ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1980

Seria: AUTOMATYKA z. 55 Nr kol. 651

Zdzisław Jurczyk
Politechnika Śląska

MODEL PROCESU WYTŁACZANIA BLACH KAROSERYJNYCH I KONCEPCJA HEURYSTYCZNEGO ALGORYTMU HARMONOGRAMOWANIA

Streszczenie.W referacie przedstawiono model procesu wytłaczania blach karoseryjnych i omówiono koncepcję wieloprocedurowego, heurystycznego algorytmu harmonogramowania.

1. Wprowadzenie.

Proces wytłaczania blach karoseryjnych jest jednym z ważnych ogniw produkcyjnych w przemyśle samochodowym.Od jakości sterowania tym procesem zależy stopień wykorzystania maszyn, co wpływa na liczbę wyprodukowanych samochodów.

Na tłoczni pracuje I linii pras. Każda z linii składa się z J_i pras, przy czym pierwsza prasa w każdej linii / tzw. prasa podwójnego działania/ ma zawsze większą siłę nacisku niż pozostałe o jednakowym tonażu w danej linii.Produkcja każdej wytłoczki wymaga wykonania ciągu operacji tłoczenia w odpowiedniej kolejności na prasach o odpowiednim tonażu, występujących kolejno po sobie w linii.Obróbce poddawane są wykroje blach przygotowywane dla większości asortymentów detali na Krajalni.Każdorazowa zmiana tłoczonych asortymentów detali związana jest z koniecznością czasochłonnej zmiany oprzyrządowania pras, tj. z ich przezbrojeniem.Nie wykorzystywane w danej chwili narzędzia/tłoczniki/ przechowywane są w Magazynie Tłoczników.Wyroby finalne, czyli wytłoczki, ładowane są do specjalnych pojemników /palet/ i odwożone sukcesywnie do Magazynu Wytłoczek.
Jeżeli liczba pras potrzebnych do produkcji danego asortymentu detali /czyli do realizacji odpowiedniej technologii wytłaczania/ przekracza maksymalną liczbę pras w linii, lub operacja tłoczenia na prasie podwójnego działania nie jest pierwszą operacją tłoczenia w danej technologii- zachodzi konieczność podziału ciągu operacji tłoczenia na pewne wyodrębnione podciągi,które można wykonywać oddzielnie.

Detale, na których została wykonana częściowa obróbka s pierwszych wyodrębnionych podciągów operacji, nazywać będziemy s-tymi półproduktami danego asortymentu detali.

Zadanie sterowania procesem wytłaczania sprowadza się do zadania harmo-

nogramowania ,czyli wyznaczania rozdziału zadań produkcyjnych między maszyny z określeniem czasów ich realizacji,tak by przy zadanym planie produkcji karoserii i dostaw części zamiennych zabezpieczyć ciągłość pracy spawalni. Jako podstawowe kryterium oceny harmonogramów można przyjąć łączny czas przestojów maszyn w danym okresie harmonogramowania powodowany koniecznością ich przezbrojeń, bądź innymi przyczynami, np. ograniczoną liczbą pracowników obsługi pras, brakiem materiału, awariami narzędzi itd. Efektywność wykorzystania maszyn można zwiększyć, wydłużając długości produkowanych serii; są one jednak ograniczone pojemnością magazynu gotowych wyrobów oraz sytuacją produkcyjną warunkującą niekiedy długości serii.

2. Model procesu wytłaczania.

Cechą charakterystyczną każdej prasy jest jej tonaż. Uwzględniając pogrupowanie pras w linie, strukturę urządzeniową tłoczni opisać można macierzą U:

$$U=[u_{ij}],\ (j=1,2,..,J;\ i=1,2,..,I) \qquad /1/$$

$$J=\max_{1\le i\le I}\{J_i\},\ \bigwedge_{1\le i\le I}\bigwedge_{j>J_i} u_{ij}=0 \qquad /2/$$

$$\bigwedge_{1\le i\le I}\ \bigwedge_{2\le j',j\le J}\ j'\neq j \Rightarrow u_{ij'}>u_{ij} \wedge u_{ij}=u_{ij'} \qquad /3/$$

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

W zbiorze technologii wytłaczania zachodzić mogą dwa rodzaje powiązań:

- powiązania materiałowe: po wykonaniu ciągu operacji tłoczenia i rozcięciu otrzymujemy 2 asortymenty detali/ będące zazwyczaj "lustrzanymi odbiciami" względem siebie np. typu prawy/lewy/,
- powiązania narzędziowe: na tych samych narzędziach można wykonać pewne podciągi operacji tłoczenia dla 2 różnych asortymentów detali.

Technologię wytłaczania każdego typu detali opisać można za pomocą następującego wyrażenia:

$$T_l=\langle T_{l1},T_{l2},\dots,T_{lS_l}\rangle,$$

$$T_{ls}=\langle l_s,a^1_{ls},a^2_{ls},\tau^j_{ls},\tau^d_{ls},\tau^z_{ls},\tau^r_{ls},\nu_{ls},\xi_{ls},\gamma_{ls},o_{ls}\rangle,$$

$$\nu_{ls}=\langle \nu^1_{ls},\nu^2_{ls},\dots,\nu^I_{ls}\rangle,\ (i=1,2,\dots,L) \qquad /4/$$

gdzie: T_l-technologia wytłaczania l-tego asortymentu detali,

T_{ls}- s-ty podciąg operacji tłoczenia ,po realizacji którego uzyskujemy s-ty półprodukt l-tego asortymentu,

l_s- indeks detalu / lub półproduktu/,

a^1_{ls}- tonaż 1-szej prasy w ciągu potrzebnej do realizacji s-tego podciągu operacji T_l-tej technologii,

a^2_{ls}-liczba operacji tłoczenia /równa liczbie pras/ w s-tym podciągu T_l-technologii,

τ^j_{ls}-jednostkowy czas operacji tłoczenia przy realizacji s-tego pod-

ciągu operacji na l-tym asortymencie detali,

$T^{ż}_{ls}$ - czas uzbrojenia podciągu pras, czyli zamontowania na prasach odpowiednich tłoczników,

T^{d}_{ls} - czas dostosowania ,czyli czas na uruchomienie serii próbnej wytłoczek i sprawdzenie poprawności działania uzbrojonego podciągu pras,

T^{r}_{ls} - czas rozbrojenia pras po zakończeniu produkcji,

κ_{ls} - indeks technologii powiązanej z T_{ls}-tą technologią,

ν_{ls} - kod określający typ powiązania,

o_{ls} - liczba pracowników potrzebna do obsługi pras w T_{ls}-technologii,

γ^{i}_{ls} - czas wykonania czynności dodatkowych przy przezbrojeniu linii/równy zeru dla linii podstawowej i większy od zera, jeśli i-ta linia nie jest linią podstawową dla T_{ls}-tej technologii/.Wynika to z nierównomiernego zużywania się pras i dostosowania tłoczników do wybranych linii oraz z konieczności transportu tłoczników z magazynu w strefę działania suwnic obsługujących te linie,

L - liczba asortymentów detali produkowanych na tłoczni.

Dla każdego asortymentu detali znane są ponadto:

- pojemność magazynu z_l^{max} ,określająca liczbę sztuk danego asortymentu, jaką pomieści Megazyn Wytłoczek,
- normatyw zapasu awaryjnego z_l^{min},tj. minimalna liczba sztuk, jaka winna być zawsze dostępna w magazynie,
- długość serii ekonomicznej n_l^{e},tj. minimalna długość serii, jaką się opłaca produkować ze względu na czasochłonność przezbrojenia,
- liczba detali danego asortymentu potrzebna do produkcji jednego samochodu - α_l.

Stan każdej prasy w chwili t określić można za pomocą jej czasu zajętości:

$$p_{ij}(t) = t_{ij} - t \qquad /5/$$

gdzie: $p_{ij}(t)$ - czas zajętości j-tej prasy i-tej linii liczony od chwili t,

t_{ij} - czas zajętości j-tej prasy i-tej linii liczony od początku okresu harmonogramowania,wynikający z czasu realizacji przydzielonych do niej zadań.

Czas zajętości wszystkich pras opisuje macierz:

$$P(t) = [p_{ij}(t)] \quad ,(j=1,2,..,J;i=1,2,..,I) \qquad /6/$$

$$1 \le i \le I \quad 1 \le j \le J \qquad p_{ij}(0) > t_H \qquad /7/$$

Elementy p_{ij} odpowiadające prasom " nie istniejącym" blokujemy poprzez wprowadzenie początkowego czasu zajętości dłuższego od okresu harmonogramowania t_H.

Przy sterowaniu procesem wytłaczania interesują nas tylko pewne wyróżnione chwile czasu, w których należy podjąć decyzję o dalszym przebiegu procesu. Stany tłoczni w wyróżnionych chwilach czasu nazywać będziemy stanami istotnymi. Chwile występowania stanów istotnych oznaczymy przez t^k ,k=1,2,...,K. W okresach czasu (t^k, t^{k+1}) istnieje stały rozdział zadań między maszyny.Wystąpienie wyróżnionej chwili czasu związane jest ze zwol-

nieniem co najmniej jednej prasy, a zatem z zakończeniem produkcji przynajmniej jednego asortymentu detali lub półproduktów. Odpowiada to warunkowi:

$$\bigwedge_{0 \le t^k \le t_h} \bigvee_{1 \le i \le I} \bigvee_{1 \le j \le J} p_{ij}(t^k) = p_{ij}^k = 0 \qquad /8/$$

$$t^k = t^{k-1} + \min_{\substack{1 \le i \le I \\ 1 \le j \le J}} p_{ij}^{k-1} \qquad /9/$$

Prasy o zerowym czasie zajętości występujące kolejno po sobie w linii tworzą wyróżnione podciągi pras w danym stanie istotnym.

Stan realizacji procesu w k-tym stanie istotnym określają wektor stanu zapasów w magazynie Z^k i zbiór informacji o stanie zrealizowanych półproduktów:

$$Z^k = Z^{k-1} - \Delta E^k + \Delta W^k \quad ; \quad Z^k = [z_l] \ , (l=1,2,..,L) \qquad /10/$$

$$\Delta E^k = [e_l^k] \ , \quad e_l^k = v_l \cdot \left(t^k - t^{k-1} \right) \ , (l=1,2,..,L) \qquad /11/$$

$$W^k = [w_l^k] \ , \quad w_l^k = t^*_{lS_l} / \tau^j_{lS_l} \ , (l=1,2,..,L) \qquad /12/$$

$$G^k = [g_{ls}^k] \ , (s=1,..,S_l-1;\ l=1,2,..,L) \qquad /13/$$

$$g_{ls}^k = g_{ls}^{k-1} + t^*_{ls} / \tau^j_{ls} - t^*_{l,s+1} / \tau^j_{l,s+1} \qquad /14/$$

gdzie: g_{ls}^k - liczba dostępnych, zrealizowanych s-tych półproduktów l-tego asortymentu w k-tym stanie istotnym,

e_l^k - liczba detali l-tego asortymentu wydanych z magazynu w czasie (t^{k-1}, t^k)

v_l - liczba detali l-tego asortymentu ekspediowana w jednostce czasu,

t^*_{ls} - czas efektywnej realizacji w okresie (t^{k-1}, t^k) T_{ls}-tej technologii / czyli pomniejszony o czas przezbrojeń, jeśli przezbrojenie występowało w tym okresie/; $t^*_{ls}=0$, jeśli dana technologia nie była realizowana.

Po wyborze zadań do realizacji na wyróżnionych podciągach pras zmodyfikowany czas zajętości uzyskujemy z równania:

$$p^k_{ij_z} = p_{ij}^k + r_{ij}^k \quad , (j=1,2,..,J;\ i=1,2,..,I) \qquad /15/$$

$$r_{ij}^k = \begin{cases} \tau^j_{ls} \cdot n_{ls} + \tau^z_{ls} + \tau^r_{ls} + \tau^d_{ls} + \tau^i_{ls} & \text{jeśli do j-tej prasy i-tej linii zostało przydzielone zadanie realizacji } T_{ls}\text{-tej technologii na serii o długości } n_{ls}, \\ 0 & \text{jeśli do j-tej prasy i-tej linii nie zostało przydzielone żadne zadanie.} \end{cases}$$

Jeżeli do wyróżnionego podciągu pras nie można przydzielić żadnego zadania, wprowadza się ich przestój do chwili wystąpienia następnego stanu istotnego.

Wybór zadań musi być prowadzony przy spełnieniu następujących warunków:

$$\bigwedge_{1 \le t^k \le t_H} \bigwedge_{1 \le l \le L} z_l^{min} \le z_l^k \le z_l^{max} \qquad /16/$$

$$t^{pp}_{ls} \le t^u_{ls} \ , (s=1,2,..S_l \ ; \ l=1,2,..,L) \qquad /17/$$

$$t^u_{ls_l} = \left(z^o_l - z^{min}_l\right)/v_l \qquad /18/$$

$$t^u_{ls} = t^u_{l,s+1} - \tau^j_{l,s+1} \cdot n^*_{ls} \quad ,(s=1,2,..,s_l-1) \qquad /19/$$

$$n^e_l \leq n_l \leq b_l \qquad /20/$$

$$0 \leq t^k \leq t_H \qquad \sum_{l=1}^{L} \sum_{s=1}^{s_l} o_{ls} \cdot q^k_{ls} \leq C \qquad /21/$$

$$q^k_{ls} = \begin{cases} 1 \text{ dla } t^k \in \langle t^{pp}_{ls} , t^{kp}_{ls} \rangle \\ 0 \text{ w przeciwnym przypadku.} \end{cases} \qquad /22/$$

gdzie: z^k_l -liczba detali l-tego asortymentu w magazynie w k-tym stanie istotnym; z^o_l -stan zapasu w chwili rozpoczęcia harmonogramowania,

t^{pp}_{ls} -czas rozpoczęcia wytłaczania s-tych półproduktów l-tego asortymentu detali,

t^{kp}_{ls} -czas zakończenia wytłaczania s-tych półproduktów l-tego asortymentu,

t^u_{ls} -termin najpóźniejszego uruchomienia produkcji s-tych półproduktów l-tego asortymentu,

$n^*_{ls} = f(\max_{1 \leq s \leq s_l} \tau^j_{ls})$ -liczba sztuk s-tych półproduktów wystarczająca do zachowania ciągłości realizacji następnych podciągów operacji,

n_l -długość serii l-tego asortymentu detali,

b_l -liczba sztuk l-tych detali, jaką można otrzymać z dostępnej blachy,

C -liczba dostępnych pracowników obsady pras.

Harmonogram optymalny winien dodatkowo spełniać zależność:

$$\Delta t^* = \min_{1 \leq m \leq M} \left\{ \sum_{i=1}^{I} \sum_{j=1}^{J_i} \Delta t^m_{ij} \right\} \qquad /23/$$

gdzie: Δt^m_{ij} - łączny czas przestoju j-tej prasy i-tej linii w m-tej wersji harmonogramu.

3. Wieloprocedurowy, heurystyczny algorytm harmonogramowania procesu wytłaczania.

Dokładne rozwiązanie zadań harmonogramowania spotykanych w praktyce przemysłowej, ze względu na dużą liczbę zmiennych oraz kombinatoryczny charakter problemu, jest zazwyczaj niemożliwe i dlatego często wykorzystuje się do tych celów algorytmy heurystyczne. Złożoność warunków przemysłowych, różnorodność celów sterowania w zależności od sytuacji produkcyjnej, zmienność w czasie niektórych ograniczeń sprawiają, że posługiwanie się jednym heurystycznym algorytmem harmonogramowania nie w każdych warunkach prowadzi do racjonalnych rozwiązań. Duży ,monolityczny algorytm i program utrudniają ponadto wszelkie jego modyfikacje, toteż wydaje się, że efek-

tywnym rozwiązaniem jest zastąpienie jednego algorytmu zbiorem "wyspecjalizowanych", prostszych algorytmów /procedur/ dostosowanych do zróżnicowanych sytuacji i różnych funkcji celu. Konstrukcji "właściwego" algorytmu w danej sytuacji dokonuje program koordynujący /dysponujący odpowiednim zbiorem procedur/ na podstawie analizy danych o stanie procesu i tablic decyzyjnych /oraz ewentualnych sugestii planistów/. W przypadku braku rozwiązania w ramach skonstruowanego algorytmu program koordynujący "składa" następne dopuszczalne algorytmy do chwili obliczenia realizowalnego harmonogramu na zadany okres, bądź wyczerpania wszystkich możliwych w danych warunkach struktur algorytmów /lub też przekroczenia zadanego czasu obliczeń/. Przyporządkowanie określonych struktur algorytmów odpowiednim zbiorom warunków początkowych procesu ustalić można na drodze symulacji cyfrowej. Dążyć przy tym należy do minimalizacji czasu "trafiania" we właściwą strukturę, dającą jednocześnie możliwie najlepszy harmonogram. Wynika to z faktu, że nie wszystkie struktury algorytmu dają jednakowo dobre/ze względu na wskaźnik /23// harmonogramy.

Strukturę każdego algorytmu tworzą procedury stałe i zmienne. Do procedur stałych należą:

1° procedura programu koordynującego ustalająca strukturę algorytmu po analizie danych wejściowych,

2° procedura obliczania stanów istotnych i parametrów procesu w stanie istotnym,

3° procedura modyfikacji stanu po przydziale zadań do realizacji,

4° procedura wydruku dokumentacji harmonogramowej.

Procedury zmienne są to segmenty wymienne algorytmu ustalane każdorazowo przez program koordynujący. Należą do nich:

5° procedura ustalania zbioru zadań do realizacji(oblicza terminy najpóźniejszego uruchomienia produkcji poszczególnych asortymentów, priorytety realizacji, minimalne długości serii, jakie co najmniej winny być wykonane),

6° procedura modyfikacji zbioru zadań /korekta priorytetów, długości serii, np. na skutek przewidywanych remontów pras i tłoczników/,

7° procedura przydziału zadań do realizacji w warunkach reprodukcji prostej /czy rozszerzonej/, czyli przy "odtwarzaniu" po pewnym minimalnym okresie stanu zapasów w magazynie z początku tego okresu /bądź podwyższaniu tego stanu/. Można wykazać, że przy spełnieniu przez stan początkowy procesu pewnych warunków kolejność realizacji poszczególnych zadań z długościami "serii odtwarzania" nie odgrywa roli, a zatem można w racjonalny sposób sterować wykorzystaniem pracowników obsady, remontami itd.[4]. Warunki te związane są z odpowiednio wysokimi stanami zapasów początkowych i wystarczającymi pojemnościami magazynu,

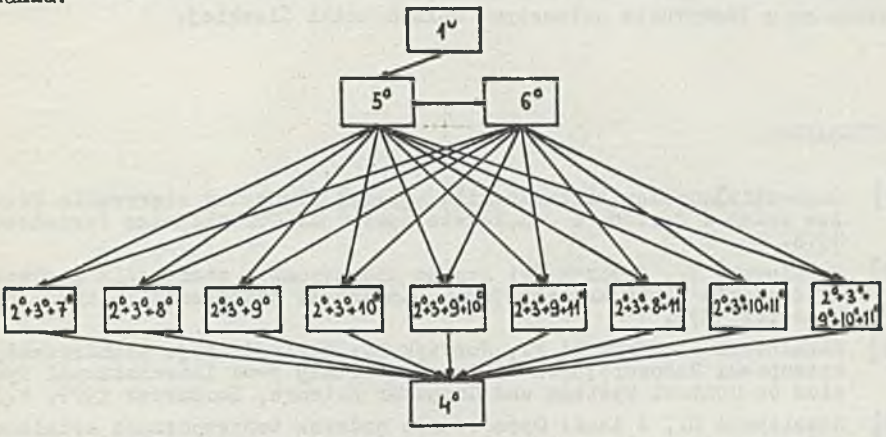
8° procedura przydziału zadań w warunkach maksymalizacji wykorzystania pras przy uwzględnieniu funkcji priorytetów,

9° procedura przydziału zadań w warunkach silnych zakłóceń obsadowych, dopuszczająca możliwość przerywania realizacji pewnych zadań w przypadku konieczności uruchomienia innych zadań przy zbyt małej liczbie pracowników obsady. Prasy, na których przerwano pracę, oczekują wtedy na "powrót" obsługi po wykonaniu partii zamówienia na innym podciągu prasowym,

10° procedura przydziału zadań w warunkach niskich stanów zapasów magazynowych wytłoczek, dopuszczająca realizację poszczególnych zadań partiami, tak aby dla żadnego detalu nie został przekroczony termin najpóźniejszego uruchomienia produkcji, a zatem została zachowana ciągłość pracy spawalni,

11° procedura pomijania niektórych ograniczeń technologicznych, np. kasacji czasu dostosowania, w warunkach, gdy sytuacja produkcyjna tego wymaga.

Schemat dopuszczalnych struktur algorytmów przedstawiony jest na rys. 1. Założono, że obiekty współpracujące z tłocznią nie wnoszą żadnych ograniczeń do realizowalności harmonogramów, tzn. w terminie realizują zlecone im zadania.



Rys.1. Schemat dopuszczalnych struktur algorytmów harmonogramowania

Poszczególne algorytmy harmonogramowania działają w oparciu o jednokrokową symulację procesu. Sterowanie kolejnością przydziału zadań odbywa się za pomocą funkcji priorytetów, natomiast długości serii ustalane są iteracyjnie na podstawie czasów najpóźniejszego uruchomienia produkcji. Przy alokacji zadań na linii preferowane są linie podstawowe, tzn. linie o minimalnym czasie przezbrojenia [2], [3], [4].

4. Uwagi końcowe

W literaturze [1], [5] spotkać można opisy wielu algorytmów heurystycznych, jednak w większości bazują one na pewnych specyficznych właściwościach danych obiektów i dla tych obiektów dają dobre, sprawdzone rozwiąza-

nia. Próba wykorzystania ich dla innych, nawet "podobnych" obiektów wymaga zazwyczaj przebudowy algorytmu, a co najmniej znacznej jego modyfikacji.

Przedstawiony w referacie heurystyczny algorytm harmonogramowania o zmiennej strukturze realizującej różne procedury ma na celu "uelastycznienie" systemu harmonogramowania. Przedstawione procedury nie wyczerpują oczywiście całego zbioru możliwych procedur i stanowią jedynie jeden z fragmentów oprogramowania systemu harmonogramowania. Zaletą takiej konstrukcji algorytmu jest łatwość jego rozbudowy i przebudowy przez dołączenie nowych procedur lub kasację istniejących. Wymaga to bowiem modyfikacji tylko wybranych fragmentów, bez naruszania całości struktury. Niektóre z procedur są w chwili obecnej w trakcie oprogramowania, niektóre zostały już uruchomione.

Zależność pracy tłoczni od współpracujących z nią obiektów stwarza dodatkowe problemy związane z korelacją harmonogramów pracy tych obiektów. Pełna synchronizacja harmonogramów poprzez procedury balansu wymaga rozwiązania wielu złożonych problemów. Prace nad tymi zagadnieniami prowadzone są w Instytucie Automatyki Politechniki Śląskiej.

LITERATURA

[1] Błażewicz J., Cellary W., Słowiński R., Węglarz J.: Algorytmy sterowania rozdziałem zadań i zasobów w kompleksie operacji. Politechnika Poznańska 1978.

[2] Kowalowski H., Jurczyk Z.: System operatywnego sterowania procesem wytłaczania blach karoseryjnych. Materiały konferencji SYSTER'79. Katowice 1979.

[3] Kowalowski H., Marecki F., Jurczyk Z.: Kallendarnoje płanirowanije sztampowki karoseryjnych listow. Materiały 3-rd International Symposium on Control Systems and Computer Science, Bucharest 1979, t.3.

[4] Kowalowski H., i inni: Opracowanie podstaw teoretycznych modelowania cyfrowego dla celów automatyzacji projektowania i sterowania wybranych dyskretnych procesów. Raport z pracy n-b, Gliwice 1979.

[5] Wala K.: Symulacyjne metody optymalizacji dyskretnych procesów produkcyjnych. Maszynopis rozprawy habilitacyjnej.

МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ШТАМПОВКИ КУЗОВНОЙ ДЕТАЛИ И КОНЦЕПЦИЯ ЭВРИСТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА СОСТАВЛЕНИЯ ГРАФИКА

Р е з ю м е

В работе представлено модель процесса штамповки и описано некоторые аспекты управления процессом при помощи многопроцедурного алгоритма составления графика.

MODEL OF THE CAR-BODIES STAMPING PROCESS AND THE CONCEPT OF THE HEURISTIC ALGORITHM OF PROCESS SCHEDULING

S u m m a r y

In the paper a model of the car-bodies stamping process is presented, as well as some aspects of the process control with the aid of a multi-procedure scheduling algorithm.