ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1991
Seria: AUTOMATYKA z. 103 Nr kol. 1090

Danuta RASZTABIGA,
Franciszek MARECKI

MINIMALIZACJA CZASU PROCESU WALCOWANIA CIĄGŁEGO

Streszczenie. W artykule przedstawiono model matematyczny i algorytm sterowania linią walcowniczą na Walcowni Ciągłej Kęsów (WCK). W algorytmie sterowania WCK wyróżniono heurystyki, a obliczenia zilustrowano przykładami. Przy rozwiązywaniu problemu, przyjęto kryterium minimalizacji czasu procesu walcowania ciągłego.

1. WSTĘP

Proces walcowania na Walcowni Ciągłej Kęsów (WCK) został opisany w [1, 2, 3, 4, 5]. Problemy związane z optymalizacją tego procesu według ustalonych kryteriów są nadal aktualne. Pewne prace naukowo-badawcze, które podejmowały tematykę optymalizacji procesu wlacownia z uwzględnieniem opisu struktury WCK [1, 2], nie zostały dotąd opublikowane.

Zagadnienia identyfikacji WCK jako obiektu sterowania poruszono w [3,4,5] Algorytmy sterowania operatywnego przy minimalizacji czasu traconego na wymiany złożeń, przedstawiono w [7, 8].

Cechą charakterystyczną WCK jest konieczność wymiany walców zużytych w procesie walcowania w wyniku ścierania się powierzchni ich wykrojów. Zużyte walce zostają oddane do regeneracji. W procesie regeneracji ich powierzchnia zostaje napawana i toczona do odpowiednich wymiarów. Model matematyczny i harmonogram tego procesu opisano w [10]. Harmonogramowanie procesu walcowania prowadzonego w systemie walcowni kombinatu metalurgicznego opisano w [6, 11].

Problem harmonogramowania procesu walcowania ciągłego można rozwiązywać (przy pewnych uproszczeniach) metodą programowania wieloetapowego, podając definicje stanów [14]. Algorytmy bazujące na koncepcji stanów istotnych [6] zmodyfikowano, poszerzono i opisano w [15, 18].

Modele matematyczne i algorytmy sterowania procesem walcowania na podstawie których ustala się realizację poszczególnych asortymentów oraz kolejność wymian złożeń przedstawiono w [12,15,16,18]. Opracowane heurystyczne

* Praca była częściowo finansowana przez PR.I.02 - temat 4.1.

algorytmy sterowania linią walcowniczą, zostały wykorzystane w programach komputerowych, symulujących pracę walcowni i wymiany złożeń na WCK [16, 17, 18, 19].

W [19] został przedstawiony program komputerowy, symulujący pracę walcowni i wymiany złożeń w systemie o strukturze szeregowej z dodatkowymi ograniczeniami. W modelu matematycznym i algorytmie sterowania WCK dla symulatora wykorzystano kryterium maksymalizacji wydajności walcowni.

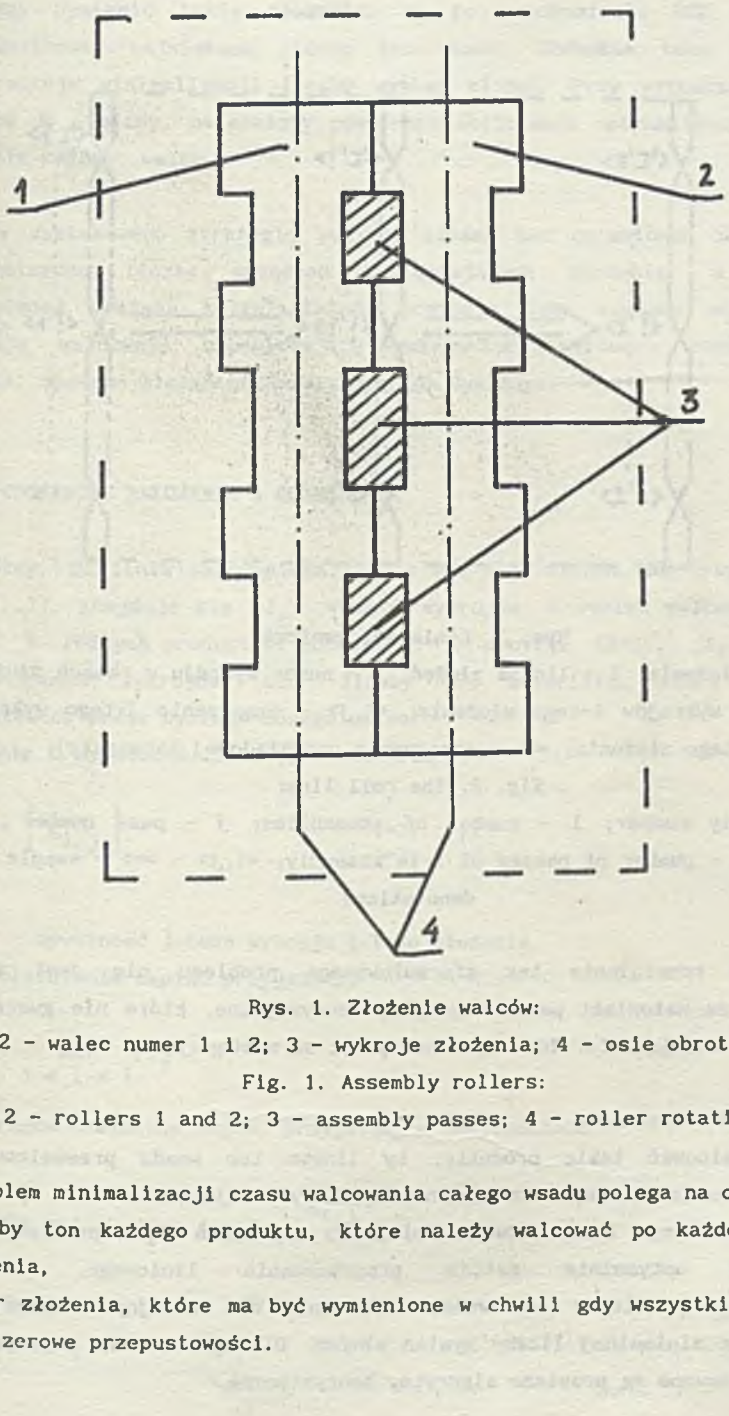
Tematem niniejszej pracy są model matematyczny i heurystyczne algorytmy sterowania procesem walcowania dla maksymalizacji wydajności WCK. Zostaną także przedstawione przykłady obliczeń.

2. SFORMUŁOWANIE PROBLEMU

Rozważmy proces walcowania ciągłego kęsów. Walcownia Ciągła Kęsów (WCK) składa się ze złożeń walców, pokazanych na rysunku 1. W tarakcie walcowania materiał zwany wsadem jest przepuszczany przez wykroje. Powoduje to ścieranie się powierzchni wykrojów i zmianę ich wymiarów geoemtrycznych. Jeśli wymiary te przekroczą dopuszczalne tolerancje, to wykrój zostaje wykluczony z produkcji.

Linia walcownicza pokazana na rysunku 2, jest szeregowym układem złożeń walców. Walcowane produkty różnią się między sobą przekrojem poprzecznym. Liczba produktów jest równa liczbie wykrojów ostatniego złożenia.

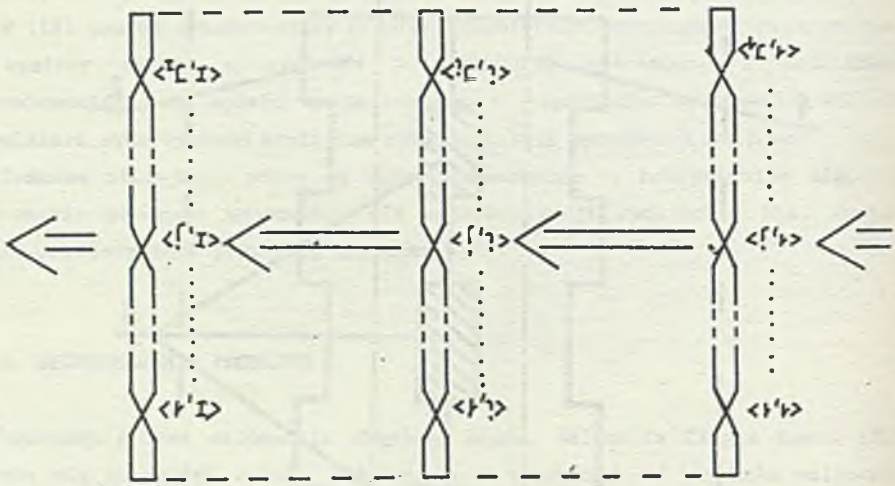
W referacie przedstawiono problem minimalizacji czasu walcowania określonej ilości wsadu. Przyjęto jeden typ wsadu. Z wsadu można uzyskać produkty różnych typów. Walcowanie produktu określonego typu polega na przepuszczaniu wsadu po określonej marszrucie technologicznej. Przyjęto, że marszruty technologiczne przebiegają przez jeden wykrój każdego złożenia. Przepustowość wykroju jest różnicą pomiędzy jego żywotnością i stanem. Przepustowość marszruty technologicznej jest najmniejszą przepustowością wykrojów leżących na tej marszrucie. Jeżeli przepustowość marszruty jest zerowa, to nie można walcować określonego produktu. Jeżeli przepustowość wszystkich marszrut jest zerowa, to WCK jest zatrzymana. Aby uruchomić WCK należy wymienić takie złożenie, które spowoduje pojawienie się marszruty o nie zerowej przepustowości (przepustowości wykrojów nowego złożenia są równe ich żywotnościom). Postój WCK wydłuża czas walcowania określonej ilości materiału. Zatem minimalizacja liczby wymian złożeń prowadzi do minimalizacji czasu walcowania wsadu.



Rys. 1. Złożenie walców:
(1, 2 - walec numer 1 i 2; 3 - wykroje złożenia; 4 - osie obrotu walców)
Fig. 1. Assembly rollers:
(1, 2 - rollers 1 and 2; 3 - assembly passes; 4 - roller rotation axis)

Problem minimalizacji czasu walcowania całego wsadu polega na określeniu:

- liczby ton każdego produktu, które należy walcować po każdej wymianie złożenia,
- numer złożenia, które ma być wymienione w chwili gdy wszystkie marszruty mają zerowe przepustowości.



Rys. 2. Linia walcownicza:
(i - numer złożenia; I - liczba złożeń; j - numer wykroju w ramach złożenia; J_i - liczba wykrojów i-tego złożenia; <i,j> - oznaczenie j-tego wykroju i i-tego złożenia; ==> - oznaczenie przykładowej marszruty)

Fig. 2. The roll line:
(i - assembly number; I - number of assemblies; j - pass number in an assembly; J_i - number of passes of i-th assembly; <i,j> - ==> - sample route denotation)

Optymalne rozwiązanie tak sformułowanego problemu nie jest znane. Proponowane są natomiast pewne algorytmy heurystyczne, które nie gwarantują optymalności rozwiązania. Idee tych heurystyk są następujące:

A) Heurystyki walcowania

Należy walcować takie produkty, by liczba ton wsadu przewalcowanego pomiędzy dwoma kolejnymi zatrzymaniami WCK była największa.

Dla pojedynczego kroku (dwóch kolejnych zatrzymań WCK) problem można rozwiązać optymalnie metodą programowania liniowego. Jednakże maksymalizacja liczby ton wsadu oddzielnie dla kolejnych kroków nie gwarantuje minimalnej liczby wymian złożeń. Dlatego też dla pojedynczego kroku stosowane są prostsze algorytmy heurystyczne.

B) Heurystyki wymiany złożen

Należy wymienić takie złożenie, by po uruchomieniu WCK można było przewalcować największą liczbę ton wsadu. Jednakże taka reguła nie gwarantuje minimalizacji liczby wymian złożeń. Przy wyznaczaniu numeru walca do wymiany, należałoby powtórzyć obliczenia optymalizacyjne według A) dla każdego walca.

W pracy zastosowano strategię wymiany złożeń bez ograniczeń zasobowych - nieograniczona liczba urządzeń wymieniających złożenia. W przypadku jednoczesnej wymiany kilka złożeń, przyjęto czas wymiany walców (czas przestoju walcowni) odpowiadający maksymalnej wartości czasu wymiany złożenia, spośród złożeń przeznaczonych do wymiany.

3. PODSTAWOWE ZAŁOŻENIA I OKREŚLENIA

Załóżmy, że linia walcownicza składa się z I złożeń. Na i-tym złożeniu (i=1,...,I), znajduje się J_i różnych wykrojów. W wyniku walcowania można uzyskać N różnych produktów, podejmując K decyzji (k=1,...,K; K>N). Dane są żywotności wykrojów, tzn. liczby ton materiału, który może być przepuszczony przez wykroje nowego walca.

Określenie 1. Żywotność linii jest macierzą

$$G = \left[g_{i,j} \right] \qquad \begin{matrix} i=1,\dots,I \\ j=1,\dots,J \end{matrix} \tag{1}$$

gdzie:

$g_{i,j}$ - żywotność j-tego wykroju i-tego złożenia.

W celu ułatwienia zapisu przyjmujemy

$$J = \max_{1 \le i \le I} J_i \tag{2}$$

Dla wykrojów nieistniejących, przyjmiemy w obliczeniach.

$$\forall_{1 \le i \le I} \quad \forall_{J_i < j \le J} \quad g_{i,j} = -1 \tag{3}$$

Określenie 2. Stanem linii po k-tej operacji walcowania jest macierz

$$X^k = \left[x^k_{i,j} \right] \qquad \begin{matrix} i=1,\dots,I \\ j=1,\dots,J \end{matrix} \tag{4}$$

gdzie:

$x^k_{i,j}$ - liczba ton wsadu przewalcowanego na j-tym wykroju i-tego złożenia.

Analogicznie jak w (3) przyjmiemy

$$\underset{1 \le i \le I}{\forall} \quad \underset{J_i < j \le J}{\forall} \quad x^k_{i,j} = -1 \tag{5}$$

Ponadto z (1) i (4) wynika, że

$$\underset{1 \le i \le I}{\forall} \quad \underset{J < j \le J_i}{\forall} \quad 0 \le x^k_{i,j} \le g_{i,j} \tag{6}$$

Określenie 3. Zamówienie produktów po k-tej operacji wlcowania jest wektorem

$$Z^k = \left[z^k_n \right] \qquad n=1,\dots,N \tag{7}$$

gdzie:

z^k_n - liczba ton n-tego produktu.

Wydajność linii dla poszczególnych produktów są dane w wektorze

$$W = \left[w_n \right] \qquad n=1,\dots N \tag{8}$$

gdzie:

w_n - wydajność linii dla n-tego produktu.

Wydajność walcowni jest określana jako

$$w = \frac{1}{T} \sum_{1=1}^{1=N} z_n \tag{9}$$

gdzie:

T - całkowity czas walcowania.

Całkowity czas walcowania nie jest dany. Uwzględnia on również przestoje walcowni (dla wymiany złożeń), dlatego

$$T > \sum_{1=1}^{1=N} \frac{z_n}{w_n} \tag{10}$$

Z (9) i (10) wynika, że maksymalizacja wydajności walcowni sprowadza się do minimalizacji czasu przestoju walcowni.

Określenie 4. Marszruty technologiczne opisuje macierz

$$\Lambda = \left[\lambda_{i,n} \right] \qquad \begin{matrix} i=1,\dots,I \\ n=1,\dots,N \end{matrix} \tag{11}$$

gdzie:

$\lambda_{i,n}$ - numer wykroju i-tego złożenia dla n-tego produktu.

Przyjmiemy, że

$$N = J_I \tag{12}$$

Na podstawie żywotności $g_{i,j}$ oraz stanu $x^k_{i,j}$ można określić przepustowość walcowni.

Określenie 5. Przepustowość walcowni po k-tej operacji walcowania jest macierzą

$$P = \left[p^k_{i,j} \right] \qquad \begin{matrix} i=1,\dots,I \\ j=1,\dots,J \end{matrix} \tag{13}$$

gdzie:

$$p^k_{i,j} = g_{i,j} - x^k_{i,j} \qquad \begin{matrix} i=1,\dots,I \\ j=1,\dots,J_i \end{matrix} \tag{14}$$

Zatem można również wyznaczyć przepustowość p^k_n n-tej marszruty technologicznej

$$p^k_n = \min_{1 \le i \le I} p^k_{i,\lambda_{i,n}} \tag{15}$$

Jeżeli

$$\exists_n \; p^k_n = 0 \tag{15a}$$

to n-ta marszruta jest wykluczona (nie można walcować n-tego produktu).

W przypadku gdy

$$\forall_{1 \le n \le N} \; p^k_n = 0 \tag{15b}$$

nie można walcować żadnego produktu.

W dalszym ciągu nie będzie dyskutowany problem wymiany złożeń. Przyjmiemy, że wymieniane jest każde złożenie spełniające warunek

$$\exists_{j \le J_i} \quad p_{i,j} = 0 \tag{16}$$

Do rozwiązania problemu zrealizowania zamówień (7) w najkrótszym czasie zostaną zproponowane dwa algorytmy.

4. ALGORYTM MINIMALNEJ PRZEPUSTOWOŚCI

Jest to algorytm heurystyczny, uzasadniany następująco:

- próba realizacji całych zamówień sekwencyjnie (tzn. jeśli zostanie n-ty produkt, to należy go zrealizować w całości, bez względu na przestoje walcowni) daje gorsze wyniki niż mieszana realizacja części zamówień,
- realizacja produktu, którego marszruta ma najmniejszą przepustowość (stanowi wąskie gardło) pozwala uniknąć sytuacji, w której pozostaje do walcowania w całości jedno zamówienie.

W algorytmie tym wyznaczamy:

1) produkt n, który ma być realizowany

$$p_n^{k-1} = \min_{1 \le m \le N} p_m^{k-1} \tag{17}$$

2) ilość realizowanego produktu

$$u_n^k = \min \left(p_n^{k-1}, z_n^{k-1}\right) \tag{18}$$

3) zmodyfikowany stan po pierwszym kroku (ogólnie o k-tym kroku, k+1,..,K)

$$x_{i,j}^k = \begin{cases} x_{i,j}^{k-1} + u_n^k, & \text{jeśli} \quad j = \lambda_{i,n} \\ x_{i,j}^{k-1}, & \text{w przypadku przeciwnym} \end{cases} \tag{19}$$

4) zmodyfikowane przepustowości wykrojów

$$p_{i,j}^k = g_{i,j} - x_{i,j}^k \qquad \begin{matrix} i=1,\dots,I \\ i=1,\dots,J \end{matrix} \tag{20}$$

5) zmodyfikowane przepustowości marszrut

$$p_m^k = \min_{1 \le i \le I} p_{i,\lambda_{i,m}}^k \tag{21}$$

Jeżeli

$$\exists_m \; p_m^k > 0 \tag{22}$$

to powtarzamy obliczenia od 1) do 5).

5. ALGORYTM MAKSYMALNEJ PRZEPUSTOWOŚCI

Algorytm ten został przedstawiony w pracach [6], [15], [18]. Sposób obliczeń jest analogiczny do tych, które są prowadzone w algorytmie minimalnej przepustowości. Różnica polega na wyborze produktu n, który ma być realizowany. W algorytmie maksymalnej przepustowości, zamiast (21) przyjmuje się

$$p_n^k = \max_{1 \le m \le N} p_m^{k-1} \tag{23}$$

6. PRZYKŁADY

Przedstawione algorytmy sterowania zilustrowano przykładami obliczeniowymi. W poszukiwaniu odpowiedzi na pytanie: kiedy stosując algorytm minimalnej lub maksymalnej przepustowości można otrzymać najkrótszy czas walcowania, rozwiązano zadanie minimalizacji czasów procesu walcowania ciągłego dla różnych zestawów danych.

Przykład 1

Dany jest stan początkowy WCK. Należy wyprodukować 4 produkty według zamówienia Z. Podać sterowanie dla WCK maksymalizujące jej wydajność. Obliczenia należy przeprowadzić według algorytmów:

- maksymalnej przepustowości (A_1),
- minimalnej przepustowości (A_2).

Przyjęto następujące dane:

Stan początkowy linii: a) $X^o = X_1$ (duże zużycie wykrojów),

$$X_1 = \begin{vmatrix} 40 & 20 & 15 & 13 \\ 25 & 62 & 40 & 54 \\ 30 & 45 & 47 & 72 \end{vmatrix}$$

b) $X^o = X_2$ (małe zużycie wykrojów),

$$X_2 = \begin{vmatrix} 5 & 10 & 5 & 2 \\ 10 & 20 & 30 & 30 \\ 0 & 20 & 10 & 40 \end{vmatrix}$$

c) $X^o = X_3$ (różne zużycie wykrojów),

$$X_3 = \begin{vmatrix} 5 & 10 & 5 & 2 \\ 10 & 60 & 30 & 45 \\ 15 & 40 & 20 & 60 \end{vmatrix}$$

Wektor zamówień: a) $Z = Z_1 = [25, 25, 25, 25]$,

b) $Z = Z_2 = [10, 20, 30, 40]$.

Marszruty technologiczne:

$$\Lambda = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 2 & 2 \\ 1 & 2 & 2 & 3 \\ 1 & 3 & 2 & 4 \end{vmatrix}$$

Żywotności wykrojów:

$$G = \begin{vmatrix} 60 & 60 & 30 & 30 \\ 60 & 80 & 60 & 70 \\ 50 & 50 & 60 & 90 \end{vmatrix}$$

Wydajności linii: $W = [3, 4, 5, 2]$,

Czasy wymian złożeń: $T = [\tau_i] = [2, 3, 4, 5]$

Czas przestoju WCK jest najdłuższym czasem wymiany złożeń.

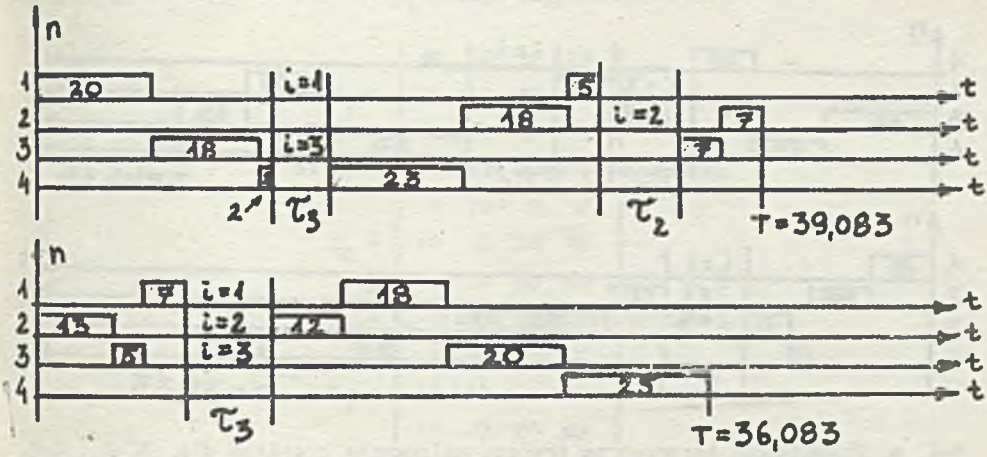
Rozwiązanie

Otrzymane rezultaty dla $X^o = X_1$ i $Z = Z_1$ przedstawiono na rysunku 3, dla pozostałych zestawów w tablicy 1.

Tabela 1

Rozwiązanie przykładu dla zamówienia $Z = Z_1$

$W = [3, 4, 5, 2]$ $T = [2, 3, 4]$			
A	X_1	X_2	X_3
A_1	39.08	32.08	39.08
A_2	36.08	32.08	39.08



Rys. 3. Przykładowy harmonogram procesu walcowania ciągłego dla $X^o=X_1$, $Z=Z_1$ i dla obliczeń:

a) według algorytmu maksymalnej przepustowości, b) według algorytmu minimalnej przepustowości

Fig. 3. Example of graphic schedule the continuous - flow rolling process for: $X^o=X_1$, $Z=Z_1$ and:

a) for computation as algorithm maximal capacity, b) for computation as algorithm minimal capacity

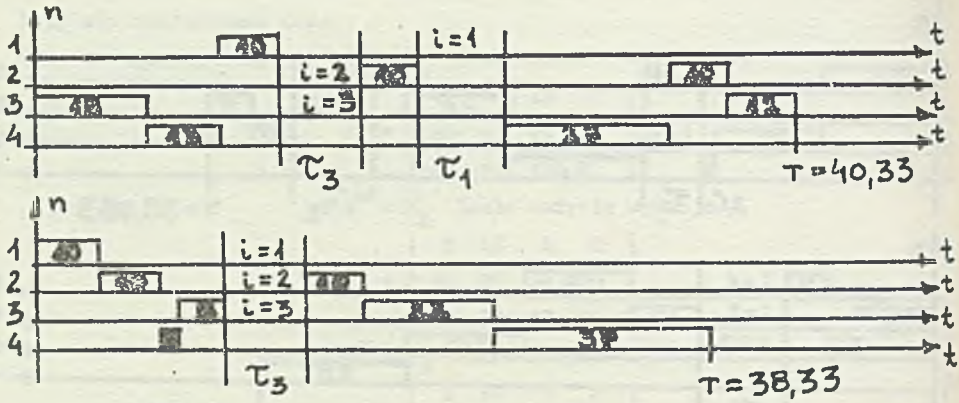
Z rezultatów obliczeń dla zamówienia Z_1 wynika, że lepsze rozwiązanie dla stanu początkowego linii o dużym zużyciu wykrojów (X_1^o), otrzymano dla obliczeń według algorytmu minimalnej przepustowości (T=36.08). Dla stanów początkowych linii X_2^o i X_3^o, rozwiązanie nie zależy od zastosowanego algorytmu.

Otrzymane rezultaty dla $X^o = X_1$ i $Z = Z_2$ przedstawiono na rysunku 4, dla pozostałych zestawów w tablicy 2.

Tabela 2

Rozwiązanie przykładu dla zamówienia $Z = Z_2$

W = [3, 4, 5, 2] T = [2, 3, 4]			
A	X_1	X_2	X_3
A_1	40.33	38.33	38.33
A_2	38.33	38.33	40.33



Rys. 4. Przykładowy harmonogram procesu walcowania ciągłego dla $X^o=X_1$, $Z=Z_2$ i dla obliczeń:

a) według algorytmu maksymalnej przepustowości, b) według algorytmu minimalnej przepustowości

Fig. 4. Example of graphic schedule the continuous - flow rolling process for: $X^o=X_1$, $Z=Z_1$ and:

a) for computation as algorithm maximal capacity, b) for computation as algorithm minimal capacity

Z rezultatów obliczeń dla zamówienia Z_2 wynika, że czas walcowania T zależy od stanu początkowego linii X^o, liczby i czasów wymian złożeń *T*. Dla stanu początkowego linii o dużym zużyciu wykrojów (X_1) lepsze rozwiązanie otrzymano dla obliczeń według algorytmu minimalnej przepustowości, natomiast dla stanu początkowego linii o małym zużyciu wykrojów (X_2), lepsze rozwiązanie otrzymano stosując algorytm maksymalnej przepustowości.

Z analizy zadania wynika, że niezależnie od rodzaju zamówienia Z dla stanu początkowego linii o dużym zużyciu wykrojów (X_1^o), lepsze rozwiązanie (najkrótszy czas walcowania T) otrzymano dla obliczeń według algorytmu minimalnej przepustowości. Dla stanu początkowego linii o małym zużyciu wykrojów (X_2^o), czas walcowania T nie zależy od zastosowanego algorytmu obliczeń.

Przykład 2

Dla zadania z przykładu 1 powtórzono obliczenia, przyjmując następujące dane:

Stan początkowy linii: a) $X^o = X_1$ (duże zużycie wykrojów),

$$X_1 = \begin{vmatrix} 40 & 20 & 15 & 13 \\ 25 & 62 & 40 & 54 \\ 30 & 45 & 47 & 72 \end{vmatrix}$$

b) $X^o = X_2$ (małe zużycie wykrojów),

$$X_2 = \begin{vmatrix} 5 & 10 & 5 & 2 \\ 10 & 20 & 30 & 30 \\ 0 & 20 & 10 & 40 \end{vmatrix}$$

c) $X^o = X_3$ (różne zużycie wykrojów),

$$X_3 = \begin{vmatrix} 5 & 10 & 5 & 2 \\ 10 & 60 & 30 & 45 \\ 15 & 40 & 20 & 60 \end{vmatrix}$$

Wektor zamówień: a) $Z = Z_1 = [25, 25, 25, 25]$,

b) $Z = Z_2 = [10, 20, 30, 40]$.

Marszruty technologiczne - Λ

$$\Lambda = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 2 & 2 \\ 1 & 2 & 2 & 3 \\ 1 & 3 & 2 & 4 \end{vmatrix}$$

Żywotności wykrojów - G.

$$G = \begin{vmatrix} 60 & 60 & 30 & 30 \\ 60 & 80 & 60 & 70 \\ 50 & 50 & 60 & 90 \end{vmatrix}$$

Wydajności linii: a) $W = W_1 = [5, 5, 5, 5]$,

b) $W = W_2 = [3, 4, 5, 2]$,

Czasy wymian złożeń $T = [\tau_i]$:

a) $T = T_1 = [5, 5, 5, 5]$,

b) $T = T_2 = [2, 3, 4, 5]$,

Obliczenia należy przeprowadzić według algorytmów:

- maksymalnej przepustowości (A_1),
- minimalnej przepustowości (A_2).

Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 3.

Z przeprowadzonej analizy zadania wynika, że niezależnie od zamówienia Z, wydajności linii W i czasów wymian złożeń T, dla stanu początkowego linii o dużym zużyciu wykrojów (X_1^o), lepsze rozwiązanie otrzymano dla obliczeń według algorytmu minimalnej przepustowości.

Dla stanu początkowego linii o różnym zużyciu wykrojów dla zamówienia Z_1, czas walcowania T nie zależy od zastosowanego algorytmu obliczeń, natomiast dla zamówienia Z_2 lepsze rozwiązanie otrzymano dla obliczeń według maksymalnej przepustowości.

Tabela 3

Rozwiązanie przykładu

		W = [5,5,5,5] T = [5,5,5]			W = [5,5,5,5] T = [2,3,4]			W = [3,4,5,2] T = [5,5,5]			W = [3,4,5,2] T = [2,3,4]		
Z	A	X_1	X_2	X_3	X_1	X_2	X_3	X_1	X_2	X_3	X_1	X_2	X_3
Z_1	A_1	30	20	30	27	20	27	42.08	32.08	42.08	39.08	32.08	39.08
	A_2	25	20	30	24	20	27	37.08	32.08	42.08	36.08	32.08	39.08
Z_2	A_1	30	25	25	26	24	24	44.33	39.33	39.33	40.33	38.33	38.33
	A_2	25	25	30	24	24	26	39.33	39.33	44.33	38.33	38.33	40.33

Dla zadanej wydajności linii W i stanu początkowego o dużym zużyciu wykrojów (X_3), czas walcowania T maleje dla różnych czasów wymian złożeń *T*.

7. WNIOSKI

Problem optymalizacji procesu walcowania na WCK polega na podejmowaniu decyzji dotyczących: złożenia, które ma być wymienione oraz kolejnego wyrobu, który ma być produkowany. Algorytmy heurystyczne przedstawione w artykule, pozwalają określić typ i ilość kolejnego produktu, który ma być walcowany.

Z przeprowadzonych analiz wynika, że:

- opublikowany dotąd algorytm maksymalnej przepustowości daje dobre rezultaty tylko w przypadkach małego zużycia wykrojów,
- zaproponowany w referacie algorytm minimalnej przepustowości daje dobre rezultaty w przypadkach dużego zużycia wykrojów.

Ponadto na rezultaty optymalizacji walcowania mają wpływ strategie wymiany walców, które nie były dyskutowane w tym referacie.

LITERATURA

[1] Kowalowski H. i inni: System automatycznej kontroli i sterowania jakością wyrobów dla celów automatycznego sterowania. Cz.III i IV. Raport z pracy naukowo-badawczej, Instytut Automatyki, Politechnika Śląska Gliwice 1975, 1976 (nie publikowana).

[2] Marecki F.: Zastosowanie modelowania cyfrowego. Seminarium Zakładu Automatyzacji Prac Projektowo-Konstrukcyjnych, Instytut Automatyki, Politechnika Śląska, Gliwice 1976 (nie publikowana).

[3] Marecki f., Zielińska-Król E.: Problemy i koncepcje identyfikacji struktury procesu walcowania ciągłego. ZN Pol.Śl. Automatyka, nr 36 ss.91-102, Gliwice 1976.

[4] Kowalowski H., Marecki F., Torońska-Łuczyńska M.: Identyfikacja adaptacyjna walcarki i predykcja procesu walcowania. ZN Pol. Śl., Automatyka, nr 36 ss. 63-68, Gliwice 1976.

[5] Kowalowski H., Duda J., Marecki F.: Zastosowanie cyfrowego modelu symulacyjnego dla predykcji procesu walcowania na Walcowni Ciągłej Kęsów. ZN. Pol. Śl., Automatyka, nr 36, ss.69-77, Gliwice 1976.

[6] Zielińska-Król E., Marecki F.: Harmonogramowanie procesu walcowania na WCK. Pol. Śl. Automatyka, nr 44, ss. 123-133, Gliwice 1978.

[7] Król E.: Sterowanie operatywne procesem walcowania ciągłego. Prace VIII KKA t. II, ss. 702-705, Szczecin 1980.

[8] Witaszek E.: Sterowanie operatywne procesem walcowania ciągłego kęsów. Praca dyplomowa magisterska, Instytut Automatyki, Gliwice 1981.

[9] Зелиньска - Крол Е: Проблемы исключения состаяний при календарном планировании процесса регенерации валков. IV-th IV-th International Conference of Control Systems and Computer Science, Bucharest 1981 (streszczenie).

[10] Marecki F., Zielińska-Król E.: Model matematyczny i algorytm harmonogramowania procesu regeneracji walców. ZN Pol. Śl. Automatyka, nr 64, ss. 95-109, Gliwice 1982.

[11] Staszewski A.: Harmonogramowania procesu walcowania ciągłego z uwzględnieniem współpracy z systemem walcowni finalnych. Praca dyplomowa magisterska, Instytut Automatyki, Gliwice 1983.

[12] Kowalowski i inni: Automatyzacja Dyskretnych Procesów Przemysłowych. WNT, Warszawa 1984.

[13] Зелиньска - Крол Э: Проблемы управления процессом проката. IV MKAPC CSVTS, Ostrawa 1984 (streszczenie).

[14] Zielińska-Król E.: Zastosowanie metody programowania wieloetapowego do harmonogramowania procesu walcowania ciągłego. ZN Pol. Śl. Automatyka, nr 75, ss. 157-169, Gliwice 1984.

[15] Rasztabiga D.: Rolling process control. 8-th International Conference on Control and Computer Science, Bucharest 1989.

[16] Wandzik M.: Sterowanie linią walcowniczą. Praca dyplomowa magisterska, Instytut Automatyki, Gliwice 1989.

[17] Marecki F. i inni: Symulatory sterowania dyskretnymi procesami przemysłowymi. Raport z pracy naukowo-badawczej, Instytut Automatyki, Politechnika Śląska, Gliwice 1989 (nie publikowana).

[18] Rasztabiga D.: Sterowanie procesem walcowania ciągłego. Materiały konferencyjne IV Ogólnopolskiego Konwersatorium nt.: "Cybernetyka - Inteligencja - Rozwój" CIR'89, ZG PTC oraz COBNiD Warszawa, WSRP w Siedlcach ss. 135-144, Siedlce 1989.

[19] Rasztabiga D.: Symulator sterowania procesem walcowania ciągłego. ZN Pol. Śl., Automatyka, Gliwice 1990.

Recenzent: Doc.dr hab.inż. Konrad Wala

Wpłynęło do Redakcji 2.04.90 r.

МИНИМИЗАЦИЯ ВРЕМЕНИ ПРОЦЕССА ПРОКАТА НА ПРОКАТНОМ СТАНЕ

Резюме

В статье представлена математическая модель и алгоритм управления Непрерывным Прокатным Станом. В алгоритме выделены эвристики а расчеты иллюстрированы примерами. Для решения проблемы принят критерий минимизации времени процесса проката на прокатном стане.

OPTIMIZATION OF THE ROLLING TIME
IN THE BILLET CONTINUOUS MILL

S u m m a r y

The paper presents a mathematical model and a control algorithm of the Billet Continuous Mill (BCM). For the control algorithm of the BCM the heuristics are destinguished and the calculations are illustrated by the examplies. The criterion is to minimize the time of the continuous - flow rolling process.