazano na rysunku 13 kolorem niebieskim.



www.pl2022.pollub.pl
e-mail: pl2022@pollub.pl



**Zintegrowany
Program
Rozwoju
Politechniki
Lubelskiej**

Biuro Projektu:
ul. Nadbystrzycka 38H
20 - 618 Lublin

Nr stan. Nr wyrobu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
W1									1	1		1	1	1		1	1	1				1
W2	1	1	1								1				1				1	1		
W3				1	1	1									1				1			
W4							1	1							1						1	

Rys. 13. Sposób wyznaczania współczynnika O_{pi} dla pary wyrobów W2-W3

Wartość współczynnika podobieństwa technologicznego wyrobów W2-W3 będzie więc wynosić:

$$W_{pt(W2-W3)} = \frac{4}{12-4} = \frac{4}{8} = 0,50$$

Licząc w analogiczny sposób, wartość współczynnika W_{pt} dla pozostałych par wyrobów będzie wynosić:

$$W_{pt(W1-W2)} = \frac{0}{16-0} = \frac{0}{16} = 0$$

$$W_{pt(W1-W3)} = \frac{0}{14-0} = \frac{0}{14} = 0$$

$$W_{pt(W1-W4)} = \frac{0}{13-0} = \frac{0}{13} = 0$$

$$W_{pt(W2-W4)} = \frac{2}{11-2} = \frac{2}{9} = 0,22$$

$$W_{pt(W3-W4)} = \frac{2}{9-2} = \frac{2}{7} = 0,29$$

Posiadając obliczone wartości współczynników podobieństwa wypełniamy macierz II co zostało pokazane na rys. 14.

	W1	W2	W3	W4	ΣO_{pt}
W1		0	0	0	0
W2	0		0,50	0,22	0,72
W3	0	0,50		0,29	0,79
W4	0	0,22	0,29		0,51

Rys. 14. Wypełniona macierz wskaźników podobieństwa technologicznego (macierz II).

Zgodnie z przyjętą metodologią można więc określić, iż kolejność wierszy będzie następująca: **W1-W3-W2-W4**

Macierz III (pokazana na rys. 15) jest więc macierzą I, w której zostały posegregowane wiersze zgodnie z wskazaną powyżej kolejnością.

Nr stan. Nr wyrobu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
W1									1	1		1	1	1		1	1	1				1
W3				1	1	1									1				1			
W2	1	1	1								1				1				1	1		
W4							1	1							1						1	

Rys. 15. Macierz III

Krok 3. Porządkowanie macierzy według kolumn.

Jak już to zostało wyżej powiedziane, w 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 (patrz rys. 16).

Nr stan. Nr wyrobu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
W1									1	1		1	1	1		1	1	1				1
W3				1	1	1									1				1			
W2	1	1	1								1				1				1	1		
W4							1	1							1						1	

Liczba „0” –
wolnych
miejsc = 1

Liczba „0” –
wolnych
miejsc = 2

Liczba „0” –
wolnych
miejsc = 0

Rys. 16. Zasada ustalania priorytetu w ustalaniu kolejności kolumn w macierzy

Macierz IV wraz z uporządkowaną kolejnością kolumn została pokazana na rys. 17.

Nr stan. Nr wyrobu	9	10	12	13	14	16	17	18	22	4	5	6	1	2	3	11	19	20	7	8	15	21
W1	1	1	1	1	1	1	1	1	1													
W3										1	1	1					1				1	
W2													1	1	1	1	1	1			1	
W4																			1	1	1	1

Rys. 17. Macierz IV

Mając opracowaną macierz IV możemy przystąpić do wydzielenia komórek produkcyjnych I stopnia. W tym celu grupujemy stanowiska robocze dedykowane do określonej grupy wyrobów. Jak wynika z macierzy IV w analizowanym przypadku istnieje możliwość wydzielenia 2 komórek produkcyjnych I stopnia tj.

- Jedna (będąca potokiem stałym asynchronicznym), w której mieścić się będą stanowiska robocze nr 9, 10, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 22, w której będzie wykonywany **W1**,
- Druga (będąca potokiem zmiennym asynchronicznym), w której mieścić się będą stanowiska robocze nr 4, 5, 6, 1, 2, 3, 11, 19, 20, 7, 8, 15, 21, w której będą wykonywane wyroby **W2, W3, W4**.

Wydzielone komórki zostały zaznaczone na rys. 18.

Nr stan. Nr wyrobu	9	10	12	13	14	16	17	18	22	4	5	6	1	2	3	11	19	20	7	8	15	21
W1	1	1	1	1	1	1	1	1	1													
W3										1	1	1					1				1	
W2													1	1	1	1	1	1			1	
W4																			1	1	1	1

Rys. 18. Macierz IV z wydzielonymi komórkami produkcyjnymi

Po opracowaniu macierzy IV i wydzieleniu KP^I możemy powrócić do pierwotnego zapisu w układzie technologicznym „detal – stanowisko robocze” z uwzględnieniem parametrów. W tym celu opracowujemy formularz 5, który w stosunku do formularza 4 różni się uporządkowaną kolejnością wierszy i kolumn.

Widok formularza dla analizowanego przykładu został pokazany na rys. 9.

Ostatnim krokiem w procesie wydzielenia komórek produkcyjnych pozostaje ustalenie okresu powtarzalności i rezerw poszczególnych stanowisk dla komórek, w których wykonywane są min. 2 wyroby.

W tym celu do formularza 5 należy z formularza 4 przenieść obliczone wcześniej wartości sumarycznego obciążenia stanowisk $\eta_j = \sum_{i=1}^{i_d} \eta_{ij}$ oraz minimalnego okresu powtarzalności $X_{min,j}$ (wiersz 3 i 4 od dołu).

[illegible]

T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS

Rys. 19. Formularz V

Okres powtarzalności (przedostatni wiersz w formularzu 5) X wyznaczany jest dla komórek produkcyjnych, w których będzie produkowane min. 2 wyroby. Ustalając długość okresu powtarzalności pod uwagę należy wziąć:

- 1) ograniczenie ,
- 2) zasadę, iż długość okresu powtarzalności powinno być równe lub stanowić wielokrotność zmiany roboczej, tj. wynosić odpowiednio 8, 16, 24, 32 godz....

W ostatnim wierszu formularza 5 ustalana jest wielkość rezerw produkcyjnych na poszczególnych stanowiskach roboczych. Kalkulacja wielkości rezerw produkcyjnych μ_j dokonywana jest z wykorzystaniem formuły (5) tj. $\mu_j = (X_p - X_{\min.j})(1 - \sum \eta_{ij})$. Wyniki zrealizowanych obliczeń zamieszczono na rys. 19.

2.2. Projektowanie rozmieszczenia stanowisk roboczych

Jednym z aspektów organizacji produkcji jest przestrzenna organizacja procesu produkcyjnego. 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^0 , 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.

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, 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.

Z uwagi na to, że zajmujemy się 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:

- 1) Sformułowanie zadania projektowego. Obiektem projektowania są wcześniej wydzielone KP^l o określonej już formie organizacji produkcji. 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.
- 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 rozmieszczenia 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.

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 projektowania 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. 11) lub przestrzennych. Najczęściej stosuje się modele płaskie, które są rysunkami rzutów urządzeń lub obrabiarek na płaszczyznę poziomą. Prawidłowo opracowany model powinien zawierać możliwie jak najwięcej informacji o urządzeniu, które przedstawia:

- zarys rzutu poziomego maszyny lub urządzenia (wymiary 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.

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:





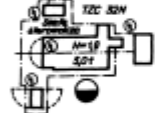

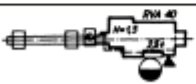




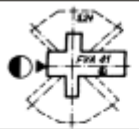




- wymiary i kształty stanowisk roboczych oraz rozmieszczenie elementów ich wyposażenia,
- szkodliwe oddziaływanie na pracę innych stanowisk,
- łatwość dostępu do stanowisk w celu odbioru wiórów, konserwacji itp.

b) organizacja procesu produkcyjnego komórki:

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

c) otoczenie stanowiska:

- układ dróg transportu międzystanowiskowego,
 - odległość między stanowiskami roboczymi,
 - elementy konstrukcyjne hali produkcyjnej,
- d) przepisy bhp i zasady ergonomii.

	Tokarka kłowa uniwersalna TR 70B+1500		Wiertarka pomocnicza WR 50/1,6
	Tokarka produkcyjna kłowa TPD 50+1000		Frezarka pionowa FYC 26
	Tokarka uchwytna ze sterowaniem numerycznym T2C 32N		Szlifierka bezkłowa SBB - 75
	Tokarka rewolwerowa RVA 40		Szlifierka do osi SOD - 20
	Tokarka sterowana numerycznie TR 100C 1N		Szlifierka do płaszczyzn SAC - 30
	Pła ramowa PM 120		Frezarka wspornikowa uniwersalna
	Łutownica DAA 16	<p>LEGENDA:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Stanowisko obsługi ▲ Miejsce sterowania maszyny Ⓛ Miejsce podłączenia energii elektrycznej ⊕ Miejsce na śruby fundamentowe --- Zarys części ruchomych maszyny H Wysokość (m) † Ciężar (t) 	
	Frezarka narzędziowa FND 32		
	Frezarka obwodniowa ZFB 50		
	Szlifierka do wałków SWA 25+800		

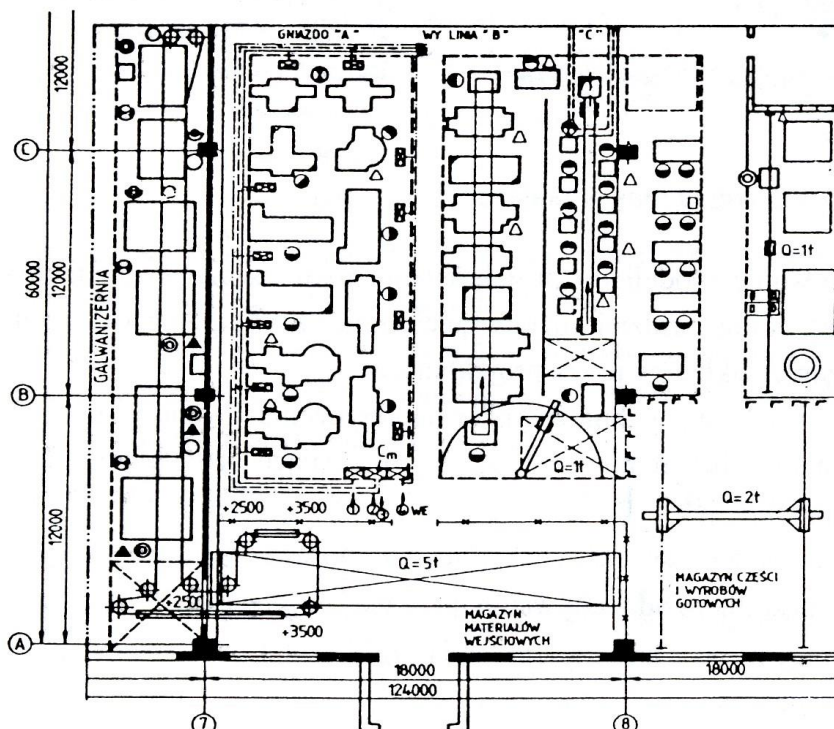
Rys. 20. Przykłady makiet płaskich

Źródło: Brzeziński M. (red.), Organizacja i sterowanie produkcją. Projektowanie systemów produkcyjnych i systemów sterowania produkcją, Agencja Wyd. Placet, Warszawa 2002.

Punkty a) i b) wynikają z charakterystyki samych stanowisk roboczych i procesu produkcyjnego, natomiast

c) i d) są wielkościami ujętymi w normach do projektowania.

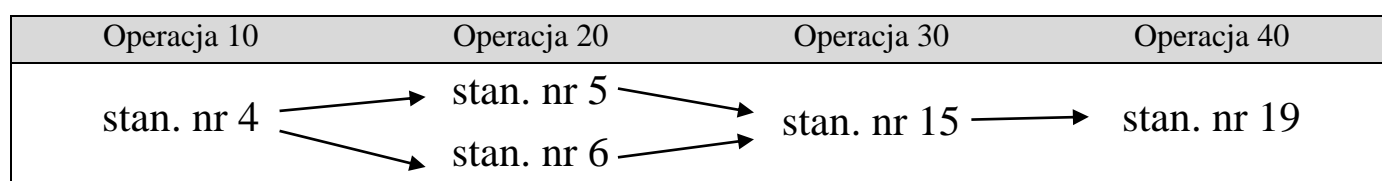
Ostateczny wariant rozmieszczenia stanowisk roboczych, po uwzględnieniu omówionych powyżej wymagań, uzupełnia się schematem przepływu obrabianych wyrobów (detali) przez stanowiska – chodzi o tzw. wykres sznurkowy. Przykładowy projekt rozmieszczenia stanowisk roboczych w gnieździe produkcyjnym przedstawia rys. 21.



Jak wynika z formularza I programy produkcyjne (N_i) części planowanych do produkcji w komórce produkcyjnej KPI/2 wynoszą odpowiednio:

- Wyrób W2 – 11 648 szt.
- Wyrób W3 – 11 628 szt.
- Wyrób W4 – 36 540 szt.

Zgodnie z kolejnością operacji wskazanej w procesie technologicznym (10, 20, 30, itd.) i opracowanym formularzem nr V możemy opracować przykładową marszrutę przepływu produkcji dla wyrobu W3:



Bazując na opracowanych w powyższy sposób marszrutach technologicznych dla wszystkich wyrobów możemy opracować zestawienie zbiorcze dla wszystkich części planowanych do produkcji w projektowanej komórce produkcyjnej (tab. 5).

Tab. 5. Informacje o wyrobach, marszrutach i procesach przepływu

Wyrób	Kolejność operacji na stanowiskach	Program prod. (N_i)		Ciężar wyrobu (Q)	Całkowita masa przepływu ($N_i * Q$) [tony]
W2	1 → 2 → 3 → 11 → 19 → 15	5 824		1,5	7,22
W2	1 → 2 → 3 → 11 → 20 → 15	5 824		1,5	7,22
W3	4 → 5 → 15 → 19	5 814		2,0	11,63
W3	4 → 6 → 15 → 19	5 814		2,0	11,63
W4	7 → 8 → 15 → 21	36 540		1,2	43,85

UWAGA: W przypadku wystąpienia wielostrumieniowości, tj. konieczności realizacji danej detalooperacji na kilku stanowiskach roboczych (wyroby W2, W3) – wyznaczamy odpowiednią liczbę strumieni przepływu dzieląc proporcjonalnie wielkość całkowitego programu produkcyjnego.

W pierwszej kolejności, na podstawie danych o wielkościach programów produkcyjnych i przebiegach części po stanowiskach budujemy macierz wielkości przebiegów, umieszczając w kolumnach i wierszach tabeli numery i symboli stanowisk, na których będzie realizowany proces technologiczny poszczególnych części (tab. 6).

Tab. 6. Zestawienie przepływów pomiędzy stanowiskami.

	TUD50 (1)	TUD50 (2)	TUD50 (3)	TUD50 (4)	TUD50 (5)	TUD50 (6)	TUD50 (7)	TUD50 (8)	FYC26 (11)	WKA25 (15)	PHW12 (19)	PHW12 (20)	PHW12 (21)
TUD50 (1)	-	7,22 7,22											
TUD50 (2)		-	7,22 7,22										
TUD50 (3)			-						7,22 7,22				
TUD50 (4)				-	11,63	11,63							
TUD50 (5)					-					11,63			
TUD50 (6)						-				11,63			
TUD50 (7)							-	43,85					
TUD50 (8)								-		43,85			
FYC26 (11)									-		7,22	7,22	
WKA25 (15)										-	11,63 11,63		43,85
PHW12 (19)										7,22	-		
PHW12 (20)										7,22		-	
PHW12 (21)													-

Ponieważ w trakcie rozwiązywania problemu interesująca jest wielkość powiązań, a nie kierunek przepływu transportowanych wyrobów pomiędzy rozpatrywaną parą stanowisk, sprowadza się macierz zapisaną w tabeli 2 – przenosząc i sumując obliczone wartości na jedną stronę macierzy – do postaci symetrycznej otrzymując macierz powiązań stanowisk (tab. 7).

Tab. 7. Macierz symetryczna powiązań stanowisk

	TUD50 (1)	TUD50 (2)	TUD50 (3)	TUD50 (4)	TUD50 (5)	TUD50 (6)	TUD50 (7)	TUD50 (8)	FYC26 (11)	WKA25 (15)	PHW12 (19)	PHW12 (20)	PHW12 (21)
--	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------



www.pl2022.pollub.pl
e-mail: pl2022@pollub.pl



Zintegrowany
Program
Rozwoju
Politechniki
Lubelskiej

Biurowo Projektu:
ul. Nadbystrzycka 38H
20 -618 Lublin

TUD50 (1)	-												
TUD50 (2)	14,44	-											
TUD50 (3)		14,44	-										
TUD50 (4)				-									
TUD50 (5)				11,63	-								
TUD50 (6)				11,63		-							
TUD50 (7)							-						
TUD50 (8)							43,85	-					
FYC26 (11)			14,44						-				
WKA25 (15)					11,63	11,63		43,85		-			
PHW12 (19)									7,22	30,48	-		
PHW12 (20)									7,22	7,22		-	
PHW12 (21)										43,85			-

Spośród obiektów przeznaczonych do rozmieszczenia wybiera się taką parę, która posiada największe wzajemne powiązania (obszar zacieniowany). W przypadku gdy jest kilka takich par – wybieramy jedną z nich w sposób dowolny.

W naszym przypadku wybierzemy parę stanowisk 7-8 i te stanowiska rozmieścimy jako pierwsze (rys. 22).

Jednocześnie liczymy wartość przepływu w tonach dla poczynionego już rozmieszczenia. W naszym przypadku wartość ta będzie wynosić:

$$Q_{7-8} = 1 * 43,85 = 43,85$$

Gdzie: „1” – najmniejsza liczba „boków trójkąta” pomiędzy rozmieszczonymi stanowiskami.

„43,85” – wartość powiązania pomiędzy stanowiskami 7 i 8 (oczytana z symetrycznej macierzy powiązań).

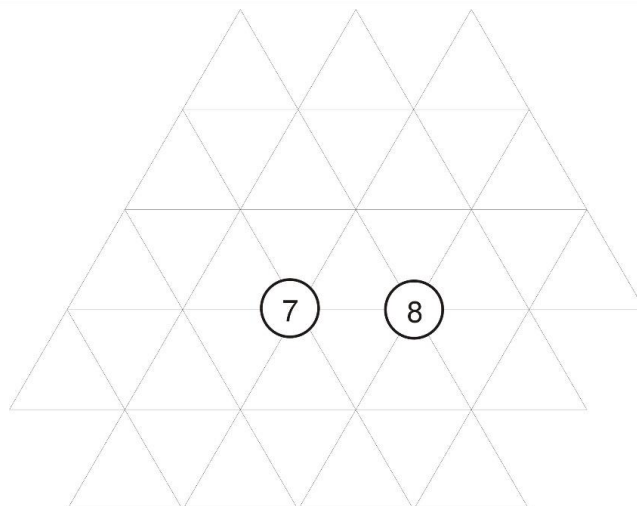
PROGRAM WIEDZA EDUKACJA ROZWÓJ



Rzeczpospolita
Polska

Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny





Rys. 22. Siatka trójkątów z rozmieszczonymi stanowiskami 7 i 8.

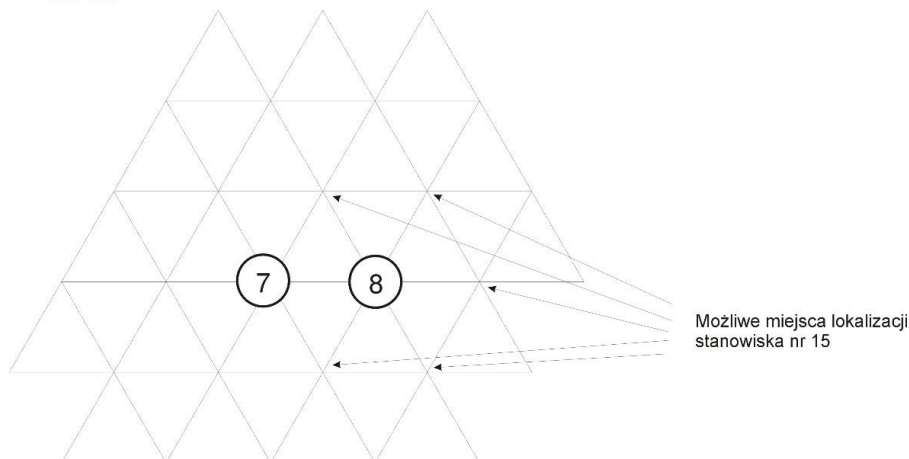
Każdy kolejny obiekt będzie rozstawiany jako następny, jeśli posiada on największą wartość sumy powiązań z dotychczas już rozmieszczonymi stanowiskami. Jeżeli istnieje kilka takich obiektów – wybiera się jeden spośród nich w sposób dowolny. Do tego celu wykorzystuje się tabelę 8.

Tab. 8. Tabela ustalająca kolejność rozmieszczania stanowisk

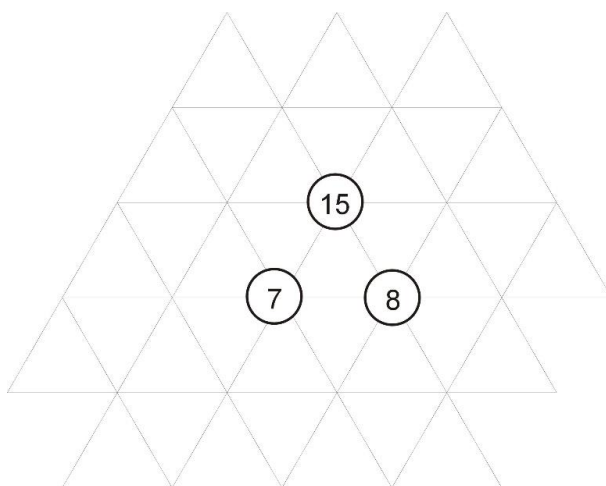
Kol.	TUD50 (1)	TUD50 (2)	TUD50 (3)	TUD50 (4)	TUD50 (5)	TUD50 (6)	TUD50 (7)	TUD50 (8)	FYC26 (11)	WKA25 (15)	PHW12 (19)	PHW12 (20)	PHW12 (21)
7	0	0	0	0	0	0	-	-	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	-	-	0	43,85	0	0	0
Σ	0	0	0	0	0	0	-	-	0	43,85	0	0	0

W naszym przypadku największe powiązanie ze stanowiskami już rozstawionymi ma stanowisko nr 15 – i to stanowisko będzie rozmieszczone w następnej kolejności. Ponieważ, jak wynika z tabeli 1 stanowisko 15 ma tylko powiązanie ze stanowiskiem 8 (powiązanie ze stanowiskiem 7 wynosi 0) – stanowisko to musi być rozmieszczone możliwie najbliżej stanowiska 8. Możliwe miejsca lokalizacji pokazano na rys. 23.

Ponieważ wszystkie potencjalne (wskazane na rys. 3) miejsca lokalizacji są równorzędne, w analizowanym przypadku stanowisko 15 zostało ulokowane jak na rys. 24.



Rys. 23. Możliwe miejsca lokalizacji stanowiska nr 15



Rys. 24. Siatka z rozmieszczonym stanowiskiem nr 15

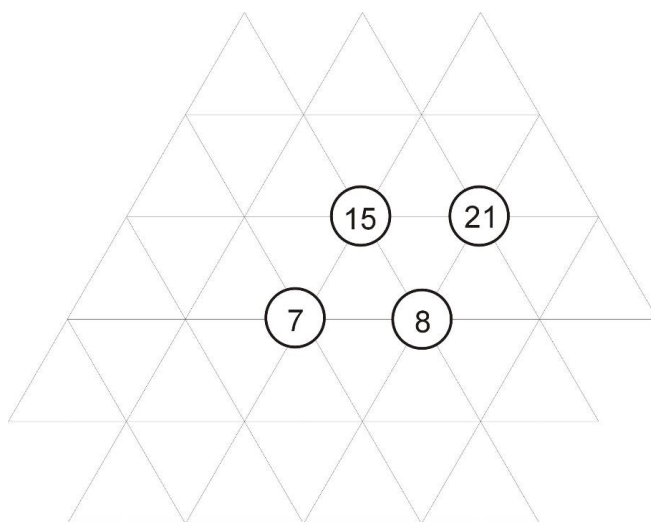
Podobnie jak poprzednio liczymy obciążenie sumaryczne dla wykonanego rozmieszczenia. W tym celu do obliczonej uprzednio wartości przepływu dodajemy przepływ wynikający z powiązania noworozmieszczonego stanowiska ze stanowiskami rozmieszczonymi w poprzednim kroku. Zatem

$$Q_{15} = 43,85 + 1 * 0 \text{ (wartość powiązania stanowiska 15 ze stanowiskiem 7)} + 1 * 43,85 \text{ (wartość powiązania stanowiska 15 ze stanowiskiem 8)} = \mathbf{87,7}$$

Analogiczne kroki powtarzamy aż do rozmieszczenia wszystkich stanowisk roboczych występujących w komórkach. Zostały one pokazane na kolejnych rysunkach, tabelach i obliczeniach.

Tab. 9. Tabela ustalająca kolejność rozmieszczania stanowisk – cd.

Kol.	TUD50 (1)	TUD50 (2)	TUD50 (3)	TUD50 (4)	TUD50 (5)	TUD50 (6)	TUD50 (7)	TUD50 (8)	FYC26 (11)	WKA25 (15)	PHW12 (19)	PHW12 (20)	PHW12 (21)
7	0	0	0	0	0	0	-	-	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	-	-	0	43,85	0	0	0
Σ	0	0	0	0	0	0	-	-	0	43,85	0	0	0
15	0	0	0	0	11,63	11,63	-	-	0	-	30,48	7,22	43,85
Σ	0	0	0	0	11,63	11,63	-	-	0	-	30,48	7,22	43,85



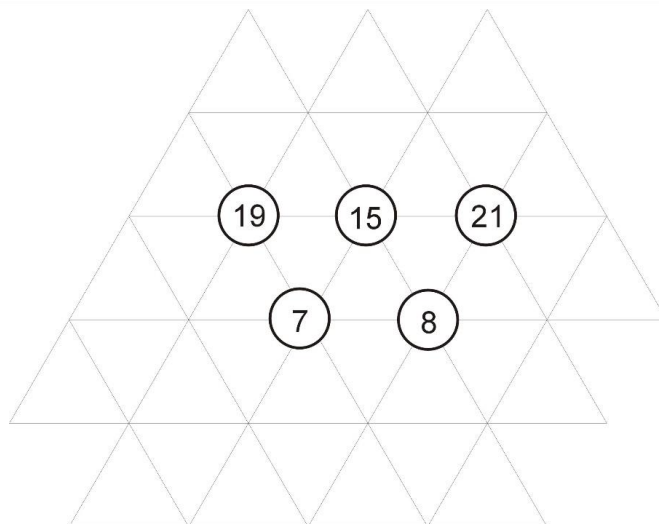
Rys. 25. Siatka z rozmieszczonym stanowiskiem nr 21.

$$Q_{21} = 87,7 + 2 * 0 \text{ (wartość powiązania stanowiska 21 ze stanowiskiem 7)} + 2 * 0 \text{ (wartość powiązania stanowiska 21 ze stanowiskiem 8)} + 1 * 43,85 \text{ (wartość powiązania stanowiska 21 ze stanowiskiem 15)} =$$

131,55

Tab. 10. Tabela ustalająca kolejność rozmieszczania stanowisk – cd.

Kol.	TUD50 (1)	TUD50 (2)	TUD50 (3)	TUD50 (4)	TUD50 (5)	TUD50 (6)	TUD50 (7)	TUD50 (8)	FYC26 (11)	WKA25 (15)	PHW12 (19)	PHW12 (20)	PHW12 (21)
7	0	0	0	0	0	0	-	-	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	-	-	0	43,85	0	0	0
Σ	0	0	0	0	0	0	-	-	0	43,85	0	0	0
15	0	0	0	0	11,63	11,63	-	-	0	-	30,48	7,22	43,85
Σ	0	0	0	0	11,63	11,63	-	-	0	-	30,48	7,22	43,85
21	0	0	0	0	0	0	-	-	0	-	0	0	-
Σ	0	0	0	0	11,63	11,63	-	-	0	-	30,48	7,22	-

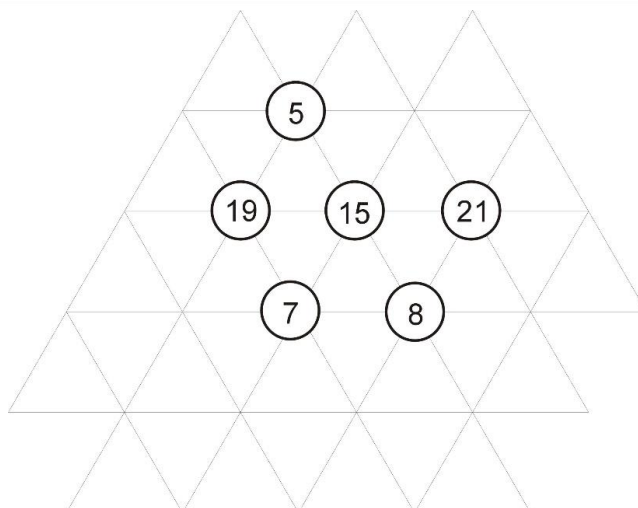


Rys. 26. Siatka z rozmieszczonym stanowiskiem nr 19.

$$Q_{19} = 131,55 + 1 \cdot 0 \text{ (st. 7)} + 1 \cdot 30,48 \text{ (st. 15)} + 2 \cdot 0 \text{ (st. 8)} + 2 \cdot 0 \text{ (st. 21)} = \mathbf{162,03}$$

Tab. 11. Tabela ustalająca kolejność rozmieszczania stanowisk – cd.

Kol.	TUD50 (1)	TUD50 (2)	TUD50 (3)	TUD50 (4)	TUD50 (5)	TUD50 (6)	TUD50 (7)	TUD50 (8)	FYC26 (11)	WKA25 (15)	PHW12 (19)	PHW12 (20)	PHW12 (21)
7	0	0	0	0	0	0	-	-	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	-	-	0	43,85	0	0	0
Σ	0	0	0	0	0	0	-	-	0	43,85	0	0	0
15	0	0	0	0	11,63	11,63	-	-	0	-	30,48	7,22	43,85
Σ	0	0	0	0	11,63	11,63	-	-	0	-	30,48	7,22	43,85
21	0	0	0	0	0	0	-	-	0	-	0	0	-
Σ	0	0	0	0	11,63	11,63	-	-	0	-	30,48	7,22	-
19	0	0	0	0	0	0	-	-	7,22	-	-	0	-
Σ	0	0	0	0	11,63	11,63	-	-	7,22	-	-	7,22	-

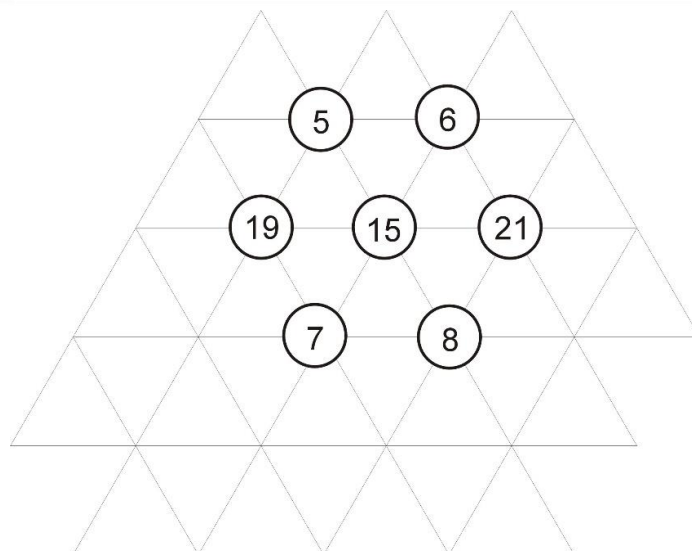


Rys. 27. Siatka z rozmieszczonym stanowiskiem nr 5.

$$Q_5 = 162,03 + 0 \cdot 1 + 1 \cdot 11,63 + 2 \cdot 0 + 2 \cdot 0 + 2 \cdot 0 = 173,66$$

Tab. 12. Tabela ustalająca kolejność rozmieszczania stanowisk – cd.

Kol.	TUD50 (1)	TUD50 (2)	TUD50 (3)	TUD50 (4)	TUD50 (5)	TUD50 (6)	TUD50 (7)	TUD50 (8)	FYC26 (11)	WKA25 (15)	PHW12 (19)	PHW12 (20)	PHW12 (21)
7	0	0	0	0	0	0	-	-	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	-	-	0	43,85	0	0	0
Σ	0	0	0	0	0	0	-	-	0	43,85	0	0	0
15	0	0	0	0	11,63	11,63	-	-	0	-	30,48	7,22	43,85
Σ	0	0	0	0	11,63	11,63	-	-	0	-	30,48	7,22	43,85
21	0	0	0	0	0	0	-	-	0	-	0	0	-
Σ	0	0	0	0	11,63	11,63	-	-	0	-	30,48	7,22	-
19	0	0	0	0	0	0	-	-	7,22	-	-	0	-
Σ	0	0	0	0	11,63	11,63	-	-	7,22	-	-	7,22	-
5	0	0	0	11,63	-	0	-	-	0	-	-	0	-
Σ	0	0	0	11,63	-	11,63	-	-	7,22	-	-	7,22	-

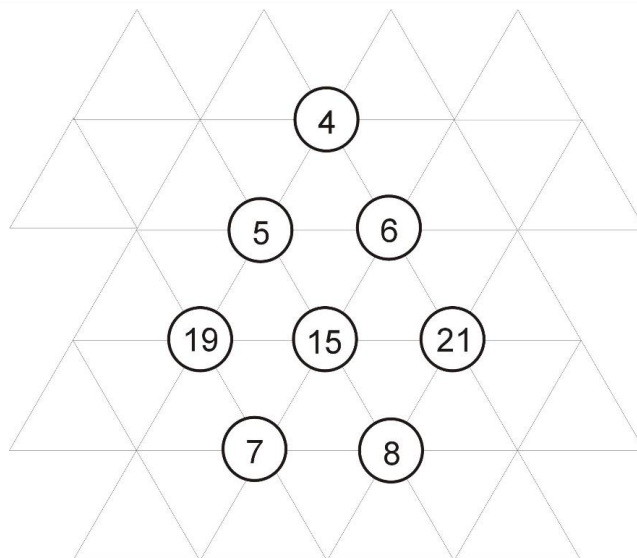


Rys. 28. Siatka z rozmieszczonym stanowiskiem nr 6.

$$Q_6 = 173,66 + 1*0 + 1*0 + 1*11,63 + 2*0 + 2*0 + 2*0 = 185,29$$

Tab. 13. Tabela ustalająca kolejność rozmieszczania stanowisk – cd.

Kol.	TUD50 (1)	TUD50 (2)	TUD50 (3)	TUD50 (4)	TUD50 (5)	TUD50 (6)	TUD50 (7)	TUD50 (8)	FYC26 (11)	WKA25 (15)	PHW12 (19)	PHW12 (20)	PHW12 (21)
7	0	0	0	0	0	0	-	-	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	-	-	0	43,85	0	0	0
Σ	0	0	0	0	0	0	-	-	0	43,85	0	0	0
15	0	0	0	0	11,63	11,63	-	-	0	-	30,48	7,22	43,85
Σ	0	0	0	0	11,63	11,63	-	-	0	-	30,48	7,22	43,85
21	0	0	0	0	0	0	-	-	0	-	0	0	-
Σ	0	0	0	0	11,63	11,63	-	-	0	-	30,48	7,22	-
19	0	0	0	0	0	0	-	-	7,22	-	-	0	-
Σ	0	0	0	0	11,63	11,63	-	-	7,22	-	-	7,22	-
5	0	0	0	11,63	-	0	-	-	0	-	-	0	-
Σ	0	0	0	11,63	-	11,63	-	-	7,22	-	-	7,22	-
6	0	0	0	11,63	-	-	-	-	0	-	-	0	-
Σ	0	0	0	23,26	-	-	-	-	7,22	-	-	7,22	-



Rys. 29. Siatka z rozmieszczonym stanowiskiem nr 4.

$$Q_4 = 185,29 + 1 \cdot 11,63 + 1 \cdot 11,63 + 2 \cdot 0 + 2 \cdot 0 + 2 \cdot 0 + 3 \cdot 0 + 3 \cdot 0 = 208,55$$

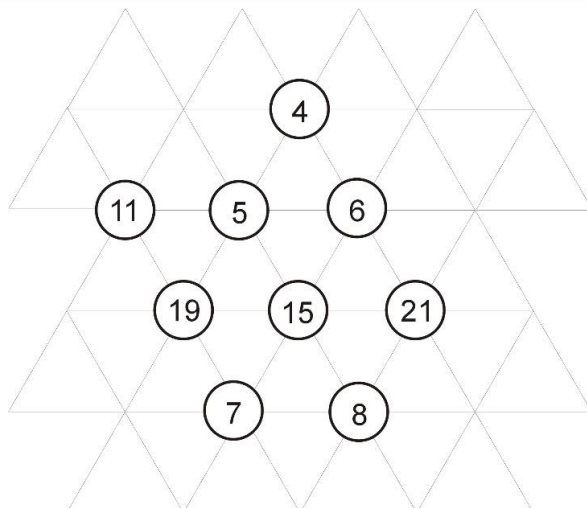
Tab. 14. Tabela ustalająca kolejność rozmieszczania stanowisk – cd.

Kol.	TUD50 (1)	TUD50 (2)	TUD50 (3)	TUD50 (4)	TUD50 (5)	TUD50 (6)	TUD50 (7)	TUD50 (8)	FYC26 (11)	WKA25 (15)	PHW12 (19)	PHW12 (20)	PHW12 (21)
7	0	0	0	0	0	0	-	-	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	-	-	0	43,85	0	0	0
Σ	0	0	0	0	0	0	-	-	0	43,85	0	0	0
15	0	0	0	0	11,63	11,63	-	-	0	-	30,48	7,22	43,85
Σ	0	0	0	0	11,63	11,63	-	-	0	-	30,48	7,22	43,85
21	0	0	0	0	0	0	-	-	0	-	0	0	-
Σ	0	0	0	0	11,63	11,63	-	-	0	-	30,48	7,22	-
19	0	0	0	0	0	0	-	-	7,22	-	-	0	-
Σ	0	0	0	0	11,63	11,63	-	-	7,22	-	-	7,22	-
5	0	0	0	11,63	-	0	-	-	0	-	-	0	-
Σ	0	0	0	11,63	-	11,63	-	-	7,22	-	-	7,22	-
6	0	0	0	11,63	-	-	-	-	0	-	-	0	-
Σ	0	0	0	23,26	-	-	-	-	7,22	-	-	7,22	-
4	0	0	0	-	-	-	-	-	0	-	-	0	-
Σ	0	0	0	-	-	-	-	-	7,22	-	-	7,22	-



**Zintegrowany
Program
Rozwoju
Politechniki
Lubelskiej**

Biuro Projektu:
ul. Nadbystrzycka 38H
20 - 618 Lublin



Rys. 30. Siatka z rozmieszczonym stanowiskiem nr 11.

$$Q_{11} = 208,55 + 1*7,22 + 1*0 + 2*0 + 2*0 + 2*0 + 2*0 + 3*0 + 3*0 = \mathbf{215,77}$$

Tab. 15. Tabela ustalająca kolejność rozmieszczania stanowisk – cd.

Kol.	TUD50 (1)	TUD50 (2)	TUD50 (3)	TUD50 (4)	TUD50 (5)	TUD50 (6)	TUD50 (7)	TUD50 (8)	FYC26 (11)	WKA25 (15)	PHW12 (19)	PHW12 (20)	PHW12 (21)
7	0	0	0	0	0	0	-	-	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	-	-	0	43,85	0	0	0
Σ	0	0	0	0	0	0	-	-	0	43,85	0	0	0
15	0	0	0	0	11,63	11,63	-	-	0	-	30,48	7,22	43,85
Σ	0	0	0	0	11,63	11,63	-	-	0	-	30,48	7,22	43,85
21	0	0	0	0	0	0	-	-	0	-	0	0	-
Σ	0	0	0	0	11,63	11,63	-	-	0	-	30,48	7,22	-
19	0	0	0	0	0	0	-	-	7,22	-	-	0	-
Σ	0	0	0	0	11,63	11,63	-	-	7,22	-	-	7,22	-
5	0	0	0	11,63	-	0	-	-	0	-	-	0	-
Σ	0	0	0	11,63	-	11,63	-	-	7,22	-	-	7,22	-
6	0	0	0	11,63	-	-	-	-	0	-	-	0	-
Σ	0	0	0	23,26	-	-	-	-	7,22	-	-	7,22	-
4	0	0	0	-	-	-	-	-	0	-	-	0	-
Σ	0	0	0	-	-	-	-	-	7,22	-	-	7,22	-
11	0	0	14,44	-	-	-	-	-	-	-	-	7,22	-
Σ	0	0	14,44	-	-	-	-	-	-	-	-	14,44	-

PROGRAM WIEDZA EDUKACJA ROZWÓJ



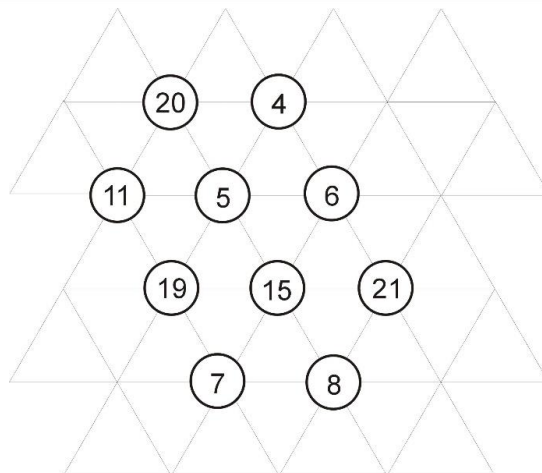
Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny





**Zintegrowany
Program
Rozwoju
Politechniki
Lubelskiej**

Biuro Projektu:
ul. Nadbystrzycka 38H
20 - 618 Lublin



Rys. 31. Siatka z rozmieszczonym stanowiskiem nr 20.

$$Q_{20} = 215,77 + 1 \cdot 7,22 + 1 \cdot 0 + 1 \cdot 0 + 2 \cdot 0 + 2 \cdot 7,22 + 2 \cdot 0 + 3 \cdot 0 + 3 \cdot 0 + 3 \cdot 0 = \mathbf{237,43}$$

Tab. 16. Tabela ustalająca kolejność rozmieszczania stanowisk – cd.

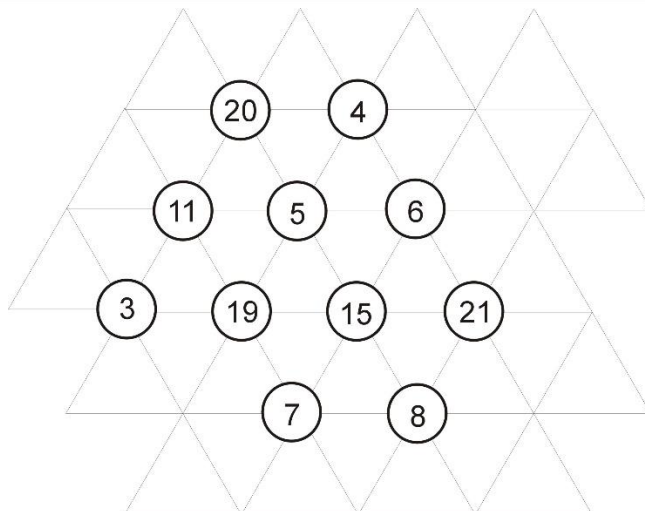
Kol.	TUD50 (1)	TUD50 (2)	TUD50 (3)	TUD50 (4)	TUD50 (5)	TUD50 (6)	TUD50 (7)	TUD50 (8)	FYC26 (11)	WKA25 (15)	PHW12 (19)	PHW12 (20)	PHW12 (21)
7	0	0	0	0	0	0	-	-	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	-	-	0	43,85	0	0	0
Σ	0	0	0	0	0	0	-	-	0	43,85	0	0	0
15	0	0	0	0	11,63	11,63	-	-	0	-	30,48	7,22	43,85
Σ	0	0	0	0	11,63	11,63	-	-	0	-	30,48	7,22	43,85
21	0	0	0	0	0	0	-	-	0	-	0	0	-
Σ	0	0	0	0	11,63	11,63	-	-	0	-	30,48	7,22	-
19	0	0	0	0	0	0	-	-	7,22	-	-	0	-
Σ	0	0	0	0	11,63	11,63	-	-	7,22	-	-	7,22	-
5	0	0	0	11,63	-	0	-	-	0	-	-	0	-
Σ	0	0	0	11,63	-	11,63	-	-	7,22	-	-	7,22	-
6	0	0	0	11,63	-	-	-	-	0	-	-	0	-
Σ	0	0	0	23,26	-	-	-	-	7,22	-	-	7,22	-
4	0	0	0	-	-	-	-	-	0	-	-	0	-
Σ	0	0	0	-	-	-	-	-	7,22	-	-	7,22	-
11	0	0	14,44	-	-	-	-	-	-	-	-	7,22	-
Σ	0	0	14,44	-	-	-	-	-	-	-	-	14,44	-
20	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Σ	0	0	14,44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

PROGRAM WIEDZA EDUKACJA ROZWÓJ



Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny





Rys. 32. Siatka z rozmieszczonym stanowiskiem nr 3.

$$Q_3 = 237,43 + 1 \cdot 14,44 = 251,87$$

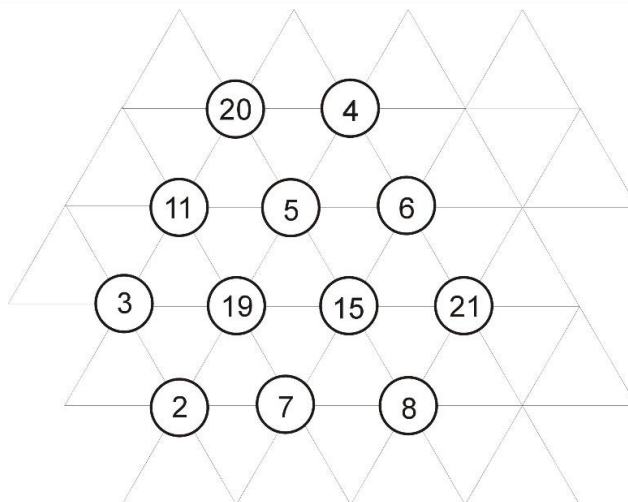
Tab. 17. Tabela ustalająca kolejność rozmieszczania stanowisk – cd.

Kol.	TUD50 (1)	TUD50 (2)	TUD50 (3)	TUD50 (4)	TUD50 (5)	TUD50 (6)	TUD50 (7)	TUD50 (8)	FYC26 (11)	WKA25 (15)	PHW12 (19)	PHW12 (20)	PHW12 (21)
7	0	0	0	0	0	0	-	-	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	-	-	0	43,85	0	0	0
Σ	0	0	0	0	0	0	-	-	0	43,85	0	0	0
15	0	0	0	0	11,63	11,63	-	-	0	-	30,48	7,22	43,85
Σ	0	0	0	0	11,63	11,63	-	-	0	-	30,48	7,22	43,85
21	0	0	0	0	0	0	-	-	0	-	0	0	-
Σ	0	0	0	0	11,63	11,63	-	-	0	-	30,48	7,22	-
19	0	0	0	0	0	0	-	-	7,22	-	-	0	-
Σ	0	0	0	0	11,63	11,63	-	-	7,22	-	-	7,22	-
5	0	0	0	11,63	-	0	-	-	0	-	-	0	-
Σ	0	0	0	11,63	-	11,63	-	-	7,22	-	-	7,22	-
6	0	0	0	11,63	-	-	-	-	0	-	-	0	-
Σ	0	0	0	23,26	-	-	-	-	7,22	-	-	7,22	-
4	0	0	0	-	-	-	-	-	0	-	-	0	-
Σ	0	0	0	-	-	-	-	-	7,22	-	-	7,22	-
11	0	0	14,44	-	-	-	-	-	-	-	-	7,22	-
Σ	0	0	14,44	-	-	-	-	-	-	-	-	14,44	-
20	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Σ	0	0	14,44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	0	14,44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Σ	0	14,44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-



**Zintegrowany
Program
Rozwoju
Politechniki
Lubelskiej**

Biuro Projektu:
ul. Nadbystrzycka 38H
20 - 618 Lublin



Rys. 33. Siatka z rozmieszczonym stanowiskiem nr 2.

$$Q_2 = 251,87 + 1 \cdot 14,44 = \mathbf{266,31}$$

Tab. 18. Tabela ustalająca kolejność rozmieszczania stanowisk – cd.

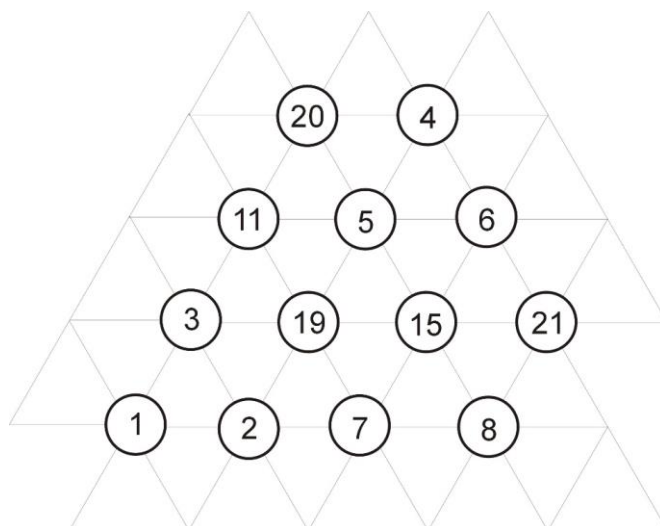
Kol.	TUD50 (1)	TUD50 (2)	TUD50 (3)	TUD50 (4)	TUD50 (5)	TUD50 (6)	TUD50 (7)	TUD50 (8)	FYC26 (11)	WKA25 (15)	PHW12 (19)	PHW12 (20)	PHW12 (21)
7	0	0	0	0	0	0	-	-	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	-	-	0	43,85	0	0	0
Σ	0	0	0	0	0	0	-	-	0	43,85	0	0	0
15	0	0	0	0	11,63	11,63	-	-	0	-	30,48	7,22	43,85
Σ	0	0	0	0	11,63	11,63	-	-	0	-	30,48	7,22	43,85
21	0	0	0	0	0	0	-	-	0	-	0	0	-
Σ	0	0	0	0	11,63	11,63	-	-	0	-	30,48	7,22	-
19	0	0	0	0	0	0	-	-	7,22	-	-	0	-
Σ	0	0	0	0	11,63	11,63	-	-	7,22	-	-	7,22	-
5	0	0	0	11,63	-	0	-	-	0	-	-	0	-
Σ	0	0	0	11,63	-	11,63	-	-	7,22	-	-	7,22	-
6	0	0	0	11,63	-	-	-	-	0	-	-	0	-
Σ	0	0	0	23,26	-	-	-	-	7,22	-	-	7,22	-
4	0	0	0	-	-	-	-	-	0	-	-	0	-
Σ	0	0	0	-	-	-	-	-	7,22	-	-	7,22	-
11	0	0	14,44	-	-	-	-	-	-	-	-	7,22	-
Σ	0	0	14,44	-	-	-	-	-	-	-	-	14,44	-
20	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Σ	0	0	14,44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	0	14,44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Σ	0	14,44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	14,44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Σ	14,44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

PROGRAM WIEDZA EDUKACJA ROZWÓJ



Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny





Rys. 34. Siatka z rozmieszczonym stanowiskiem nr 1 (rozwiązanie końcowe).

$$Q_1 = 266,31 + 1 \cdot 14,44 = \mathbf{280,75}$$

Odpowiedź: Rozmieszczenie optymalne stanowisk roboczych zostało przedstawione na rys. 12. Sumaryczna wartość przepływu dla niniejszego rozmieszczenia wynosi 280,75 tony.

2.3. 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,
- których projektowanie wymaga określonych procedur.

2.3.1. 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 organizacyjne w postaci zależności:

$$S_i = X_p \cdot z_{gi}, \quad (14)$$

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 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:

$$p_{ti} = \frac{S_i}{l_{pt}}, \quad (15)$$

$$l_{pt} = \frac{G_o}{l_w} = \frac{S_i \cdot g_o}{l_w}, \quad (16)$$

gdzie: p_{ti} – 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_{ti} wystarczy podzielić przez siebie l_w oraz g_o . Otóż nie jest to możliwe, gdyż liczba pakietów l_{pt} powinna być liczbą całkowitą i podzielnikiem 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_{ti} . Może wystąpić także sytuacja, gdzie należy skorygować (zawsze w dół) wielkość S_i . Obliczenia wielkości S_i oraz p_{ti} przeprowadzamy w formularzu 6 (rys. 35).

Przy opracowaniu harmonogramów produkcji pomocne jest także zestawianie parametrów czasowych w przekroju wszystkich stanowisk. Wzór tablicy obliczeniowej do sporządzania harmonogramów przedstawia formularz 7 (rys. 35). Pojawiają się tutaj nowe parametry, które można obliczyć z następujących zależności:

$$T_{jk} = t_{ijk} \cdot S_i, \quad (17)$$

$$\eta_{mj} = \frac{\sum t_{pzij} + \sum T_{jk}}{X_p}, \quad (18)$$

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-zakończeniowy 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_{gi}	X_p	S_i	g_o	G_o	t_w	l_{pt}	p_{ti}
	Nazwa	Nr	$\left[\frac{\text{szt.}}{\text{godz.}} \right]$	[godz.]	[szt.]	$\left[\frac{\text{kg}}{\text{szt.}} \right]$	[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}	ΣT_{jk}	Σt_{pzij}	η_{mj}
KPl	KPl	[godz.]					$\left[\frac{\text{godz.}}{\text{szt.}} \right]$	[szt.]	[godz.]	$\left[\frac{\text{godz.}}{\text{partia}} \right]$	[godz.]	[godz.]	

Rys. 35. Formularze do obliczeń parametrów niezbędnych przy harmonogramowaniu przebiegu produkcji

Źródło: Brzeziński M. (red.), Organizacja i sterowanie produkcją. Projektowanie systemów produkcyjnych i systemów sterowania produkcją, Agencja Wyd. Placet, Warszawa 2002.

2.3.2. 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 priorytetu⁵ 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:

- 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 wydłużania cyklu wzrasta w miarę układania wyrobu w harmonogramie, tzn. wzrost jest coraz większy. Wyrób umieszczany w harmonogramie jako pierwszy w kolejności, posiada najmniejszy wskaźnik wydłużania cyklu produkcyjnego,
- im większe obciążenie stanowisk roboczych, tym większe są średnie wskaźniki wydłużania cyklu,

⁵ K. J. Wróblewski, R. Krawczyński, A. Kosieradzka, S. Kasprzyk, *Reguły priorytetu w sterowaniu przepływem produkcji*, WNT, Warszawa 1984.

- 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' odbywa się oczywiście nie w całym przedziale cyklu produkcyjnego, lecz dla jednego X_p , gdyż harmonogram wzorcowy opracowany dla okresu powtarzalności jest normatywem produkcji dla każdego, kolejnego powtórzenia. W porównaniu z innymi rodzajami harmonogramów produkcji, 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:

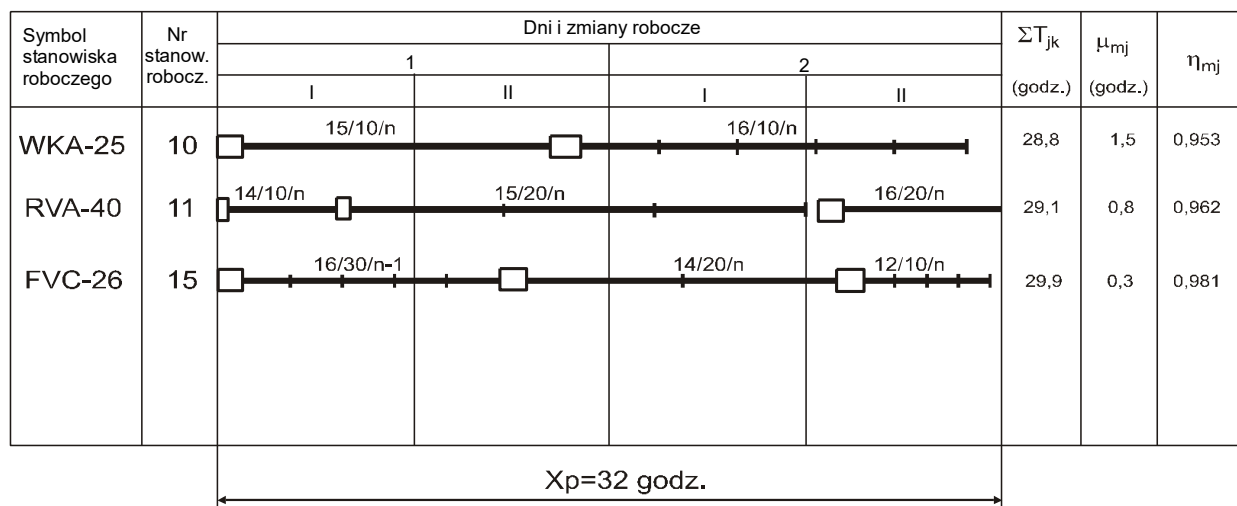
$$W_{nci} = \frac{\sum C_{ni}}{\sum C_{hi}} \leq 1, \quad (19)$$

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. 36.



Rys. 36. Fragment przykładowego harmonogramu wzorcowego pracy maszyn w KP^I dla szeregowo-równoległego przebiegu detali w partii produkcyjnej

Źródło: Brzeziński M. (red.), Organizacja i sterowanie produkcją. Projektowanie systemów produkcyjnych i systemów sterowania produkcją, Agencja Wyd. Placet, Warszawa 2002.

2.3.3. 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 zamienności zawodów.

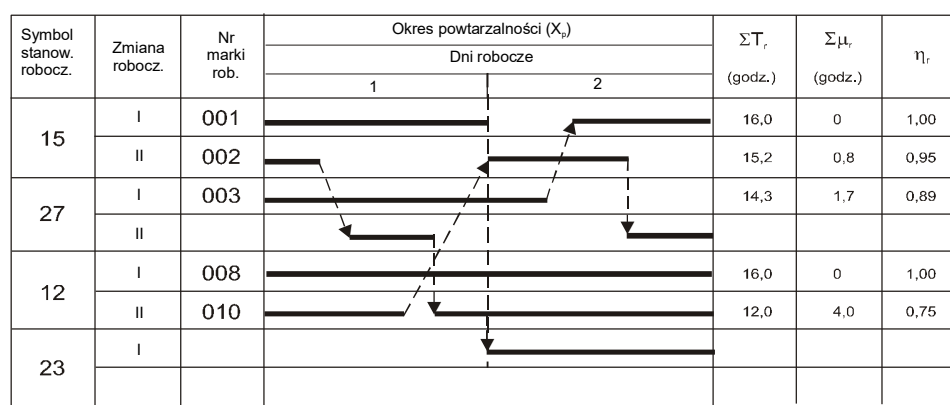
Harmonogramy pracy robotników projektujemy na bazie obowiązującego już harmonogramu pracy maszyn, uwzględniając możliwości wykorzystania przerw w pracy na innym stanowisku roboczym. Szukamy rozwiązań, w których uzyskamy jak najwyższy współczynnik wykorzystania pracy robotników:

$$\eta_r = \frac{\sum T_r}{\sum T_r + \sum \mu_r}, \quad (20)$$

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. 4.13.

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 układu. 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.



Rys. 37. Fragment harmonogramu pracy robotników

Źródło: Brzeziński M. (red.), Organizacja i sterowanie produkcją. Projektowanie systemów produkcyjnych i systemów sterowania produkcją, Agencja Wyd. Placet, Warszawa 2002.

2.3.4. 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 pomocniczych. Wymagania te są dość rozległe, a podstawowe z nich sprowadzają się do tego, że obsługa produkcji przez służby i gospodarki pomocnicze musi rozpoczynać się i kończyć w odpowiednim czasie. Miejsce i czas wykonania obsługi zostały zdeterminowane harmonogramem przebiegu produkcji

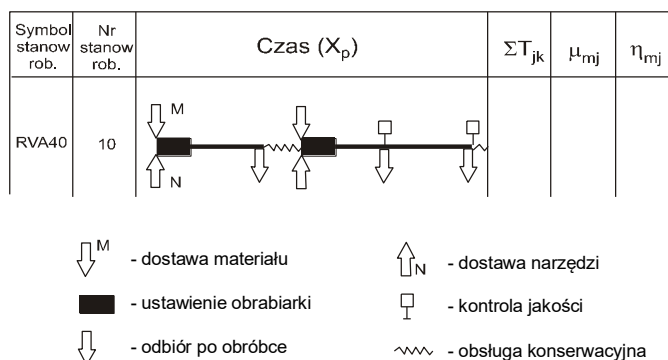
podstawowej. Na jego tle można wykonać następujące harmonogramy procesów pomocniczych:

- 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 jakości (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. 38.



Rys. 38. Fragment harmonogramu obsługi procesu podstawowego przez procesy pomocnicze, z naniesionymi operacjami obsługowymi

Źródło: Brzeziński M. (red.), Organizacja i sterowanie produkcją. Projektowanie systemów produkcyjnych i systemów sterowania produkcją, Agencja Wyd. Placet, Warszawa 2002.

2.4. 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.

Przedstawione powyżej opracowania uzupełniające, dotyczące zarówno rytmicznej jak i nierytmicznej produkcji, mając charakter uniwersalny – mogą być zaprezentowane po omówieniu obu metody projektowania konwencjonalnych systemów produkcyjnych.

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 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 produkcji⁶ służący do oceny zachowania się zaprojektowanej wcześniej komórki produkcyjnej, w warunkach oddziaływania (wybranych rodzajów) zakłóceń losowych oraz określenia niezbędnych rezerw – przy projektowaniu konkretnej KP^I pracującej w systemie rytmicznej produkcji.

3. Wykaz proponowanych zagadnień do dyskusji

1. Typy, formy i odmiany produkcji oraz ich znaczenie z punktu widzenia projektowania systemów wytwórczych.
2. Charakterystyka etapów i modułów składających się na projektowanie systemów produkcyjnych dedykowanych dla produkcji rytmicznej.
3. Klasyfikacja i kalkulacja parametrów niezbędnych do wydzielenia komórki produkcyjnej pierwszego stopnia.
4. Istota i znaczenie okresu powtarzalności w organizacji systemów produkcyjnych dla produkcji rytmicznej.
5. Kolejne kroki w procesie rozmieszczania stanowisk roboczych w gniazdach dedykowanych produkcji rytmicznej.
6. Rodzaje harmonogramów produkcyjnych i sposoby ich projektowania.
7. Pojęcie i znaczenie wzorcowego harmonogramu produkcji.
8. Rola opracowań uzupełniających w procesie projektowania systemów produkcyjnych.

4. Ćwiczenia kontrolne

Ćwiczenie 1:

Wykorzystując dane zamieszczone w punktach 1-5 poniżej dokonać wydzielenia komórek pierwszego stopnia w systemie produkcji rytmicznej.

⁶ S. Lis (red.), *Rytmiczność procesu produkcyjnego. Zakłócenia i ich kompensacja*, PWE, Warszawa 1982.

1. Procesy technologiczne części wytwarzanych w projektowanym systemie

Tab.1. Proces technologiczny części W1

Nr operacji	Symbol. stan. robocz.	Czas przygotowawczo-zakończeniowy (t_{pz}) [godz.]	Czas jednostkowy (t_{ij}) [godz.]	Wsp. wykonania normy (ϕ_i) [godz.]
10	WCC80	0,30	0,03	1,0
20	TUD50	0,40	0,12	1,0
30	FWD25	0,30	0,02	1,0
40	FYC26	0,50	0,01	1,0
50	SWD25	0,50	0,02	1,0
60	TUD40	1,50	0,18	1,0

Tab.2. Proces technologiczny części W2

Nr operacji	Symbol. stan. robocz.	Czas przygotowawczo-zakończeniowy (t_{pz}) [godz.]	Czas jednostkowy (t_{ij}) [godz.]	Wsp. wykonania normy (ϕ_i) [godz.]
10	TUD50	0,40	0,11	1,0
20	TUD50	0,40	0,09	1,0
30	PHW12	0,30	0,06	1,0
40	WKA25	0,20	0,12	1,0

Tab.3. Proces technologiczny części W3

Nr operacji	Symbol. stan. robocz.	Czas przygotowawczo-zakończeniowy (t_{pz}) [godz.]	Czas jednostkowy (t_{ij}) [godz.]	Wsp. wykonania normy (ϕ_i) [godz.]
10	TUB32	0,30	0,22	1,0
20	WKA25	0,23	0,05	1,0
30	PHW12	0,30	0,04	1,0
40	WKA25	0,20	0,03	1,0

Tab. 4. Proces technologiczny części W4

Nr operacji	Symbol. stan. robocz.	Czas przygotowawczo-zakończeniowy (t_{pz}) [godz.]	Czas jednostkowy (t_{ij}) [godz.]	Wsp. wykonania normy (ϕ_i) [godz.]
10	FND32	0,40	0,31	1,0
20	FND32	0,40	0,16	1,0
30	TUB32	0,40	0,51	1,0
40	WRS25	0,20	0,18	1,0
50	WRS25	0,20	0,01	1,0
60	Sluz	0,20	0,04	1,0
70	WRS25	0,20	0,04	1,0
80	WRS25	0,20	0,08	1,0

Tab. 5. Proces technologiczny części W5

Nr operacji	Symbol. stan. robocz.	Czas przygotowawczo-zakończeniowy (t_{pz}) [godz.]	Czas jednostkowy (t_{ij}) [godz.]	Wsp. wykonania normy (ϕ_i) [godz.]
10	TUB32	0,40	0,08	1,0
20	FND32	0,40	0,04	1,0
30	TUB32	0,40	0,05	1,0

2. Średnia roczna wielkość produkcji dla każdej części:

- $N_{W1} = 3\ 900$ szt./rok,
- $N_{W2} = 34\ 800$ szt./rok,
- $N_{W3} = 39\ 000$ szt./rok,
- $N_{W4} = 9\ 300$ szt./rok.,
- $N_{W5} = 78\ 000$ szt./rok.,

3. Przewidywana średnia wielkość braków produkcyjnych będzie wynosić: $b_{di} = 3\%$ dla każdej z części.

4. Do obliczeń przyjąć rok kalendarzowy, w którym występuje 365 dni roboczych, 52 niedziele (wolne od pracy), 52 soboty niepracujące oraz 7 wolnych dni świątecznych (nie przypadających w soboty i niedziele).

5. Przedsiębiorstwo pracuje na dwie zmiany, a planowany współczynnik uwzględniający przestoje stanowiska roboczego wynosi $\eta_{pj} = 0,974$.

Ćwiczenie 2:

Bazując na fragmencie formularza V zamieszczonym poniżej dokonać rozmieszczenia stanowisk roboczych **dla komórki produkcyjnej KPI/3**, przyjmując programy produkcyjne w wysokości:

- Wyrób W1 – 4 017 szt.,
- Wyrób W2 – 35 844 szt.
- Wyrób W3 – 40 170 szt.

oraz zakładając, iż masa półfabrykatów niezbędnych do produkcji każdej z części wynosi odpowiednio W1 – 1 kg, W2 – 0,2 kg, W3 – 0,16 kg.

TUD50	WKA25	WKA25	PHWI2	WKA25	TUB32	TUB32	TUB32	WCC80	TUD50	FWD25	FYC26	SWB25	TUD40
3	9	10	8	11	12	13	14	1	2	4	5	6	7
10 0,4 0,799	40 0,2 0,543	40 0,2 0,544	30 0,3 0,444						20 0,4 0,715				
			30 0,3 0,406	20 0,2 0,508	10 0,3 0,744	10 0,3 0,744	10 0,3 0,745						
				40 0,2 0,305									
								10 0,3 0,030	20 0,4 0,121	30 0,3 0,020	40 0,5 0,010	50 0,5 0,020	60 1,5 0,182
0,799	0,543	0,544	0,850	0,813	0,744	0,744	0,745	0,030	0,836	0,020	0,010	0,020	0,182
0,40	0,20	0,20	0,60	0,40	0,30	0,30	0,30	0,30	0,80	0,30	0,50	0,50	1,50
0,20	0,46	0,46	0,15	0,19	0,26	0,26	0,26	0,97	0,16	0,98	0,99	0,98	0,82
1,99	0,44	0,44	4,00	2,14	1,17	1,17	1,18	0,31	4,88	0,31	0,51	0,51	1,83
8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
29.90	16.55	16.58	26.67	31.34	26.67	26.67	26.76	7.93	19.04	7.85	7.57	7.64	7.54

5. Podsumowanie zajęć

W systemach produkcyjnych surowce przekształcane są do produktów finalnych poprzez realizację serii operacji wykonywanych na określonych stanowiskach. Opracowanie takiego systemu wymaga doboru odpowiednich maszyn technologicznych, pogrupowanie ich w linie i gniazda produkcyjne oraz odpowiednie rozmieszczenie na hali/halach produkcyjnych. Umiejętność właściwego projektowania systemów wytwórczych jest istotnym obszarem wiedzy mającym bezpośrednie przełożenie zarówno na koszty projektowanego systemu jak też jego elastyczność, wydajność i efektywność ekonomiczną. Uczestnictwo w zajęciach z przedmiotu „Projektowanie systemów wytwórczych” umożliwia osiągnięcie następujących efektów kształcenia:

1. w zakresie wiedzy:

- nabycie wiedzy w zakresie klasyfikacji, struktur i elementów składowych systemów wytwórczych, diagnozowania typowych procesów je charakteryzujących oraz identyfikacji trendów rozwojowych zrobotyzowanych systemów wytwórczych,
- poznanie podstawowych metod i zasad niezbędnych w celu rozwiązywania problemów związanych z funkcjonowaniem i organizacją systemów wytwórczych,

2. w zakresie umiejętności:

- nabycie umiejętności umożliwiających posługiwanie się zdobytą wiedzą, stosowanie właściwej terminologii do identyfikacji procesów i projektowania systemów wytwórczych,
- nabycie umiejętności analizowania i krytycznej oceny funkcjonowania i organizacji systemów wytwórczych,
- nabycie umiejętności rozwiązywania problemów związanych z funkcjonowaniem i organizacją systemów wytwórczych,
- nabycie umiejętności projektowania usprawnień w systemach wytwórczych,

3. w zakresie kompetencji społecznych:

- nabycie lub pogłębienie otwartości do samodzielnego poszerzania wiedzy oraz wykorzystywania jej do rozwiązywania problemów w pracy zawodowej,
- nabycie lub pogłębienie zdolności indywidualnego przygotowania opracowania oraz uzasadnienia przyjętych w nim rozwiązań.