

Waldemar GRZECHCA*

STRATEGIA JUST IN TIME W PROBLEMIE BALANSOWANIA LINII MONTAŻOWEJ

Streszczenie

W artykule zaprezentowano wyniki badań dotyczące wykorzystania strategii Just in Time w problemie balansowania linii montażowej. Omówiono znane heurystyki przydatne w balansie linii, a następnie przedstawiono wyniki symulacji zakłóceń płynności pracy linii. W pracy przybliżono problem wpływu przestojów na efektywność linii a szczególnie na terminowość i wielkość produkcji końcowej. Podano wskaźniki jakości porównujące balans linii bez zakłóceń oraz po ich wystąpieniu.

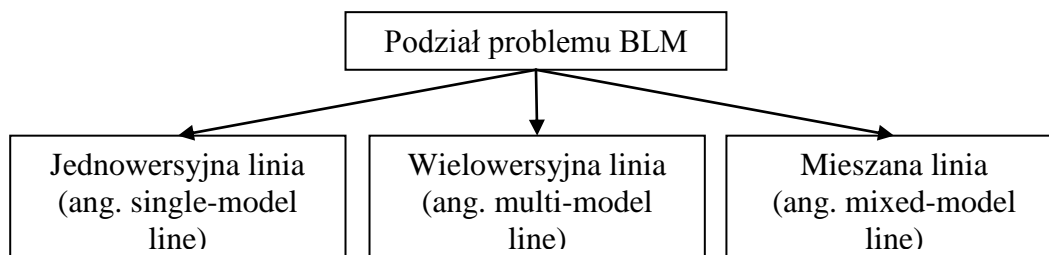
Słowa kluczowe: strategia Just in Time, heurystyki, problem balansowania linii montażowej

1. BALANS LINII MONTAŻOWEJ

Pierwszą linię montażową dla Forda T zaprojektowano w 1913 roku, rewolucjonizując tym samym proces produkcji masowej. Wprowadzenie takiego rodzaju produkcji pozwala na znaczne przyspieszenie produkcji przy jednoczesnym obniżeniu jej kosztów. Dziś systemy produkcyjne oparte na przepływowej linii produkcyjnej są wszechobecne i dotyczą większości wyrobów. Zjawisko balansowania linii montażowej po raz pierwszy opisano [7] w latach pięćdziesiątych. Podstawą problemu balansowania jest przyporządkowanie zbioru zadań do uporządkowanego zbioru stacji roboczych tak aby relacje kolejnościowe były spełnione

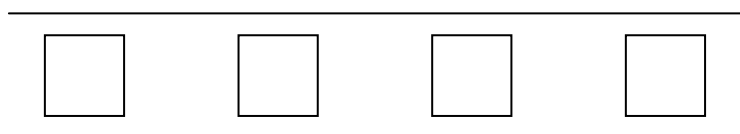
a wskaźniki jakości zoptymalizowane. Linię montażową uważa się za zbalansowaną gdy wykonano wszystkie operacje nie naruszając żadnego z założeń dotyczącego produkcji na linii montażowej (niepodzielność operacji, przestrzeganie relacji kolejnościowych). Choć problem balansowania znany jest od lat wciąż proponowane są nowe algorytmy oraz modyfikacje już znanych algorytmów. W literaturze możemy spotkać się z wieloma modelami, strukturami czy też podziałami BLM. W zależności od problemu jaki musimy rozwiązać podczas tworzenia balansu pojawiają się jego dwa typy. W 90% przypadków jest to TYP 1, w którym to znany jest czas cyklu, a naszym zadaniem jest określenie liczby stanowisk montażowych oraz dobranie odpowiedniej heurystyki i przedstawienie rozwiązania. Drugim znacznie rzadziej spotykanym problemem jest sytuacja, w której istnieje już linia montażowa z określoną ilością stanowisk, a naszym zadaniem jest dobranie odpowiedniego czasu cyklu oraz heurystyki tak, aby nasz nowy produkt jak najlepiej wykorzystywał istniejącą już linię. Przypadek ten nazywany jest TYP 2. W literaturze zaproponowano między innymi podział struktury BLM w oparciu o rodzaj produkcji. W przypadku tworzenia tylko jednego typu wyrobu mamy do czynienia z linią jednowersyjną (rys.1.). Gdy wytwarzamy wiele rodzajów tego samego produktu linię nazywamy wielowersyjną (rys. 2.). Z linią mieszaną (rys.3.) spotykamy się gdy produkujemy różne grupy produktów [2]. Należy zaznaczyć iż jest to jeden z wielu podziałów linii montażowych a w praktyce można spotkać wiele innych rozróżnień ze względu na czas linii (deterministyczny i stochastyczny) lub też sposoby obsługi (automatyczna, manualna lub mieszana).

* Politechnika Śląska, Wydział Automatyki, Elektroniki i Informatyki



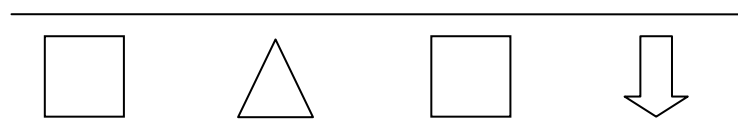
Rys. 1. Klasyfikacja rodzaju linii ze względu na rodzaj produkcji

Źródło: opracowanie własne



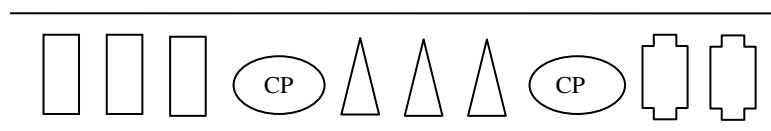
Rys. 2. Jednowersyjna linia montażowa.

Źródło: opracowanie własne



Rys. 3. Wielowersyjna linia montażowa.

Źródło: opracowanie własne



Rys. 4. Mieszana linia montażowa (produkcja wyrobów podobnych) (CP – czas przebrojenia linii)

Źródło: opracowanie własne

2. 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 [1],[2],[6],[8].

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:

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

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.

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

(2)

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.

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

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 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.

3. WYBRANE ALGORYTMY HEURYSTYCZNE PROBLEMU BLM

Dla problemu NP-trudnego jakim niewątpliwie jest problem BLM metody heurystyczne są bardzo przydatne w znajdowaniu dopuszczalnych rozwiązań. Są to wprawdzie metody pozwalające na znalezienie rozwiązania bez gwarancji jego optymalności ale istniejące wskaźniki oceny jakości rozwiązania stanowią znaczącą pomoc podczas wyboru danego rozwiązania. Poniżej omówiono metodę Kilbridge'a i Wester'a oraz metodę IUFF (Immediate Update First-Fit).

Metoda K&W (Kilbridge'a & Wester'a) [4]

Numery przypisane do każdej operacji określają liczbę poprzedników. Operacje z najmniejszą liczbą poprzedników zostają przypisane do stacji roboczej jako pierwsze. Następujące procedury zostały zaproponowane przez Kilbridge'a and Wester'a:

1. stwórz diagram relacji kolejnościowej dla operacji, w którym w kolumnie pierwszej są wszystkie operacje, które nie muszą następować po innych, w kolumnie drugiej wszystkie operacje, które muszą być następnikami operacji z kolumny pierwszej, a następnie wypełnij tym samym sposobem pozostałe kolumny. Ruchy pomiędzy kolumnami są tak długo możliwe, dopóty elementy występujące w kolumnach nie są połączone grafem,
2. wybierz dopuszczalną wartość cyklu,
3. przypisz operacje do stacji roboczych tak, by suma czasów elementarnych nie przekraczała czasu cyklu c ,
4. usuń przypisane operacje z listy wszystkich operacji i powtórz krok 3,
5. jeśli stacje robocze przekraczają czas cyklu c z powodu włączenia pewnych operacji, to ta operacja powinna być przypisana do następnej stacji roboczej,
6. powtarzaj kroki 3 do 5 dopóki wszystkie operacje nie zostaną przypisane do stacji roboczych.

Metoda IUFF (Immediate Update First-Fit) [3]

Heurystyka Immediate Update First-Fit zaproponowana została przez Hackmana w 1989r. Realizacja jej zależy od numerycznej wartości funkcji (Tablica 1).

Kroki tej heurystyki są następujące:

1. określ numeryczny wynik dla każdej operacji,
2. uaktualnij zbiór dostępnych operacji (operacje dla których operacje poprzedzające zostały przydzielone),
3. spośród operacji, przydziel tą z najwyższą wartością wyniku numerycznego do pierwszej dostępnej stacji roboczej, w której pojemność oraz relacje kolejnościowe nie zostaną naruszone. Wróć do punktu 2 .

Tablica 1. Metody numeryczne stosowane w heurystyce IUFF.

| n | Nazwa | Opis |
|---|--------------------------------------|--|
| 1 | Positional Weight | Suma czasu zadania x i wszystkich zadań, które po nim następują |
| 2 | Reverse Positional Weight | Suma czasu zadania x i wszystkich zadań przed nim występujących |
| 3 | Number of Followers | Liczba zadań następujących po zadaniu x |
| 4 | Number of Immediate Followers | Liczba zadań następujących bezpośrednio po zadaniu x |
| 5 | Number of Predecessors | Liczba zadań poprzedzająca zadanie x |
| 6 | Work Element Time | Czas zadania x |
| 7 | Backward Recursive Positional Weight | Suma czasu zadania x i wszystkich zadań w ścieżce, gdzie x jest zadaniem głównym |

4. STRATEGIA JUST IN TIME

Strategia Just in Time została wprowadzona przez japońską firmę Toyota. Metoda ta polega na minimalizowaniu magazynowanych elementów wyrobu finalnego, co oznacza zaplanowanie jego produkcji w taki sposób, aby powstał dokładnie na czas, w którym będzie potrzebny. Jednocześnie dbano aby termin zakończenia montażu oraz jego nakład był zgodny z zamówieniem. JIT bazuje na zasadzie ssania. To klient określa zapotrzebowanie na dany

produkt, co powoduje powstanie całego drzewa powiązań tworzącego swoisty system przepływowy produktów z nieznacznym ich buforowaniem. Strategia ta pozwala na szybką zmianę montowanych wyrobów. Jest uniwersalną i efektywną technologią, dzięki której przedsiębiorstwa stają się bardziej konkurencyjne. Najczęściej wykorzystywana w trzech kierunkach:

- ograniczenie magazynowania i marnotrawienia zapasów,
- obniżanie kosztów i zwiększanie zysków,
- zwiększenie konkurencyjności.

Rozwój strategii JIT spowodował zupełnie nowe podejście do wielu aspektów produkcji. Zapasy zawsze zabezpieczały firmy przed słabym dostępem do surowców, problemami kadrowymi czy brakami w wyposażeniu. Obniżenie zapasów powoduje ujawnienie tych problemów, a co za tym idzie możliwość ich poprawienia. Sporym problemem jest dostosowanie samej produkcji, co wiąże się ze zmianą elastyczności pracowników, skróceniem czasu rozruchu, kontrolą jakości, szkoleniami i wieloma innymi czynnikami wymagającymi znacznej zmiany sposobu zarządzania. JIT wymaga dużo większej odpowiedzialności od dostawców, także od nich w znacznym stopniu zależy terminowość oraz jakość wyrobów. Wdrożenie takiego systemu nie jest łatwe i wymaga dopracowania wielu czynników m. in. takich jak udoskonalenie przepływu materiałów, rozwiązanie problemu zakłóceń w produkcji, zwiększenie dyspozycyjności, zapewnienie wysokiej jakości oraz dobrej komunikacji w przedsiębiorstwie.

Wady oraz zagrożenia wynikające z zastosowania strategii JIT [5],:

- wymaga odpowiednich prac przygotowawczych,
- opór pracowników,
- problemy z dostawcami, z zarządzaniem i kontrolą zapasów.

Zalety wynikające z zastosowania strategii JIT [5]:

- zmniejszenie poziomu zapasów,
- obniżenie nakładów,
- poprawa jakości produktu i związane z tym niższe koszty kontroli, poprawek,
- maksymalizacja efektywności produkcji,
- wysoki poziom obsługi klienta,
- eliminacja przestrzeni magazynowej,
- redukcja czasu cyklu realizacji zamówienia,
- szybka reakcja na zmiany w projektach,
- poprawa motywacji, zaangażowania i elastyczności pracowników.

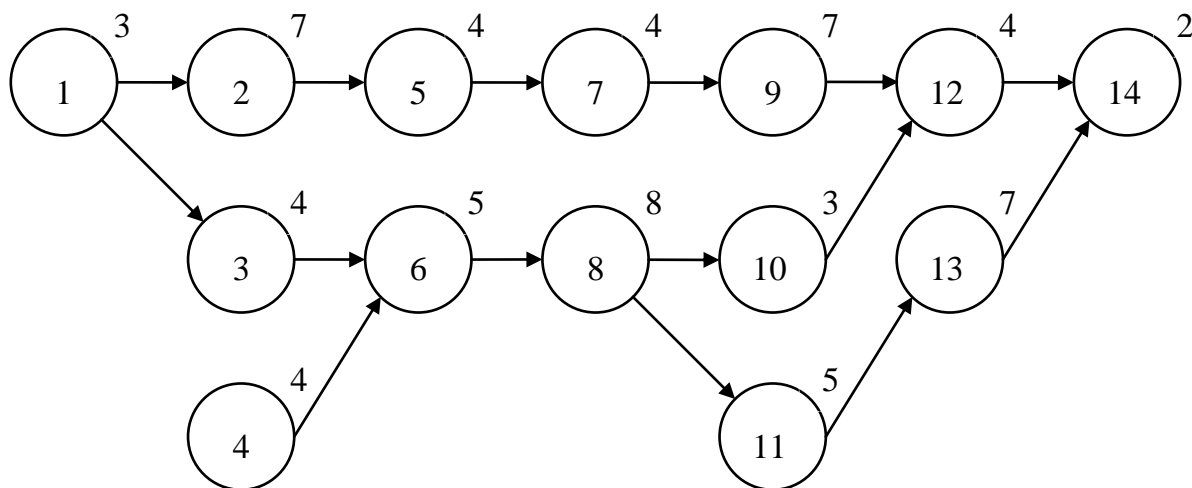
5. WSKAŹNIKI JAKOŚCI ROZWIĄZANIA W WYKORZYSTANIU STRATEGII JUST IN TIME W PROBLEMIE BLM

Aby odpowiednio zaplanować produkcję należy poznać czas potrzebny na wyprodukowanie jednej jednostki. Jednocześnie znając liczbę produktów jesteś w stanie wyznaczyć całkowity czas produkcji. Badając jednocześnie zakłócenia czasowe poszczególnych zadań musimy podać zakres zmiany tej operacji. Posiadając wektor zakłóceń do pełnych obliczeń potrzebujemy liczbę zadań, które zostaną zakłócone spośród pełnego zamówienia. W ten oto sposób uzyskamy kilka parametrów, dzięki którym będziemy w stanie ocenić czułość oraz jakość naszego balansu. Do nowych wskaźników jakości możemy zaliczyć:

- całkowity czas produkcji przed i po zmianie czasów,
- procentowa zmiana podstawowych wskaźników jakości (SI, LE, T),
- maksymalna ilość produktów stworzona po czasie podstawowym,
- zmiana czasu cyklu.

Strategia JIT bardzo mocno łączy się z problemem BLM. Dla czasów deterministycznych problem balansowania kończy się w momencie wybrania pewnego rozwiązania i rozpoczęcia produkcji. Dzięki wskaźnikowi jakości T (czas przebywania produktu na linii) jesteśmy w stanie z dużym wyprzedzeniem wyznaczyć czas potrzebny na wyprodukowanie n produktów. Jednak należy wziąć pod uwagę możliwość zmiany poszczególnych zadań spowodowanych absencją pracownika, niewyjaśnionym brakiem zaopatrzenia lub usterką w zrobotyzowanej linii spowodowaną zużyciem danych jednostek roboczych. Może się także zdarzyć, że do dobrze prosperującej linii dołącza nowy pracownik, który potrzebuje więcej czasu na dane zadanie. W takich przypadkach należy badać wpływ zakłóceń czasowych na stworzony balans. Rozwiązanie danego problemu dające najlepsze wyniki dla stałych czasów może okazać się niezbyt trafnym wyborem przy pojawiających się zakłóceń. Szczególnie często wahania czasowe zdarzają się w procesach, w których bezpośrednio bierze udział człowiek. Wprowadzenie pewnej granicy tolerancji dla czasów poszczególnych zadań może znacznie ułatwić dobór odpowiedniego rozwiązania. Możemy dokonać pewnych badań sprawdzających czułość rozwiązania na zmiany czasów poszczególnych zadań na danych stanowiskach. W ten sposób możemy wyznaczyć nowe wskaźniki jakości oraz sprawdzić ich zmianę w stosunku do ich podstawowych odpowiedników. Posiadamy także szereg nowych wskaźników pozwalających oszacować czas potrzebny na wykonanie całej produkcji oraz liczby produktów, które nie pojawią się na czas. Dzięki temu jesteśmy w stanie zabezpieczyć nasze przedsiębiorstwo przed niepotrzebnymi wydatkami związanymi z karami za opóźnienia w produkcji lub też idąc w drugą stronę za konieczność magazynowania towarów powstałych zbyt szybko.

6. PRZYKŁAD NUMERYCZNY



Rys. 5. Graf relacji kolejnościowej dla przykładu numerycznego

Źródło: opracowanie własne

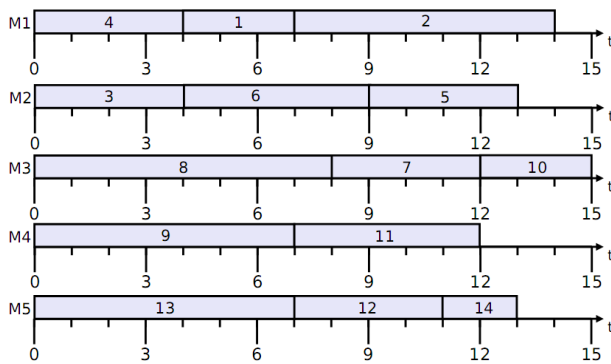
Rysunek 5 przedstawia graf relacji kolejnościowej rozważanego przykładu numerycznego. Numeracja węzłów grafu odpowiada liczbie zadań a umieszczone w górnym prawym rogu każdego węzła wartości odpowiadają czasom trwania poszczególnych zadań. Tablica 2 przedstawia ilość danego produktu jaki zostanie wyprodukowany (k) oraz ile spośród nich będzie posiadało zmieniony czas (k_{zmx}). Kolejna tabela przedstawia podstawowy czas cyklu

(c) jego odpowiedniki po zmianach dokonanych wśród zadań (c_{zm}). Ostatnia z kolei tabela przedstawia zadania (i) w których dokonujemy wydłużenia czasu o zadaną wartość ($zm. t_i$).

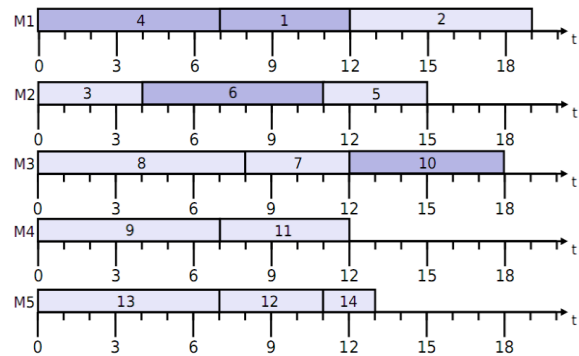
Tablica 2. Dane wejściowe problemu balansu

| | | | | | |
|----------|-----|-----------|-----|-----|------|
| k | 200 | | c | 15 | |
| k_{z1} | 50 | | K&W | WET | NoIF |
| k_{z2} | 20 | c_{zm1} | 19 | 19 | 18 |
| k_{z3} | 30 | c_{zm2} | 18 | 21 | 21 |
| | | c_{zm3} | 16 | 15 | 17 |

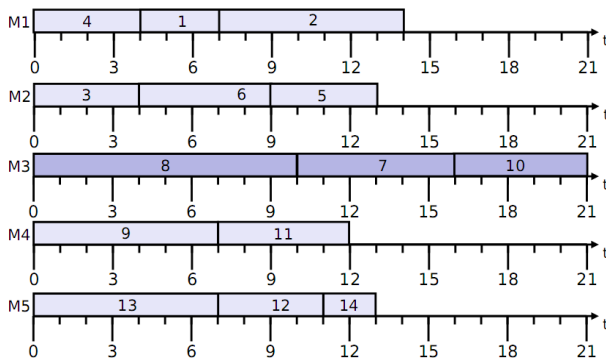
| i | zm.t _{i1} | i | zm.t _{i2} | i | zm.t _{i3} |
|----|--------------------|----|--------------------|----|--------------------|
| 1 | 2 | 7 | 2 | 2 | 1 |
| 4 | 3 | 8 | 2 | 5 | 2 |
| 6 | 2 | 10 | 2 | 11 | 3 |
| 10 | 3 | - | - | 14 | 2 |



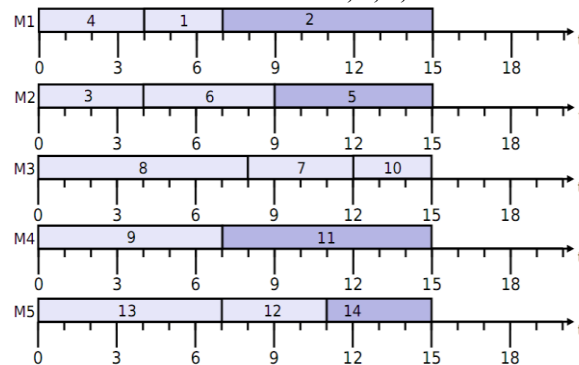
Rys. 6. Balans uzyskany metodą K&W.



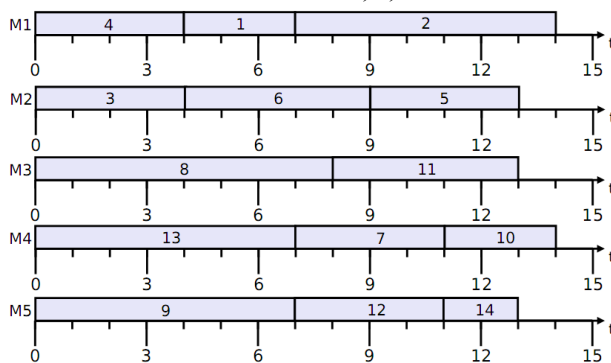
Rys. 7. Balans uzyskany metodą K&W dla zmiany czasów zadań: 1, 4, 6, 10.



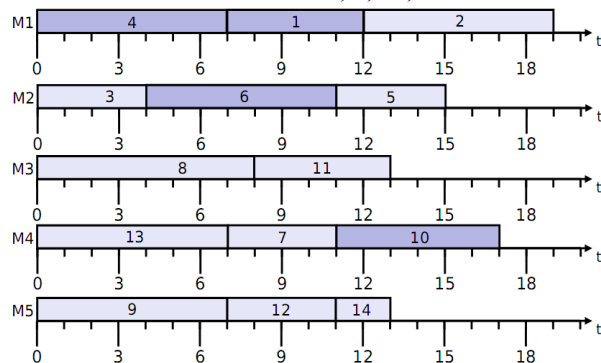
Rys. 8. Balans uzyskany metodą K&W dla zmiany czasów zadań: 7, 8, 10.



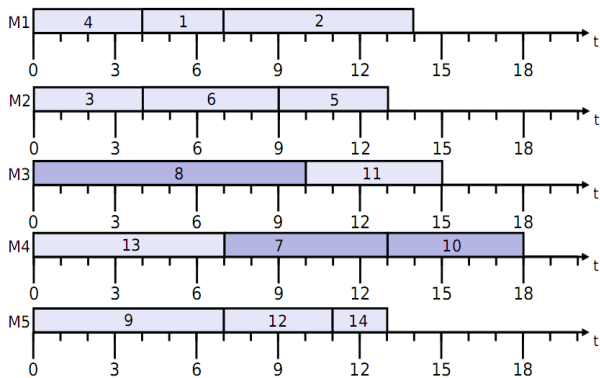
Rys. 9. Balans uzyskany metodą K&W dla zmiany czasów zadań: 2, 5, 11, 14.



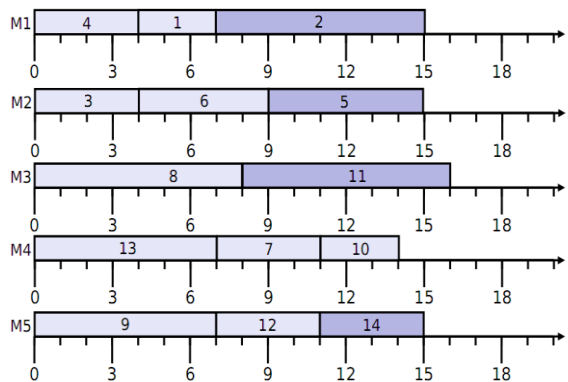
Rys. 10. Balans uzyskany metodą IUFF-WET.



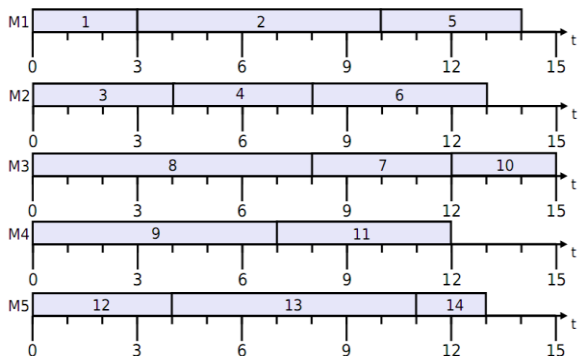
Rys. 11. Balans uzyskany metodą IUFF-WET dla zmiany czasów zadań: 1, 4, 6, 10.



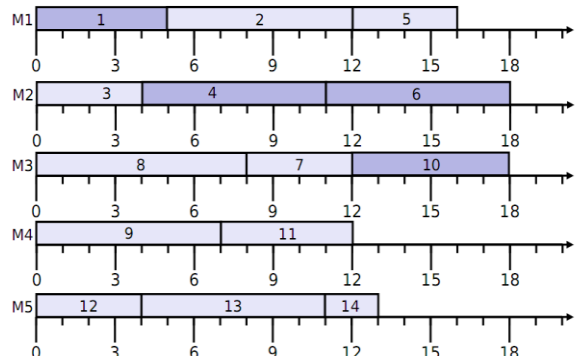
Rys. 12. Balans uzyskany metodą IUFF-WET dla zmiany czasów zadań: 7, 8, 10.



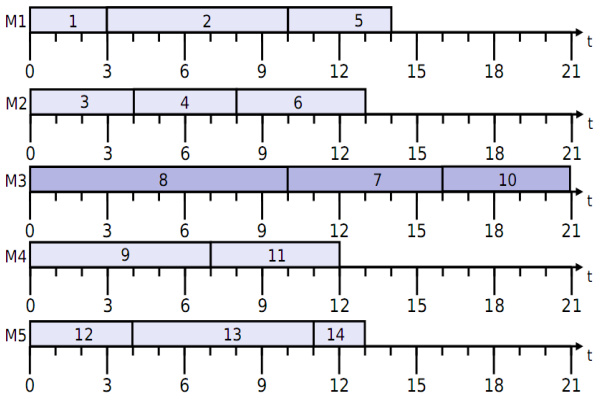
Rys. 13. Balans uzyskany metodą IUFF-WET dla zmiany czasów zadań: 2, 5, 11, 12.



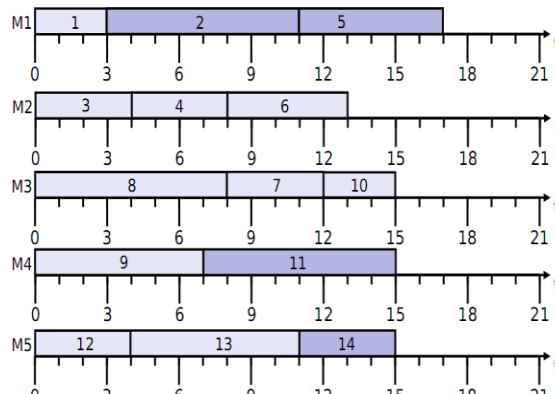
Rys. 14. Balans uzyskany metodą IUFF-NOIF.



Rys. 15. Balans uzyskany metodą IUFF-NOIF dla zmiany czasów zadań: 1, 4, 6, 10.



Rys. 16. Balans uzyskany metodą IUFF-NOIF dla zmiany czasów zadań: 7, 8, 10.



Rys. 17. Balans uzyskany metodą IUFF-NOIF dla zmiany czasów zadań: 2, 5, 11, 12.

Rysunki 6, 10 i 14 przedstawiają balans linii montażowej dla założonych deterministycznych czasów uzyskany różnymi metodami heurystycznymi (K&W, IUFF-WET, IUFF-NOIF). Rysunki 7, 8, 9, 11, 12, 13, 15, 16 oraz 17 prezentują balans dla zmienionych parametrów wejściowych (czasów). Musimy mieć świadomość iż uzyskany rozkład zadań dla poszczególnych heurystyk jest stały i nie ulega zmianie podczas przestojów linii oraz zmian czasów wykonywania niektórych zadań. Jediną konsekwencją przy stałym uszeregowaniu zadań i stałej liczbie maszyn jest zmiana cyklu produkcyjnego linii montażowej. W rozpatrywanych przypadkach obserwujemy zmiany cyklu od 15 jednostek czasowych do 21. Konsekwencją tego jest wydłużenie czasu pracy linii oraz późniejsze wytworzenie zamówionych produktów.

Tablica 3. Wskaźniki jakości i ich zmiany dla zmienionych czasów trwania wybranych zadań dla różnych rozwiązań

| K&W | Podst. | N 1 | Δ | % | N 2 | Δ | % | N 3 | Δ | % |
|------|--------|-------|----------|--------|-------|----------|--------|-------|----------|--------|
| SI | 10,14 | 8,31 | -1,84 | -18,13 | 12,08 | -1,94 | -19,13 | 13,3 | -3,16 | -31,16 |
| LE | 71,67 | 76,39 | 4,72 | 6,59 | 66,67 | 5 | 6,98 | 68,06 | 3,61 | 5,04 |
| T | 51 | 66 | 15 | 29,41 | 63 | -12 | -23,53 | 61 | -10 | -19,61 |
| WET | Podst. | N 1 | Δ | % | N 2 | Δ | % | N 3 | Δ | % |
| SI | 10,24 | 10,82 | 0,57 | 5,56 | 10 | 0,24 | 2,35 | 13,23 | -2,99 | -29,2 |
| LE | 71,67 | 70,51 | -1,16 | -1,62 | 72,73 | -1,06 | -1,48 | 68,06 | 3,61 | 5,04 |
| T | 51 | 71 | 20 | 39,22 | 58 | -7 | -13,73 | 61 | -10 | -29,2 |
| NoIF | Podst. | N 1 | Δ | % | N 2 | Δ | % | N 3 | Δ | % |
| SI | 10,34 | 4,12 | -6,22 | -60,15 | 12,25 | -1,91 | -18,47 | 15,46 | -5,12 | -49,51 |
| LE | 71,67 | 91,67 | 20 | 27,91 | 66,67 | 5 | 6,98 | 62,82 | 8,85 | 12,35 |
| T | 51 | 56 | 5 | 9,8 | 63 | -12 | -23,53 | 66 | -15 | -29,49 |

Tablica 4. Rozszerzone wskaźniki jakości balansu

| | K&W | WET | NoIF |
|------------|------|-------|------|
| $T_{cał.}$ | 2041 | 2041 | 2041 |
| T_{zm} | 2241 | 2271 | 2171 |
| Δ | 200 | 230 | 130 |
| % | 9,8 | 11,27 | 6,37 |
| ZAD. | 20 | 23 | 13 |
| % | 10 | 11,5 | 6,5 |

7. PODSUMOWANIE

Mimo tak zaawansowanej technologii jaką oferują nam dzisiejsze czasy na liniach produkcyjnych wciąż wiele zadań wykonują, którzy wprowadzają największą niepewność czasową dla poszczególnych zadań. Jednocześnie należy pamiętać, że urządzenia elektroniczne czy też mechaniczne biorące udział w procesie produkcji także ulegają awariom lub wymagają okresowych konserwacji, co wpływa na jakość i czas wytwarzania produktu finalnego. Dzięki badaniom balansu jesteśmy w stanie ocenić jego wrażliwość na nieuniknione problemy i jednocześnie odpowiednio wcześniej zabezpieczyć firmę przed groźnymi wpływami takich zakłóceń. Odpowiednia ilość czasu poświęcona na projektowanie i analizę struktury linii zaoszczędzi wiele czasu oraz co najważniejsze pieniędzy już podczas jej pracy. W dokonanych badaniach można zauważyć, że nie istnieje sposób uniwersalny na dobieranie rozwiązania balansu. Już na etapie samego BLM należy stanąć przed wyborem heurystyki w czym pomagają odpowiednie wskaźniki jakości. Jednak gdy weźmie się pod uwagę zmienność czasów zadań problem znacznie się rozrasta. Okazuje się, że najlepsza heurystyka dla deterministycznych czasów nie koniecznie sprawdzi się podczas zakłóceń. Nawet najlepiej sprawdzająca się heurystyka wykazuje bardzo małą odporność na zakłócenia, co w efekcie powoduje znaczne wydłużenie produkcji zadanej ilości towaru, a co za tym idzie nie spełnienie norm strategii Just In Time. Należy pamiętać, że w realnych warunkach najprostszy proces składa się z dziesiątek, a nawet setek zadań co sprawia, że jedynym sensownym sposobem oszacowania dopuszczalnego i akceptowalnego rozwiązania jest metoda numeryczna. Już w kilka minut jesteśmy w stanie zbadać wiele wariantów zmian czasowych i określić czy spowodują one zakłócenia w dostawach do odbiorców produktów finalnych.

LITERATURA

- [1] Boysen N., Fliedner M., Scholl A.: *A classification of assembly line balancing problem*. Jenaer Schriften zur Wirtschaftswissenschaft, 12/2006, ISSN-1611-1311.
- [2] Erel E., Sarin S. A.: *Survey of the Assembly Line Balancing Procedures*. Production Planning and Control Vol.9, No.5, 1998, pp.414-134.
- [3] Hackman S., Magazine M., Wee T.: *Fast, effective algorithms for simple assembly line balancing problems*. Operations Research 37, 1989, pp.916-924.
- [4] Kilbridge M.D., Wester L.: *A Heuristic Method of Assembly Line Balancing*. The Journal of Industrial Engineering, Vol.12, 1961, pp.292-298.
- [5] Petroff J.N.: *Hanbook of MRP II and JIT. Strategies for Total Manufacturing Control*. Prentice Hall Direct USA 1993.
- [6] 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.
- [7] Salveson M.E.: *The Assembly Line Balancing Problem*. The Journal of Industrial Engineering Vol.6, 1955, pp.18-25.
- [8] Scholl A.: *Balancing and Sequencing of Assembly Lines*. Physica-Verlag Heidelberg 1998.
- [9] Shkurba V.V. Beletskii.: *Numerical methods for assembly line balancing problem (survey)*. Cybernetics and system analysis, Vol. 13, Number 1, 1977, pp.96-108.

Praca współfinansowana ze środków BK 214/Rau1/2011/t5.

JUST IN TIME STRATEGY IN ASSEMBLY LINE BALANCING PROBLEM

Abstract

In the paper results of investigation of just in time strategy in assembly line balancing problem are presented. Popular and well-known heuristics were discussed and problem of disruptions during work in progress of assembly line is considered. Author shows the influence of stops of the line and compares balance of the line with deterministic times and with time changes of tasks. The influence of time changes on value of final products is presented and new modified quality measures of balance of assembly line are given.

Keywords: heuristics methods, assembly line balancing problem, heuristics