

**RÓWNOWAŻENIE LINII PRODUKCYJNEJ NA PRZYKŁADZIE PROCESU
WYTWÓRCZEGO OBUWIA
BALANCING OF THE PRODUCTION LINE ON EXAMPLE OF
MANUFACTURING SHOES**

Małgorzata GRZELAK
malgorzata.grzelak@wat.edu.pl

Wojskowa Akademia Techniczna
Wydział Logistyki
Instytut Logistyki

Streszczenie: Przedmiotem pracy jest opis techniki równoważenia linii produkcyjnej. Narzędzie to umożliwia przydzielanie poszczególnych zadań procesu wytwórczego na stanowiska robocze, tak aby zminimalizować całkowity czas bezczynności. Szczególną uwagę poświęcono możliwościom usprawnienia otrzymanych rozwiązań.

Abstract: The aim of this article was to present balancing of the production line. This tool is useful to assign tasks in the manufacturing process at individual workstations in order to minimize the total idle time. Particular attention was paid to opportunities to improve the solutions obtained.

Słowa kluczowe: równoważenie, linia produkcyjna, system produkcyjny.

Key words: balancing, production line, production system.

WSTĘP

Istotą funkcjonowania przedsiębiorstwa produkcyjnego jest wytwarzanie dóbr mających zaspokoić potrzeby klienta oraz umożliwić generowanie maksymalnego zysku. Przy realizacji tak założonego celu, ważnym jest efektywne zarządzanie systemem produkcyjnym w firmie. Jedną z możliwości jest racjonalny rozdział operacji realizowanych na punktach wytwórczych oraz przestrzenne rozlokowanie zasobów. W poniższym artykule przedstawiony zostanie model równoważenia linii produkcyjnej, który umożliwia przydzielenie zadań do poszczególnych stanowisk roboczych, tak aby zminimalizować całkowity czas bezczynności, tj. okres kiedy materiał, surowiec leży bezproduktywnie i nie wykonywane są na nim żadne czynności.

1. ORGANIZACJA SYSTEMU PRODUKCYJNEGO W PRZEDSIĘBIORSTWIE WYTWÓRCZYM

Logistyka produkcji zajmuje się planowaniem, organizowaniem, stymulowaniem i kontrolowaniem przepływu materiałów, surowców, części i elementów pomiędzy poszczególnymi magazynami gniazdowymi, wydziałowymi i stanowiskowymi do końcowych

miejsc składowania wyrobów gotowych i zbytu. Jej zadaniem nie jest ingerowanie w technologię procesów wytwarzania, lecz organizacja systemu produkcyjnego wraz z jego otoczeniem [1].

Przedsiębiorstwo produkcyjne prowadzi działalność, którego celem jest utworzenie określonych dóbr, zwanych produktami, tj. wyrobów lub usług. Dla osiągnięcia planowanych wyników finansowych istotnym jest redukcja generowanych kosztów. Jedną z możliwości obniżenia wydatków jest sprawne i efektywne zarządzanie procesami wytwórczymi realizowanymi w ramach systemu produkcyjnego. Stanowi on celowo zaprojektowany oraz zoorganizowany układ energetyczny, materialny i informacyjny, który jest użytkowany przez człowieka, a którego celem jest tworzenie określonych wyrobów zaspokajających potrzeby klienta. W ramach tej struktury realizowane są procesy produkcyjne, rozumiane jako sekwencja działań (czynności, operacji i zadań) w wyniku jakich odbiorca otrzymuje wymagane wyroby lub usługi.

Osiągnięcie celu podmiotu gospodarczego zależy od odpowiedniego wyboru zarówno systemu, jak i procesu produkcyjnego, który zależy od:

- fizycznych wymagań dotyczących produktu;
- stopnia podobieństwa poszczególnych dóbr;
- wielkości produkcji;
- prawdopodobieństwa wystąpienia indywidualizacji artykułu w łańcuchu dostaw.

W zależności od spełniania powyższych kryteriów czynności wytwórcze realizowane są w ramach pięciu podstawowych procesów, tj.:

- produkcji jednostkowej;
- produkcji seryjnej;
- produkcji stacjonarnej;
- linii produkcyjnej;
- procesów ciągłych [2].

Produkcja jednostkowa dedykowana jest wytwarzaniu szerokiego asortymentu o bardzo wysokiej indywidualności cech, w niewielkich ilościach egzemplarzy. Charakteryzuje się zaangażowaniem pracowników o szerokim wachlarzu umiejętności, posługujących się narzędziami ogólnego przeznaczenia. Ponadto wytwarzane wyroby posiadają wysoce niestandardowe cechy oraz są odzwierciedleniem unikatowych życzeń klienta.

Przedsiębiorstwa zamujące się jednostkowym wytwarzaniem wyrobów i usług stosują zazwyczaj funkcjonalny układ rozlokowania zasobów, tzn. ich przestrzennego rozmieszczenia

względem funkcji (np. malowanie, spawanie). Wynika to z faktu, że produkty wytwarzane według indywidualnej technologii wymagają realizowania zmiennych sekwencji zadań.

Kolejnym rodzajem jest produkcja seryjna, która cechuje się przepływem produktów przez poszczególne etapy procesu wytwórczego grupami lub seriami. Istotnym nie jest określona wielkość produkcji, lecz stopień podobieństwa do siebie wyrobów oraz poziom specjalizacji stanowisk roboczych. Całość procesu produkcyjnego realizowana jest w sekwencjach przemieszczania, przetwarzania i oczekiwania na dalszą obróbkę materiałów i surowców pomiędzy poszczególnymi zadaniami i stanowiskami.

Trzecim rodzajem procesów wytwórczych wyróżnianych w literaturze jest produkcja stacjonarna. Stosowana jest ona do tworzenia dóbr wielkogabarytowych, których pozycja jest stała w ramach całego ciągu technologicznego. Oznacza to, że pracownicy, materiały i maszyny dowożone są w miejsce produkcji, gdzie wykonują swoje czynności. Taki rodzaj wytwarzania ma zastosowanie w przemyśle stoczniowym czy hutniczym i wynika z trudności związanych z przemieszczaniem materiałów, surowców i półwyrobów pomiędzy kolejnymi stanowiskami roboczymi.

Linia produkcyjna to rodzaj procesu wytwórczego, który stosowany jest w tworzeniu standardowych wyrobów o identycznych lub bardzo zbliżonych parametrach. Wszystkie czynności realizowane są na kolejnych stanowiskach roboczych połączonych ze sobą za pomocą mechanicznych nośników, np. taśmociągów. Cechuje ją przedmiotowy układ rozlokowania zasobów, czyli sekwencyjne ich rozłożenie w kolejności wykonywania poszczególnych zadań w ciągu technologicznym.

Ponadto, przemieszczanie surowców wzdłuż linii odbywa się we wcześniej ustalonym tempie, wynikającym z założonej wielkości produkcji, zwanym czasem trwania cyklu (okresem pomiędzy ukończeniem kolejnych sztuk wyrobu). Pozwala to na osiągnięcie wysokiego stopnia specjalizacji oraz zwiększenie efektywności. Taki proces stosowany jest do wytwarzania dużej ilości pojedynczego produktu lub grupy zbliżonych wyrobów o tym samym rozmiarze, materiale czy etapie produkcji.

Piątym rodzajem procesów wytwórczych jest produkcja ciągła, która jest bardzo zbliżona do linii produkcyjnej. Służy do masowego wytwarzania wyrobów standardowym o ściśle określonym czasie realizacji poszczególnych zadań. Cechuje się małą elastycznością ze względu na bardzo specjalistyczny charakter wytwarzanych dóbr (przemysł chemiczny czy włókienniczy).

W zależności od rodzaju prowadzonej działalności gospodarczej przedsiębiorca może stosować jeden z powyższych rodzajów produkcji. Istotnym jest, aby całość działań

wyróżnianych w ciągu technologicznym została zorganizowana i rozdzielona, tak aby procesy te były zoptymalizowane. Jedną z metod jest bilansowanie linii wytwórczej, która zostanie przedstawiona w poniższej części artykułu.

2. RÓWNOWAŻENIE LINII PRODUKCYJNEJ NA PRZYKŁADZIE WYTWARZANIA OBUWIA

Harmonogramowanie linii produkcyjnej jest techniką stosowaną przy tworzeniu przedmiotowego układu rozlokowania zasobów. Jej głównym celem jest przyporządkowywanie zadań do poszczególnych stanowisk roboczych, połączonych w ciąg technologiczny, aby dążyć do ich minimalnej liczby oraz do skrócenia całkowitego czasu bezczynności na wszystkich punktach roboczych przy założonym poziomie produkcji. Optymalnym rozwiązaniem jest równomierne obciążenie wszystkich stanowisk pracy [3].

Równoważenie linii realizowane jest poprzez dokładną analizę procesu wytwórczego, dokonywaną zgodnie z sześciostopniową procedurą. W artykule przedstawiony zostanie model usprawnienia linii produkcyjnej na przykładzie przedsiębiorstwa tworzącego obuwie.

Pierwszym krokiem postępowania jest identyfikacja zadań występujących w ramach procesu oraz poszczególnych czasów ich realizacji, a także całkowitego okresu produkcji wraz z zachodzącymi relacjami następstw, tzn. uwzględnieniem, które czynności wykonywane muszą być w pierwszej kolejności.

W analizowanym przypadku proces wytwórczy obejmuje wykonanie trzynastu czynności. Oznaczone one zostały kolejnymi literami alfabetu w następujący sposób:

- A – wybór projektu oraz skóry do produkcji.
- B – ręczne wycinanie elementów.
- C – wycinanie części za pomocą wycinarki hydraulicznej.
- D – „ścienianie” brzegów fragmentów cholewki.
- E – zszywanie składników cholewki na maszynie.
- F – formowanie obuwia.
- G – wykrojenie podeszwy.
- H – przyszycie pasa tkaniny w formie wypustki do podeszwy.
- I – połączenie kopyta z podeszwą i cholewką.
- J – wypełnienie podeszwy wewnętrznej płynnym korkiem i usztywnieniem.
- K – przyszycie zewnętrznej podeszwy.
- L – przyczepienie obcasa.
- M – pakowanie obuwia w opakowanie wraz ze sznorówkami.

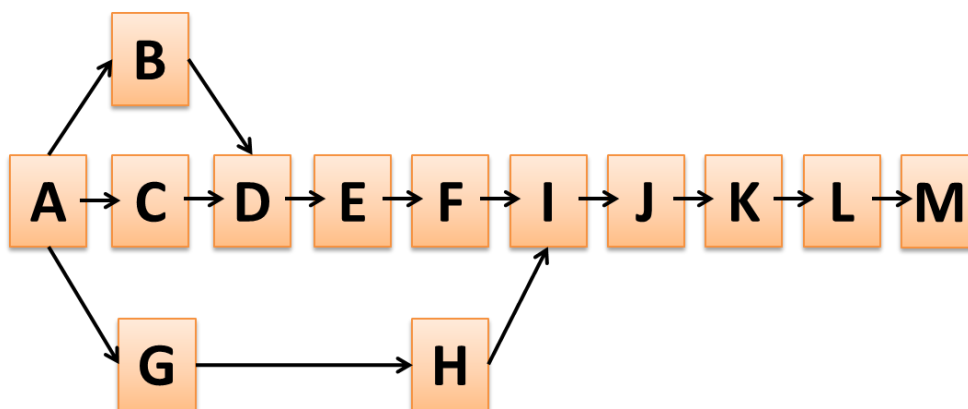
Tabela 1 przedstawia wykaz poszczególnych czynności wraz z obliczonymi czasami ich trwania oraz określonymi relacjami następstw wszystkich operacji.

Tabela 1. Wykaz zadań wraz z czasami ich realizacji

Czynność	Czas realizacji [s]	Kolejność czynności
A	5	brak
B	25	A
C	20	A
D	20	B,C
E	45	D
F	35	E
G	15	A
H	27	G
I	18	F,H
J	10	I
K	19	J
L	20	K
M	15	L

Źródło: Opracowanie własne.

Kolejnym krokiem jest zbudowanie wykresu kolejności realizacji poszczególnych zadań (rysunek nr 1).



Rys. 1. Wykres kolejności realizacji zadań w procesie produkcyjnym

Źródło: opracowanie własne.

W trzecim kroku, po wyszczególnieniu operacji i przedstawieniu ich na wykresie, należy obliczyć takt produkcji, który rozumiany jest jako dopuszczalny przedział czasu pomiędzy ukończeniem kolejnych jednostek obuwia. Stanowi on iloraz dopuszczalnego czasu wytwarzania oraz wymaganej wielkości produkcji (wzór nr 1). W omawianym

przedsiębiorstwie zgodnie z planem nadrzędnym zakłada się wytwarzanie 800 szt. obuwia dziennie. Fabryka pracuje w dwuzmianowym systemie trwającym po 8 godzin.

$$takt = \frac{T_p}{W_p} \quad (1)$$

gdzie:

T_p – dopuszczalny czas produkcji,

W_p – wymagana wielkość produkcji.

Zgodnie z powyższym, w analizowanej linii produkcyjnej:

$$takt = \frac{T_p}{W_p} = \frac{8 \text{ godz.}}{800 \text{ szt.}} = \frac{57600 \text{ s}}{800 \text{ szt.}} = 72 \text{ s}$$

Na tej podstawie należy obliczyć minimalną teoretyczną liczbę stanowisk roboczych (wzór nr 2), tj. najmniejszą liczbę punktów, do których można przydzielić zadania bez przekroczenia taktu.

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

gdzie:

LS_{\min} – minimalna teoretyczna liczba stanowisk,

T_i – całkowity czas potrzebny na wykonanie wszystkich zadań.

Stąd:

$$LS_{\min} = \frac{\sum_{i=1}^l T_i}{takt} = \frac{274 \text{ s}}{72 \text{ s}} = 3,80 \approx 4 \text{ st. robocze}$$

Kolejnym krokiem jest przypisanie zadań i operacji do poszczególnych stanowisk. Należy pamiętać, że obliczona powyżej liczba jest minimalna, w rzeczywistości może się okazać, że aby nie przekroczyć taktu należy utworzyć ich więcej. Przydzielając zadania należy kierować się poniższymi zasadami:

- rozpocząć od pierwszego stanowiska i przypisywać mu operacje tak długo, aż zostanie osiągnięty moment, kiedy każde kolejne zadanie spowoduje przekroczenie taktu produkcji;
- gdy nie wszystkie czynności zostaną rozmieszczone należy rozpocząć tworzenie kolejnego (drugiego) punktu wytwarzania;
- powyższą procedurę powtarza się do momentu rozdziału wszystkich zadań.

Ponadto, należy pamiętać, aby dzieląc czynności rozpocząć od operacji wolnych oraz poprzedzających największą ilość zadań oraz od tych, które są najbardziej czasochłonne, a których przypisanie nie powoduje przekroczenia taktu.

Przydział zadań w analizowanej linii produkcyjnej został przedstawiony w tabelach 2-6, a obciążenie poszczególnych stanowisk roboczych zilustrowany na rysunku nr 2.

Tabela 2. Przydział zadań do stanowiska nr 1

Stanowisko robocze nr 1	
Zadanie A	5s
Zadanie B	25s
Zadanie C	20s
Zadanie D	20s
Ogółem	70s

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 3. Przydział zadań do stanowiska nr 2

Stanowisko robocze nr 2	
Zadanie E	45s
Zadanie G	15s
Ogółem	60s

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 4. Przydział zadań do stanowiska nr 3

Stanowisko robocze nr 3	
Zadanie F	35s
Zadanie H	27s
Ogółem	62s

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 5. Przydział zadań do stanowiska nr 4

Stanowisko robocze nr 4	
Zadanie I	18s
Zadanie J	10s
Zadanie K	19s

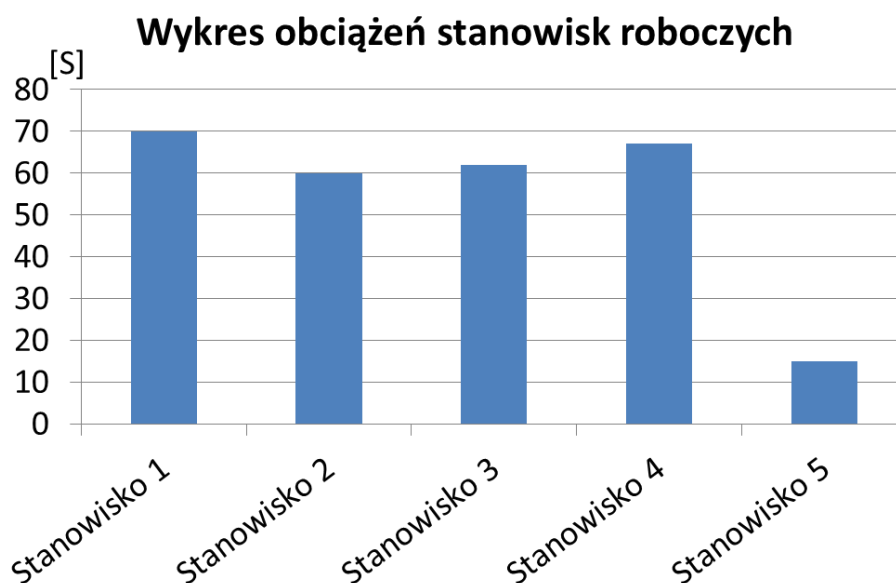
Zadanie L	20s
Ogółem	67s

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 6. Przydział zadań do stanowiska nr 5

Stanowisko robocze nr 5	
Zadanie M	45s
Ogółem	60s

Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 2. Wykres obciążeń poszczególnych stanowisk roboczych

Źródło: Opracowanie własne.

Ostatnim krokiem omawianej procedury jest obliczenie czterech wskaźników wydajności proponowanej linii produkcyjnej. Pierwszym miernikiem jest *całkowity czas trwania cyklu CTC*, który rozumiany jest jako czas pracy na najbardziej obciążonym stanowisku roboczym. W omawianym przypadku *CTC* wynosi 70s (czas wykonywanych operacji na pierwszym punkcie wytwórczym).

Kolejnym wskaźnikiem jest *czas bezczynności CB*, który definiowany jest jako suma wszystkich okresów, w których na wyrobie nie wykonywane są żadne czynności. Obliczany jest według wzoru nr 3.

$$CB = LS_r \cdot CTC - \sum_{i=1}^I T_i \quad (3)$$

gdzie:

LS_r - rzeczywista liczba stanowisk roboczych,

T_i - całkowity czas potrzebny na wykonanie wszystkich zadań.

W analizowanym przypadku *CB* wynosi:

$$CB = LS_r \cdot CTC - \sum_{i=1}^I T_i = 5 \cdot 70s - 274s = 76s$$

Ostatnimi wskaźnikami są *procentowy udział czasu beczynności PCB* w procesie wytwórczym (wzór nr 4) oraz *opóźnienie efektywności OE* (wzór nr 5).

$$PCB = \frac{CB}{\sum_{i=1}^I T_i} \cdot 100\% \quad (4)$$

$$OE = 100\% - PCB \quad (5)$$

Stąd:

$$PCB = \frac{CB}{\sum_{i=1}^I T_i} \cdot 100\% = \frac{76s}{274s} \cdot 100\% = 27,74\%$$

$$OE = 100\% - PCB = 100\% - 27,74\% = 72,26\%$$

Podczas równoważenia linii produkcyjnej najbardziej pożądana jest sytuacja kiedy występuję zerowy czas beczynności, tzn. wszystkie stanowiska są równomiernie obciążone. Dlatego przydzielając zadania do poszczególnych punktów należy pamiętać, aby rozwiązania charakteryzowały się wysoką wartością opóźnienia efektywności.

Wypracowane zgodnie z zasadami rozwiązanie nie zawsze prowadzi do najlepszego rozdziału zadań, dlatego zawsze należy sprawdzić czy nie istnieje możliwość udoskonalenia otrzymanych wyników.

2.1. Propozycje usprawnienia linii produkcyjnej

Wariant I

Modyfikacje linii produkcyjnej mają na celu zmniejszenie czasu beczynności na poszczególnych stanowiskach, a co za tym idzie wzrost efektywności procesu wytwórczego. Pierwszą propozycją zmian jest przeniesienie zadań z najbardziej obciążonego punktu na inne z zachowaniem relacji pierwszeństwa i następstw wynikających z ciągu technologicznego.

W takim rozwiązaniu dokonano ponownego przydziału zadań do poszczególnych stanowisk roboczych (tabele 7 -11), w taki sposób, aby obniżyć całkowity czas trwania cyklu, tj. czas pracy na najbardziej obciążonym punkcie wytwarzania.

Tabela 7. Przydział zadań do stanowiska nr 1

Stanowisko robocze nr 1	
Zadanie A	5s
Zadanie B	25s
Zadanie C	20s
Ogółem	50s

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 8. Przydział zadań do stanowiska nr 2

Stanowisko robocze nr 2	
Zadanie D	20s
Zadanie E	45s
Ogółem	65s

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 9. Przydział zadań do stanowiska nr 3

Stanowisko robocze nr 3	
Zadanie G	15s
Zadanie F	35s
Ogółem	50s

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 10. Przydział zadań do stanowiska nr 4

Stanowisko robocze nr 4	
Zadanie H	27s
Zadanie I	18s
Ogółem	45s

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 11. Przydział zadań do stanowiska nr 5

Stanowisko robocze nr 5	
Zadanie J	19s
Zadanie K	10s
Zadanie L	20s

Zadanie M	15s
Ogółem	64s

Źródło: Opracowanie własne.

Poniżej przedstawiono wskaźniki efektywności uzyskane dla zmodernizowanej linii produkcyjnej:

- czas trwania cyklu,

$$CTC = 65s$$

- czas bezczynności,

$$CB = LS_r \cdot CTC - \sum_{i=1}^I T_i = 5 \cdot 65s - 274s = 51s$$

- procentowy udział czasu bezczynności,

$$PCB = \frac{CB}{\sum_{i=1}^I T_i} \cdot 100\% = \frac{51s}{274s} \cdot 100\% = 18,6\%$$

- opóźnienie efektywności.

$$OE = 100\% - PCB = 100\% - 18,6\% = 81,4\%$$

Wariant II

Kolejnym sposobem zwiększenia efektywności linii produkcyjnej jest przeznaczenie czasu bezczynności powstałego na najmniej obciążonym stanowisku roboczym na ostateczne czynności kontrolne i weryfikację poprawności procesu produkcyjnego. W tym celu należy przenieść zadanie *J* z piątego na czwarte stanowisko, a na ostatnim punkcie umieścić zadanie *N*, tj. kontrolę ostateczną, która trwa 10s.

Uzyskane w ten sposób wskaźniki efektywności kształtują się w następujący sposób:

- czas trwania cyklu,

$$CTC = 65s$$

- czas bezczynności,

$$CB = LS_r \cdot CTC - \sum_{i=1}^I T_i = 5 \cdot 65s - 284s = 41s$$

- procentowy udział czasu bezczynności,

$$PCB = \frac{CB}{\sum_{i=1}^I T_i} \cdot 100\% = \frac{41s}{284s} \cdot 100\% = 14,43\%$$

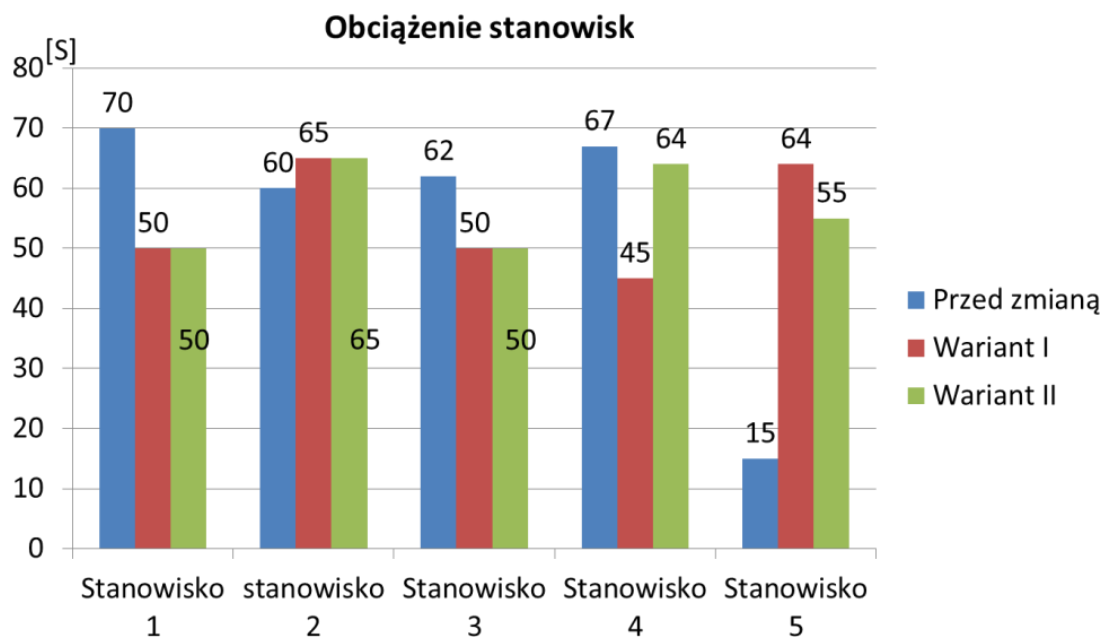
- opóźnienie efektywności.

$$OE = 100\% - PCB = 100\% - 14,43\% = 85,57\%$$

Wariant III

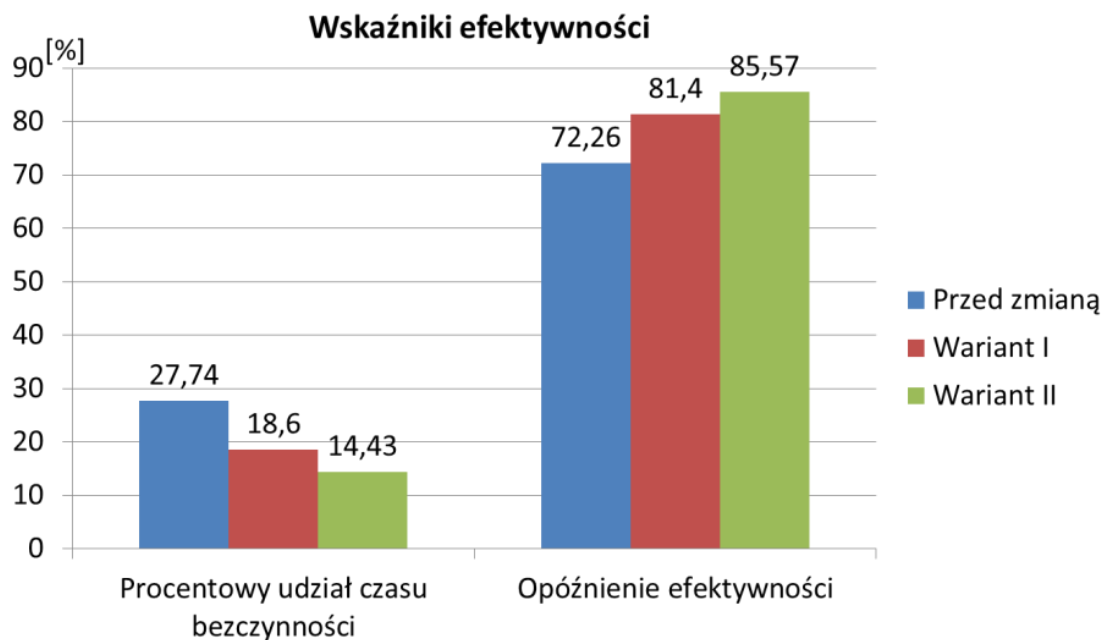
W przypadku, gdy nie ma możliwości przeniesienia zadania z najbardziej obciążonego stanowiska na inne, zasadnym jest utworzenie dodatkowego, równoległego miejsca pracy. Należy jednak pamiętać, że w takim przypadku następuje wzrost produkcji, której poziom może sięgać ponad zakładane wielkości, a co za tym idzie nastąpi produkcja na zapas. Ponadto, każdorazowe tworzenie dodatkowego stanowiska roboczego wiąże się z generowaniem kosztów, m. in. wynikających z potrzeby zatrudnienia personelu.

Poniżej przedstawiono zestawienie wyników obciążenia stanowisk i wskaźników efektywności otrzymanych dla poszczególnych wariantów równoważenia linii produkcyjnej.



Rys. 3. Obciążenie poszczególnych stanowisk roboczych

Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 4. 4. Wskaźniki efektywności linii produkcyjnej w zależności od modyfikacji

Źródło: Opracowanie własne.

Na podstawie przedstawionych wykresów można wnioskować, że przeprowadzone usprawnienia umożliwiły skrócenie czasu bezczynności z poziomu 76s do 51s w wariacie pierwszym i 41s w wariacie drugim. Poziom procentowego udziału czasu bezczynności PCB kształtuje się odpowiednio 27,74%, 18,6% oraz 14,43% czasu trwania całego procesu. W związku z tym, należy dodatkowo rozważyć, potrzebę rotowania pracowników na poszczególnych stanowiskach, tak aby wszyscy byli równomiernie obciążeni zadaniami.

PODSUMOWANIE

W powyższym artykule scharakteryzowano podstawowe procesy produkcyjne występujące w przedsiębiorstwach wytwórczych. Zaprezentowana została technika równoważenia linii produkcyjnej na przykładzie technologii tworzenia obuwia, jako narzędzia do zarządzania przestrzennym rozlokowaniem zasobów, w taki sposób, aby zminimalizować czas bezczynności, tj. okres kiedy materiały i surowce leżą bezproduktywnie. W opracowaniu zobrazowano algorytm postępowania przy rozmieszczaniu operacji na stanowiska oraz możliwości usprawniania otrzymanych rozwiązań. Całość uzyskanych wyników została przedstawiona na wykresach.

LITERATURA

1. Bozarth C., Handfield R.B. 2007. *Wprowadzenie do zarządzania operacjami i łańcuchem dostaw*. Gliwice: HELION.
2. Brzeziński M. 2013. *Organizacja produkcji w przedsiębiorstwie*. Warszawa: Diffin.

3. Skowronek Cz., Sarjusz-Wolski Z. 2012. *Logistyka w przedsiębiorstwie*. Warszawa: Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne.