

Waldemar GRZECHCA

POLITECHNIKA ŚLĄSKA, INSTYTUT AUTOMATYKI, ZAKŁAD INŻYNIERII SYSTEMÓW

Balansowanie linii montażowej z uwzględnieniem kosztów**Dr inż. Waldemar GRZECHCA**

Jest adiunktem w Zakładzie Inżynierii Systemów na Wydziale Automatyki, Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Studia na tym samym wydziale ukończył w 1989 r. Stopień doktora nauk technicznych uzyskał w roku 2001 r. Dziedzina jego zainteresowań naukowych są problemy szeregowania zadań, a w szczególności zagadnienie balansowania linii montażowej.



e-mail: waldemar.grzechca@polsl.pl

Streszczenie

W artykule przedstawiono analizę wyników otrzymywanych podczas obliczeń balansu linii montażowej dla problemu czasowo i kosztowo zorientowanego. Omówiono krótko ideę balansowania linii montażowej, następnie przedstawiono problem czasu i kosztów występujący podczas tworzenia harmonogramu i sekwencji zadań przydzielanych do linii. Przedstawiono również przykłady numeryczne, które pokazują różnicę w podejściu czasowym i kosztowym. Przeprowadzono analizę wyników i sformułowano wniosek, iż oba podejścia prowadzą czasem do różnych wyników.

Słowa kluczowe: linia montażowa, analiza kosztów, balansowanie**Cost-oriented Assembly Line Balancing Problem****Abstract**

In the paper the analysis of result of time-oriented assembly line balancing problem and cost oriented assembly line balancing problem is presented. Short description of assembly line balancing problem is given. Then the problem of time and costs in assembly systems is shown. The idea of cost-oriented algorithm is presented, too. Two examples are calculated and the results are discussed. As a conclusion an important note is given, that using of methods of time and cost oriented can lead to different results.

Keywords: assembly line, cost analysis, balancing problem**1. Wprowadzenie**

Problem balansowania linii montażowej (BLM) od ponad kilkudziesięciu lat jest rozważany i rozwiązywany przez wielu naukowców oraz inżynierów zajmujących się harmonogramowaniem produkcji. Opis problemu BLM wymaga znajomości liczby zadań, ich czasów wykonania oraz relacji kolejnościowej zachodzącej między zadaniami przydzielanymi do stanowisk roboczych [1].

Ze względu na kryterium optymalności rozróżnia się dwa podstawowe typy problemu BLM:

- typ 1, minimalizacja liczby stacji montażowych przy stałej wartości cyklu,
- typ 2, minimalizacja cyklu produkcyjnego przy stałej liczbie stanowisk roboczych.

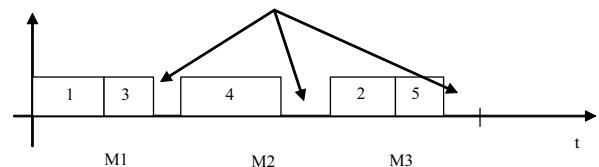
Zgodnie z klasyczną metodą balansowania linii dla zadanego czasu cyklu należy tak przydzielić czasy do stacji roboczych by czas strat, (czyli czas bezczynności maszyn) był jak najkrótszy (w przypadku idealnym nie byłoby go wcale).

W roku 1986 Baybars [2] przyjął następujące założenia dla problemu prostego balansowania linii montażowej:

- a) wszystkie dane wejściowe są znane i pewne,
- b) zadania są niepodzielne (nie mogą zostać rozdzielone na kilka maszyn),
- c) zadania muszą być wykonywane zgodnie z wymaganiami procesu produkcyjnego,

- d) wszystkie zadania muszą być wykonane,
- e) każda ze stacji może wykonywać dowolne zadanie,
- f) czasy zadań są niezależne od stacji, na których są wykonywane,
- g) zadania mogą być wykonywane na dowolnych stacjach,
- h) linia jest szeregową,
- i) linia jest zaprojektowana dla unikalnego modelu danego produktu,
- ja) czas cyklu jest znany i niezmienny lub,
- jb) liczba stacji jest znana i niezmienna.

NIEWYKORZYSTANE CZASY PRACY MASZYN

Rys. 1. Problem balansowania linii montażowej
Fig. 1. Assembly Line Balancing Problem

Dzisiaj zagadnienie balansu dotyczy znacznie szerszej grupy linii produkcyjnych (linie ze stacjami równoległymi, linie w kształcie litery U, linie wielowersyjne, z ograniczeniami pozycyjnymi, narzędzi, powierzchni wokół stacji roboczej, itd). Jednak rozwiązanie problemu w każdym przypadku po uwzględnieniu ograniczeń sprowadza się do minimalizacji bezczynności (maksymalizacji wykorzystania) każdego ze stanowisk pracy.

2. Czas w zagadnieniu balansowania linii montażowej

Czas wykonywania zadań ma kluczowe znaczenie w zagadnieniu balansowania linii montażowej. Zależy on od wielu czynników jak złożoność operacji, kwalifikacje operatorów oraz niezawodności wykorzystanych maszyn. W przypadku prostych zadań różnice w czasie wykonania mogą być niewielkie, jednak złożone operacje mogą powodować znacznie większe zróżnicowania. W przypadku pracowników na efektywność pracy ma wpływ jeszcze więcej czynników (między innymi motywacja, zgranie wewnątrz grupy oraz indywidualne umiejętności).

Czas deterministyczny. W przypadku linii obsługiwanej jedynie przez pracowników czasy zadań mogą pozostawać stałe jedynie w przypadku dobrze wykwalifikowanej i zmotywowanej załogi. Użycie czasu deterministycznego jest uzasadnione, gdy przewidywane wahania czasów są nieduże (dzieje się tak w przypadku i dobrze zdefiniowanych i znormowanych zadań)

Czas stochastyczny. W przypadku zautomatyzowanej linii opóźnienia mogą wynikać z awarii maszyn. Aby wprowadzić do algorytmu taką możliwość operacje mogą być zmodyfikowane o czasy niezawodnej pracy i czas potrzebny do usunięcia awarii.

W literaturze np. [1, 2] od kilkudziesięciu lat można znaleźć dziesiątki algorytmów dokładnych i heurystycznych, których celem jest znalezienie optymalnego lub dopuszczalnego rozwiązania omawianego problemu. W każdym z tych algorytmów minimalizacja czasu cyklu lub liczby stacji roboczych odbywała się w oparciu o czasy wykonania operacji. Od kilku lat to podejście zostało wzbogacone o uwzględnienie kosztów występujących podczas produkcji wykorzystującej strukturę linii montażowej.

3. Koszty w zagadnieniu balansowania linii montażowej

Pierwotne podejście do problemu balansowania linii skupiało się jedynie na minimalizowaniu liczby stanowisk pracy (stacji) poprzez umieszczanie na nich jak największej liczby zadań uznając, iż czas strat ma największy wpływ na ponoszone podczas procesu montażowego koszty.

Inne podejście do problemu zaproponował dopiero Matthias Amen [3] w wydanej przez siebie pracy w roku 2000. Autor udowodnił w niej, iż problem balansowania linii z uwzględnieniem kosztów jest zgeneralizowanym problemem poszukiwania rozwiązania z minimalną liczbą stacji. Mimo to osiągnięcie jednego z tych celów sprawia, iż niespełnione będzie drugie wymaganie.

Przyczyną takiego stanu rzeczy jest podejście do wyliczenia kosztów procesu. Matthias Amen uznał, iż koszt pracy danej stacji nie jest sumą wszystkich wykonywanych na niej operacji a jest związany z kosztem najbardziej zaawansowanej operacji (jest to wynikiem rozumowania, które mówi, że do najbardziej skomplikowanych zadań należy przydzielać najlepszych pracowników lub najlepsze maszyny, podczas gdy zadania prostsze mogą być wykonywane przez pracowników o mniejszym doświadczeniu lub prostsze maszyny. Przydzielając proste zadania do stacji z lepszymi maszynami lub bardziej wykwalifikowanymi pracownikami i tak musimy ponieść koszty ich utrzymania, zatem takie działanie jest marnotrawieniem ich możliwości). Całkowity koszt wytworzenia produktu finalnego jest iloczynem sumy kosztów wszystkich stacji i czasu cyklu.

4. Algorytm kosztowy problemu BLM

Celem kosztowo zorientowanego algorytmu rozwiązującego problem BLM jest znalezienie takiego wyniku, aby całkowity koszt produkcji pojedynczego wyrobu finalnego był minimalny. Do analizy problemu wykorzystano zestawione poniżej symbole [4]:

I - liczba zadań

h, i - indeks zadań, $h, i \in \{1, \dots, I\}$,

M - liczba stacji montażowych,

m - indeks stacji, $m \in \{1, \dots, M\}$

m_i - stacja, do której przydzielone jest zadanie i ,

F_m - zbiór zadań przydzielonych do stacji m ,

c - czas cyklu,

k - koszt całkowity przypadający na jednostkę produktu,

k_m^s - całkowity koszt stacji,

k^{sc} - kapitał zaangażowany do prawidłowego funkcjonowania stacji (uśredniony),

k_i^t - koszt wykonania zadania i ,

d_i^t - czas trwania zadania i ,

d_m^s - czas obciążenia stacji m ,

V_i - zbiór zadań bezpośrednio poprzedzających zadanie i .

Zazwyczaj montaż finalny gotowego wyrobu wymaga dużych nakładów pracy. Dlatego ważny jest jej rozsądny rozdział pomiędzy stacje robocze tworzące linie montażową.

Koszt uzyskania wyrobu na końcu linii montażowej można wyliczyć ze wzoru:

$$k = \sum_{m=1}^M ck_m^{sw} + Mk^{sc} \text{ gdzie } k_m^{sw} = \max\{k_i^{tw} \mid i \in I_m^s\} \quad (1)$$

W dalszym kroku można uśrednione koszty kapitału zaangażowane w każdą ze stacji dołączyć do kosztów stacji i wzór (1) przyjmuje wówczas uproszczoną postać

$$k = \sum_{m=1}^M ck_m^s \text{ gdzie } k_m^s = \max\{k_i^t \mid i \in I_m^s\} \quad (2)$$

Tak więc koszt produktu finalnego montowanego na linii produkcyjnej zależy od długości linii (liczby stanowisk), cyklu oraz maksymalnego kosztu zadania przydzielonego do danej stacji roboczej.

Podczas przydziału zadań do stacji roboczych musimy pamiętać o występujących ograniczeniach:

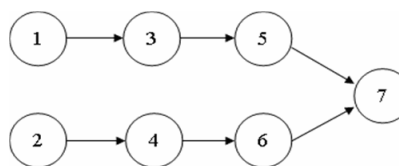
- kolejnościowych (technologia wykonania),
- czasowych (wypełnienie czasowe stacji maksymalnie do długości cyklu),
- ilościowych (przydzielamy wszystkie zadania i tylko raz podczas całego procesu balansowania).

5. Przykład obliczeniowy

Rozważmy prosty przykład o liczbie zadań 7 oraz cyklu produkcyjnym 3. W tabeli 1 zestawiono czasy wykonania zadań oraz koszty związane z ich realizacją. Załóżmy, że zadania do stacji da się przydzielić zgodnie z rys. 2.

Tab. 1. Zestawienie czasów i kosztów
Tab. 1. Duration times and costs

Zadanie	1	2	3	4	5	6	7
Czas	2	2	1	1	2	1	2
Koszt	4	4	7	7	4	7	5



Rys. 2. Graf relacji kolejnościowej
Fig. 2. Precedence graph

W wyniku obliczeń otrzymano rozwiązanie optymalne dla rozważanego przykładu. Podczas uzyskiwania balansu linii kierowano się czasem, a więc zastosowano tradycyjne podejście znane od ponad pół wieku. W drugim wariantcie obliczeń wykorzystano algorytm zaproponowany przez Amena mówiący o tym, iż należy przydzielić do stacji roboczej zadanie o najwyższym koszcie, natomiast kolejne przydzielane zadania nie powinny tego kosztu przekraczać. Wyniki zestawiono w tabeli 2.

Tab. 2. Balans czasowy i kosztowy
Tab. 2. Time-oriented and cost oriented balance

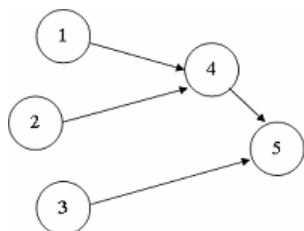
Stacja	I wariant (czasowy balans)		II wariant (kosztowy balans)	
	Zadania	Koszt stacji	Zadania	Koszt stacji
1	{1,3}	7	{1}	4
2	{2,4}	7	{2}	4
3	{5,6}	7	{3,4,6}	7
4	{7}	5	{5}	4
5	-	-	{7}	5

Jak można zauważyć rozwiązania te różnią się. W przypadku optymalnego rozwiązania z uwzględnieniem czasu otrzymano balans dla zadanego cyklu dla 4 stacji roboczych. Koszt produkcji wyrobu finalnego w tym przypadku wynosi $k=78$ jednostek monetarnych (wartość cyklu razy suma kosztów poszczególnych stacji). W przypadku kosztowo zorientowanego algorytmu wynik dla balansu czasowego jest gorszy (zamiast 4 stacji musimy wykorzystać 5), ale koszt produkcji wyrobu finalnego wynosi jedynie 72 jednostki monetarne. Jest to wynik lepszy od poprzedniego prawie 10 % lepszy, zatem warto podczas balansowania zastanowić się czy stosować balans czasowy lub kosztowy.

Rozważmy jeszcze jeden przykład obliczeniowy. Tym razem do przydzielenia mamy 5 zadań, cykl produkcyjny wynosi 40. Dane zawarto w tabeli 3.

Tab. 3. Czasy i koszty
Tab. 3. Duration times and costs

Zadanie	1	2	3	4	5
Czas	30	10	10	40	30
Koszt	1	2	1	1	1



Rys. 3. Graf relacji kolejnościowej
Rys. 3. Precedence graph

Ponownie realizując obliczenia czasowo i kosztowo zorientowane otrzymujemy rozwiązania zawarte w tabeli 4.

Tab. 4. Balans czasowy i kosztowy
Tab. 4. Time-oriented and cost oriented balance

Stacja	I wariant (czasowy balans)		II wariant (kosztowy balans)	
	Zadania	Koszt stacji	Zadania	Koszt stacji
1	{1,2}	2	{1,3}	1
2	{4}	1	{2}	2
3	{3,5}	1	{4}	1
4	-	-	{5}	1

Dla uzyskanych rozwiązań koszt produkcji wynosi: dla metody czasowej – 160 jednostek monetarnych, a dla metody kosztowej – 200, a zatem odwrotnie niż w poprzednim przykładzie.

6. Podsumowanie

Rozważony w pracy problem balansowania jest wciąż aktualnym problemem minimalizacyjnym. Jak pokazano, balans czasowy i balans kosztowy prowadzą do różnych rozwiązań. Zatem podczas planowania produkcji należałoby pozyskiwać oba wyniki. Dodatkowo pokazano, że metoda kosztowa, mimo, iż prowadzi do dopuszczalnych wyników końcowych, nie zawsze daje lepsze (nawet rozważając koszty stacji) rezultaty, niż znane od lat metody czasowe. W dalszych pracach należałoby się zastanowić nad dokładnością liczenia kosztów (uwzględnienia wielu składników kosztów stanowiskowych), aby wynik metod kosztowych był, co najmniej nie gorszy niż rezultat uzyskiwany metodami czasowymi.

Praca częściowo finansowana przez Ministerstwo Nauki i Informatyzacji z projektu badawczego 3T11A02229 w roku 2007.

7. Literatura

- [1] Scholl A: Balancing and sequencing of assembly lines. Physica Verlag, Heidelberg, 1999.
- [2] Baybars L: A survey of exact algorithms for simple assembly line balancing problem. Management Science 32, 1986, pp. 909- 932.
- [3] Amen M.: An exact method for cost oriented assembly line balancing. International Journal of Production Economics 64, 2000, pp. 187-195.
- [4] Amen M.: Cost-oriented assembly line balancing: Model formulations, solution difficulty, upper and lower bounds. European Journal of Operational Research 168, 2006, pp. 747-770.

Artykuł recenzowany

INFORMACJE

Zapraszamy do PRENUMERATY czasopisma PAK w 2007 roku

Cena prenumeraty rocznej: 180,00 zł/1 egz.
Cena prenumeraty półrocznej: 90,00 zł/1 egz.

Prenumeratę i kolportaż prowadzą:

WYDAWNICTWO POMIARY AUTOMATYKA KONTROLA
ul. Świętokrzyska 14A, pok. 530, 00-050 Warszawa,
tel./fax: 022 827 25 40

Redakcja czasopisma POMIARY AUTOMATYKA KONTROLA
44-100 Gliwice, ul. Akademicka 10, pok. 30b,
tel./fax: 032 237 19 45
e-mail: wydawnictwo@pak.info.pl