

LINIA MONTAŻOWA Z WIELOMA OPERATORAMI NA POJEDYNCZEJ STACJI ROBOCZEJ

Waldemar GRZECHCA

Streszczenie: Obecnie najczęściej spotykanymi procesami produkcyjnymi są procesy montażowe mające na celu złożenie produktu finalnego z wielu części składowych, typowe dla między innymi przemysłu samochodowego, maszynowego czy elektronicznego. W artykule przedstawiono i przeanalizowano algorytm uwzględniający balansowanie linii montażowej wieloma operatorami na pojedynczej stacji roboczej. Uzyskane wyniki porównano z wynikami otrzymywanymi w przypadku balansu linii pojedynczej na której liczba operatorów jest równa liczbie wykorzystywanych stacji roboczych.

Słowa kluczowe: stacja robocza, problem balansowania linii montażowej, algorytmy heurystyczne.

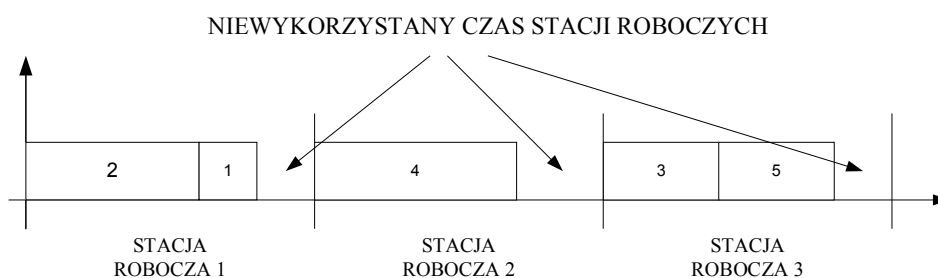
1. Problem balansowania linii montażowej

Problem balansowania linii montażowej istnieje ponad 100 lat. To wtedy po raz pierwszy stworzono linie montażową z cyklem produkcyjnym w zakładach produkcyjnych Forda. W roku 1955 został sformułowany matematyczny opis tego typu linii i od tego czasu problem przydziału zadań do stanowisk montażowych jest badany przez wielu naukowców oraz praktyków na całym świecie [1, 2]. Pierwsza opisana linia była linią szeregową i w stosunku do dzisiejszych systemów produkcyjnych była linią bez jakichkolwiek ograniczeń. Z czasem okazało się, sformułowany problem wymaga dodatkowo wielu ograniczeń a struktura linii szeregowej wzbogaciła się o stanowiska równoległe, możliwość prowadzenia montażu z określonych pozycji (strona prawa, strona lewa, dół, góra), ograniczenia powierzchni stacji, itd. Od kilku lat dochodzą jeszcze kolejne zagadnienia: demontażu (recyclingu) oraz rebalansu istniejących już linii produkcyjnych. Pierwsze zagadnienie to demontaż zużytych produktów, w którym pojawiają się części do ponownego wykorzystania, ale także elementy zawierające groźne dla zdrowia substancje. Drugie zagadnienie jest zagadnieniem znanym już od ponad pół wieku jako problem balansowania linii montażowej TYPU 2 (stała liczba stanowisk montażowych, szukana minimalna wartość cyklu linii). Jednak analizując setki artykułów poświęconych temu tematowi można stwierdzić, iż ponad 90 % zajmuje się liniami tworzonymi od podstaw dla montażu nowego produktu finalnego. Dziś jednak produkcja masowa jednego wariantu produktu to przeszłość. Cykl życia produktu staje się coraz krótszy a zakłady produkcyjne, aby przetrwać zmieniają asortyment wytwarzanych wyrobów bardzo często. Linie produkcyjne są projektowane jako wielowersyjne oraz przygotowane do montażu już nie tylko różnych wersji tego samego wyrobu, ale wręcz do wytwarzania różnych wyrobów. Pociąga to za sobą konieczność szybkiego projektowania oraz tworzenia nowych balansów linii montażowych. Problem balansowania linii montażowej TYPU 1 (stały cykl, poszukiwana minimalna liczba stanowisk montażowych) oraz TYPU 2 jest problemem dualnym, tzn. znając rozwiązanie jednego można wyznaczyć rozwiązanie dla drugiego zagadnienia. W dalszej części artykułu zostanie przedstawiony sposób postępowania w przypadku znajomości algorytmów heurystycznych dla problemu TYPU 1 [2].

2. Algorytmy heurystyczne dla problemu balansowania linii montażowej (BLM)

2.1. Sformułowanie problemu BLM [1, 2]

Balansowanie linii montażowej polega na równomiernym rozłożeniu operacji pomiędzy stacje robocze linii tak, aby czas przestoju poszczególnych maszyn był minimalny. Zakłada się przy tym, iż znane są czasy wykonywania operacji na maszynach, relacje kolejnościowe istniejące pomiędzy operacjami wynikające z technologii wytwarzania produktu finalnego oraz wielkość cyklu produkcyjnego lub liczba maszyn. Aby proces balansowania był zakończony należy przydzielić każdą operację raz i tylko do jednej stacji roboczej (Rys. 1).



Rys. 1. Problem balansowania linii montażowej

2.2. Wybrane heurystyczne metody dla problemu BLM TYP 1

Algorytmy heurystyczne cechuje duża różnorodność. Ogólnie można je podzielić na algorytmy: szeregowania oraz przydziału. Do pierwszej grupy należą algorytmy, które pozwalają wyznaczyć bezpośrednio dopuszczalną sekwencję wykonywania operacji. Sekwencję tę wyznacza się na podstawie heurystycznych reguł. Do drugiej grupy należą algorytmy, które pozwalają wyznaczyć bezpośrednio dopuszczalne podzbiory operacji na stanowiskach pracy. Podzbiory te wyznacza się na podstawie reguł heurystycznych. Algorytmy szeregowania zaleca się, gdy cykl jest krótki względem czasów operacji, tzn. liczba operacji na stanowiskach pracy nie jest duża. W przeciwnym przypadku lepsze rezultaty dają algorytmy przydziału, ponieważ kolejność operacji niezależnych może być dowolna. Jedną z opisanych w literaturze heurystyk jest heurystyka IUFF.

Heurystyka Immediate Update First-Fit zaproponowana została przez Hackman'a w 1989 roku. Realizacja jej zależy od numerycznej wartości funkcji, które zostały przedstawione w Tabeli 1. Kroki tej heurystyki są następujące:

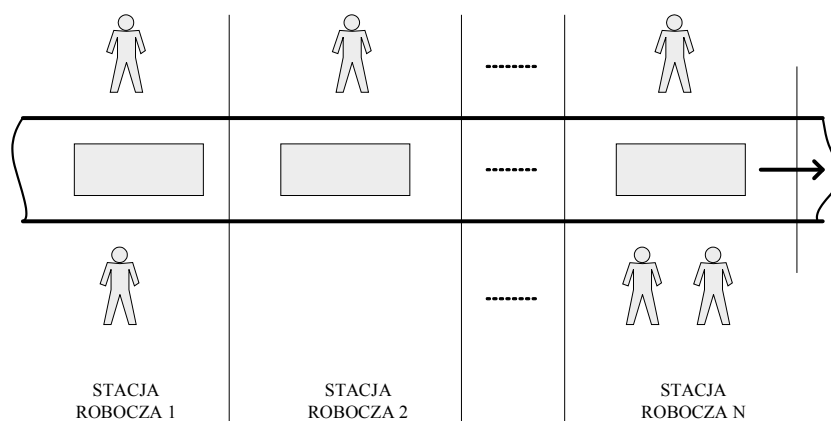
- określ numeryczny wynik dla każdej operacji,
- uaktualnij zbiór dostępnych operacji (operacje dla których operacje poprzedzające zostały przydzielone),
- spośród operacji, przydziel tą z najwyższą wartością wyniku numerycznego do pierwszej dostępnej stacji roboczej, w której pojemność oraz relacje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

Tab. 1. Funkcje numeryczne używane w metodzie UIFF

Nazwa	Opis
Positional Weight – PW	Suma czasu zadania x i wszystkich zadań, które po nim następują
Number of Followers – NOF	Liczba zadań następujących po zadaniu x
Number of Immediate Followers - NOIF	Liczba zadań następujących bezpośrednio po zadaniu x
Number of Predecessors – NOP	Liczba zadań poprzedzających zadanie x
Work Element Time – WET	Czas zadania x
Backward Recursive Positional Weight – BRPW	Suma czasu zadania x i wszystkich zadań w ścieżce, gdzie x jest zadaniem głównym

3. Linia montażowa z wielooperatorowymi stacjami roboczymi

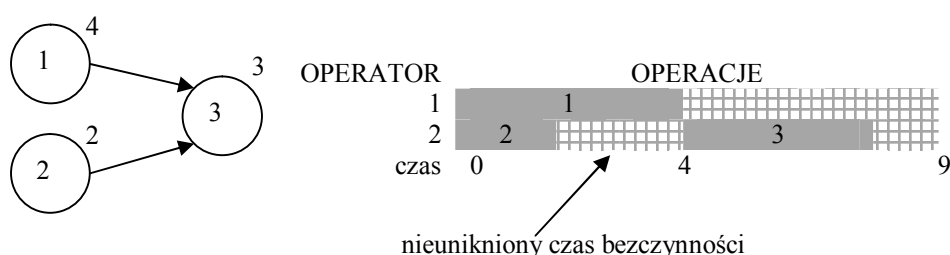
W ostatnich latach coraz więcej badań skupionych jest na modelowaniu bardziej realistycznych problemów balansu linii montażowej. Jako pierwszy temat balansu linii montażowej z wieloma operatorami na pojedynczej stacji roboczej został poruszony przez Dimitriadisa w 2006 roku [3]. Badany problem różni się od rozwiązań tradycyjnych tym, że istnieją wielooperatorowe stacje robocze na których grupy pracowników mogą wykonywać jednocześnie różne prace montażowe na tym samym produkcie i tej samej stacji. Należy zwrócić uwagę, że omawiane zagadnienie nie jest podobne do problemu stacji na której kilku operatorów współpracuje ze sobą podczas wykonywania jednego zadania na tym samym produkcie. Nie jest też to sytuacja w której kilku pracowników na jednej stacji wykonuje te same zadania lecz na różnych produktach. Układ pracowników i/lub maszyn na rozpatrywanej linii produkcyjnej przedstawiony został na Rys. 2.



Rys. 2. Linia montażowa z wielooperatorowymi stacjami roboczymi

Przedstawiany typ balansu występuje zwykle podczas produkcji wyrobów o dużych wymiarach, tak aby pracownicy nie blokowali się wzajemnie podczas prac montażowych [3, 4]. Produkt jest dostępny w czasie cyklu na każdej wieloosobowej stacji roboczej, a kilku operatorów jednocześnie wykonuje inne prace montażowe na tym samym produkcie. Wyrób zwalniany jest ze stacji roboczej, gdy wszyscy pracownicy ukończą

swoją pracę. Każdy operator rozpoczyna wykonywanie prac montażowych, jak tylko jest to technicznie możliwe, niezależnie od tego, czy produkt jest dostępny jedynie do niego czy też dla wszystkich operatorów jednocześnie. W klasycznej linii montażowej jedynymi ograniczeniami są relacje pierwszeństwa, które odpowiednio uwzględnione powodują, że praca na linii odbywa się w sposób ciągły. W liniach wykorzystujących stacje wieloosobowe pojawia się jednak pod tym względem znacząca różnica. Może się bowiem zdarzyć, że operacja przypisana do jednego pracownika może być opóźniona ze względu na zadania jakie wykonują inni pracownicy na tej samej stacji. Przykład takiej sytuacji widoczny jest na Rys. 3.



Rys. 3. Rozkład czasów dla 2 operatorów i 3 operacji na jednej stacji roboczej

W związku z tym, że czas bezczynności jest bardzo często nie do uniknięcia, w szczególności pomiędzy zadaniami przypisanymi do tej samej stacji roboczej, podczas dokonywania balansu takiej linii należy dodatkowo uwzględnić czasy zakończenia operacji. Rozwiązywanie problemu balansu linii montażowej ze stacjami wieloosobowymi można sprowadzić w pewnym sensie do podjęcie dwóch decyzji:

- które operacje powinny zostać przypisane dla każdego pracownika,
- ilu pracowników należy przydzielić do każdej ze stacji, tak aby nie blokowali się oni wzajemnie podczas montażu.

Bezpieczna liczba operatorów pracujących razem na tej samej stacji, nad tym samym produktem ograniczona jest przez maksymalny możliwy *współczynnik koncentracji pracowników (M_{max})* [3, 4]. Jest to czynnik zewnętrzny, i z góry określany przez projektanta linii produkcyjnej. Wpływ na jego wartość mają takie elementy jak struktura i wielkość produktu, projekt stacji roboczej, przepływ materiałów, odpowiednia liczba narzędzi na każdym stanowisku itp. Głównym celem stosowania tego typu stacji wieloosobowych w liniach produkcyjnych jest minimalizowanie liczby stacji roboczych na linii przy zachowaniu optymalnej efektywności linii. Mimo większej złożoności problemu w przypadku istnienia wielooperatorowych stacji roboczych, takie linie montażowe posiadają kilka zalet w porównaniu z tradycyjnymi liniami, przez co mają nad nimi wyraźną przewagę. Przede wszystkim poprzez minimalizację liczby stanowisk roboczych uzyskuje się fizyczne skrócenie długości linii. Powoduje to, że ta sama liczba pracowników może być przydzielona do mniejszej liczby stacji, podczas gdy całkowita wydajność linii, pod względem czasu bezczynności i wielkości wyjściowej produkcji pozostaje taka sama. Taka poprawa wykorzystania przestrzeni jest często dodatkowym atutem podczas balansowania dużych systemów, zwłaszcza jeśli istnieją ograniczenia przestrzeni produkcyjnej z powodu projektu budowlanego [3]. Ponadto krótsza linia zmniejsza

potrzeby pracowników na narzędzia bowiem pracownicy pracujący razem w tej samej stacji roboczej mogą dzielić narzędzia lub urządzenia czy chociażby gniazdka elektryczne.

4. Ocena rozwiązania problemu BLM

Balansowanie linii montażowej jest najlepsze, gdy po przypisaniu operacji i pracowników do stacji, obciążenie (suma czasów operacji elementarnych) każdej ze stacji jest równa czasowi cyklu. Niestety nie zawsze jest to możliwe, dlatego wprowadzone zostały miary pozwalające na porównywanie uzyskanych balansów. Wśród dostępnych miar do dalszej analizy uwzględniane są tylko dwie, które umożliwiają porównanie balansu wyznaczonego dla linii ze stacjami wielooperatorowymi z balansem uzyskanym dla linii klasycznej: efektywność linii oraz współczynnik wykorzystania przestrzeni. Należy jednak mieć świadomość aby do szczegółowej oceny wyniku wykorzystywać również dodatkowe miary oceny rozwiązania problemu BLM.

4.1. Efektywność linii

Wielkość określająca stosunek całkowitego czasu wszystkich operacji do czasu cyklu mnożonego razy całkowitą liczbę operatorów na linii. Wyrażony jest wzorem (1) i obrazuje procentowe wykorzystanie linii montażowej.

$$e = \frac{\sum_{w=1}^W t_w}{M \cdot T} * 100\% \quad (1)$$

gdzie: W – liczba operacji,
t_w – czas pracy operacji w,
M – całkowita liczba operatorów na linii,
T – czas cyklu linii montażowej.

4.2. Współczynnik wykorzystania przestrzeni

Czynnik definiowany jako całkowita przestrzeń produkcyjna wymagana przy użyciu linii ze stacjami wieloosobowymi w porównaniu z przestrzenią zajmowaną przez prostą linię montażową przy tej samej produkcji i efektywności. Matematycznie określony jest wzorem (2). Współczynnik waha się od 100% w przypadku klasycznej konfiguracji linii montażowej, do 1/M * 100% w przypadku przypisania wszystkich pracowników do jednej stacji roboczej.

$$f = \frac{N}{M} * 100\% \quad (2)$$

gdzie: N – całkowita liczba stacji roboczych na linii,
M – całkowita liczba operatorów na linii.

5. Algorytm przydziału zadań

Analizowana w artykule metoda przydziału zadań do pracowników pracujących jednocześnie nad tym samym produktem na tej samej stacji jest heurystyką dwuetapową.

Najpierw generowany jest zbiór operacji możliwych do przypisania do pracowników, natomiast drugi etap odpowiada za poprawne przydzielenie zadań do każdego operatora. Innymi słowy, najpierw generowana jest lista zadań gotowych do przypisania dla danej stacji, a następnie spośród tej listy operacje są przypisywane do L pracowników pracujących razem na tej samej stacji, przy czym $L = M_{\max}, M_{\max} - 1, \dots, 1$. Z powstałych rozwiązań wybierane jest to o najmniejszym czasie bezczynności. By ograniczyć złożoność obliczeniową wprowadzono ograniczenie w postaci górnej granicy – dopuszczalnego czasu bezczynności przypadającego na pracownika - UB_{MS} [3]. Przypisanie zadań dla L pracowników na danej stacji jest akceptowalne jeśli średni czas bezczynności na pracownika dla rozważanej stacji (MS_{S-L}) jest mniejszy lub równy dopuszczalnemu czasowi bezczynności UB_{MS} (dla $L > 1$). Ta górna granica może być obliczona zgodnie ze wzorem (3) czyli jako część średniego czasu bezczynności przypadającego na pracownika gdyby wszystkie operacje były przypisane do teoretycznej, minimalnej liczby pracowników na linii montażowej THL.

Dopuszczalny czas bezczynności przypadającego na pracownika:

$$UB_{MS} = \theta \cdot \frac{T \cdot THL - \sum_{w=1}^W t_w}{THL} \quad (3)$$

Teoretyczna minimalna liczba pracowników na linii montażowej:

$$THL = \left\lceil \frac{\sum_{w=1}^W t_w}{T} \right\rceil^+ \quad (4)$$

Średni czas bezczynności przypadającego na pracownika dla rozważanej stacji:

$$MS_{S-L} = \frac{L \cdot T - \sum_{w \in S} t_w}{L} \quad (5)$$

gdzie:

- T – czas cyklu linii montażowej,
- W – liczba wszystkich operacji w procesie produkcji,
- t_w – czas trwania operacji w,
- L – liczba pracowników na rozważanej stacji,
- S – zbiór operacji przypisanych do rozważanej stacji.

Wprowadzenia ograniczenia w postaci dopuszczalnego czasu bezczynności, a także kontrolowanie go za pomocą parametru θ ($0 < \theta < 1$) przyczynia się nie tylko do zmniejszenia czasu obliczeń, ale także powoduje wygładzenie obciążeń pomiędzy stacjami roboczymi, poprzez przypisanie w miarę podobnych obciążeń dla poszczególnych stacji. Dla pojedynczej linii montażowej z pojedynczymi operatorami stosujemy współczynnik gładkości, który dostarcza nam informacji o charakterze przestoju [5].

Kolejne kroki algorytmu [3] :

Krok 1: Ustalenie danych wejściowych:

- (a) T - czas cyklu;
- (b) M_{\max} – maksymalna liczba pracowników dla każdej stacji;
- (c) UB_{MS} – dopuszczalny czas bezczynności na pracownika (zgodnie ze wzorem 3).

Ustawienie numeru stacji $n = 1$. Przejście do kroku 2.

Krok 2: Uaktualnienie zbioru operacji, usunięcie operacji które zostały już przypisane. Rozpoczęcie przydzielania L operatorów pracujących razem nad tym samym produktem na stacji n . Poszukiwanie takiego zbioru operacji S przypisanego L pracownikom pracujących na stacji n , czyli $L = M_{\max}, M_{\max} - 1, \dots, 1$, spełniającego następujące warunki:

- (a) średni czas bezczynności na pracownika MS_{S-L} dla zbioru operacji S przypisanego do L pracowników (obliczonego zgodnie ze wzorem 5) jest mniejszy niż znaleziony do tej pory dla stacji n ,
- (b) zbiór operacji S może być z powodzeniem przypisany do L pracowników na stacji n tzn. że ostatnie zadanie ze zbioru S mieści się w ramach czasowych stawianych przez czas cyklu,
- (c) wybrany zbiór S jest dopuszczalny, czyli średni czas bezczynności na pracownika MS_{S-L} jest mniejszy bądź równy dopuszczalnemu czasowi bezczynności UB_{MS} albo MS_{S-L} jest minimalny wśród rozwiązań wyznaczonych dla stacji n -tej.

Poprawne przydzielenie zbioru operacji S do L operatorów na stacji n w punkcie 2(b) obejmuje następujące etapy:

Krok 2.1: Sporządzenie listy nieprzypisanych do tej pory operacji.

Krok 2.2: Szeregowanie listy dostępnych zadań według przyjętej heurystyki.

Krok 2.3: Obliczenie aktualnego obciążenia każdego z L pracowników pracujących na stacji n . Przydzielanie pierwszego zadania z listy do operatora z najmniejszym obciążeniem, drugiego zadania do operatora z drugim w kolejności najmniejszym obciążeniem itd. dopóki lista przydzielonych zadań będzie mniejsza niż liczba L pracowników zatrudnionych na stacji n .

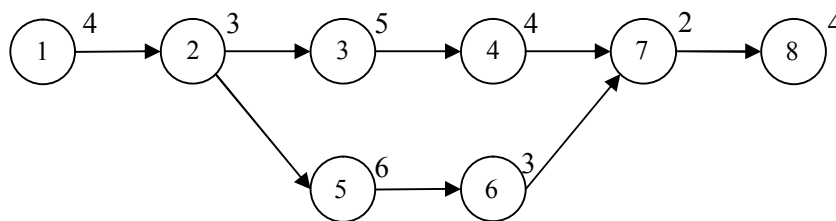
Krok 2.4: Usunięcie z listy dostępnych zadań operacji właśnie przydzielonych, powrót do kroku 2.1 dopóki wszystkie zadania ze zbioru S nie zostaną przydzielone.

Krok 3: Przyjęcie rozwiązania z poprzedniego kroku dla stacji n . Oznacza to przypisanie L operatorom pracującym razem na stacji n -tej zbioru operacji S . Usunięcie z listy dostępnych zadań operacja które zostały już przydzielone i przejście do kolejnej stacji ($n = n + 1$) oraz kroku 2, dopóki wszystkie zadania nie zostaną przydzielone.

Aby zobrazować działanie algorytmu w pkt. 6 prześledzono jego działanie krok po kroku oraz porównano wynik końcowy z balansem dla linii montażowej z pojedynczymi operatorami na każdej stacji roboczej.

6. Przykład obliczeniowy

Rozważamy w dalszych obliczeniach przykład numeryczny o 8 zadaniach i grafie kolejnościowym przedstawionym na Rys. 4. Obok węzłów grafu umieszczony liczby odpowiadające czasom realizacji zadań.



Rys. 4. Graf relacji kolejnościowej dla przykładu numerycznego

Kolejne kroki algorytmu:

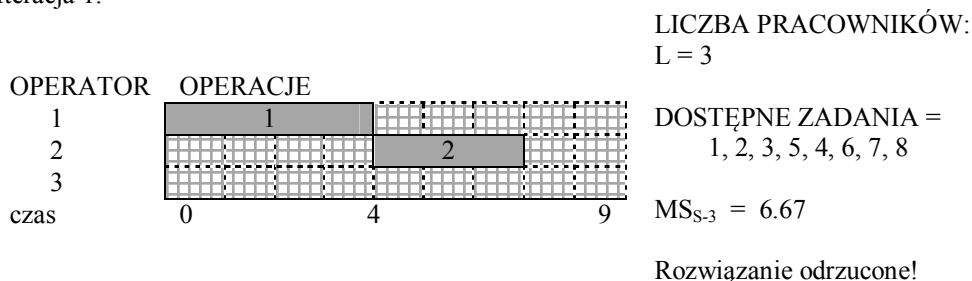
Krok 1: Ustalenie danych wejściowych: czas cyklu $T = 9$, maksymalna liczba pracowników dla każdej stacji $M_{\max} = 3$, minimalna liczba pracowników na linii $THL = 4$, dopuszczalny czas bezczynności na pracownika (zgodnie ze wzorem (3) dla $\theta = 0,5$) $UB_{MS} = 0.625$. Ustawienie numeru stacji $n = 1$. Przejście do kroku 2.

Krok 2: Uaktualnienie zbioru operacji które nie zostały jeszcze przypisane:

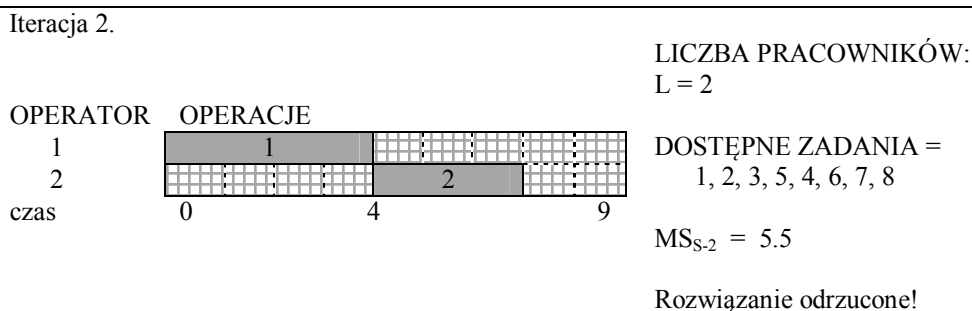
$S = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8\}$. Rozpoczęcie przydzielania L operatorów pracujących razem nad tym samym produktem na stacji 1. Poszukiwanie takiego zbioru operacji S przypisanego L pracownikom pracujących na stacji 1, czyli $L = 3, 2, 1$, spełniającego wcześniej opisane warunki:

STACJA ROBOCZA $n=1$

Iteracja 1.

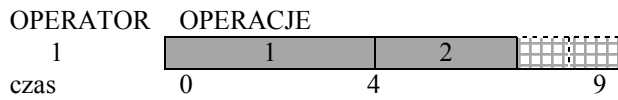


Po uszeregowaniu zadań zgodnie z wybraną metodą szeregowania uzyskano kolejność: 1, 2, 3, 5, 4, 6, 7, 8. Przydzielono operacje do trzech pracowników respektując relacje kolejnościowe oraz ograniczenie w postaci czasu cyklu. Uzyskane rozwiązanie nie spełnia wymaganych warunków (iteracja 1) dlatego rozpatrujemy $L = 2$ pracowników na stacji (iteracja 2):



Przydzielenie operacji do dwóch pracowników również nie spełnia wymaganych warunków, dlatego przypisujemy do stacji $L = 1$ pracowników:

Iteracja 3.



LICZBA PRACOWNIKÓW:
 $L = 1$

DOSTĘPNE ZADANIA =
1, 2, 3, 5, 4, 6, 7, 8

$MS_{S-1} = 2.$

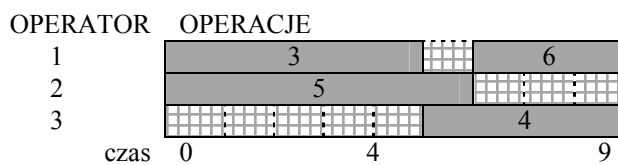
Rozwiązanie zaakceptowane!

Krok 3: Przyjęcie rozwiązania z poprzedniego kroku dla stacji 1. Oznacza to przypisanie 1-go operatora do stacji 1-szej i zbioru operacji $S = \{1, 2\}$. Przejście do kolejnej stacji ($n = 2$) oraz kroku 2.

Krok 2: Uaktualnienie zbioru operacji które nie zostały jeszcze przypisane: $S = \{3, 4, 5, 6, 7, 8\}$. Rozpoczęcie przydzielania L operatorów pracujących razem nad tym samym produktem na stacji 2. Poszukiwanie takiego zbioru operacji S przypisanego L pracownikom pracujących na stacji 1, czyli $L = 3, 2, 1$ spełniającego wcześniej opisane warunki:

STACJA ROBOCZA $n=2$

Iteracja 4.



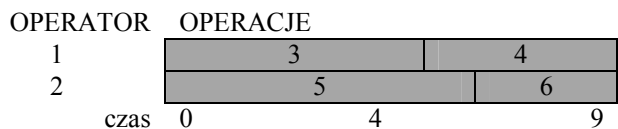
LICZBA PRACOWNIKÓW:
 $L = 3$

DOSTĘPNE ZADANIA =
3, 5, 4, 6, 7, 8

$MS_{S-3} = 3$

Rozwiązanie odrzucone!

Iteracja 5.



LICZBA PRACOWNIKÓW:
 $L = 2$

DOSTĘPNE ZADANIA =
3, 5, 4, 6, 7, 8

$MS_{S-2} = 0$

Rozwiązanie zaakceptowane!

Przypisanie trzech pracowników do stacji 2-giej, a następnie zbioru operacji do operatorów nie spełnia wymogów. Średni czas bezczynności stacji 2-giej z dwoma pracownikami wynosi 0, a więc spełnia stawiane warunki.

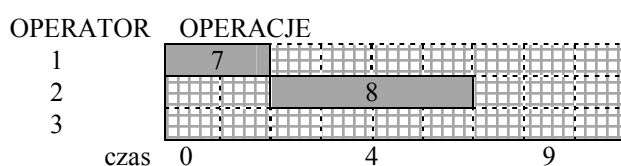
Krok 3: Przyjęcie rozwiązania z poprzedniego kroku dla stacji 2. Oznacza to przypisanie dwóm operatorom pracującym razem na stacji 2-giej zbioru operacji $S = \{3, 4, 5, 6\}$. Przejście do kolejnej stacji ($n = 3$) oraz kroku 2.

Krok 2: Uaktualnienie zbioru operacji które nie zostały jeszcze przypisane: $S = \{7, 8\}$.

Rozpoczęcie przydzielania L operatorów pracujących razem nad tym samym produktem na stacji 3. Poszukiwanie takiego zbioru operacji S przypisanego L pracownikom pracujących na stacji 1, czyli $L = 3, 2, 1$, spełniającego wcześniej opisane warunki.

STACJA ROBOCZA $n=3$

Iteracja 6.



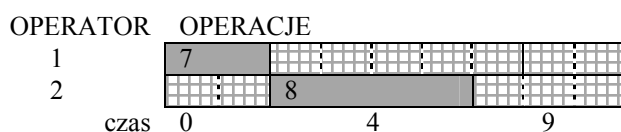
LICZBA PRACOWNIKÓW:
 $L = 3$

DOSTĘPNE ZADANIA = 7,
8

$MS_{S-3} = 7$

Rozwiązanie odrzucone!

Iteracja 7.



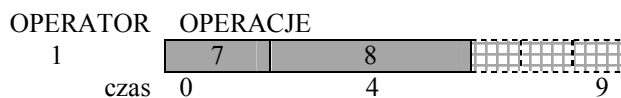
LICZBA PRACOWNIKÓW:
 $L = 2$

DOSTĘPNE ZADANIA = 7,
8

$MS_{S-2} = 6$

Rozwiązanie odrzucone!

Iteracja 8.



LICZBA PRACOWNIKÓW:
 $L = 1$

DOSTĘPNE ZADANIA = 7,
8

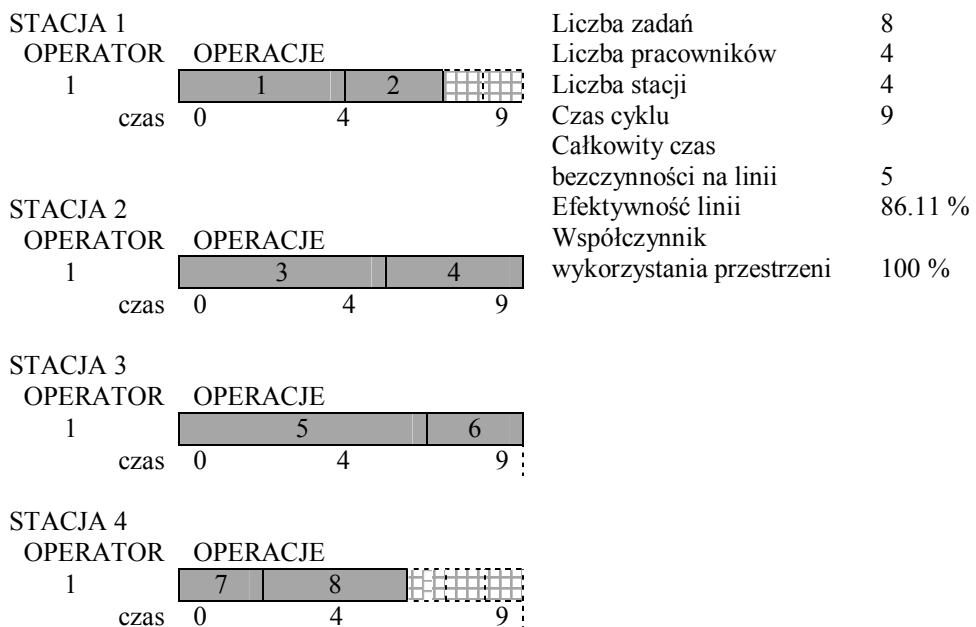
$MS_{S-1} = 3$

Rozwiązanie zaakceptowane!

Ostateczne uzyskane rozwiązanie, wraz z obliczonymi miarami przedstawia się następująco:



Całkowita liczba operatorów na rozważanej linii montażowej wynosi 4, co jest równe teoretycznej minimalnej liczbie pracowników na linii. Tak więc rozwiązanie jest optymalne pod względem liczby pracowników. Dodatkowo uzyskano współczynnik wykorzystania przestrzeni 75 %, co znaczy że wyznaczona linia jest mniejsza (pod względem długości) od tradycyjnej o długość jednej stacji. Dla porównania balans linii jaki uzyskano by dla tego samego problemu przy założeniu że na linii montażowej dostępne są tylko pojedyncze stacje robocze:



7. Wnioski

Przeanalizowany algorytm jest przeznaczony do uzyskiwania balansów linii montażowych zawierających stanowiska wielooperatorowe. Systemy obejmujące tego typu linie różnią się od tradycyjnych tym, że na każdej stacji istnieje możliwość pracy kilku operatorów wykonujących różne prace nad tym samym produktem. Omawiana metoda stosowana jest głównie w celu maksymalizacji wydajności linii oraz aby osiągnąć lepsze wykorzystanie przestrzeni. Wyniki przeprowadzonych i zamieszczonych w pracy badań pozwalają przypuszczać, że cechuje się ona zadawalającą skutecznością. Przedstawiona procedura powoduje poprawę wykorzystania przestrzeni często przy zachowaniu minimalnej liczby operatorów.

Praca powstała przy wsparciu środków z grantu BK-214/Rau1/2013

Literatura

1. Salveson M.E.: The Assembly Line Balancing Problem, The Journal of Industrial Engineering Vol.6, 1955, 18 – 25.
2. Scholl A.: Balancing and Sequencing of Assembly Lines, Physica-Verlag, Heidelberg 1999.
3. Dimitriadis S. G.: Assembly line balancing and group working: A heuristic procedure for workers' groups operating on the same product and workstation, Computers & Operations Research, vol. 33, 2006, 2757 – 2774.
4. Roshani A., Rozhani A., Rozhani A., Salehi M., Esfandyari A.: A simulated annealing algorithm for multi-manned assembly line balancing problem, Journal of Manufacturing System, vol. 32, 2013, 238 – 247.
5. Baybars I., A survey of exact algorithms for the simple assembly line balancing problem, Management Science, 32(8), 1986, 909 – 932.

Dr inż. Waldemar Grzechca
Instytut Automatyki
Politechnika Śląska
44-100 Gliwice, ul. Akademicka 16
tel.: 32 237 21 98