



POLSKA AKADEMIA NAUK
Instytut Badań Systemowych

**ROZWÓJ I ZASTOSOWANIA
METOD ILOŚCIOWYCH
I TECHNIK INFORMATYCZNYCH
WSPOMAGAJĄCYCH PROCESY
DECYZYJNE**

Redakcja:

Jan Studziński
Ludostław Drelichowski
Olgierd Hryniewicz

**ROZWÓJ I ZASTOSOWANIA
METOD ILOŚCIOWYCH
I TECHNIK INFORMATYCZNYCH
WSPOMAGAJĄCYCH PROCESY
DECYZYJNE**

Redakcja:

Jan Studziński

Ludosław Drelichowski

Olgierd Hryniewicz

Wydanie tej publikacji było możliwe dzięki pomocy finansowej
MINISTERSTWA NAUKI I SZKOLNICTWA WYŻSZEGO.

Książka zawiera wybór artykułów poświęconych omówieniu aktualnego stanu badań w kraju w zakresie rozwoju i zastosowań metod, modeli, technik i systemów informatycznych w procesach podejmowania decyzji. Kilka artykułów przedstawia rezultaty projektów badawczych finansowanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego i realizowanych przez polskie instytucje badawcze.

Recenzenci:

Prof. Olgierd Hryniewicz

Prof. Andrzej Straszak

Dr hab. Jan Studziński

Komputerowa edycja tekstu: Anna Gostyńska

© Instytut Badań Systemowych, Warszawa 2006

Wydawca: Instytut Badań Systemowych PAN
Newelska 6, PL 01-447 Warszawa

Sekcja Informacji Naukowej i Wydawnictw
e-mail: biblioteka@ibspan.waw.pl

ISBN 83-894-7506-5

9788389475060

ISSN 0208-8029



**ROZWÓJ I ZASTOSOWANIA
METOD ILOŚCIOWYCH I TECHNIK
INFORMATYCZNYCH
WSPOMAGAJĄCYCH PROCESY
DECYZYJNE**

Instytut Badań Systemowych • Polska Akademia Nauk
Seria: Badania Systemowe
Tom 49

Redaktor Naukowy:
Prof. Jakub Gutenbaum

Warszawa 2006



HARMONOGRAMOWANIE OPERACYJNE Z OGRANICZENIAMI W IFS APPLICATIONS*

*Jolanta KRYPEK, Mieczysław JAGODZIŃSKI,
Tomasz ROCHOWIAK*

Instytut Automatyki, Politechnika Śląska
<Jolanta.Krystek@polsl.pl; m.jagodzinski@ifs.com.pl>

***Streszczenie:** W pracy omówiono harmonogramowanie operacyjne z ograniczeniami w zintegrowanym systemie informatycznym IFS Applications. Do harmonogramowania zastosowano moduł IFS CBS (Constraint Based Scheduling). Przedstawiono podstawowe funkcje modułu oraz mechanizmy tworzenia harmonogramów produkcji.*

Słowa kluczowe: Harmonogramowanie produkcji, proces biznesowy, wykres Gantta, IFS Applications.

1. Wprowadzenie

Stosowanie w przedsiębiorstwach produkcyjnych systemów wspomagania zarządzania klasy MRP/ERP, którego przedstawicielem jest system IFS Applications stało się obecnie standardem. Systemy te pozwoliły na uporządkowanie struktury informacyjnej przedsiębiorstwa, na zwiększenie efektywności przetwarzania danych i obniżenie kosztów tego przetwarzania.

Moduł IFS Harmonogramowanie Operacyjne jest komponentem w module IFS/Zlecenia Produkcyjne. Harmonogramowanie operacyjne rozumiane jest jako harmonogramowanie w warunkach ograniczeń – CBS (ang. Constraint-Based Scheduling). Umożliwia ono tworzenie harmonogramów produkcji uwzględniając takie zasoby krytyczne jak: maszyny, narzędzia i zasoby ludzkie. Wynik zaawansowanego algorytmu harmonogramowania jest prezentowany w postaci interaktywnego wykresu Gantta zleceń produkcyjnych, pozwalającego między innymi na korektę on-line harmonogramu.

System produkcyjny, który ma wykonać harmonogram, zawiera ograniczenia, od których zależy możliwość osiągnięcia celów. Ograniczenia dotyczą zasobów i operacji przeprowadzanych na zasobach. Może więc chodzić na przykład o dostępność zasobu, o grupę zasobów, które można przydzielić do konkretnej operacji, czy też o zależności pomiędzy operacjami dotyczące kolejności ich wykonywania.

* Praca częściowo finansowana w ramach projektu badawczego BK-208/RAu1/2006, t. 5.

Wszystkie te ograniczenia muszą być wzięte pod uwagę przy tworzeniu harmonogramu.

Cele harmonogramu często powodują konflikty i nie zawsze można je łatwo ująć ilościowo. Wynika z tego, że zadaniem przy tworzeniu harmonogramu jest znalezienie pewnej równowagi pomiędzy różnymi celami oraz że niektóre cele trzeba będzie określić ilościowo za pomocą przybliżeń szacunkowych. W zakresie harmonogramowania występują cele globalne, na przykład minimalizacja średniego opóźnienia wszystkich zleceń czy minimalizacja całkowitych kosztów utrzymania. Występują również cele lokalne, takie jak maksymalne ograniczenie przezbrojeń wybranej maszyny w pewnym okresie czy też maksymalizacja czasu pracy realizowanej przez wybrane gniazdo produkcyjne. Moduł IFS/Harmonogramowanie Operacyjne CBS zapewnia alternatywne sposoby spełnienia tych wymagań.

Harmonogramowanie wykorzystuje plan produkcyjny w celu utworzenia szczegółowego harmonogramu operacji do wykonania. O ile planowanie dotyczy tworzenia scenariusza, który organizacja ma wcielić w życie, aby osiągnąć cel, o tyle harmonogramowanie dotyczy sposobu zarządzania wykonywaniem tego scenariusza w najlepszy możliwy sposób. Podstawą harmonogramowania jest plan – z wyjątkiem sytuacji, gdy korzysta się z dynamicznego przetwarzania zleceń (DOP). W takim przypadku harmonogramowanie i planowanie DOP współpracują ze sobą.

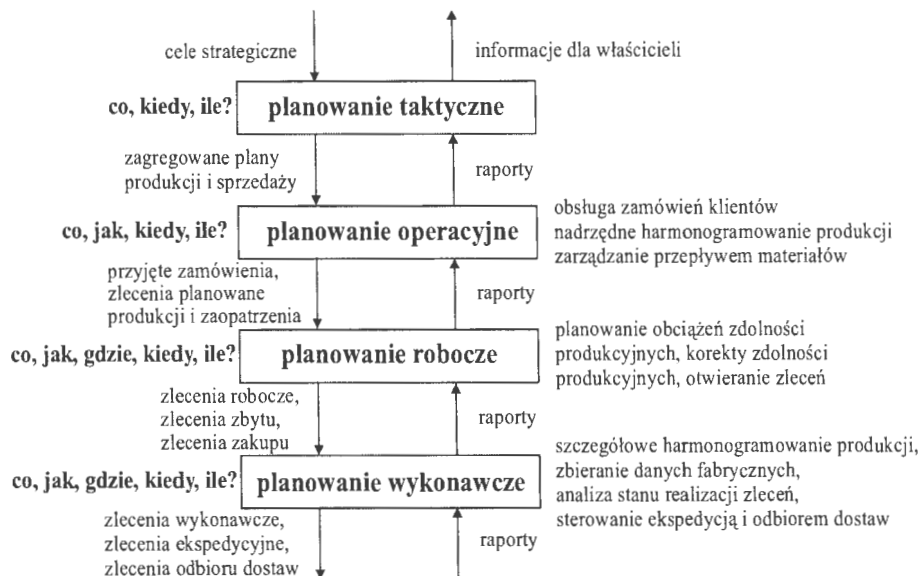
2. Struktura funkcjonalna systemów MRP/ERP

We współczesnych systemach klasy MRP II (ang. *Manufacturing Resource Planning*) a także innych systemach CIM (ang. *Computer Integrated Manufacturing*) wyróżnia się hierarchiczną strukturę planistyczną (Zaborowski, 1999) składającą się między innymi z następujących warstw (Rysunek 1):

- planowanie taktyczne,
- planowanie operacyjne,
- planowanie robocze,
- planowanie wykonawcze.

Kolejne warstwy charakteryzują się coraz większą szczegółowością decyzji planistycznych. Warstwa planowania taktycznego obejmuje czynności związane z planowaniem sprzedaży oraz zdolności produkcyjnych w długoterminowym horyzoncie planowania. Jej celem jest zapewnienie zdolności produkcyjnych wystarczających do zaspokojenia przewidywanych poziomów sprzedaży. Z warstwy tej do warstwy operacyjnego planowania nadrzędnego przekazywana jest tzw. długoterminowa polityka zdolności produkcyjnych. Po jej uwzględnieniu tworzony jest zbiór planów dla pozycji asortymentowych przypisanych systemowi nadrzędnego harmonogramowania produkcji (MPS), w tym przede wszystkim dla produktów finalnych.

W oparciu o powyższe plany (MPS) następuje obliczenie zapotrzebowań na elementy składowe pozycji asortymentowych.



Rysunek 1. Fragment wielowarstwowej struktury funkcjonalnej w systemie CIM (Zaborowski, 1999).

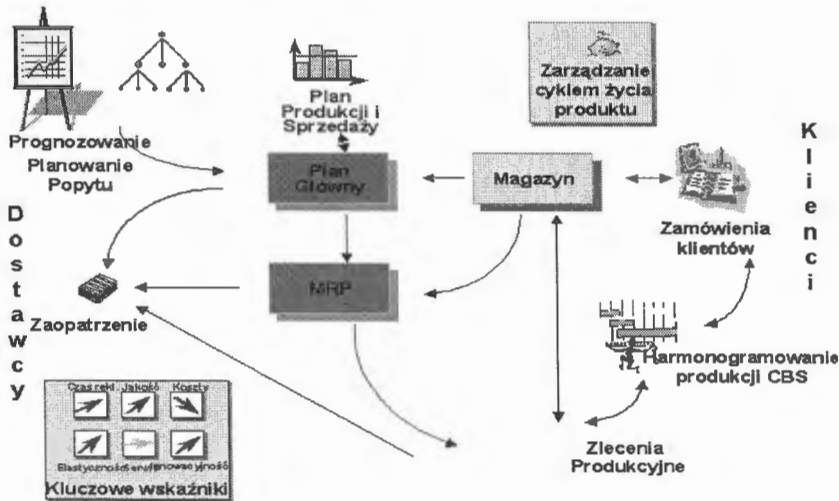
Do tego celu wykorzystywane jest planowanie potrzeb materiałowych (MRP). Efektem działania funkcji planowania potrzeb materiałowych jest otrzymanie zbioru planowanych zleceń produkcji oraz zakupów. Planowane zlecenia produkcji są następnie przetwarzane w warstwie planowania obciążeń centrów roboczych (CRP, SFC), gdzie następuje ich bilansowanie z dostępnymi mocami produkcyjnymi a następnie zwolnienie do produkcji (Browne, Harhen, Shirnan, 1996).

Moduł sterowania produkcją (SFC) korzysta ze zbioru planowanych zleceń produkcji, informacji o strukturze centrów roboczych, marszrutach w celu uzyskania harmonogramu produkcji. Planowane czasy rozpoczęcia operacji lub zakończenia są najczęściej ustalane przy pomocy procedur harmonogramowania wprzód (*ang. Forward scheduling*) lub wstecz (*ang. Backward scheduling*). Stosowana jest tutaj harmonogramowanie bez ograniczeń, przy podejmowaniu decyzji zakłada się bowiem nieograniczone zdolności produkcyjne centrów roboczych.

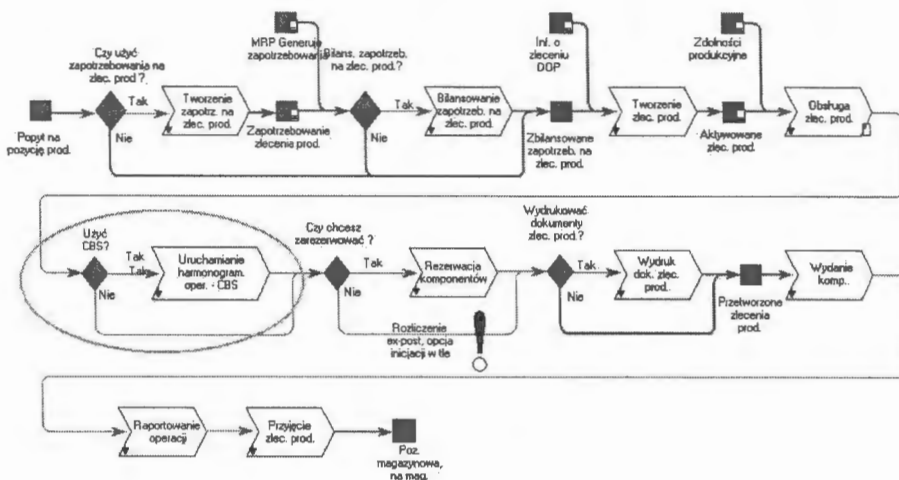
Planowanie wykonawcze, nie jest częścią standardowego systemu MRPII. Warstwa planowania wykonawczego różni się od warstwy planowania roboczego tym, że uwzględnia zasadę wzajemnego wykluczania zadań przeznaczonych do realizacji przy pomocy tych samych zasobów. W tej warstwie podejmuje się szczegółowe decyzje o tym, jaki zasób i w jakim przedziale czasowym będzie wykonywał określoną operację.

3. Umiejscowienie modułu IFS/Harmonogramowanie Operacyjne

Moduł Harmonogramowanie operacyjne z ograniczeniami (CBS) jest komponentem modułu IFS Produkcja, którego struktura funkcjonalna została przedstawiona na Rysunek 2. Realizacja procesu biznesowego z wykorzystaniem tego komponentu ilustruje Rysunek 3.



Rysunek 2. Zależności funkcjonalne w module IFS Produkcja (Materiały wdrożeniowe IFS Poland).

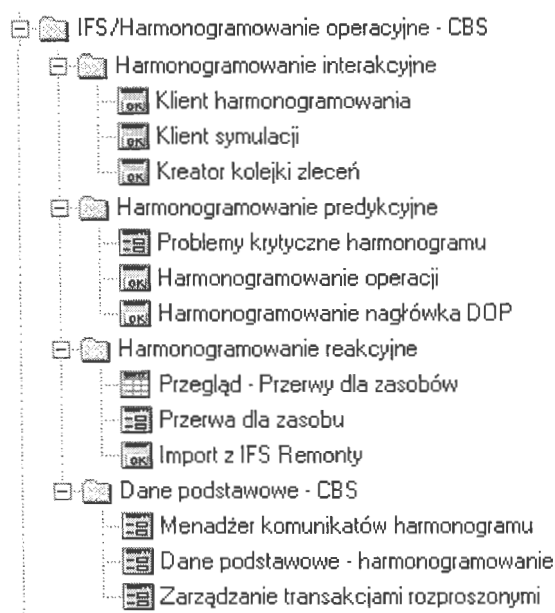


Rysunek 3. Proces biznesowy z umiejscowionym modułem harmonogramowania operacyjnego CBS (IFS Applications 2003).

4. Harmonogramowanie Operacyjne

Moduł IFS/Harmonogramowanie Operacyjne rozwiązuje problem znalezienia harmonogramu pracy systemu produkcyjnego, w którym na zbiorze m maszyn M_i , ($i=1, \dots, m$) wytwarza się n różnych wyrobów W_j ($j=1, \dots, n$), przy czym wyprodukowanie każdego wyrobu wymaga wykonania jednej lub wielu operacji (montażu, obróbki mechanicznej, kontroli, itp.) w ściśle określonym porządku (Siwak, 1992) wynikającym z istniejących ograniczeń kolejnościowych. Należy pamiętać o dodatkowych zasobach odnawialnych (ludziach, narzędziach) bez których niemożliwe byłoby wykonanie zaplanowanych operacji. W harmonogramie należy szczegółowo określić: *który zasób, co i w jakim terminie powinien wykonać*.

Moduł Harmonogramowania Operacyjnego implementuje heurystyczne metody harmonogramowania planowanych zleceń produkcyjnych.



Rysunek 4. Fragment okna nawigatora IFS – Harmonogramowanie operacyjne.

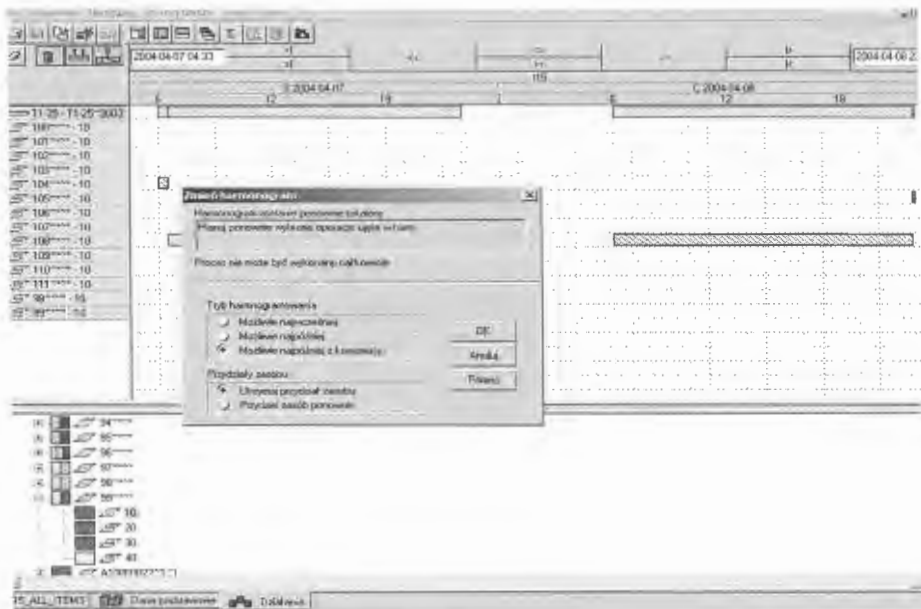
W module IFS CBS istnieją trzy sposoby harmonogramowania (Rysunek 4):

- harmonogramowanie interakcyjne – pozwalające na bezpośrednią ingerencję operatora w proces harmonogramowania, ułatwiając szczegółową kontrolę, elastyczność i kompleksowe widzenie operacji,
- harmonogramowanie predykcyjne (prognozowanie harmonogramu) – polega na tworzeniu optymalnego harmonogramu na podstawie zadanego zestawu zleceń,

- harmonogramowanie reakcyjne – który automatycznie, w sposób optymalny uzupełnia harmonogram o składane zamówienie lub wprowadza niezbędne zmiany związane z przestojami maszyn, opóźnieniami dostawców, zmianami w zamówieniach, itp.

Harmonogramowanie operacyjne służy do planowania produkcji na jej najniższym szczeblu tj. planowania wykonawczego. Planowanie produkcji związane z tym poziomem sprowadza się do tworzenia szczegółowych harmonogramów produkcji, ustawiania kalendarzy produkcyjnych i korekty zleceń produkcyjnych związanej z dostępnością wszystkich zasobów.

Harmonogram produkcji jest aktualizowany na bieżąco w wyniku zmian w terminach, wielkości i ilości zleceń produkcyjnych oraz w zależności od stopnia ich realizacji.



Rysunek 5. Wybór trybu harmonogramowania zleceń.

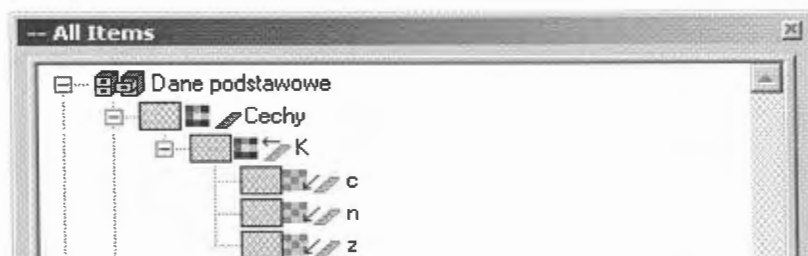
Otrzymany harmonogram odpowiada rzeczywistym ograniczeniom – planowanie odbywa się zgodnie z podstawowymi założeniami algorytmu harmonogramowania (Rysunek 5):

1. Planowane operacje nie mogą rozpocząć się wcześniej niż chwila obecna.
2. Terminy realizacji muszą być w miarę możliwości dotrzymane.
3. System stara się harmonogramować zlecenia zgodnie z filozofią *Just in Time*, opóźniając maksymalnie terminy rozpoczęcia zleceń.

4. W przypadku niemożności dotrzymania wszystkich terminów, system próbuje zminimalizować średnie opóźnienie zleceń.
5. W przypadku istnienia wąskich gardeł, system minimalizuje długości cykli produkcyjnych, zmniejszając tym samym produkcję w toku i skracając cykl realizacji.

Tworząc harmonogram, wykonuje się wiele kroków przy wykorzystaniu różnych algorytmów. Najpierw oceniane są możliwości przydziału zasobów. Następnie określone są najwcześniejsze i najpóźniejsze możliwe czasy rozpoczęcia dla wszystkich operacji. W oparciu o wybraną zasadę priorytetu, czasy te są wykorzystywane do uporządkowania operacji w kolejności harmonogramowania. Następnie operacje są harmonogramowane wprzód z uwzględnieniem ograniczonych zdolności produkcyjnych zasobów. Po harmonogramowaniu można zastosować techniki optymalizacji. Technika „drag and drop” przesuwa wszystkie operacje najbliższej ich wymaganej daty. Technika kompresji wstecznej (Compress Downstream) przesuwa operacje możliwie najbliższej sobie od lewej do prawej strony. Technika. Wymiana operacji parami próbuje zmniejszyć średnie opóźnienia harmonogramu wprowadzając selektywne zmiany w porządku harmonogramu operacji. Aby zminimalizować czas przebrożenia i spełnić dodatkowe ograniczenia dotyczące cech pozycji, używa się techniki kolejkowania w zależności od cech pozycji. Wszystkie te algorytmy i procesy umożliwiają organizacji lepsze spełnienie wymagań dotyczących produkcji.

Moduł Harmonogramowania Operacyjnego zawiera również narzędzie do planowania sekwencji zleceń w ramach określonego horyzontu czasowego. Przykładowo możliwe jest automatyczne uporządkowanie kolejności zleceń w ciągu kolorystycznym. Efektem takiego działania jest oczywiste zmniejszenie kosztów przygotowawczo-zakończeniowych w obrębie ustalonej sekwencji zleceń. Ustalanie sekwencji może się odbywać na bazie dowolnej ilości parametrów sortujących (cech). W systemie IFS Applications pod pojęciem cechy rozumiane są właściwości poszczególnych produktów pozwalające na zróżnicowanie produktu w zależności od wybranej cechy. Może to być np. kolor, waga, temperatura. Dzięki wykorzystaniu cech możemy dodatkowo wpłynąć na sposób harmonogramowania produkcji.



Rysunek 6. Cechy.

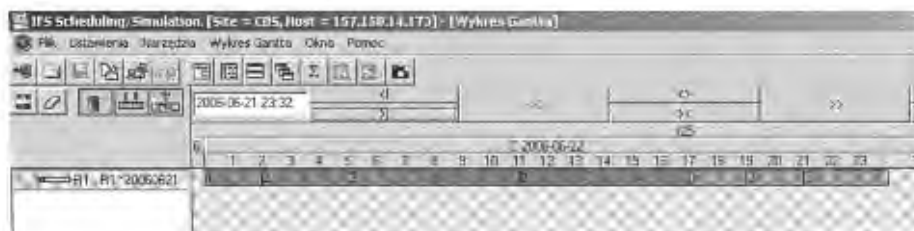
Każdy obiekt z zakładki *cechy* oznacza konkretną cechę pozycji, która może dotyczyć zleceń produkcyjnych. Dostęp do szczegółowych informacji uzyskujemy poprzez rozwinięcie struktury *cechy* w *drzewie danych*. Poniższy przykład ilustruje rezultaty harmonogramowania w oparciu o cechy pozycji (Rysunek 6). Wcześniej zarejestrowane zostały cechy związane z kolorem danej pozycji tj. czerwony (c), niebieski (n) oraz zielony (z).

Na wykresie Gantta zlecenia zostały oznaczone takim samym kolorem, jaki został im przypisany w ramach rejestracji cech, celem łatwiejszego ich identyfikowania. Na pierwszym wykresie (Rysunek 7) zlecenia nie zostały posortowane w oparciu o cechy, może więc być wymagane ciągle przezbrajanie maszyny obsługującej operacje.



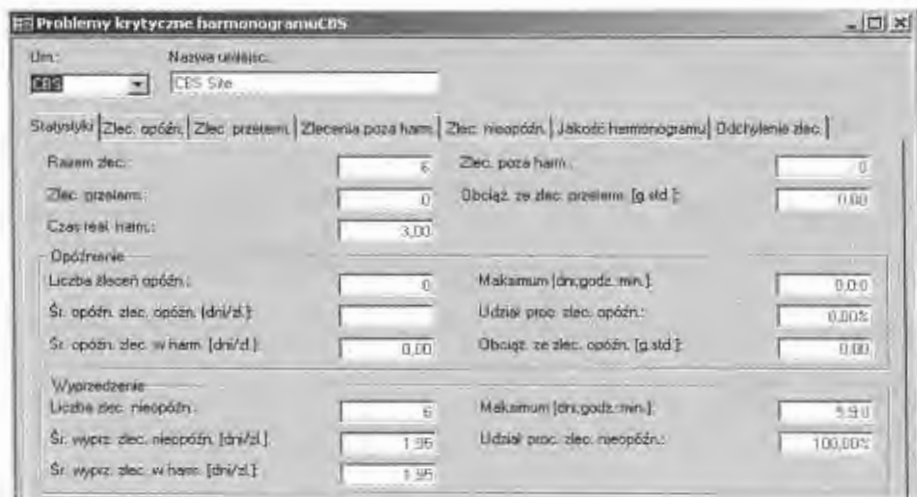
Rysunek 7. Wykres Gantta bez kolejkovania w oparciu o cechy.

Poniżej pokazano wynik harmonogramowania w oparciu o cechy pozycji. Widać, że operacje są wykonywane zgodnie z przypisanym im kolorem będącym cechą danej pozycji.



Rysunek 8. Wykres Gantta w oparciu o cechy pozycji.

Moduł IFS/Harmonogramowanie Operacyjne posiada system wczesnego ostrzegania, który wykrywa zagrożenia związane z zakłóceniami produkcji oraz niedotrzymaniem terminów dostaw do klienta.



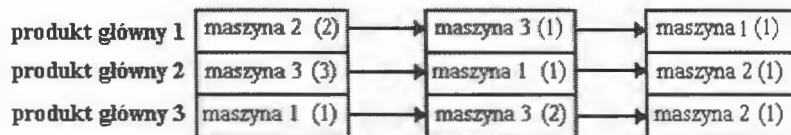
Rysunek 9. Problemy krytyczne harmonogramu.

Okno ostrzegawcze wskazuje listę potencjalnie opóźnionych zleceń oraz statystyczne wskaźniki opóźnień. Możliwe jest automatyczne przejście do wykresów obciążeń dla gniazd będących wąskimi gardłami.

5. Przykład

W celu pokazania różnic w harmonogramowaniu zleceń w zależności od zastosowanej reguły priorytetu zaimplementowano prosty przykład (Siwak, 1992).

Systemem produkcyjnym jest system gniazdowy (Job Shop) składający się z 3 maszyn (Z1, Z2, Z3) stanowiących odrębne gniazda produkcyjne: W systemie należy wykonać 3 zlecenia o zadanych marszrutach i następujących czasach przetwarzania zadań {marszruta}(czas realizacji):



W trakcie harmonogramowania zleceń produkcyjnych możemy skorzystać z następujących reguł priorytetów (Rysunek 9):

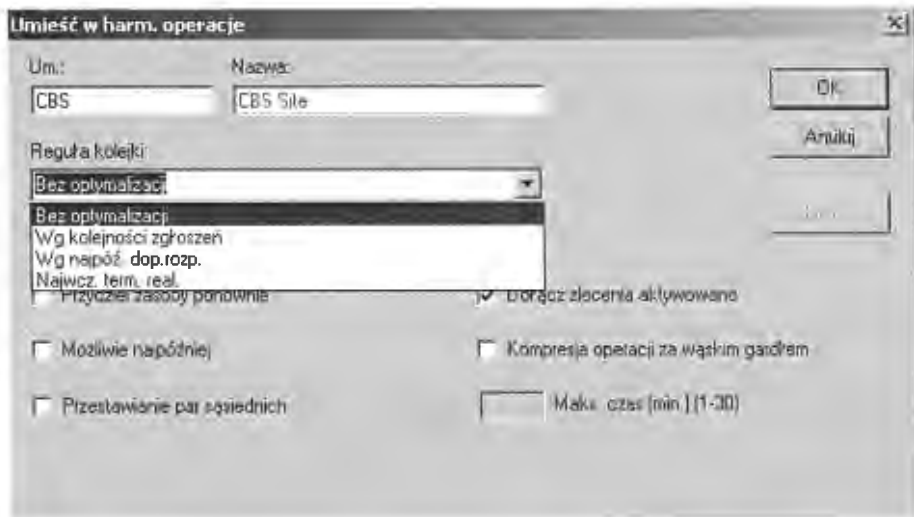
- *bez optymalizacji*: nie zostanie użyta żadna reguła kolejki,
- *wg. kolejności zgłoszeń*: obsługa zleceń odbywać się będzie zgodnie z kolejnością wprowadzania ich do systemu (FIFO – First in First out),

- **wg. najpóźniejszego dopuszczalnego czasu rozpoczęcia:** zlecenia będą obsługiwane według ich rosnących czasów przestoju (LPST/ST – Latest Possible Start Time/Least Slack),
- **najwcześniejszy termin realizacji:** obsługa zleceń według terminów ich realizacji (EDD – Earliest Due Date).

Zasada priorytetu	Cel	Kryterium sortowania w porządku rosnącym
Brak	Zachowanie istniejącej kolejności sortowania	Nie stosowane
Pierwsze przyszło pierwsze obsługiwane FIFO	Zakończenie pracy w porządku otrzymania	Data rejestracji
LPST (Wg najpóźniejszego dopuszczalnego czasu rozpoczęcia)	Minimalizacja średnich opóźnień (Zgodnie z tą regułą zlecenia produkcyjne sortowane są według najpóźniejszego dopuszczalnego czasu rozpoczęcia)	Najpóźniejszy możliwy czas rozpoczęcia
EDD (Najwcześniejszy termin realizacji)	Minimalizacja maksymalnych opóźnień (Zgodnie z tą regułą kolejki zlecenia sortowane są według najwcześniejszego wymaganego terminu realizacji)	Wymagana data

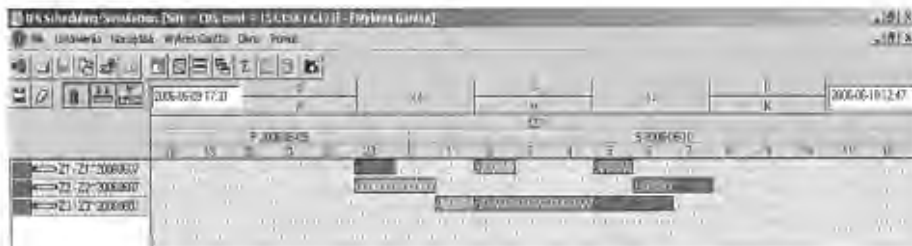
Oprócz reguły kolejki możemy jeszcze wybrać następujące opcje:

- **czas rozpoczęcia harmonogramu:** pole to należy zaznaczyć, aby zmienić globalny czas rozpoczęcia harmonogramowania; możemy tu wpisać zarówno liczbę dodatnią jak i ujemną; w przypadku liczby ujemnej harmonogram zostanie rozpoczęty o odpowiednią liczbę godzin wcześniej w stosunku do czasu rzeczywistego,
- **dołącz zlecenia aktywowane:** powoduje przeharmonogramowanie również zleceń mających status *aktywowane*,
- **możliwie najpóźniej:** powoduje umieszczenie zleceń jak najbliżej ich terminów realizacji,
- **kompresja operacji za wąskim gardłem:** pole to należy zaznaczyć, jeżeli serwer CBS ma umieszczać operacje z każdego zlecenia produkcyjnego możliwie najbliżej zasobu stanowiącego wąskie gardło,
- **przestawienie par sąsiednich:** po zaznaczeniu tej opcji system będzie próbował zoptymalizować harmonogram poprzez wymianę operacji parami (należy w tym przypadku dodatkowo podać czas w minutach).



Rysunek 10. Ekran - Harmonogramowanie operacji.

Na Rysunkach 11-15 przedstawiono harmonogramy zleceń produkcyjnych dla rozważanego przykładu w zależności od zastosowanej reguły priorytetu. Dodatkowo na każdym wykresie wyróżniono miejsce występowania konfliktu i regułę jego rozwiązania.



Rysunek 11. Harmonogram bez kryterium optymalizacji.



Rysunek 12. Harmonogram z użyciem reguły FIFO.



Rysunek 13. Harmonogram z użyciem reguły EDD.



Rysunek 14. Harmonogram z użyciem reguły "możliwie najpóźniej".



Rysunek 15. Harmonogram z użyciem reguły LPST.

6. Podsumowanie

Moduł IFS/Harmonogramowanie Operacyjne ułatwia kontrolę oraz możliwości zarządzania procesem produkcyjnym poprzez generowanie harmonogramów uwzględniających ograniczenia zasobowe i umożliwiającą optymalizację decyzji. Wymaga szczegółowej znajomości struktury informacyjnej procesu produkcyjnego

oraz szybkiej reakcji na zmiany w trakcie ich występowania w systemie przy zachowaniu możliwego do realizacji harmonogramu produkcyjnego. Większość producentów nie jest w stanie szybciej reagować na rosnące potrzeby klientów oraz na obniżkę kosztów produkcji, dopóki nie zastosuje odpowiedniej metodyki harmonogramowania. Musi ona uwzględniać wszystkie ograniczenia w procesie produkcji oraz integrować proces harmonogramowania z funkcjonalnością procesu produkcyjnego. Aby dostosować się do nowych warunków wymaga się częstych i szybkich zmian harmonogramów.

Literatura

- Browne ., Harhen J., Shiran J. (1996) *Production Mangement System An Integrated Perspective*. Addison Wesley.
- IFS Applications 2003. Dokumentacja użytkownika.
- Materiały wdrożeniowe IFS Poland.
- Rochowiak T. (2006) *Harmonogramowanie zleceń produkcyjnych w zintegrowanym systemie informatycznym IFS Applications*. Gliwice (praca dyplomowa niepublikowana).
- Sawik T. (1992) *Optymalizacja dyskretna w elastycznych systemach produkcyjnych*. WNT, Warszawa.
- Zaborowski M. (1999) *Zarys struktury uniwersalnego systemu zarządzania i sterowania produkcją*. II K.K. Komputerowo Zintegrowane Zarządzanie. WNT, Warszawa.

CONSTRAINT-BASED SCHEDULING IN IFS APPLICATIONS

Abstract: *The paper presents constraint-based scheduling in integrated manufacturing system IFS Applications. The main functions of IFS CBS and mechanics of generating production schedules are presented.*

Keywords: Production schedule, business process, Gantt chart, IFS Applications.

Jan Studziński, Ludosław Drelichowski, Olgierd Hryniewicz
(Redakcja)

**ROZWÓJ I ZASTOSOWANIA METOD ILOŚCIOWYCH
I TECHNIK INFORMATYCZNYCH WSPOMAGAJĄCYCH
PROCESY DECYZYJNE**

Monografia zawiera wybór artykułów dotyczących informatyzacji procesów zarządzania, prezentując aktualny stan rozwoju informatyki stosowanej w Polsce i na świecie. Zamieszczone artykuły opisują metody, modele, techniki i systemy informatyczne stosowane do wspomaganie procesów podejmowania decyzji, a także omawiają zastosowania narzędzi informatycznych w różnych sektorach gospodarki. Kilka prac przedstawia wyniki projektów badawczych Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, dotyczących rozwoju metod informatycznych i ich zastosowań.

ISBN 83-894-7506-5
9788389475060
ISSN 0208-8029

W celu uzyskania bliższych informacji i zakupu dodatkowych egzemplarzy
prosimy o kontakt z Instytutem Badań Systemowych PAN
ul. Newelska 6, 01-447 Warszawa
tel. 837-35-78 w. 241 e-mail: biblioteka@ibspan.waw.pl