

## DWUETAPOWA METODA PROJEKTOWANIA BALANSU LINII MONTAŻOWEJ

### Streszczenie

W artykule przedstawiono opis i zasadę postępowania w dwuetapowej metodzie balansowania linii montażowej. We wstępnej części pracy omówiono system produkcyjny przyłykowy oraz linię montażową. Następnie został zaprezentowany algorytm balansu linii dla problemu typu 2 (modyfikacja metody IUFF-WET) oraz algorytm balansu linii w wersji z buforami. Dla zobrazowania działania opisanych algorytmów zamieszczono przykłady numeryczne. W części końcowej pracy przedyskutowano uzyskane wyniki.

**Słowa kluczowe:** problem balansowania linii montażowej, cykl produkcyjny, systemy produkcyjne

### 1. WPROWADZENIE

Przełykowe systemy produkcyjne są obecne w różnych środowiskach przemysłowych i wykorzystywane są do wytwarzania wielu różnych produktów. Zazwyczaj kilka modeli (wersji) standaryzowanego produktu różniące się od siebie opcjonalnymi składnikami i osprzętem, produkowane są wspólnie na jednej linii montażowej. Ciągły rozwój techniczny powoduje pojawianie się na rynku coraz to bardziej złożonych produktów. Z punktu widzenia klienta różnorodność dostępnych produktów pozwala mu na wybór tego najbardziej odpowiedniego, spełniającego jego indywidualne wymagania. Producentowi zaś zależy na efektywnej produkcji, czyli możliwie jak najtańszej, szybkiej i bez konieczności wprowadzania częstych modyfikacji ustawień linii produkcyjnej. Tego typu systemy na wstępie potrzebują rozwiązania dwóch podstawowych problemów decyzyjnych, aby umożliwić ich instalację oraz poprawne działanie. Problem balansowania (równoważenia) linii montażowej polega na odpowiednim podziale prac montażowych na różne stacje linii. Problem ten wiąże się z problemem znalezienia odpowiedniej sekwencji wytwarzanych modeli potrzebnej do spełnienia wymagań klientów.

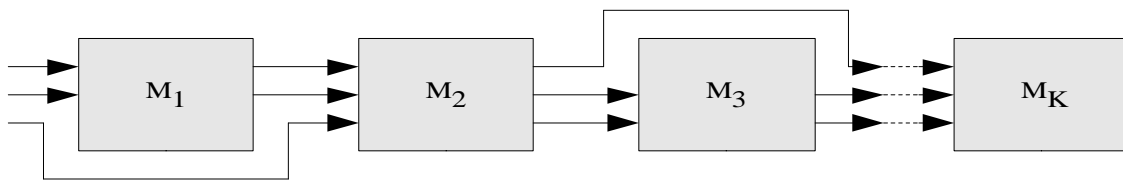
### 2. SYSTEM PRZEŁYKOWY I LINIA MONTAŻOWA

Linia montażowa jest specyficznym przykładem systemu przełykowego i jest bardzo typowa dla produkcji przemysłowej dużych ilości standaryzowanego produktu.

Ważną cechą produkcji przemysłowej jest rodzaj produkcji. W systemie produkcyjnym typu jobshop urządzenia, które wykonują podobne operacje są połączone razem. W przeciwieństwie do tego organizacja systemu przełykowego charakteryzuje się obiektami, które ułożone są według odpowiedniej kolejności wynikającej z technologii produkcji. Dzięki temu jest ona dobrze dostosowana do produkcji masowej lub produkcji wielkoseryjnej, podczas gdy system gniazdowy jobshop jest stosowany głównie przy produkcji małych partii i produkcji na zamówienie. System przełykowy zakłada powtarzalność operacji na kolejnych maszynach o różnych czasach wykonania łącznie z czasami zerowymi (ominięcie maszyny w systemie).

---

\* Politechnika Śląska, Wydział Automatyki, Elektroniki i Informatyki



Rys. 1. Schemat ideowy systemu przepływowego

Główne zalety systemu przepływowego są następujące:

- wykorzystywanie mocy produkcyjnych jest zwykle wysokie, a czasy przepływu są niewielkie,
- wielkość produkcji w toku utrzymywana jest na niskim poziomie,
- przepływ materiałów jest regularny i może być prosto kontrolowany,
- wytwarzane jednostki produkcyjne przekazywane do kolejnych stacji są przez urządzenia mechaniczne takie jak taśmy przenośnikowe co ogranicza zapotrzebowanie na siłę roboczą,
- wymóg całkowitej powierzchni jest mały, bo mniej miejsca jest potrzebne do składowania i przepływu materiałów,
- ze względu na ścisły podział pracy, potrzebni są mniej wykwalifikowani operatorzy maszyn, których można dzięki temu szybciej przeszkolić do wykonywanej pracy.

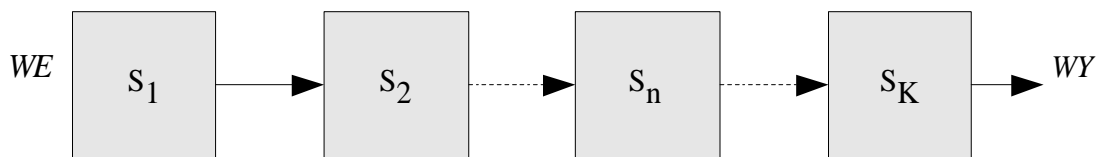
Jednakże systemy przepływowe posiadają również wiele wad, powodujących ograniczenie możliwości ich stosowania w produkcji przemysłowej:

- instalacja systemów powoduje wysokie wymogi kapitałowe, zwłaszcza jeśli są potrzebne urządzenia automatyki,
- satysfakcja z pracy zatrudnionych pracowników linii jest często niska, ponieważ wysoki poziom organizacji i podziału pracy powoduje, że jest ona prosta i monotonna,
- z uwagi na wysoki stopień specjalizacji systemy przepływowe są często mało elastyczne. Wada ta jest coraz bardziej widoczna z uwagi na coraz krótsze życie produktu i jego coraz szybszą zamianę na nowy,
- utrzymanie ruchu oraz naprawy są o wiele ważniejszym zagadnieniem niż w systemach typu jobshop, ponieważ unieruchomienie jednej maszyny może spowodować zatrzymanie całego systemu. To samo może spowodować brak materiału z którego wykonywany jest produkt na danej maszynie.
- kontrola jakości musi być obecna na każdym etapie produkcji. Jeśli wada produktu występuje we wczesnym jej etapie, może mieć to wpływ na jakość produktu w kolejnych etapach jego powstawania.

Z uwagi na seryjny charakter, systemy przepływowe są często organizowane jako systemy linii montażowych, zawierających pewną ilość stacji zlokalizowanych wokół pasa transmisyjnego lub innego systemu przenośnikowego. Wytwarzane półprodukty składające się na produkt finalny umieszczane są na taśmie i przenoszone od jednej stacji do kolejnej. Na każdej stacji zostaje wykonana odpowiednia praca, potrzebna do wykonania półproduktu i tym samym produktu finalnego. Problem decyzyjny polegający na optymalnym rozdziale pracy pomiędzy kolejne stacje (maszyny) nazywany jest problemem balansowania linii montażowej (*ALBP – Assembly Line Balancing Problem*).

W przypadku linii montażowych pracujących w rytmie taktu, czas potrzebny na wykonanie odpowiedniej pracy na każdej stacji ograniczony jest do pewnej maksymalnej wartości. Wartość ta nazywana jest czasem cyklu, ponieważ po tym czasie cyklicznie wykonywana jest na danej stacji ta sama praca. Ze względu na ograniczenia wynikające z czasu cyklu, krokowe

linie montażowe posiadają stały wskaźnik produkcji, który odpowiada ilości wytworzonych produktów w jednostce czasu. W przypadku jego braku poszczególne stacje posiadałyby różne wskaźniki produkcji wytworzone półprodukty na kolejnych stacjach musiałyby czekać przed stacjami następnymi charakteryzującymi się niższym wskaźnikiem. Z tego powodu musiałyby zostać zorganizowane bufory pomiędzy stacjami, które magazynowałyby te jednostki. W tym przypadku pojawia się problem rozmieszczenia i wyznaczenia wielkości buforów. Z jednej strony bowiem bufory zwiększają koszty linii, z drugiej usprawniają jej działanie i ich brak mógłby powodować zakłócenia procesu produkcji. Pomimo tego, że problem balansowania linii montażowej oryginalnie został zdefiniowany dla linii montażowych pracujących w rytm taktu, pojawia się on również w przypadku linii, w których każda stacja posiada inny takt produkcji. W tego typu systemach należy zbalansować wskaźniki produkcji dla każdej stacji, a czas cyklu może być interpretowany jako średni przedział czasu dostępny do wykonania odpowiedniej pracy na stacji. Jeśli rozdział pracy pomiędzy stacje nie jest równomierny jak to tylko możliwe, należy organizować kosztowne bufory. Ponieważ wielkości buforów są zwykle dość ograniczone stacje nie mogą kontynuować swojej pracy zawsze wtedy, gdy bufor stacji kolejnej jest pełny. Co więcej, stacje muszą oczekiwać na pracę, jeśli wskaźnik wykorzystania poprzedzającej stacji jest zbyt duży. Jeśli kilka produktów jest wytwarzanych na tej samej linii montażowej, na wydajność linii wpływa kolejność wykonywanych prac, ponieważ czas potrzebny na wytworzenie danych produktów może znacząco się różnić. Stąd kolejny problem decyzyjny składa się ze znalezienia odpowiedniej sekwencji, która jest optymalna względem pewnego wskaźnika efektywności. W tym przypadku balansowanie linii montażowej zależy od zróżnicowania wytwarzanych produktów.



**Rys. 2. Schemat ideowy linii montażowej**

### 3. BALANSOWANIE LINII MONTAŻOWEJ

Balansowanie linii montażowej polega na przydzielaniu zadań stanowiskom roboczym połączonym w szereg, przy czym należy dążyć do minimalizacji liczby stanowisk oraz skrócenia całkowitego czasu bezczynności na wszystkich stanowiskach przy danym poziomie produkcji. Możliwe rozwiązanie charakteryzuje się następującymi właściwościami [3]:

- ze względu na niepodzielność każde zadanie jest przypisane dokładnie do jednej stacji,
- relacja kolejnościowa (technologia wykonania) wymusza wcześniejsze wykonanie odpowiednich zadań,
- czas wszystkich stacji nie przekracza czasu trwania cyklu,
- gdy wszystkie stanowiska mają do wykonania jednakową ilość pracy, linia jest idealnie zrównoważona. W rzeczywistości większość linii jest niezrównoważona, ponieważ faktyczna ilość pracy na poszczególnych stanowiskach jest różna.

## Typy problemu balansowania linii montażowej

Typ 1 – stały cykl produkcyjny  $c$ , zmienna liczba stanowisk montażowych  $K$ ,  
Typ 2 – zmienny cykl produkcyjny  $c$ , stała liczba stanowisk montażowych  $K$ .

## Ogólny algorytm balansowania linii montażowej

Balansowanie linii odbywa się w pięciu krokach:

1. identyfikacja wszystkich zadań, które muszą być wykonane w ramach procesu, oraz określenie czasów ich realizacji, relacji następstw i całkowitego czasu wykonywania wszystkich zadań,
2. określenie kolejności wykonywania zadań na podstawie technologii montażu, relacje te są podstawą do przypisywania zadań poszczególnym stanowiskom roboczym,
3. Określenie taktu linii,

$$TAKT = \frac{\text{dopuszczalny czas produkcji}}{\text{wymagana wielkość produkcji}} \quad (1)$$

Mówiąc najprościej, takt określa dopuszczalny przedział czasu pomiędzy ukończeniem kolejnych jednostek produktu.

4. Obliczenie teoretycznej minimalnej liczby stanowisk roboczych,

$$LS_{\min} = \frac{\sum_{i=1}^N T_i}{TAKT} \quad (2)$$

gdzie:

$T_i$  - czas potrzebny na wykonanie  $i$ -tego zadania

Jak widać, im krótszy takt, tym więcej stanowisk roboczych trzeba zorganizować. Dzieje się tak dlatego, że zadania muszą być wtedy rozdzielone pomiędzy większą liczbę stanowisk, żeby czas trwania cyklu — uzależniony od ilości pracy na największym stanowisku — był krótszy od taktu.

5. przypisanie zadań do stanowisk roboczych, posługując się następującą formułą decyzyjną.: zacznij od pierwszego stanowiska i przydzielaj do niego zadania tak długo, aż osiągniesz punkt, w którym nie będziesz już mógł dodać kolejnego zadania bez przekraczania taktu, jeśli nie udało się rozdzielić wszystkich zadań, rozpocznij tworzenie drugiego stanowiska. Powtarzaj tę procedurę tak długo, aż rozdzielisz wszystkie zadania, uważaj, żeby nie przypisać zadania do stanowiska roboczego przed rozdzieleniem zadań bezpośrednio je poprzedzających (jeśli takie istnieją).

## 4. OCENA BALANSU LINII MONTAŻOWEJ

Balansowanie linii montażowej jest najlepsze, gdy dla każdej stacji roboczej suma czasów operacji elementarnych jest równa czasowi cyklu. Niestety nie zawsze jest to możliwe. Stworzone zostały zatem miary, które pozwalają na porównywanie metod używanych do rozwiązywania tego typu zadań [2], [3].

Stosowane miary to:

- efektywność linii – Line Efficiency (LE),
- współczynnik gładkości – Smoothness Index (SI),
- czas linii - Time (LT).

Efektywność linii (LE) – jest to stosunek całkowitego czasu cyklu mnożony przez numer stacji. Pokazuje procentowo wykorzystanie linii. Można to wyrazić następującym wzorem:

$$LE = \frac{\sum_{i=1}^K ST_i}{c \cdot K} \cdot 100\% \quad (3)$$

gdzie:

$K$  – liczba stacji,

$c$  – cykl linii,

$ST_i$  – czas wykorzystania  $i$  – tej stacji.

Współczynnik gładkości (SI) – jest to wskaźnik pokazujący względną gładkość danej zbalansowanej linii montażowej. Współczynnik gładkości równy zero wskazuje na najlepiej zbalansowaną linię. Im wartość SI jest mniejsza tym bardziej linia jest zbalansowana.

$$SI = \sqrt{\sum_{i=1}^K (ST_{max} - ST_i)^2} \quad (4)$$

gdzie :

$ST_{max}$  – maksymalnie wykorzystana stacja montażowa,

Czas linii (LT) – jest współczynnikiem zależnym od ilości stacji. Im ten czas będzie mniejszy, tym lepsze zbalansowanie linii.

$$LT = (K - 1) \cdot c + ST_K \quad (5)$$

gdzie:

$K$  – ilość stacji roboczych,

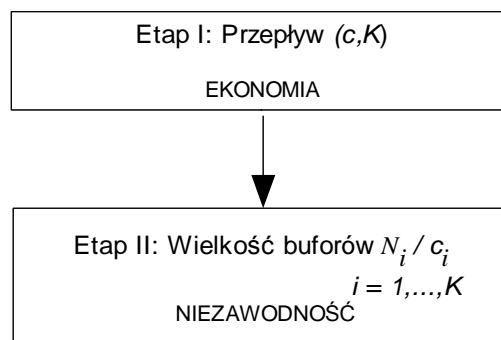
$c$  – czas cyklu,

$ST_K$  – czas ostatniej stacji.

Omawiając przedstawione miary należy zwrócić uwagę na ogromną ich przydatność w ocenie rozwiązań dopuszczalnych dla problemu balansowania linii montażowej. Czas linii wprost informuje nas o opuszczeniu przez produkt finalny linii fabrycznej. Oczywiście jest, iż rozwiązania o mniejszym czasie linii jest rozwiązaniem lepszym. Dla potrzeb omawianego problemu utworzono wskaźnik gładkości, który informuje nas o istnieniu czasu strat na linii. Wartość większa od zera oznacza powstanie takiego czasu. Ze względu na uzależnienie tego wskaźnika od czasów wykonania operacji możemy tym wskaźnikiem porównywać rozwiązania dotyczące tego samego zadania da różnych metod i wartości cyklu. Efektywność linii ma sens dla rozwiązań o różnej liczbie stanowisk montażowych.

## 5. DWUETAPOWA METODA PROJEKTOWANIA BALANSU LINII MONTAŻOWEJ

Model linii montażowej składa się z kilku stacji połączonych przez pasy transmisyjne. Systemy linii montażowych zostały sklasyfikowane na dwa rodzaje, te z kolejkami oraz bez kolejek. Zakłada się, że jednostki przepływają regularnie, zgodnie z czasem cyklu  $c$ , a czas obsługi na każdej stacji jest zgodny z rozkładem *Erlang'a* o fazie  $k$ . Przetworzone jednostki, które są wyjściem poprzedniej stacji, stają się wejściem w stacji kolejnej. Po przejściu przez każdą stację, od pierwszej do ostatniej, zostają ukończone i stają się produktem finalnym. Projektowanie systemów linii montażowych zajmuje się zarówno problemem istniejących, jak również powstających linii. W pierwszym przypadku, czas cyklu determinowany przez potrzeby rynku, jest wybierany na podstawie podanej liczby maszyn istniejącej linii produkcyjnej. W drugim przypadku, liczba stacji, która określa prędkość produkcji linii montażowej, wyznaczana jest na podstawie czasu cyklu. Dwuetapowa metoda balansu linii montażowej dla przypadku z kolejkami oraz bez kolejek uznawana jest za strukturę dwupoziomową. W warstwie wyższej wyznaczany jest czas trwania cyklu,  $c$ , oraz liczba maszyn,  $K$ . Natomiast w warstwie niższej wyznaczona zostaje wielkość buforu dla każdej maszyny [1], [4].



Rys. 3. Dwuetapowa metoda projektowania balansu linii montażowej, schemat ogólny

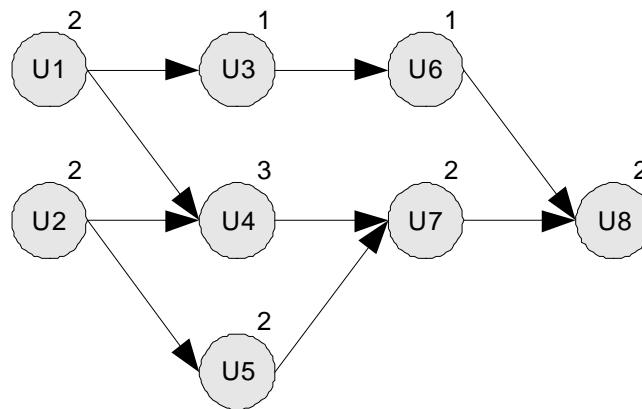
Dla przypadku z kolejkami na początku wyznaczany jest ekonomiczny przepływ  $(c, K)$ , a następnie niezależnie dla każdej maszyny wielkość bufora  $N_i$ , w celu zminimalizowania kosztu buforu i przepełnienia  $BC_i$  dla  $i$ -tej maszyny. W przypadku drugim, bez kolejek, najpierw ustalony jest ekonomiczny przepływ  $(c, K)$ , a następnie niezależnie dla każdej maszyny zostają wyznaczone wielkości buforów  $c_i$ , w celu zmniejszenia całkowitego, oczekiwanego kosztu eksploatacji na  $i$ -tej maszynie  $EC_i$ , który jest sumą kosztu bufora oraz kosztu opóźnienia i przepełnienia.

Dla wyznaczenia przepływu linii czyli wartości cyklu produkcyjnego oraz liczby stacji montażowych wykorzystujemy znane metody dokładne lub przybliżone, które od ponad 50 lat są rozwijane i analizowane w licznych artykułach oraz książkach. W związku z tym, iż problem balansowania linii montażowej jest problemem dualnym, autor pracy proponuje modyfikację znanych metod heurystycznych. Wykorzystanie metody IUFF – WET dla potrzeb omawianego algorytmu omówiono wykorzystując przykład numeryczny. Jak już wspomniano istnieją dwa typy zadań w problemie balansowania linii montażowej. Zdecydowana większość powstałych algorytmów dotyczy przypadku wyznaczania liczby stacji roboczych przy znanym cyklu. Dziś jednak w większości przypadków zależy nam na rebalansowaniu linii istniejących, a więc dla znanej liczby stacji roboczych wyznaczamy wartość cyklu produkcyjnego.

## 6. PRZYKŁADY NUMERYCZNE

Metoda WET każdemu zadaniu przyporządkowuje odpowiednią wagę. Waga ta zależy od czasu wykonywania zadania. Im dłuższy czas tym wyższa waga. Tym samym, jeżeli wcześniejsze dwa kryteria nie rozwiążą problemu i nadal do przydzielenia pozostanie kilka zadań, to kryterium staje się wyczerpujące, przyznając pierwszeństwo zadaniu o najdłuższym czasie wykonania. W przypadku gdy pojawi się więcej niż jedno zadanie o tym samym czasie obsługi, pierwszeństwo przyznaje się zadaniu wcześniejszemu w hierarchii. Waga bowiem w takim przypadku zostaje nadana według kolejności tzn. im niższy numer zadania tym wyższa waga.

Przykład 1



Rys. 4. Graf relacji kolejnościowej dla przykładu 1

Zadanie montażu produktu finalnego składa się z 8 operacji o czasach trwania podanych nad węzłami grafu relacji kolejnościowej. Dodatkowo zakłada się liczbę produktów 1000 sztuk w okresie 9000 jednostek czasowych. Łatwo wyznaczyć iż cykl produkcyjny dla analizowanego przykładu wynosi 9 jednostek. Jednak balans dotyczy istniejącego systemu produkcyjnego składającego się z 3 stanowisk roboczych. Zatem sposób wyznaczenia cyklu jest następujący:

Tab. 2 Szczegółowe omówienie metody IU – WET

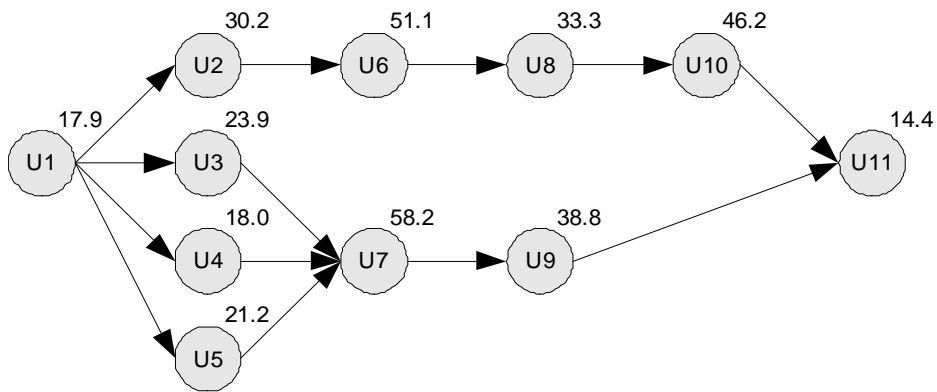
<p><b>KROK 1</b></p> <p>Cykl <math>d = 9</math></p> <p>Jak widać na wykresie obok wyznaczona liczba maszyn jest równa 2 i jest mniejsza od oczekiwanej liczby maszyn (<math>K=3</math>). Czas cyklu <math>d</math> zmniejszamy więc o 1 i dokonujemy ponownego balansu linii.</p>	
---	--

Tab. 2 cd. Szczegółowe omówienie metody IU – WET

<p>KROK 2</p> <p>Cykl <math>d = 8</math></p> <p>Otrzymana liczba maszyn równa się 2. Zmniejszamy więc czas cyklu <math>d</math> o 1.</p>	
<p>KROK 3</p> <p>Cykl <math>d = 7</math></p> <p>Otrzymana liczba maszyn równa się 3 i jest równa oczekiwanej liczbie maszyn jednakże nadal zmniejszamy czas cyklu, w poszukiwaniu lepszej konfiguracji.</p>	
<p>KROK 4</p> <p>Cykl <math>d = 6</math></p> <p>Otrzymana liczba maszyn równa oczekiwanej. Zmniejszamy więc czas cyklu o 1.</p>	
<p>KROK 5</p> <p>Cykl <math>d = 5</math></p> <p>Otrzymana liczba maszyn równa oczekiwanej, Zmniejszamy więc czas cyklu o 1</p>	
<p>KROK 6</p> <p>Cykl <math>d = 4</math></p> <p>Otrzymana liczba maszyn jest większa od oczekiwanej. Koniec iteracji. Za rozwiązanie przyjmujemy wynik z poprzedniej iteracji</p>	



Przykład 2



Rys. 5. Graf relacji kolejnościowej dla przykładu 2

Dane : liczna produktów  $N_0 = 5000$ , całkowity czas przeznaczony na produkcję  $T_0 = 350000$  jednostek czasu, średni czas montażu pojedynczego produktu  $S_0 = 353,2$ , współczynniki kosztów na i-tej stacji  $\alpha_{1i} = 1$  (koszt buforu),  $\alpha_{2i} = 1$  (koszt zajętości stacji),  $\alpha_{3i} = 5$  (koszt bezczynności stacji),  $\beta_{1i} = 1$  (dodatkowe koszty),  $\beta_{2i} = 100$  (koszt przepełnienia buforu). Dla przykładu 2 zastosowano dwuetapową metodę projektowania balansu linii montażowej. Etap 1 pierwszy polega na wyznaczeniu cyklu oraz liczby maszyn, etap 2 pozwala obliczyć liczbę buforów i ich koszty. Zgodnie z zasadą przedstawioną w przykładzie 1 rozpoczynamy symulację dla wyznaczonej minimalnej liczby stacji 6 i wartości cyklu 70. Otrzymany wynik umieszczono w tabeli 3.

Tab. 3 Wynik symulacji numerycznych dla przykładu 2 (d=58.4 oraz K=7)

	Kolejność	Czas stacji	$\rho_i$	$\delta_i$	$EC_i$
M1	U1 U2	$x_1 = 48.1$	0.7504	0.5462	3.65
M2	U6	$x_2 = 51.1$	0.7972	0.6239	3.93
M3	U8 U3	$x_3 = 57.2$	0.8924	0.7927	5.74
M4	U10	$x_4 = 46.2$	0.7207	0.4991	3.56
M5	U5 U4	$x_5 = 39.2$	0.6115	0.3397	3.48
M6	U7	$x_6 = 58.2$	0.9080	0.8217	6.46
M7	U9 U11	$x_7 = 53.2$	0.8300	0.6804	4.28

gdzie :

$\rho_i$  – intensywność przepływu na i-tej stacji,  $\delta_i$  – pierwiastek równania  $\delta_i = \exp\left\{\frac{-1+\delta_i}{\rho_i}\right\}$  gdzie  $0 \leq \delta_i \leq 1$ ,  $EC_i$  – koszt produkcji na i-tej stacji.

$$EC_i = \alpha_{1i} L_i + \alpha_{2i} \rho_i + \alpha_{3i} (1 - \rho_i) \quad (6)$$

Średnia ilość jednostek produktu przetwarzanych na i-tej maszynie

$$L_i = \frac{P_i}{1-\delta_i} \quad (7)$$

Całkowity koszt dla K stacji roboczych

$$TC = \sum_{i=1}^K EC_i \quad (8)$$

Dla analizowanego przykładu mamy zatem, przepływ ekonomiczny  $d = 58,4$ ,  $K = 7$  natomiast w etapie 2 wyznaczyliśmy koszt całkowity  $TC = 31,09$  oraz pojemności buforów  $N_1=8$ ,  $N_2=9$ ,  $N_3=10$ ,  $N_4=8$ ,  $N_5=7$ ,  $N_6=10$  oraz  $N_7=9$ .

## 7. WNIOSKI

Dwuetałowa metoda projektowania balansu linii montażowej jest kolejną metodą, która podejmuje próbę znalezienia dopuszczalnego i akceptowalnego rozwiązania omawianego problemu. Pierwszy etap ustala czas cyklu oraz liczbę stacji roboczych. Wielkości te decydują o ekonomicznym wykorzystaniu linii a więc otrzymane wartości powinny być zbliżone do optymalnych. W prezentowanej metodzie wykorzystuje się metody heurystyczne podając szczegółowe rozwiązanie dla algorytmu Immediate Update First Fit – Working Element Time dla problemu BLM typu 2. Drugi krok metody dotyczy niezawodności linii a więc optymalizuje przepływ produktu przez linię. W kroku tym wyznaczamy ilość buforów i całkowity koszt wytworzenia produktu. Linia montażowa wciąż pozostaje powszechną strukturą w systemach produkcyjnych, dlatego też każda próba ulepszenia balansu linii daje nadzieję na wyższe zyski procesu produkcji.

Praca powstała przy wsparciu środków statutowych Instytutu Automatyki BK209/Rau1/2009/ t.5

## LITERATURA

- [1] Nakase N., Yamada T., Matsui M.: *A Management Design Approach to Assembly Line Systems*. International Journal of Production Economics 76 (2002), pp. 281-292.
- [2] Ponnambalam S.G., Aravindan P., Mogileeswar Naidu G.: *A Comparative Evaluation of Assembly Line Balancing Heuristics*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 15, 1999, pp. 577-586.
- [3] Scholl A.: *Balancing and Sequencing of Assembly Lines*. Physica-Springer Verlag Heidelberg 1999.
- [4] Yamada T., Matsui M.: *2-Stage Design Method for Assembly Line Systems with Stoppers*. Journal of Japan Industrial Management Associations 51 (2001), pp. 594-602.

## 2-STAGE DESIGN METHOD OF ASSEMBLY LINE BALANCE

### Abstract

In the paper the proposal of 2-stage design method of assembly line was described. First part of the article presents the flow shop systems and assembly line structure. The modified algorithm IUFF-WET for assembly line balancing problem type 2 and algorithm for assembly line balancing problem with stoppers are shown. Numerical examples are calculated. The last section presents conclusions.

**Keywords:** assembly line balancing problem, production cycle time, production systems