

OPTYMALIZACJA PRZEBIEGU PRODUKCJI Z WYKORZYSTANIEM HARMONOGRAMÓW PRACY ORAZ METODY BLOCHA-SCHMIGALLI

Celina BARTNICKA

Streszczenie: W dzisiejszych czasach wymogi rynku są coraz większe, aby produkować wyroby w jak najkrótszym czasie, dlatego przedsiębiorstwa poszukują sprawdzonych rozwiązań dających im przewagę konkurencyjną w tym zakresie. W celu optymalizacji przebiegu produkcji korzysta się z graficznych metod, takich jak: harmonogramowanie pracy oraz metody Blocha-Schmigalli. W niniejszej pracy przedstawiono, że wykorzystanie tych metod może doprowadzić do znacznego skrócenia czasu realizacji zlecenia produkcyjnego, jak i redukcji kosztów wytwarzania w przedsiębiorstwie produkcyjnym.

Słowa kluczowe: metoda trójkątów Schmigalli, metoda Blocha-Schmigalli, racjonalne rozmieszczenie stanowisk roboczych, harmonogram pracy

1. Wprowadzenie

Czynniki, takie jak: przestrzeń i czas, odgrywają bardzo istotną rolę w tworzeniu i funkcjonowaniu procesów pracy. Przestrzenno-czasowe organizowanie procesów pracy zawsze było interesującym zagadnieniem, czego efektem było tworzenie graficznych metod optymalizacyjnych.

Wraz z rozwojem produkcji na skalę przemysłową wzrasta zapotrzebowanie na organizacyjne techniki przebiegu procesów pracy w czasie. Twórcami takich technik w Polsce był K. Adamiecki, a w Stanach Zjednoczonych H. L. Gantt [5]. Harmonogramy graficznie przedstawiają procesy właściwie rozłożone w czasie, z uwzględnieniem następstw i zaplanowanym przebiegiem równolegle prowadzonych prac [1]. Poziome linie na harmonogramie reprezentują operacje, które są umieszczone na osi czasu. Jednym z zadań harmonogramów jest optymalizacja przebiegu procesów produkcyjnych.

Celem racjonalnego rozmieszczenia stanowisk jest takie usytuowanie i zagospodarowanie przestrzeni, aby praca była wykonywana szybko i sprawnie, bezpiecznie oraz bez przeszkód. Rozmieszczenie stanowisk roboczych może być zaprojektowane poprzez wykorzystanie doświadczenia projektantów lub poprzez użycie odpowiedniej metody optymalizacyjnej. Do popularnych metod optymalizacji rozmieszczenia stanowisk roboczych należy [8]:

- metoda Blocha-Schmigalli (metoda trójkątów Schmigalli),
- metoda CORELAP (Computerized Relationship Layout Planning),
- metoda CRAFT (Computerized Relative Allocation of Facilities Technique),
- metoda programowania sieciowego.

Metodę Blocha-Schmigalli opracował w latach pięćdziesiątych XX wieku W. Bloch poprzez wykorzystanie siatki trójkątów równobocznych do wyznaczenia racjonalnego rozmieszczenia komórek, a następnie tę metodę rozwinął i zmodyfikował H. Schmigalla. Zastosowanie metody Blocha-Schmigalli zaczyna się od ustalenia kolejności umiejscowienia

stanowisk roboczych, a następnie rozmieszcza się stanowiska w węzłach siatki trójkątów równobocznych. Na początku algorytmu należy wybrać parę obiektów o największej intensywności przepływów w tablicy powiązań między-obiektowych. [3, 4].

Zakłada się, że rozmieszczenie jest optymalne wtedy, gdy wartość W funkcji celu jest minimalna. Funkcja W wyraża iloczyn wielkości przepływu dowolnego czynnika (np. materiału, informacji, ludzi) i odległości jego przemieszczenia. Określa ją następujący wzór [6]:

$$W = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=1}^N S_{ij} L_{ij} \rightarrow \text{minimum} \quad (1)$$

gdzie:

S_{ij} – intensywność przepływów części ze stanowiska i do j ;

L_{ij} – odległość między stanowiskami liczona w jednostkach modułowych (przyjmuje się 1 moduł = 1 bok trójkąta równobocznego).

Metoda trójkątów Schmigalli pozwala w bardzo prosty sposób zoptymalizować rozmieszczenie stanowisk, jednakże zakłada pewne uproszczenia [2, 7]:

- pomija się rzeczywiste wymiary stanowisk,
- rozmieszczane stanowiska powinny być zbliżonej wielkości,
- przyjmuje się jednakowe odległości między obiektami.

Metody optymalizacyjne pozwalają opracować schemat rozmieszczenia stanowisk roboczych oraz udoskonalić przebieg procesów produkcyjnych, co ma wpływ na podwyższenie efektywności pracy komórek produkcyjnych oraz redukcję kosztów wytwarzania.

Celem niniejszej pracy jest zaproponowanie racjonalnego rozmieszczenia stanowisk roboczych za pomocą metody Blocha-Schmigalli dla fragmentu jednego z wydziałów przedsiębiorstwa przemysłowego, a następnie wykonanie optymalnego harmonogramu realizacji programu produkcyjnego.

2. Metoda Blocha-Schmigalli

Metodę Blocha-Schmigalli wykorzystano do umiejscowienia stanowisk roboczych, znajdujących się w sektorze jednego z wydziałów przedsiębiorstwa produkcyjnego. Na stanowiskach pracownicy zajmują się głównie obróbką manualną (szlifowanie, znakowanie itp.), z wyjątkiem pierwszego stanowiska w procesie, na którym wykonuje się operację frezowania (stanowisko robocze a) oraz stanowiska do wiercenia (stanowisko robocze g). Wyroby są wytwarzane poprzez kombinacje operacji, składających się najczęściej na trzy procesy technologiczne. Produkowane części różnią się użytymi materiałami, właściwościami, wielkością, czasem wykonania, a co za tym idzie kosztem wytworzenia. Niektóre operacje procesów powtarzają się - stanowiska robocze są współdzielone. W związku z tym, że firma nie wyraziła zgody na ujawnienie danych na temat produktów i charakterystyki stanowisk roboczych, w niniejszej pracy pominięto specjalistyczne nazewnictwo.

Tabele 1 i 2 przedstawiają procesy technologiczne trzech rodzajów części wraz z programem produkcyjnym i liczebnością partii transportowej między stanowiskami oraz przybliżonymi czasami jednostkowymi danych operacji.

Tab. 1. Procesy technologiczne dla części A, B i C

Część	Opis	Program produkcyjny P [szt./zm.]	Liczebność partii transportowej p [szt./partię]	Proces technologiczny
A	Część A	30	10	a-b-c-d-e-f
B	Część B	20	10	a-b-c-d-e-g-h-j
C	Część C	70	70	c-a-e-f-i-d-b

Tab. 2. Czasy jednostkowe operacji dla części A, B i C

Stanowisko robocze	Opis operacji	Czas jednostkowy T_j [min]		
		Część A	Część B	Część C
a	Operacja a	40	60	20
b	Operacja b	10	10	2
c	Operacja c	60	60	20
d	Operacja d	5	5	1
e	Operacja e	5	5	1
f	Operacja f	10		2
g	Operacja g		10	
h	Operacja h		15	
i	Operacja i			1
j	Operacja j		10	
SUMA		130	175	47

W zestawieniu procesów technologicznych widoczne są stanowiska robocze, które są współdzielone przy produkcji określonych części.

Dzieląc program produkcyjny kolejno części A, B i C na liczebność partii transportowej obliczono ilość partii na zmianę. Następnie utworzono ukierunkowaną i nieukierunkowaną macierz powiązań transportowych (rys. 1).

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
a	5	0	0	1	0	0	0	0	0	0
b	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0
c	1	0	5	0	0	0	0	0	0	0
d	0	1	0	5	0	0	0	0	0	0
e	0	0	0	0	4	2	0	0	0	0
f	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
g	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
h	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2
i	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
j	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2

Rys. 1. Ukierunkowana macierz (po lewej) i nieukierunkowana macierz powiązań transportowych (po prawej).

Największe przepływy wystąpiły między parami a-b, b-c, c-d oraz d-e, a w związku z tym, że były równe, należało sprawdzić powiązania z pozostałymi stanowiskami dla tych par. Największa liczba powiązań wyszła dla stanowisk d-e. W trakcie rozwiązywania zadania konieczne było również sprawdzenie liczby powiązań między stanowiskami: f-g oraz f-i i kolejno g-h oraz g-i. Wykorzystując algorytm metody Blocha-Schmigalli ustalono kolejność do rozmieszczenia stanowisk roboczych: e-d-c-b-a-f-g-i-h-j (rys. 2).

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
e	1	0	0			4	2	0	0	0
d	0	1	5			0	0	0	1	0
suma	1	1	5			4	2	0	1	0
c	1	5				0	0	0	0	0
suma	2	6				4	2	0	1	0
b	5					0	0	0	0	0
suma	7					4	2	0	1	0
a						0	0	0	0	0
suma						4	2	0	1	0
f							0	0	1	0
suma							2	0	2	0
g								2	0	0
suma								2	2	0
i								0		0
suma								2		0
h										2
suma										2
j										

Rys. 2. Macierz z ustaloną kolejnością do rozmieszczenia stanowisk roboczych.

W kolejnym etapie obliczano wartość W funkcji celu na podstawie wzoru 1 i dokonywano kolejno rozmieszczenia stanowisk roboczych w węzłach siatki trójkątów równobocznych (rys. 3).

$$W_1 = S_{ed} L_{ed} = 5 \cdot 1 = 5$$

$$W_2 = W_1 + S_{cd} L_{cd} = 5 + 5 \cdot 1 = 10$$

$$W_3 = W_2 + S_{bc} L_{bc} + S_{bd} L_{bd} = 10 + 5 \cdot 1 + 1 \cdot 1 = 16$$

$$W_4 = W_3 + S_{ab} L_{ab} + S_{ac} L_{ac} + S_{ae} L_{ae} = 16 + 5 \cdot 1 + 1 \cdot 2 + 1 \cdot 1 = 24$$

$$W_5 = W_4 + S_{fe} L_{fe} = 24 + 4 \cdot 1 = 28$$

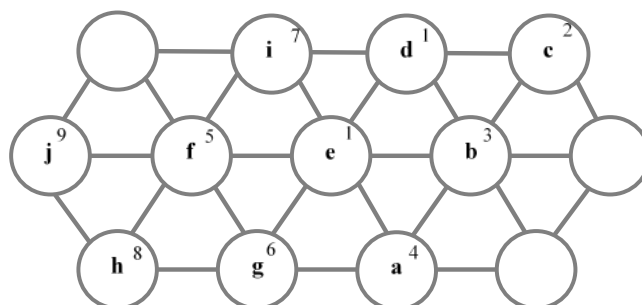
$$W_6 = W_5 + S_{ge} L_{ge} = 28 + 2 \cdot 1 = 30$$

$$W_7 = W_6 + S_{id} L_{id} + S_{if} L_{if} = 30 + 1 \cdot 1 + 1 \cdot 1 = 32$$

$$W_8 = W_7 + S_{hg} L_{hg} = 32 + 2 \cdot 1 = 34$$

$$W_9 = W_8 + S_{jh} L_{jh} = 34 + 2 \cdot 1 = 36$$

Rozmieszczenie stanowisk roboczych w węzłach siatki trójkątów równobocznych było ostatnim etapem w wykorzystanej metodzie Blocha-Schmigalli.



Rys. 3. Schemat rozmieszczenia stanowisk w węzłach siatki trójkątów równobocznych

3. Harmonogram pracy

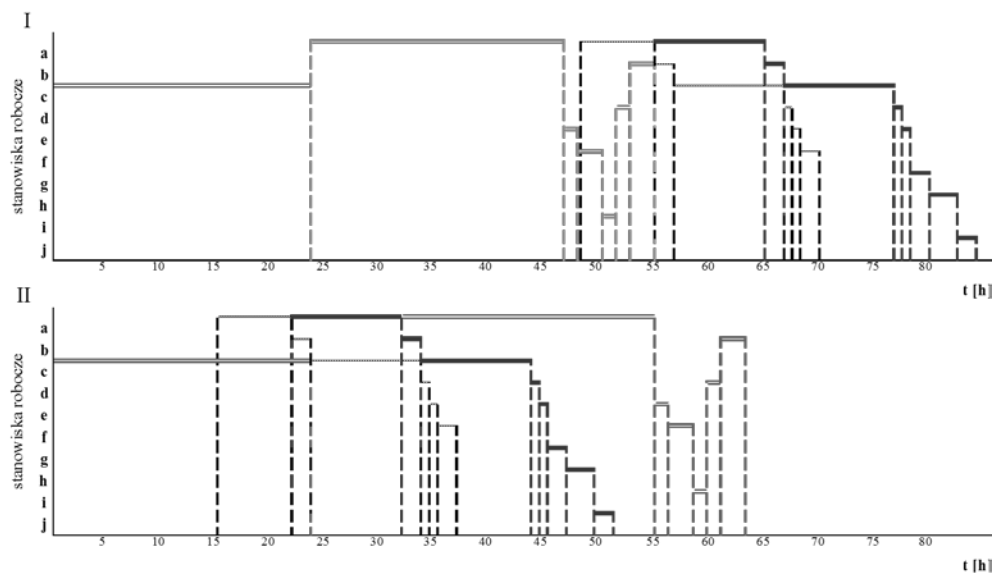
W celu wykonania harmonogramów: początkowego i zoptymalizowanego dane na temat części A, B i C zestawiono w tabeli 3. Tabela zawiera następujące dane: czas jednostkowy wykonania pojedynczej operacji (T_j) czas wykonania operacji dla całej partii produktów (T_n), czas wykonania operacji dla partii transportowej (T_p). W założeniach przyjęto, że partia produktów jest równa partii transportowej.

Tab. 3. Zestawienie danych dla części A, B i C do wykonania harmonogramów

Część A	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
T_j [min]	40	10	60	5	5	10				
T_n 10 [min]	400	100	600	50	50	100				
T_n 10 [h]	6,7	1,7	10,0	0,8	0,8	1,7				
T_p 10 [min]	400	100	600	50	50	100				
T_p 10 [h]	6,7	1,7	10,0	0,8	0,8	1,7				
Część B	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
T_j [min]	60	10	60	5	5		10	15		10
T_n 10 [min]	600	100	600	50	50		100	150		100
T_n 10 [h]	10,0	1,7	10,0	0,8	0,8		1,7	2,5		1,7
T_p 10 [min]	600	100	600	50	50		100	150		100
T_p 10 [h]	10,0	1,7	10,0	0,8	0,8		1,7	2,5		1,7
Część C	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
T_j [min]	20	2	20	1	1	2			1	
T_n 70 [min]	1400	140	1400	70	70	140			70	
T_n 70 [h]	23,3	2,3	23,3	1,2	1,2	2,3			1,2	
T_p 70 [min]	1400	140	1400	70	70	140			70	
T_p 70 [h]	23,3	2,3	23,3	1,2	1,2	2,3			1,2	

Rysunek nr 4 prezentuje harmonogram początkowy (I) oraz zoptymalizowany (II), w którym uzyskano skrócenie czasu realizacji zlecenia produkcyjnego dla wszystkich części. Na harmonogramie część A oznaczono poziomą linią przerywaną, część B poziomą linią ciągłą, natomiast część C poziomą linią podwójną.

W harmonogramie początkowym (I) kolejno są wykonywane operacje bez przerwy w produkcji dla tego samego typu części według zdefiniowanego procesu technologicznego. Drugi harmonogram (II) zoptymalizowano poprzez wprowadzenie przerwy po pierwszej operacji (c) w produkcji części typu A.



Rys. 4 Harmonogram początkowy (I) oraz zoptymalizowany (II) dla przebiegu produkcji części A, B i C

4. Wnioski

Zaproponowane rozmieszczenie stanowisk roboczych za pomocą metody Blocha-Schmigalli nie jest jedynym możliwym rozwiązaniem. Przedstawione rozwiązanie jest optymalne dla podanych danych wejściowych. Liczba połączeń między stanowiskami była stosunkowo nieduża, a procesy technologiczne dla różnych części były podobne, więc algorytm zakończono bez trudności. Należy mieć na uwadze, że stanowiska: *a* i *g* będą większe od pozostałych, gdyż są to stanowiska maszynowe. W zaproponowanym rozmieszczeniu są one na obrzeżach, więc gabaryty nie powinny być przeszkodą w umiejscawianiu rzeczywistych obiektów. Praca pozostałych stanowisk ma charakter manualny, bez maszyn, więc nie występuje dla nich potrzeba dużej przestrzeni. Proponowane rozmieszczenie może być usytuowane w hali produkcyjnej o dowolnym kształcie, np. prostokątnym lub kwadratowym.

W pracy przedstawiono zoptymalizowany harmonogram, w którym uzyskano skrócenie czasu realizacji programu produkcyjnego dla wszystkich części. Zmiana z harmonogramu początkowego na zoptymalizowany wygenerowała pojedynczy postój w produkcji części C, równy 8,3 minuty. Czas łączny został skrócony z 84,0 minut na 63,1 minuty. Istotne jest również, że harmonogram zoptymalizowany oznacza wyższy wskaźnik wykorzystania stanowisk i maszyn w celach produkcyjnych oraz większą wydajność operatorów. W przypadku usprawnienia omówionego wariantu należałoby rozpatrzyć zwiększenie ilości tego samego rodzaju stanowisk i przeszkolenie operatorów z zakresu różnych operacji (wielozawodowość). Tę potrzebę widać przy produkcji części C dla stanowisk *a* oraz *c*. Innym rozwiązaniem byłoby zmniejszenie partii transportowych. Można także rozpatrywać zmianę kolejności operacji w procesie technologicznym, aby mogły się one zająć między różnymi rodzajami elementów lub całkowitą eliminacją niepotrzebnych czynności. W ramach usprawniania warto przyrzeć się czasom jednostkowym operacji i podjąć próbę skrócenia lub automatyzacji.

5. Podsumowanie

W pierwszej części pracy wykorzystano metodę Blocha-Schmigalli do rozmieszczenia stanowisk roboczych. Metoda okazała się łatwa i szybka w przeprowadzeniu. Zaproponowano jedno z możliwych rozwiązań. Niestety metoda trójkątów Schmigalli nie dostarcza w pełni gotowego rozwiązania rozmieszczenia stanowisk roboczych, a wyłącznie daje schemat wzajemnej lokalizacji stanowisk. Poza przedstawionym rozwiązaniem przy rozmieszczaniu stanowisk roboczych należy wziąć pod uwagę inne elementy, takie jak: kształt i wielkość stanowisk, kształt i wielkość hali produkcyjnej, drogi transportowe, przepisy BHP, pola magazynowe, słupy, możliwość podłączenia mediów itp.

W drugiej części pracy stworzono harmonogramy realizacji programu produkcyjnego. Przy ich projektowaniu założono zerowy czas przebrojenia maszyn i stanowisk. Głównym kryterium było zadowolenie klienta definiowane jako najkrótszy czas realizacji całego zlecenia produkcyjnego. Harmonogram wizualnie prezentuje przebieg procesów produkcyjnych, co udało się wykorzystać do optymalizacji czasu realizacji programu produkcyjnego, a tym samym uzyskać podwyższenie efektywności pracy komórek produkcyjnych.

Literatura

1. Adamiecki K.: Harmonizacja pracy, INOK, Warszawa 1948.
2. Lis S., Santarek K.: Projektowanie rozmieszczenia stanowisk roboczych, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1980.
3. Martyniak Z.: Organizatoryka, Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 1987.
4. Martyniak Z.: Metody organizacji i zarządzania, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Krakowie, Kraków 1999.
5. Mikołajczyk Z.: Techniki organizatorskie w rozwiązywaniu problemów zarządzania, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2002.
6. Potocki A.: Zastosowanie metody H. Schmigalli do optymalizacji rozmieszczenia stanowisk biurowych, Zeszyty Naukowe AE Kraków, nr 105/1978.
7. Stabryła A., Trzcieniecki J. (red.): Organizacja i zarządzanie. Zarys problematyki, Akademia Ekonomiczna w Krakowie, Kraków 1986
8. Zielecki W., Sęp J.: Wspomaganie projektowania linii produkcyjnych U-kształtnych metodą programowania sieciowego, Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji, Tom I, Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2014.

Mgr inż. Celina BARTNICKA
Katedra Inżynierii Bezpieczeństwa
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski
10-719 Olsztyn, ul. Oczapowskiego 11
tel./fax: (0-89) 524 61 25
e-mail: c.bartnicka@interia.pl