

STABILNOŚĆ STRUKTURY LINII MONTAŻOWEJ

Waldemar GRZECHCA

Streszczenie: Linia montażowa należy od wielu lat do podstawowych struktur produkcyjnych. Balans linii oznacza przydział operacji do poszczególnych stanowisk roboczych a ocena tego przydziału jest obliczana na podstawie znanych z literatury miar (współczynnik gładkości, czas linii, efektywność linii). Jednak przy zmianie cyklu produkcyjnego linii pojawia się problem zachowania jej struktury. W artykule ten problem zostanie przedyskutowany oraz zobrazowany przykładem numerycznym.

Słowa kluczowe: linia montażowa, cykl produkcyjny linii, balansowanie linii montażowej

1. Wprowadzenie

Balansowanie linii montażowej składa się ze skończonego zbioru zadań, przy czym każde z nich posiada czas wykonania oraz ustalone relacje kolejnościowe, które precyzują dopuszczalne uporządkowanie zadań. Jednym z nieodłącznych problemów w organizowaniu produkcji masowej jest jak pogrupować zadania do wykonania na stacji roboczej, tak żeby osiągnąć pożądaną poziom wydajności. Balansowanie linii jest próbą ulokowania pracy do każdej stacji roboczej na linii. Podstawą problemu balansowania linii jest przyporządkowanie zbioru zadań do uporządkowanego zbioru stacji roboczych, tak żeby relacje kolejnościowe były spełnione i wskaźniki wydajności były zoptymalizowane.

Podczas projektowania linii zbalansowanej następujące ograniczenia muszą być narzucone na grupowanie zadań:

- relacja kolejnościowa,
- liczba zadań nie może być większa niż liczba stacji roboczych. Ponadto minimalna liczba stacji roboczych jest jeden,
- czas cyklu (wielkość czasu dostępnego na każdej stacji lub czas pomiędzy kolejnymi produktami schodzącymi z linii) jest większy lub równy maksymalnemu czasowi stacji [1].

Korzystając z prac [1,2] problem balansowania linii montażowej (BLM) sformułujemy w następujący sposób: zadanie polega na pogrupowaniu operacji montażowych w dopuszczalne podzbiory, które tworzą stanowiska pracy na linii montażowej. Przyjmuje się, że dany jest zbiór operacji z relacjami (ograniczeniami) kolejnościowymi oraz dane są czasy wykonywania operacji.

Wyróżnia się dwa warianty BLM:

- dla zadanego cyklu produkcyjnego linii należy wyznaczyć minimalną liczbę podzbiorów operacji, które tworzą stanowiska pracy,
- dla zadanej liczby stanowisk pracy należy wyznaczyć minimalny cykl.

W celu uzyskania rozwiązania finalnego balansu linii montażowej wykorzystuje się do obliczeń zarówno metody dokładne dające optymalne rozwiązanie (ze względu na minimalną liczbę stacji TYP 1 lub ze względu na minimalną wartość cyklu TYP 2) oraz metody przybliżone, których wynikiem jest rozwiązanie dopuszczalne.

2. Miary jakości rozwiązań problemu BLM

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 [1, 3, 4].

Stosowane miary to:

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

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

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

gdzie: K – ilość stacji roboczych, c – czas cyklu, ST – czas wykorzystania 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.

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

gdzie: ST_{max} – maksymalny czas stacji roboczej, ST_i – czas stacji i .

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

$$T = (K - 1) \cdot c + ST_K \quad (3)$$

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 rozwiązanie o mniejszym czasie linii jest rozwiązaniem lepszym. Dla potrzeb omawianego problemu utworzono wskaźnik gładkości, który informuje nas o istnieniu czasu przestoju na linii. Wartość większa od zera oznacza powstanie takiego czasu. Ze względu na uzależnienie tego wskaźnika od czasów wykonania operacji możemy tym

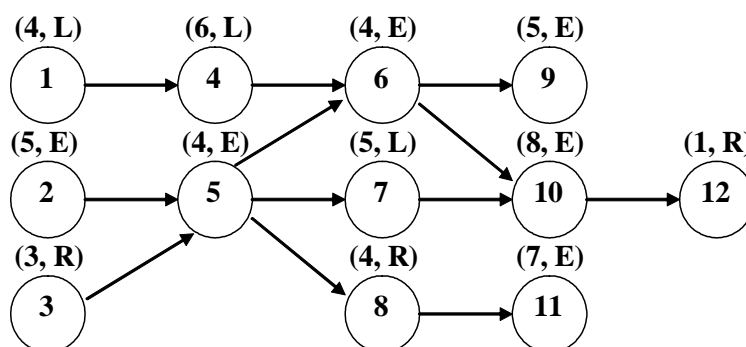
wskaźnikiem porównywać rozwiązania dotyczące tego samego zadania dla różnych metod i wartości cyklu. Efektywność linii ma sens dla rozwiązań o różnej liczbie stanowisk montażowych ponieważ licznik wzoru (1) dla rozważanego przykładu ma zawsze ta samą wartość.

3. Stabilność struktury linii montażowej

Stabilność struktury linii montażowej zależy między innymi od cyklu linii produkcyjnej. Ustalenie przydziału zadań do poszczególnych stacji roboczych przy ustalonej ich liczbie oraz ustalonej wartości cyklu oczywiście nie narusza struktury systemu montażowego. Problem pojawia się między innymi podczas zmiany wytwarzanych produktów finalnych na bieżące potrzeby rynku. Jednym ze sposobów kontroli wielkości produkcji aby uniknąć produkcji na magazyn jest zmiana wartości cyklu produkcyjnego. Cykl produkcyjny wyznacza częstość opuszczania przez wyrób finalny linii produkcyjnej, a tym samym wielkość produkcji dla poszczególnych okresów planistycznych. Jest to bardzo wygodny sposób nie wymagający nakładów finansowych sposób regulacji produkcji. Należy jednak pamiętać, iż zmiana struktury linii pociąga za sobą rebalans linii czyli zmianę alokacji zadań oraz pracowników i maszyn. Te problemy powodują iż należy bacznie kontrolować stabilność struktury linii ponieważ skutkuje to zmianami planistycznymi w stosunku do pracowników oraz maszyn co może w końcowym efekcie czynić nieoptyczny ten sposób regulacji wielkości produkcji końcowej dla danego okresu planistycznego [5].

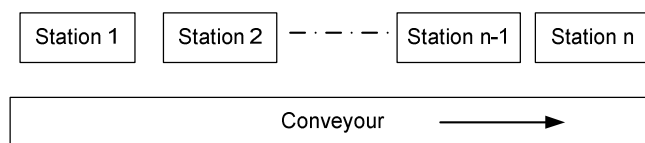
4. Przykład numeryczny

Aby przybliżyć problem stabilności struktury linii montażowej ze względu na zmianę wartości cyklu produkcyjnego linii przeanalizowano przykład numeryczny. Rozpatrzono montaż produktu finalnego składający się z 12 zadań a proces montażu został podany w postaci grafu relacji kolejnościowej (Rys. 1). Numeracja węzłów oznacza liczbę operacji natomiast dane podane w nawiasach dla każdego z nich oznaczają czas trwania wykonania zadania oraz pozycję z której operacje można wykonać. Przyjęto notacje – R strona prawa linii, L – strona lewa linii oraz E – oznacza dowolność pozycji z której operacje należy realizować.



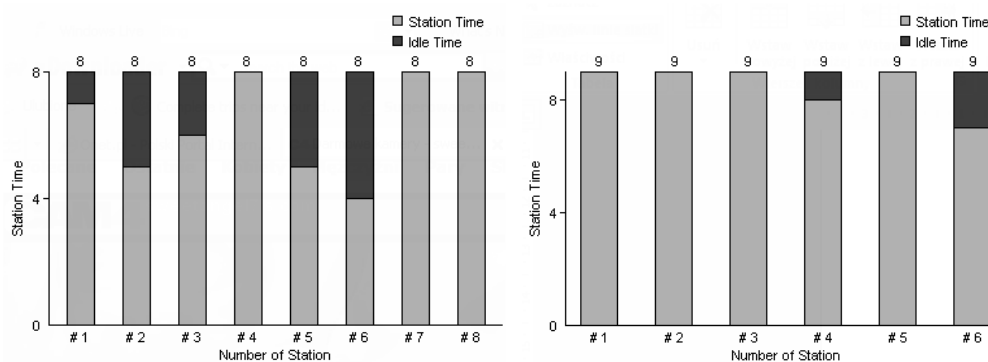
Rys. 1. Graf relacji kolejnościowych dla przykładu numerycznego

W pierwszej kolejności przeanalizowano balans linii montażowej dla przypadku gdy pozycja dla wykonywanej operacji jest dowolna i linia montażowa jest linią o strukturze szeregowej linii jednostronnej (Rys. 2).



Rys. 2. Struktura linii szeregowej pojedynczej

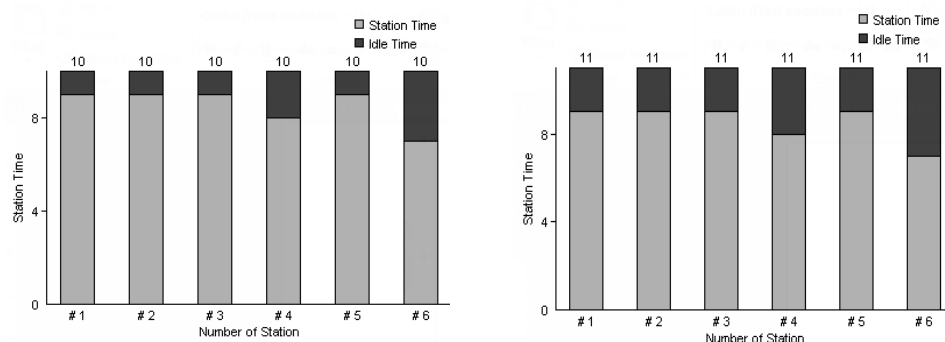
Wykorzystując metodę heurystyczną Ranked Positional Weight (RPW) [1] otrzymano balans linii montażowej dla wartości cyklu 11, 12 oraz 13 jednostek czasowych.



Cykl $c=8$, $n=8$

Cykl $c=9$, $n=6$

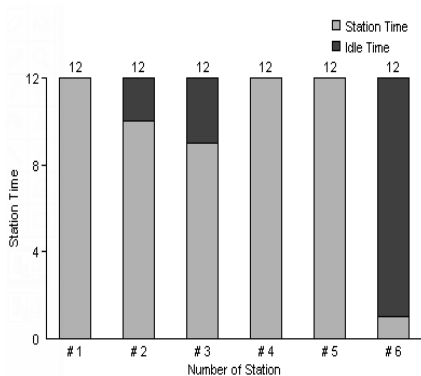
Rys. 3. Balans linii dla wartości cyklu linii produkcyjnej $c=8$ i $c=9$



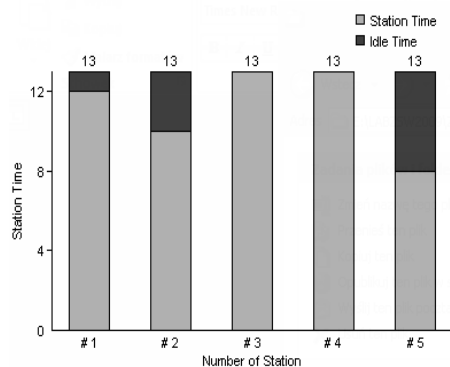
Cykl $c=10$, $n=6$

Cykl $c=11$, $n=6$

Rys. 4. Balans linii dla wartości cyklu linii produkcyjnej $c=10$ oraz $c=11$



Cykl c=12, n=6



Cykl c=13, n=5

Rys. 5. Balans linii dla wartości cyklu linii produkcyjnej c=12 oraz c=13

Tab. 1. Wartości SI, LT oraz LE dla różnych cykli produkcyjnych linii

Lp.	Cykl	SI	LT	LE
1	8	6,24	64	65,79%
2	9	2,24	52	77,77%
3	10	2,24	57	77,77%
4	11	2,24	62	77,77%
5	12	11,58	61	77,77%
6	13	5,92	60	85,16%

Jak można łatwo zauważyć, zmiana wartości cyklu linii produkcyjnej prowadzi do zmiany balansu linii montażowej. Cykl c=9, c=10, c=11 oraz c=12 dla rozpatrywanego przykładu numerycznego daje rozwiązanie dla 6 stacji roboczych. Porównując otrzymane wskaźniki jakości mamy możliwość wyboru odpowiedniego rozwiązania. Analizując rozwiązania balansu na rysunkach 3÷5 możemy zauważyć, że dla cyklu c=11 otrzymujemy bardzo korzystną wartość współczynnika gładkości SI mimo czasów przestojów na każdej stacji roboczej. Wartość ta obliczona zgodnie ze wzorem (2) uwzględnia bowiem zajętość czasową najbardziej obciążonej maszyny ignorując wartość ustalonego cyklu produkcyjnego. Podobną sytuację mamy powtórnie dla cyklu c=10. Rozwiązanie dla c=9 ze względu na współczynnik gładkości jest identyczne, ale w tym przypadku czas najbardziej obciążonej stacji roboczej jest równy wartości cyklu. Jak już wspomniano cykl produkcyjny linii decyduje o częstoci opuszczania przez wyrób finalny linii montażowej, dlatego też wszystkie otrzymane rozwiązania otrzymane metodą RPW są dla N=6 rozwiązaniami dopuszczalnymi ze względu na brak zmiany struktury linii. Dyskusyjna wydaje się wartość współczynnika gładkości dla tych rozwiązań, która uwzględnia maksymalny czas zajętości stacji roboczej. Jest to słuszne z założeniami o balansie linii montażowej, które zakładają w takiej sytuacji zmniejszenie wartości cyklu linii produkcyjnej do wartości wynikającej z maksymalnego obciążenia stacji a tym samym eliminację zbędnych czasów przestojów stacji montażowych. Z drugiej jednak strony w sytuacjach regulacji dostaw produktów gotowych dla odbiorcy zgodnie z ustaleniami co do wielkości dostawy w danym okresie planistycznym utrzymanie wyższej wartości cyklu linii

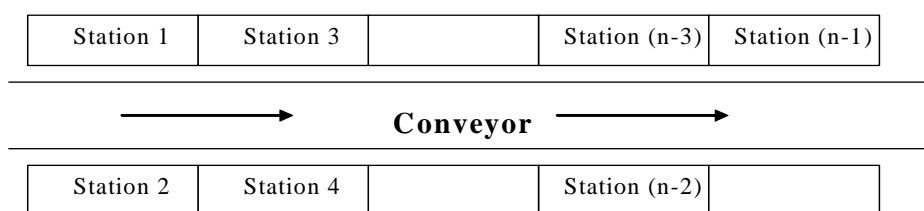
produkcyjnej jako regulatora wielkości zamówień wydaje się całkowicie uzasadnione. Celowe jednak wydaje się dostarczenie informacji o rzeczywistej wartości współczynnika obliczonej zgodnej ze zmodyfikowanym wzorem (4):

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

gdzie: c – wartość cyklu produkcyjnego, ST_i – zajętość stacji i .

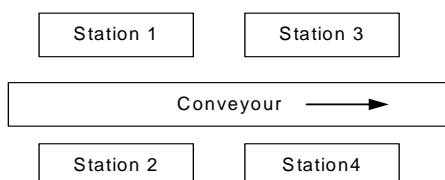
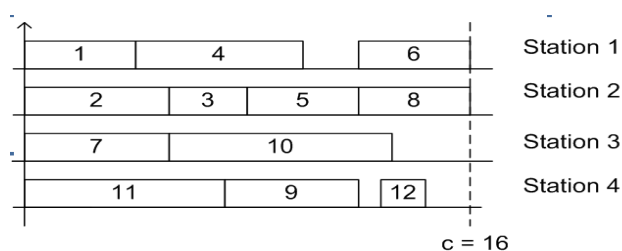
Dla powyższego przykładu rzeczywiste wartości SI' wynoszą odpowiednio 3,61 dla $c=10$ oraz 6,40 dla $c=11$.

W kolejnym kroku rozważono ponownie przykład z rysunku 1 uwzględniając ograniczenia pozycyjne L, R oraz E.

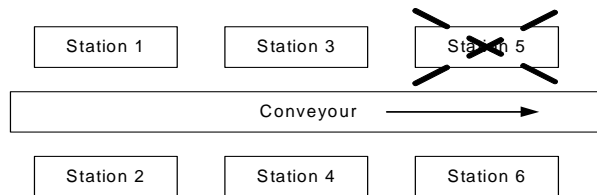
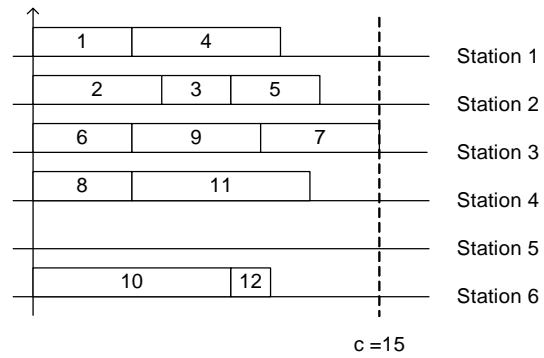


Rys. 6. Struktura linii dwustronnej

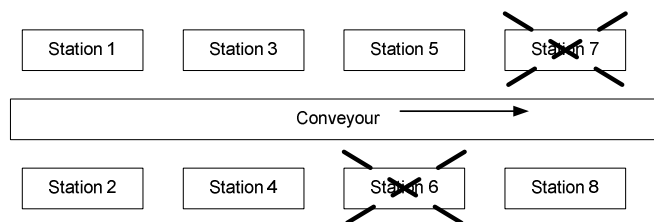
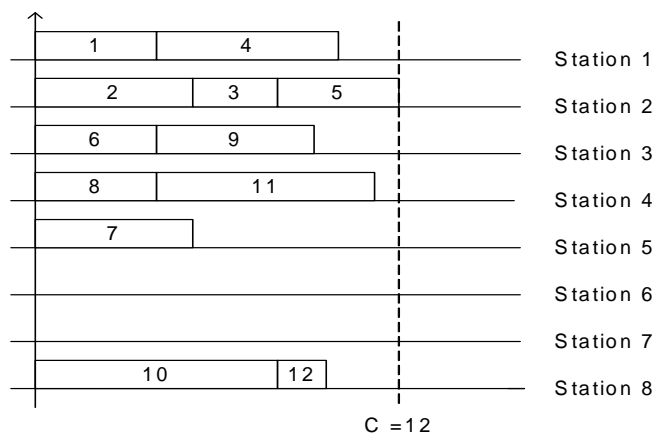
Dla zobrazowania problemu stabilności struktury linii dwustronnej przeprowadzono proces balansowania dla 3 różnych wartości cykli produkcyjnych (16, 15 oraz 12). Rezultaty obliczeń przedstawiono na rysunkach 7÷9.



Rys. 7. Balans linii dwustronnej dla $c=16$ oraz jej struktura



Rys. 8. Balans linii dwustronnej dla $c=15$ oraz jej struktura



Rys. 9. Balans linii dwustronnej dla $c=12$ oraz jej struktura

5. Wnioski

Artykuł poświęcony jest problemowi balansowania linii montażowej. Zwrócono uwagę na zjawisko stabilności struktury linii montażowej ze względu na zmianę wartości cyklu linii produkcyjnej. Rozważono zachowanie się linii szeregowej jednostronnej oraz linii dwustronnej czyli z ograniczeniami pozycyjnymi dla wykonywanych operacji. Pierwsza struktura jest znacznie łatwiejsza w utrzymywaniu założonej liczby stacji roboczych. Zmiana wartości cyklu nie skutkuje w każdym przypadku zmianą jej liczby a więc całej struktury. Utrzymywanie balansu dla stałej liczby stacji wydaje się uzasadnione ze względu na wykorzystanie oprzyrządowania, różnych maszyn, robotów a także utrzymanie zatrudnienia pracowników. Regulacja wartości cyklu pozwala również na dostosowanie wielkości produkcji do aktualnych potrzeb rynku. Wprowadzono modyfikację współczynnika gładkości S_I aby zachować rzeczywistą wartość tego współczynnika dla rozważanego aktualnie cyklu linii. Linia dwustronna stosowana w zakładach montażowych produktów finalnych o dużych gabarytach okazuje się znacznie bardziej podatna na zmiany wartości cyklu linii. Konsekwencją może być eliminacja stacji występujących wewnątrz linii co nigdy nie ma miejsca dla linii szeregowej jednostronnej. Fakt ten skłania nas do stosowania dodatkowych miar jakości balansu po to aby szczegółowa informacja o przydziale zadań pozwalała na odpowiedni dobór rozwiązania końcowego problemu balansowania linii montażowej.

Praca finansowana ze środków statutowych Instytutu Automatyki Politechniki Śląskiej w 2010 roku.

Literatura

1. Scholl A.: Balancing and Sequencing of Assembly Lines. Physica-Verlag, Heidelberg, 1999.
2. Salveson M.E.: The Assembly Line Balancing Problem. The Journal of Industrial Engineering Vol.6, 1955, s.18-25.
3. 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, s.577-586.
4. Becker Ch, Scholl A.: A Survey on Problems and Methods in Generalized Assembly Line Balancing. Arbeits- Und Diskussionspapiere der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität Jena, 21/2003.
5. Grzechca W.: Structure's Uncertainty of Two-sided Assembly Line Balancing Problem. 25 Mini Euro Conference URPD 2010, Proceedings CD VERSION ISBN 978-989-95055-3-7.

Dr inż. Waldemar GRZECHCA
Zakład Inżynierii Systemów
Instytut Automatyki
Politechnika Śląska
44-100 Gliwice, ul Akademicka 16
tel.: 322372198
e-mail: waldemar.grzechca@polsl.pl