

# OCENA EFEKTYWNOŚCI LINII MONTAŻOWEJ W ASPEKcie EFEKTÓW EKONOMICZNYCH

Aleksander NIEOCZYM

Ocena ekonomiczności kosztów przygotowania nowej produkcji lub modernizacji istniejącej linii bądź jej odcinków znajduje szerokie odzwierciedlenie w literaturze. W [3] opisano w sposób szczegółowy zasady oceny opłacalności uruchomienia produkcji nowych wyrobów. Analizy oparte są na intensywności nakładów inwestycyjnych, czasie inwestycji oraz wielkości zapasów produkcyjnych jako funkcji natężenia produkcji. Dodatkowymi składnikami analizy są: koszty produkcji wyrobów oraz wielkość dochodu jaki zostanie uzyskany w wyniku sprzedaży wyrobów.

W artykule skupiono się na zagadnieniach oceny ekonomiczności w aspekcie podwyższenia wydajności pracy linii montażowej poprzez modernizację elementarnych jej części - komórek montażowych. Niekiedy dodatkowe kapitałowe nakłady, na dokonanie ulepszeń w konstrukcji i eksploatacji LM w celu podwyższenia efektywności jej pracy nie zawsze są konieczne. Dodatni rezultat może być osiągnięty w wyniku pełniejszego wykorzystania możliwości tkwiących w istniejącym już systemie, np.: zabiegami organizacyjno - technicznymi.

## EFEKT EKONOMICZNY FUNKCJONOWANIA LINII MONTAŻOWEJ

Ogólna metoda obliczania kosztów własnych przy określaniu ekonomiczności efektywności wybranych wariantów budowy komórki montażowej stosowana jest przy obliczaniu szeregu zadań związanych z optymalizacją procesów technologicznych i eksploatacji linii, określeniem elementów i miejsca powstania przestoju. Wykorzystuje się tu matematyczne i normatywne formuły określone dla każdego z rodzajów eksploatacyjnych stanów pracy.

Jednak dla rzędu zadań związanych z optymalizacją konstrukcyjno - technologicznych i organizacyjnych zadań zaleca się włączyć do analizy czasy awarii (przywrócenia do pracy) komórkowych systemów jako sumy czasów przestoju.

Obok rozpatrywanych metod obliczeń, zaleca się określić technologiczny koszt własny  $C_d$  detali według faktycznych strat czasów łącznie ze wszystkimi kosztami:

$$C = \frac{C_0 T_0 + C_1 T_1 + C_2 T_2 + C_3 T_3 + C_4 T_4}{Q_T} \quad (1)$$

gdzie:  $C_0$  - przychód uzyskany z bezawaryjnej pracy komórki montażowej,  $T_0$  - czas bezawaryjnej pracy komórki w czasie badania  $T$ .

Straty związane z przestojem związanym z:  
 $C_1$  - brakiem detali na stanowisku roboczym,  
 $C_2$  - brakiem możliwości odesłania zmontowanego podzespołu do kolejnej komórki,  
 $C_3$  - poszukiwaniem przyczyny awarii mechanicznej,  
 $C_4$  - z naprawą,  
 $C_5$  - z próbą pracy po naprawie,  
 Współczynniki  $C_x$  określane są w odniesieniu do danego przedziału czasowego  $T$ .

$T_1 \dots T_5$  - czasy trwania poszczególnych przestoju,  
 $Q_T$  - wydajność czasowa urządzeń.

Dane i wskazówki służące do obliczeń współczynników zawarto w [1].

W ekonomicznej i technicznej literaturze zaleca się wiele sposobów obliczania kosztów własnych detali porównując od planowych na podstawie kalkulacji opracowanych normatywów, kończąc na szczegółowych obliczeniach. Sposoby te różnią się dokładnością otrzymanych wyników. Pierwsza z metod znajduje zastosowanie tylko we wstępnym stadium oceny wariantów budowy linii. Według tych norm i na podstawie obliczeniowych pojemności komórek określa się koszty własne produkcji w porównaniu z poszczególnymi wariantami. Szczegółowe metody obliczania kosztów własnych zaleca się stosować przy porównaniu i ocenie wariantów budowy i pracy komórki montażowej na poszczególnych etapach jej projektowania.

Metodę szczegółowych obliczeń wykorzystuje się dla dokładnej i końcowej oceny wariantów struktury komórki i linii montażowej, optymalizacji procesów technologicznych, wyboru optymalnej ilości urządzeń załadunkowych i liczby elementów w zasobnikach.

Wydajność i efekt ekonomiczny zależy od wybranych procesów technologicznych oraz budowy komórki. Związane są one min. ze sposobem załadunku i rozładunku stanowiska roboczego, rozmieszczenia urządzeń, trajektorii ich ruchu.

Kryterium optymalizacji i wartość jednostkowa prac  $C$  wykonanych w komórce:

$$C = C_0 t_m + \sum \frac{t_{remj}}{t_{pracyj}} t_m C_r \quad (2)$$

gdzie:  $C_0$  - przychód uzyskany podczas bezawaryjnej pracy komórki,  $C_r$  - straty związane z przestojem komórki.

Wartości te określane są w odniesieniu do danego przedziału czasowego  $T$ .

$t_{remj}$  - czas remontu uszkodzonego urządzenia  $j$ ,  
 $t_{pracyj}$  - czas pracy urządzenia  $j$ ,

$t_m$  – czas procesu montażu.

Możemy też zapisać:

$$C = \frac{[C_o \sum \tau_{pracy} + \sum_{r=1}^5 (C_{ri} \sum \tau_i)]}{Q_T} \quad (3)$$

Intensywność dochodu  $W$ :

$$W = \frac{[A_{pracy} \sum \tau_{pracy} - \sum_{r=1}^5 (C_{ri} \sum \tau_i)]}{T} \quad (4)$$

gdzie:  $A_{pracy}$  – wartość dochodu otrzymanego w jednostce czasu bezawaryjnej pracy linii,  $\sum \tau_i$  – sumaryczny czas przestoju w wszystkich urządzeniach.

Wydajność czasową linii w czasie  $T$  określamy:

$$Q_T = \frac{\sum \tau_{pracy}}{T} \quad (5)$$

gdzie:  $\sum \tau_{pracy}$  – sumaryczny czas pracy bezawaryjnej poszczególnych urządzeń w komórce,  $T$  – czas całkowity pracy.

Absolutna ekonomiczna efektywność to odniesienie do włożonych nakładów:

$$E = \frac{C_N}{K} \quad (6)$$

gdzie:  $C_N$  – wartość uzyskanych przychodów związanych z produkcją w ciągu określonego okresu czasu (np. 1 rok),  $K$  – straty kapitałowe związane z zachowaniem zdolności do pracy przy wykonywaniu prac w zadanym procesie technologicznym i jego dokładnością.

Przy wykorzystaniu tego kryterium należy przedstawić porównawcze warianty dotyczące wydajności, kosztów oprzyrządowania i materiałów, czasu otrzymania dodatniego ekonomicznego efektu.

Podczas określania wartości dowolnego ekonomicznego kryterium, należy obliczyć koszty własne detali wymagające włożenia największej ilości pracy i określić kryterium optymalizacji.

#### OGÓLNE KRYTERIUM OPTIMALIZACJI PARAMETRÓW LINII MONTAŻOWEJ

Przyjmując na wstępie techniczno – ekonomiczne zagadnienia, przy określaniu struktury LM, należy rozwiązać zadanie optymalizacji, zawierającej się w określeniu ob-

jętości międzyoperacyjnych zasobników, zabezpieczenia niezawodności i wydajności pracy linii. Kryterium wyboru optymalnego rozwiązania, przy strukturalno – parametrycznej syntezy linii montażowej, przyjmuje się minimum sumarycznych nakładów. W wyniku wprowadzenia czasowego rezerwowania a szczególnie w wyniku utworzenia zabezpieczających zapasów potokowej produkcji, problem ten można zapisać w sposób matematyczny:

$$S = C_g + U_G \rightarrow \min \quad (7)$$

gdzie:  $C_g$  – nakłady na podwyższenie wydajności LM,  $U_G$  – roczne straty wskutek uszkodzeń LM.

Rzeczywisty czas pracy  $T_r$  podczas montażu  $r$  typów zespołów opisujemy:

$$T_r = t_{zr} + t_{org r} + t_{rr} + t_{pr} \quad (8)$$

gdzie:  $T_r$  – rzeczywisty czas pracy LM przy montażu zespołu  $p$  – tego typu,  $t_{zr}$  – czas załadunku pierwszych zasobników linii detalami do montażu zespołu  $p$  – tego typu,  $t_{org r}$  – czas przestoju ze względów organizacyjnych,  $t_{rr}$  – faktyczny czas pracy LM,  $t_{pr}$  – sumaryczny czas przywrócenia do pracy LM po uszkodzeniu.

Wielkość  $t_{zr}$  jest proporcjonalna do rzeczywistego roboczego czasu  $T_r$  i określana jest technicznymi możliwościami KM, konstrukcyjnej złożoności zespołu  $p$  – tego typu, technologicznych procesów montażu i objętości zasobnika.

$$t_{zr} = T_r k_{zr} \quad (9)$$

gdzie:  $k_{zr}$  – współczynnik określający przedział czasu na załadunek zasobników linii detalami do montażu zespołu  $p$  – tego typu.;  $k_{zr}$  może być bliskie zeru w przypadku jeżeli wstępny załadunek połączony jest czasowo z innymi operacjami.

Przestoje ze względów organizacyjnych należy traktować jako zatrzymanie produkcji w wyniku nierównoczesnego postępowania detali i zespołów na wejście LM. Przyjmując założenie, że przyczyną przestoju są uszkodzenia urządzeń w komórce,  $t_{org r}$  można przedstawić jako:

$$t_{org r} = t_{zr} (1 - K_{Gs}) \quad (10)$$

gdzie:  $K_{Gs}$  – współczynnik gotowości KM.

Czas  $t_{org r}$  można także określić poprzez zmniejszenie o jego wartość rzeczywistego funduszu roboczego czasu LM. Możemy więc rozpisać:

$$T_r [1 - k_{zr} (2 - K_{Gs})] = t_{rr} + t_{pr} \quad (11)$$

$$t_{p,r} = T_r [1 - k_{zr} (2 - k_{zr})] (1 - K_{Gs}) \quad (12)$$

Wydajność LM przy montażu zespołów *p-go* typu bez wpływu uszkodzeń linii i zasobników:

$$Q_t = \frac{1 - k_{zr}}{t_{r \max}} \quad (13)$$

gdzie:  $t_{r \max}$  - średni czas montażu w KM o minimalnej wydajności.

Rzeczywista wydajność linii:

$$Q_r = \frac{[1 - k_{zr} (2 - K_{Gs})] K_G}{t_{r \max}} \quad (14)$$

$$C_q = \sum_{k=2}^n C_k \quad (15)$$

Nakłady na podwyższenie niezawodności:

$$C_k = Z_{nk} m_k + m_{dk} Z_{dk} \quad (16)$$

gdzie:  $C_k$  - nakłady na stworzenie dodatkowych miejsc w *k-tym* zasobniku,  $Z_{nk}$  - jednostkowe nakłady stworzenia pojedynczego miejsca w *k-tym* zasobniku,  $m_k$  - całkowita liczba miejsc w *k-tym* zasobniku,  $m_{dk}$  - ilość detali dodatkowych w *k-tym* zasobniku,  $Z_{dk}$  - koszt jednego detalu.

Pierwsza część równania określa koszt stworzenia miejsc w zasobniku, druga - koszt dodatkowych detali.

$C_q$  określa bieżące rozchody związane z eksploatacją zasobnika w KM a także utworzeniem i istnieniem zapasów pośredniej produkcji.

Wielkość  $U_G$  z kryterium (7) możemy zapisać jako:

$$U_G = U_n + U_p \quad (17)$$

gdzie:  $U_n$  - straty spowodowane mniejszą produkcją,  $U_p$  - straty z powodu przestoju i uszkodzeń.

W określaniu uszkodzeń zastosowano model oceny współczynnika  $U_n$  tylko w odniesieniu do linii montażowej a nie do całokształtu działania przedsiębiorstwa.

Umożliwia to pozbycie się wielu współczynników, których wartości są trudne do uogólnienia.

$$U_n = \sum_{p=1}^r \frac{\Delta V_s}{V_{nom}} \quad (18)$$

gdzie:  $V_{nom}$  - produkcja nominalna,  $\Delta V_s$  - liczba zespołów nie wyprodukowanych w ciągu określonego przedziału czasu.

Wartość  $U_p$  możemy zapisać z wykorzystaniem współczynnika gotowości  $K_G$ :

$$U_p = \frac{1}{K_G} - 1 \quad (19)$$

lub w postaci zawierającej straty z powodu awarii i przestoju:

$$U_p = T_S k_p \quad (20)$$

gdzie:  $k_p$  - współczynnik określa nakłady, które należy wyłożyć na naprawy awarii oraz straty z powodu braku produkcji w czasie wystąpienia awarii i jej naprawy,  $T_S$  - średni czas przestoju.

### WSPÓŁCZYNNIK WYDAJNOŚCIOWY

Oceny stanowiska montażowego można także dokonać biorąc pod uwagę ograniczenia techniczne i czasowe. Biorąc pod uwagę analizy zawarte w [4] dokonano opisu współczynnika wydajnościowego  $K_Q$  [2]:

$$K_Q = \frac{WC_{ap}}{\Sigma U} \quad (21)$$

gdzie:  $W$  - wartość produkcji w *i-tym* wariantie montażowym,  $\Sigma U$  - suma kosztów związanych z produkcją *i-tego* wariantu montażowego w określonym przedziale czasowym.

Relacje pomiędzy zależnościami:

$$M_i = C_{ap} K_T \quad (22)$$

$$K_T = \frac{t_{op}}{t_{\max}} \quad (23)$$

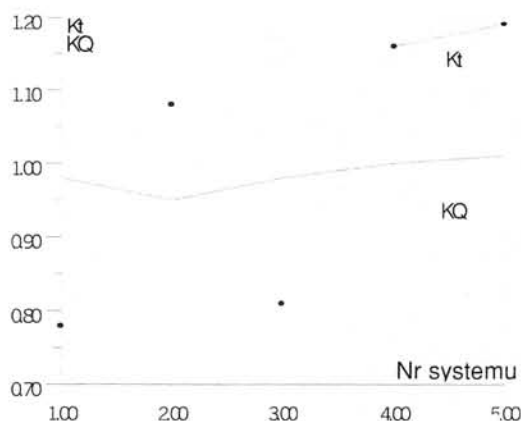
gdzie:  $K_T$  - współczynnik dostępności czasowej komórki,  $M_i$  - liczba zmontowanych podzespołów *i-tego* rodzaju  $i=(1...z)$ ,  $t_{op}$  - czas operacyjny,  $t_{\max}$  - maksymalny czas przypisany do stanowiska roboczego,  $C_{ap}$  - pojemność montażowa stanowiska, liczba wykonanych procesów montażu na stanowisku w ciągu określonego przedziału czasowego.

Projekt jest ekonomicznie niekorzystny, jeżeli  $K_Q < 1$ . System z  $K_Q > 1$  jest systemem zadawalającym. Jeżeli  $K_Q < 1$  dla całego projektowanego alternatywnego systemu, niezbędna jest wtedy decyzja o powtórnej weryfikacji systemu lub zmianach metod montażu.

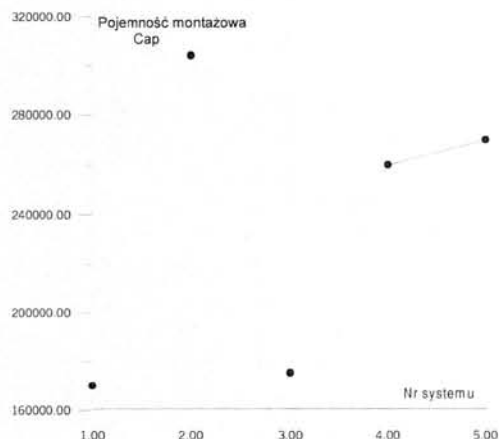
Korzystając z danych przedstawionych w [4] przedstawiono analizę różnych systemów montażowych za pomocą współczynnika wydajnościowego  $K_Q$ . Współczynnik  $K_Q$  projektowanych systemów 1 i 3 posiada małą wartość (Tab.1.), wdrożenie ich nie spowoduje żadnych efektywnych rezultatów. System 2 posiada współczynnik wydajności  $K_Q$  o wartości mniejszej niż system 4, pomimo, że charakteryzuje się mniejszym czasem cyklu montażu (80 s) i największą pojemnością montażową (304000 zmontowanych elementów w ciągu roku). Może to być rezultatem mniejszej wartości współczynnika  $K_T$  systemu 2 z powodu dużych wartości czasów ustawień, awarii procesu i relatywnie największych wartości kosztów związanych z produkcją. Współczynnik  $K_Q$  systemu 4 jest największy ( $K_Q=1,15$ ). Uzyskany został w wyniku zmniejszenia kosztów związanych z produkcją, krótkiego czasu cyklu, dużej dostępności spowodowanej minimalnymi czasami ustawień oraz dużej pojemności komórki. System 5 jest systemem optymalnym. Porównanie wyżej opisanych systemów zamieszczono w Tab. 1 oraz na rys. 1 i rys. 2.

Tabela 1.: Porównanie systemów montażowych pod względem współczynnika wydajnościowego  $K_Q$ .

Nr systemu	Czas cyklu [s]	Wsp. dostępności czasowej $K_T$	Pojemność montażowa $C_{ap}$ [liczba zespołów / rok]	WSP. Wydajności $K_Q$
1	120	0,94	170 000	0,78
2	80	0,91	304 000	1,08
3	121	0,94	175 000	0,81
4	84	0,96	260 000	1,16
5	79	0,97	270 000	1,19



Rys. 1.: Zależność współczynnika wydajnościowego  $K_Q$  i współczynnika dostępu  $K_T$  różnych systemów montażowych.



Rys. 2. Pojemność montażowa  $C_{ap}$  różnych systemów montażowych.

LITERATURA

1. Daszczenko A.: *Projektowanie awtomatycznych linii sborki*. Moskwa 1986.
2. Nieoczym A.: *Zagadnienia projektowania hierarchicznie zorganizowanych systemów montażowych*. Lubelskie Towarzystwo Naukowe, 2002
3. Piaseczki S.: *Optymalność uruchomienia produkcji nowych wyrobów*. PNTTE, Warszawa 2003.
4. Zha X., Du H., Lim Y.: Knowledge intensive Petri net framework for concurrent intelligent design of automatic assembly system. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing* 17/2001, s. 379-398.

Dr inż. Aleksander Nieoczym jest pracownikiem Katedry Konstrukcji Maszyn Politechniki Lubelskiej, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, tel. (081) 5381203.