

Zdzisław Jurczyk  
Politechnika Śląska

#### OPTIMALNE HARMONOGRAMOWANIE PROCESU WYTŁACZANIA BLACH KAROSERYJNYCH

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono uproszczony model procesu wytłaczania blach karoseryjnych i sformułowano zadanie harmonogramowania procesu. Omówiono algorytm optymalnego harmonogramowania procesu wytłaczania oparty o programowanie wieloetapowe..

#### Wprowadzenie

Proces wytłaczania blach karoseryjnych jest wielooperacyjnym procesem, którym wyroby końcowe czyli wytłoczki, uzyskuje się w wyniku wykonania a odpowiednich wykrojach blach ciągu operacji tłoczenia na prasach wymaganych tonażu. Prasy te z zamontowanymi na nich narzędziami, czyli tłocznikami, muszą występować kolejno po sobie w linii. Poszczególne asortymenty wytłoczek wykonuje się partiami, przy czym, ze względu na pracochłonność operacji montażu i demontażu tłoczników (czyli, tzw. przebrojenia pras) korzystna jest realizacja produkcji w możliwie najdłuższych partiach. Maksymalne możliwe długości partii uzależnione są od stanu zabezpieczenia materiałowego, pojemności magazynu wytłoczek oraz od stanu zapasów wytłoczek w magazynie.

Wytłoczki każdego asortymentu wydawane są z magazynu prawie równomiernie, zgodnie z planem produkcji karoserii. Celem sterowania procesem wytłaczania jest utrzymywanie (przy uwzględnieniu wszystkich ograniczeń technologiczno-organizacyjnych) odpowiedniego, racjonalnego poziomu zapasów wytłoczek w magazynie, pozwalającego na zapewnienie ciągłości dostaw etali na spawalnię (także w przypadku awarii maszyn i tłoczników lub wystąpienia innych zakłóceń).

Problematyka harmonogramowania procesu wytłaczania jest przedstawiona .in. w pracach [4-5] przy czym prace [4,5] poświęcone są heurystyczno-symulacyjnym algorytmom harmonogramowania dla modeli o różnym stopniu szczegółowości, natomiast w [2,3] przedstawiono algorytmy optymalnego harmonogramowania dla pewnych uproszczonych modeli pojedynczej linii pras.

#### Model matematyczny procesu wytłaczania i formalizacja zadania harmonogramowania

Prasy pracujące w tłoczni pogrupowane są w linie. Cechą charakterystyczną każdej prasy jest jej tonaż, który decyduje o operacjach jakie można

na niej wykonać. Prasy zatem opisać można za pomocą macierzy

$$U = [u_{ij}] , \quad j=\overline{1, J} , \quad i=\overline{1, I} \quad /1/$$

gdzie:  $u_{ij}$  - tonaż j-tej prasy i-tej linii,

$I$  - liczba linii pras,

$J$  - maksymalna liczba pras w liniach. Ze względu na różną liczbę pras w poszczególnych liniach, niektóre elementy macierzy

$u_{ij}=0$ , jeśli j-ta prasa nie występuje w i-tej linii.

W tłoczni produkowanych jest  $L$  typów wytłoczek. Model produkcji każdego typu wytłoczek dany jest w postaci

$$O_l = \langle M_l, c_l, t_l, t_l^u, t_l^r \rangle , \quad l=\overline{1, L} \quad /2/$$

$$M_l = [m_{lk}] , \quad k=\overline{1, K_l}$$

gdzie:  $M_l$  - wektor numerów dopuszczalnych marszrut technologicznych realizacji wytłoczek l-tego typu,

$K_l$  - liczba dopuszczalnych marszrut realizacji wytłoczek l-tego typu,

$c_l$  - liczba pracowników potrzebnych przy realizacji wytłoczek l-tego typu;

$t_l$  - jednostkowy czas operacji tłoczenia wytłoczek l-tego typu. Obrabiane detale przechodzą z prasy na prasę bez możliwości gromadzenia się przed prasami, a zatem czas ten odpowiada czasowi najdłuższej operacji przy wykonywaniu wytłoczek l-tego typu,

$t_l^u$  - czas uzbrojenia pras do realizacji wytłoczek l-tego typu, czyli zamontowania na prasach odpowiednich tłoczników i sprawdzenia poprawności działania przezbrojonego ciągu pras,

$t_l^r$  - czas rozbiorzenia pras czyli demontażu tłoczników.

Każda marszruta technologiczna określa ciąg tonaży pras, na których wykonywane są kolejne operacje tłoczenia. Zbiór wszystkich dopuszczalnych marszrut opisuje macierz

$$A = [a_{kj}] , \quad j=\overline{1, J} , \quad k=\overline{1, K} \quad /3/$$

$$a_{kj} = \begin{cases} \text{tonażowi } j\text{-tej prasy w } k\text{-tej wersji marszruty} \\ 0 \text{ jeśli } j\text{-ta prasa nie jest wykorzystywana w } k\text{-tej} \\ \text{marszrucie} \end{cases}$$

gdzie:  $K$  - liczba wszystkich dopuszczalnych marszrut technologicznych.

Obróbce w tłoczni poddawane są, tzw. wykroje blach wykonywane w krajalni na drodze operacji cięcia gilotynowego. Niektóre z typów wytłoczek wykonywane są z odpadów powstałych przy produkcji innych. Zakładając, że z danego typu odpadów może być wykonywany co najwyżej jeden asortyment wytłoczek, informacje o przyporządkowaniu odpadów do wykonywanych z nich wytłoczek można przedstawić w postaci wektora

$$G = [g_1] \quad , \quad l=\overline{1, L} \quad /4/$$

$$g_1 = \begin{cases} 1 & \text{jeśli wyłoczki l-tego typu wykonywane są z odpadów powsta-} \\ & \text{łych przy produkcji l-tych, wyłoczek,} \\ 0 & \text{jeśli wyłoczki l-tego typu nie są wykonywane z odpadów} \end{cases}$$

Gotowe wyroby składowane są w magazynie wyłoczek, którego pojemność opisana jest przez

$$z_1^{\max} = [z_1^{\max}] \quad , \quad l=\overline{1, L} \quad /5/$$

gdzie:  $z_1^{\max}$  - liczba sztuk wyłoczek l-tego asortymentu jaką pomieści magazyn

Ze względu na konieczność zapewnienia ciągłości dostaw detali na spawalnię przyjmujemy, że dla każdego asortymentu wyłoczek określony jest minimalny zapas jaki powinien być zawsze dostępny w magazynie

$$z_1^{\min} = [z_1^{\min}] \quad , \quad l=\overline{1, L} \quad /6/$$

gdzie:  $z_1^{\min}$  - zapas minimalny dla wyłoczek l-tego typu.

Znane są także:

a) stan zapasów w magazynie wyłoczek w chwili początkowej  $t=0$

$$Z = [z_1] \quad , \quad l=\overline{1, L} \quad /7/$$

$z_1$  - liczba sztuk wyłoczek l-tego typu w chwili  $t=0$

b) stan zabezpieczenia materiałowego

$$B = [b_1] \quad , \quad l=\overline{1, L} \quad /8/$$

$$b_1 = \begin{cases} \text{liczbie sztuk detali l-tego asortymentu jaką można wykonać} \\ \text{z dostępnego materiału} \\ \text{liczbie sztuk detali jaką można wykonać z dostępnych odpadów} \\ \text{jeśli } g_1 > 0, \end{cases}$$

c) minimalne, dopuszczalne wielkości partii  $n_1^{\min}$ ,  $l=\overline{1, L}$  jakie można wykonać ze względu na czasochłonność przezbrojeń

d) liczby sztuk wyłoczek  $v_1$ ,  $l=\overline{1, L}$  poszczególnych asortymentów wydawanych z magazynu w jednostce czasu, określone na podstawie planu produkcji karoserii;

e) liczba dostępnych pracowników obsługi C.

Dla tak sformułowanego modelu procesu wytłaczania wyznaczyć należy harmonogram pracy tłoczni w przedziale czasu  $(0, \overline{t_B})$ , który pozwoli na realizację planu dostaw wyłoczek z magazynu i utrzymanie racjonalnego poziomu zapasów detali w magazynie. Harmonogram ten powinien określać terminy realizacji poszczególnych zadań produkcyjnych, przyporządkowanie zadań do linii, marszruty technologiczne oraz wielkości partii./zadaniem nazywać będziemy wykonanie partii wyłoczek danego typu/

$$EA = \{ \langle l_s, r_s, k_s, q_s^1, q_s^2, q_s^3, n_s \rangle, \quad s=\overline{1, S} \} \quad /8/$$

gdzie:  $l_s$  - indeks wyłoczek wykonywanych w s-tym z kolei zadaniu w harmonogramie,

- $r_s$  - numer linii, do której zostało przydzielone  $s$ -te zadanie,  
 $k_s$  - numer marszruty,  
 $q_s^1$  - termin rozpoczęcia przebrojenia dla  $s$ -tego zadania,  
 $q_s^2$  - termin zakończenia realizacji  $s$ -tego zadania,  
 $q_s^3$  - termin rozpoczęcia wytłaczania,  
 $n_s$  - wielkość partii wytłoczek wykonywanych w  $s$ -tym zadaniu,  
 $S$  - liczba zadań przydzielonych do wykonania w harmonogramie.

Zakładamy, że w rozpatrywanym przedziale czasu  $(0, T_H)$  wytłoczki danego typu można wykonywać co najwyżej jeden raz. Harmonogram pracy tłoczni spełniać powinien następujące ograniczenia:

- 1) liczba detali poszczególnych asortymentów w dowolnej chwili czasu  $0 \leq t \leq T_H$  nie może być niższa od zapasu minimalnego i większa od liczby wyznaczonej przez pojemność magazynu

$$z_1^{\min} \leq z_1(t) \leq z_1^{\max}, \quad l = \overline{1, L} \quad /9/$$

$z_1(t)$  - stan zapasów  $l$ -tego asortymentu w chwili  $t$ .

- 2) liczba pracowników potrzebnych do realizacji harmonogramu nie może przekroczyć zadanej liczby  $C$

$$\bigwedge_{0 \leq t \leq T_H} \sum_{l \in \Omega_t} o_l \leq C, \quad \Omega_t = \{l_s : q_s^1 \leq t \leq q_s^2 + n_s \cdot t_{l_s}, \quad 1 \leq s \leq S\} \quad /10/$$

$\Omega_t$  - zbiór numerów typów wytłoczek wykonywanych w chwili  $t$

- 3) wielkość partii wytłoczek przydzielonych do wykonania nie może przekroczyć liczby jaką można wykonać z dostępnego materiału

$$n_s \leq b_{1_s} \quad \text{dla detali wykonywanych z materiału,} \quad /11/$$

oraz dla detali wykonywanych z odpadów ( $g_{1_s} > 0$ )

$$n_s \leq b_{1_s} \quad \text{jeśli } g_{1_s} \in \{1_1, 1_2, \dots, 1_S\} \quad /12/$$

$$n_s \leq n_r + b_{1_s} \quad \text{jeśli } g_{1_s} \in \{1_1, 1_2, \dots, 1_S\} \text{ i } l_r = g_{1_s}$$

- 4) wszystkie operacje tłoczenia muszą być wykonywane na prasach o wymaganej tonażu

$$\bigwedge_{1 \leq s \leq S} \bigwedge_{1 \leq j \leq J} (a_{k_s, j} > 0 \Rightarrow u_{r_s, j} = a_{k_s, j}) \quad /13/$$

Jako kryterium optymalizacji harmonogramu przyjęto minimalizację sumy czasów przestoju maszyn, przy czym do przestoju wliczać będziemy także czasy przebrojeń.

### 3. Algorytm rozwiązania zadania harmonogramowania

Do rozwiązania sformułowanego wyżej zadania harmonogramowania wykorzystano programowanie wieloetapowe [6]. Jest to metoda generacji rozwiązań dopuszczalnych z możliwością eliminacji niektórych z nich (tzw. rozwiązań nieperspektywicznych) już w fazie ich konstruowania. Proces znajdowania rozwiązań dopuszczalnych sprowadza się do wieloetapowego procesu decyzyjnego

W każdym etapie decyzyjnym podejmowane są decyzje o przydziale do realizacji jednego dopuszczalnego zadania, z określeniem terminu jego wykonania, wielkości partii, linii na której będzie wykonywane i marszruty. Po  $\eta$  etapach decyzyjnych, każde rozwiązanie zawiera  $\eta$  przydzielonych zadań i można go opisać za pomocą następującego wyrażenia (które nazywać będziemy stanem)

$$\begin{aligned}
 P^{\lambda\eta} &= \{ D^{\lambda\eta}, H^{\lambda\eta}, W^{\lambda\eta} \}, \lambda = \overline{1, \Lambda_\eta} \\
 D^{\lambda\eta} &= [d_{ij}^{\lambda\eta}], \quad j = \overline{1, J}, \quad i = \overline{1, I} \\
 H^{\lambda\eta} &= [h_{sj}^{\lambda\eta}], \quad j = \overline{1, S}, \quad s = \overline{1, \eta} \\
 W^{\lambda\eta} &= [w_k^{\lambda\eta}], \quad k = \overline{1, C}
 \end{aligned}
 \tag{14}$$

- gdzie:  $P^{\lambda\eta}$  - stan  $\lambda$ -tej wersji rozwiązania,  
 $d_{ij}^{\lambda\eta}$  - chwila zwolnienia  $j$ -tej prasy  $i$ -tej linii po realizacji  $\eta$ -zadań w  $\lambda$ -tej wersji rozwiązania,  
 $h_{sj}^{\lambda\eta}$  - indeks (numer) typu wytłoczek przydzielonych do wykonania w  $s$ -tym zadaniu,  
 $h_{s2}^{\lambda\eta}$  - numer linii do której zostało przydzielone  $s$ -te zadanie,  
 $h_{s3}^{\lambda\eta}$  - numer marszruty według której będzie realizowane  $s$ -te zadanie,  
 $h_{s4}^{\lambda\eta}$  - wielkość partii wytłoczek  $h_{s1}^{\lambda\eta}$ -tego typu przydzielonych do wykonania w  $s$ -tym zadaniu,  
 $h_{s5}^{\lambda\eta}$  - chwila zakończenia realizacji  $s$ -tego zadania równa chwili zwolnienia wykorzystywanych maszyn po demontażu tłoczników,  
 $w_k^{\lambda\eta}$  - chwila zwolnienia  $k$ -tego pracownika po wykonaniu zleconych mu zadań,

$\Lambda_\eta$  - liczba dopuszczalnych rozwiązań po  $\eta$  etapach decyzyjnych.

Z każdego stanu  $\lambda, (\lambda=1, \Lambda_\eta)$   $\eta$ -tego etapu generujemy dopuszczalne stany etapu  $(\eta+1)$ -szego przydzielając do wykonania każde z dopuszczalnych zadań i wariantując sposoby jego wykonania (wybór linii, marszruty i wielkości partii). Decyzję o przydziale do realizacji zadania wykonania  $n_1$  sztuk wytłoczek  $l$ -tego asortymentu ( $n_1 \in \{n_1^{\min} + q \cdot \Delta n_1\}$ ,  $q=0, 1, 2, \dots$ ) według  $m_{1k}$ -tej marszruty ( $k=1, K_1$ ) na  $i$ -tej linii można podjąć jeśli spełnione są następujące warunki:

- 1) wytłoczki  $l$ -tego typu nie były jeszcze wykonywane  

$$1 \leq s \leq \eta \quad h_{s1} \neq 1 \tag{15}$$
- 2) prasy  $i$ -tej linii odpowiadają wymaganym tonażom  

$$1 \leq j \leq J \quad (a_{m_{1k}, j} > 0 \Rightarrow u_{1j} = a_{m_{1k}, j}) \tag{16}$$
- 3) stan zabezpieczenia materiałowego pozwala na realizację  $n_1$  sztuk wytłoczek

$$n_l \leq \begin{cases} b_1 + h_{r4}^{\lambda\eta} & \text{jeśli } g_1 > 0 \wedge \left( \bigvee_{1 \leq r \leq \eta} h_{r1}^{\lambda\eta} = g_1 \wedge h_{r5}^{\lambda\eta} - t_{g_1}^r \leq t_{g_1}^{\lambda\eta} \right) \\ b_1 & \text{w przeciwnym przypadku} \end{cases} \tag{17}$$

4) wyprodukowane wytłoczki zmieszczą się w magazynie

$$z_1 + n_1 - \tau_1^{\lambda\eta} v_1 \leq z_1^{\max} \quad /18/$$

Dla uproszczenia będziemy spełnienie tego warunku w chwili rozpoczęcia procesu wytłaczania przydzielonych do wykonania wytłoczek ( $\tau_1^{\lambda\eta}$ ),

5) stan zapasów detali 1-tego asortymentu nie spadnie poniżej  $z_1^{\min}$  przed upływem chwili  $\tau_1^{\lambda\eta}$

$$z_1 - \tau_1^{\lambda\eta} v_1 \geq z_1^{\min} \quad /19/$$

Chwilę  $\tau_1^{\lambda\eta}$  wyznacza się na podstawie chwili  $\tau_1^{\lambda\eta}$  zakończenia przebrożenia potrzebnego podzbioru maszyn i chwili  $\tau_1^{**\lambda\eta}$  zwolnienia potrzebnej liczby pracowników obsady

$$\tau_1^{\lambda\eta} = \max\{\tau_1^{*\lambda\eta}, \tau_1^{**\lambda\eta}\} \quad /20/$$

Uzbrojenie pras rozpoczyna się z chwilą zwolnienia odpowiedniego podzbioru pras

$$\tau_1^{*\lambda\eta} = \max_{j \in \alpha_{m_{1k}}} \{d_{1j}^{\lambda\eta}\} + t_1^u \quad /21/$$

$$\alpha_{m_{1k}} = \{j : a_{m_{1k}} > 0, j = \overline{1, J}\} \quad /22/$$

Chwilę zwolnienia oo najmniej  $c_1$  pracowników jest to najmniejsza wartość  $\tau_1^{**\lambda\eta}$  dla której spełniona jest zależność

$$d_1^r = \{r : w_r^{\lambda\eta} \leq \tau_1^{**\lambda\eta}, 1 \leq r \leq C\} \quad /23/$$

i moc zbioru

$$|\delta_1| \geq c_1$$

Wtedy stan  $\xi$ -tego rozwiązania ( $\eta+1$ )-szego etapu uzyskujemy poprzez wykonanie operacji modyfikacji stanu

$$P^{\xi, \eta+1} = P^{\lambda\eta} \boxplus \Delta P \quad /24/$$

gdzie:  $\boxplus$  operacja modyfikacji stanu, która polega na wykonaniu następujących działań

$$1) \quad D^{\xi, \eta+1} = D^{\lambda\eta} + \Delta D \quad /25/$$

$$\Delta D = [\Delta d_{rs}], \quad r = \overline{1, I}, \quad s = \overline{1, J}$$

$$\Delta d_{rs} = \begin{cases} \tau_1^{\lambda\eta} + t_1 \cdot n_1 + t_1^r - d_{rs}^{\lambda\eta} & \text{jeśli } a_{m_{1k}, s} > 0 \text{ oraz } r=1 \\ 0 & \text{jeśli } r \neq 1 \text{ lub } a_{m_{1k}, s} = 0 \end{cases}$$

$$2) \quad H^{\xi, \eta+1} = H^{\lambda\eta} + \Delta H \quad /26/$$

$$\Delta H = [\Delta h_{sr}], \quad s = \overline{1, \eta+1}, \quad r = \overline{1, 5}$$

$$\Delta h_{sr} = 0 \text{ dla } 1 \leq s \leq \eta, \quad 1 \leq r \leq 5$$

$$\Delta h_{\eta+1, 1} = 1, \quad \Delta h_{\eta+1, 2} = 1, \quad \Delta h_{\eta+1, 3} = m_{1k}, \quad \Delta h_{\eta+1, 4} = n_1,$$

$$\Delta h_{\eta+1, 5} = \tau_1^{\lambda\eta} + t_1 \cdot n_1 + t_1^r$$

$$3) \quad W^{\xi, \eta+1} = W^{\lambda\eta} + \Delta W \quad /27/$$

$$\Delta W = [\Delta w_r], \quad r=1, C$$

$$\Delta w_r = \begin{cases} T_1^{\lambda\eta} + t_1 \cdot n_1 - w_r^{\lambda\eta} & \text{jeśli } r\text{-ty pracownik bierze udział} \\ & \text{w wykonywaniu } (\eta+1)\text{-szego zadania} \\ & \text{tzn. } w_r^{\lambda\eta} \leq T_1^{\lambda\eta} \\ 0 & \text{jeśli } w_r^{\lambda\eta} > T_1^{\lambda\eta} \end{cases}$$

lub liczba niezerowych współrzędnych wektora  $\Delta W$  jest już równa  $c_1$

Wartość wskaźnika jakości określamy ze wzoru

$$Q^{\xi, \eta+1} = Q^{\lambda\eta} + \sum_{j \in \alpha_{m_{1k}}} (h_{\eta+1,5}^{\xi, \eta+1} - t_1 \cdot n_1 - d_{1j}^{\lambda\eta}) \quad /28/$$

$$i = h_{\eta+1,2}^{\xi, \eta+1}, \quad \alpha_{m_{1k}} \text{ jak we wzorze /21/}$$

Dla eliminacji rozwiązań nieperspektywicznych badamy każdy wygenerowany stan, czy nie jest zdominowany przez stan wcześniej wygenerowany lub też nie dominuje nad stanem wcześniej wygenerowanym.

Jeżeli po wygenerowaniu  $\xi$  stanów istnieje takie  $1 \leq \lambda < \xi$ , w którym

1) przydzielono do wykonania te same asortymenty wytłoczek

$$\bigwedge_{1 \leq s \leq \eta} \bigvee_{1 \leq r \leq \eta} (h_{s1}^{\xi, \eta+1} = h_{r1}^{\lambda, \eta+1}) \wedge (h_{s4}^{\xi, \eta+1} \geq h_{r4}^{\lambda, \eta+1}) \quad /29/$$

2) czasy zwolnienia maszyn i pracowników są korzystniejsze

$$\bigwedge_{1 \leq i \leq I} \bigwedge_{1 \leq j \leq J} d_{ij}^{\xi, \eta+1} \leq d_{ij}^{\lambda, \eta+1} \quad /30/$$

$$\bigwedge_{1 \leq l \leq L} |d^{F, \eta+1}| \gg |d^{\lambda, \eta+1}| \quad /31/$$

$$d^{\lambda, \eta+1} = \{r : w_r^{\lambda, \eta+1} \leq T, 1 \leq r \leq C\}$$

3)  $Q^{\xi, \eta+1} \leq Q^{\lambda, \eta+1}$  /32/

to rozwiązanie  $\lambda$ -te jako nieperspektywiczne można wyeliminować.

Oprócz reguły dominacji do eliminacji niektórych stanów można stosować dodatkowo, tzw. regułę wyczerpywania związaną z istnieniem stanów, z których nie można wygenerować żadnego dopuszczalnego rozwiązania ze względu na ograniczenie /9/. W najprostszej postaci reguła ta ma postać

$$\bigvee_{1 \leq \lambda \leq \Lambda\eta} \bigvee_{1 \leq l \leq L} (z_1 + x_1 - v_1 \cdot (\min_{\substack{1 \leq i \leq I \\ 1 \leq j \leq J}} \{d_{ij}^{\lambda\eta}\}) \leq z_1^{\min}) \Rightarrow P^{\lambda\eta} \text{ jest wyczerpany}$$

$$x_1 = \begin{cases} h_{s4}^{\lambda\eta} & \text{jeśli } \bigvee_{1 \leq s \leq \eta} h_{s1}^{\lambda\eta} = 1 \\ 0 & \text{w przeciwnym przypadku} \end{cases} \quad /33/$$

Obie reguły stosujemy w każdym etapie decyzyjnym zmniejszając w ten sposób liczbę generowanych rozwiązań dopuszczalnych. Proces generacji rozwiązań ze stanu  $P^{\lambda\eta}$  przerywamy w chwili gdy

$$\min_{1 \leq i \leq I} (\min_{1 \leq j \leq J} d_{ij}^{\lambda\eta}) \geq T_H \quad /34/$$

Liczba etapów decyzyjnych nie jest zatem a priori znana i liczba zadań przydzielonych do wykonania w poszczególnych rozwiązaniach końcowych

może być różna. Wynika to ze specyfiki problemu poszukiwania harmonogramu realizacji zadań w zadany przedziale czasu.

Po utworzeniu zbioru rozwiązań, spełniających warunek /34/ rozwiązanie optymalne wyznaczamy z zależności

$$Q^{\lambda^{opt}, E} = \min_{\lambda \in \Lambda_E} Q^{\lambda, E} \quad /35/$$

gdzie  $\Lambda_E$  - liczba końcowych rozwiązań dopuszczalnych.

Harmonogram HA można wtedy określić na podstawie macierzy  $H^{\lambda^{opt}, E}$ .

W końcowych etapach decyzyjnych spośród rozwiązań spełniających warunek /34/ można zapamiętywać tylko jedno, najlepsze w sensie przyjętego kryterium, eliminując pozostałe.

#### 4. Uwagi końcowe

W referacie przedstawiono algorytm optymalnego harmonogramowania pracy systemu linii pras. Możliwości praktycznego wykorzystania tego algorytmu przy dużej liczbie produkowanych asortymentów wytłoczek ograniczone są przede wszystkim czasem obliczeń, a także pojemnością dostępnej pamięci operacyjnej komputera.

Skrócenie czasu obliczeń można uzyskać przez:

1. zmniejszenie przedziału czasu, dla którego obliczany jest harmonogram
2. zwiększenie wartości przyrostu wielkości partii  $A_n$ , co wpływa na liczbę dopuszczalnych wielkości partii. Prowadzić to jednak może do pogorszenia jakości rozwiązania.
3. stosowanie skutecznych reguł eliminacji rozwiązań nieperspektywicznych (możliwie szybko wykrywających stany zdominowane i wyczerpane).

W przypadku zapisywania stanów poszczególnych rozwiązań w zewnętrznej pamięci masowej - pojemność pamięci praktycznie nie stanowi ograniczenia. Zajętość pamięci można zmniejszyć przez odpowiednią organizację procesu obliczeniowego i generację rozwiązań podzbiórmi, mieszczącymi się w dostępnej pamięci oraz zapamiętywanie najlepszego rozwiązania końcowego z przeszukanych podzbiórów tych rozwiązań. Umożliwie to uzyskanie rozwiązania końcowego (suboptymalnego) przy ograniczonym czasie obliczeń. Korzystne z punktu widzenia procesu obliczeniowego są tzw. trudne sytuacje produkcyjne w tłoczni, występujące w przypadku niskich stanów zapasów wytłoczek w magazynie. Związane to jest ze znacznie mniejszą liczbą dopuszczalnych wariantów rozwiązań.

#### LITERATURA

- [1]. Jurczyk Z.: Model procesu wytłaczania i koncepcja wieloprocedurowego,



- heurystycznego algorytmu harmonogramowania, ZN Pol. Śl. s. Automatyka, Gliwice 1980, z.55.
- [2]. Jurczyk Z.: Kalendarne planowanie pracy sztampowoczonej linii, mat. konf. ARS'81, Ostrowa 1981.
- [3]. Jurczyk Z., Marecki F.: Discrete process scheduling in a system with series structure, mat. 4- International Symposium on Control Systems and Computer Science, Bukareszt 1981.
- [4]. Jurczyk Z., Marecki F.: Harmonogramowanie procesu wytłaczania blach karoseryjnych, ZN Pol. Śl.nr 44, s. Automatyka, Gliwice 1978.
- [5]. Kowalowski H. i inni : Optymalizacja harmonogramowania produkcji Wydziału Tłoczni w Zakładzie nr 2 w Tychach, raport z pracy n-b, Gliwice 1979-1980 (niepublikowany).
- [6]. Marecki F.: Algorytm programowania wieloetapowego, referat zgłoszony na 4-KK ADPP.
- [7]. Zaborowski B.: System sterowania tłocznią FSO, mat. konf. SYSTER'79 Katowice 1979.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Stanisław Piasecki

Wpłynęło do Redakcji do 30.03.1984r.

ОПТИМАЛЬНОЕ КАЛЕНДАРНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ШТАМПОВКИ ЭЛЕМЕНТОВ КУЗОВОВ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Р е з ю м е

В работе дана упрощенная модель процесса штамповки элементов кузовов и сформулирована задача календарного планирования этого процесса. Оговорен алгоритм оптимального календарного планирования в виде многоэтапной решающей процедуры.

OPTIMAL SCHEDULING FOR BODY SHEETS DRAWING PROCESS

S u m m a r y

A simplified model of body sheets drawing process is proposed and a scheduling problem is formulated. Optimal scheduling algorithm is based on multi-stage programming method.