



**POLSKA AKADEMIA NAUK**  
**Instytut Badań Systemowych**

**ZASTOSOWANIA INFORMATYKI  
W NAUCE, TECHNICIE  
I ZARZĄDZANIU**

**Redakcja:**

**Jan Studziński**  
**Ludostław Drelichowski**  
**Olgierd Hryniewicz**



**ZASTOSOWANIA INFORMATYKI  
W NAUCE, TECHNICE I ZARZĄDZANIU**

Polska Akademia Nauk • Instytut Badań Systemowych

**Seria: BADANIA SYSTEMOWE**

**Tom 41**

---

Redaktor naukowy:

**Prof. dr hab. Jakub Gutenbaum**

Warszawa 2005

**ZASTOSOWANIA INFORMATYKI  
W NAUCE, TECHNICE  
I ZARZĄDZANIU**

Redakcja:

Jan Studziński

Ludosław Drelichowski

Olgierd Hryniewicz

**Książka wydana dzięki dotacji KOMITETU BADAŃ NAUKOWYCH**

Książka zawiera wybór artykułów poświęconych omówieniu aktualnego stanu badań w kraju, w zakresie rozwoju modeli, technik i systemów informatycznych oraz ich zastosowań w różnych dziedzinach gospodarki. Kilka artykułów omawia aplikacyjne wyniki projektów badawczych i celowych Ministerstwa Nauki i Informatyzacji.

**Recenzenci artykułów:**

Dr inż. Lucyna Bogdan  
Prof. dr hab. inż. Ludosław Drelichowski  
Prof. dr hab. inż. Olgierd Hryniewicz  
Dr inż. Edward Michalewski  
Dr inż. Grażyna Petriczek  
Prof. dr hab. inż. Andrzej Straszak  
Dr inż. Jan Studziński

**Komputerowa edycja tekstu: Anna Gostyńska**

**Copyright © Instytut Badań Systemowych PAN, Warszawa 2005**

**Instytut Badań Systemowych PAN  
ul. Newelska 6, 01-447 Warszawa**

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

**ISBN 83-89475-03-0  
ISSN 0208-8029**



## ALGORYTM NADAŻNEGO HARMONOGRAMOWANIA PRODUKCJI I JEGO IMPLEMENTACJA INTERNETOWA<sup>1</sup>

**Jolanta KRYPEK**

Instytut Automatyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach  
<jolanta.krypek@polsl.pl>

**Miroslaw ZABOROWSKI**

Instytut Informatyki Teoretycznej i Stosowanej PAN  
<mzaborowski@wsb.edu.pl>

*Algorytm nadażnego harmonogramowania produkcji jest przeznaczony do bieżącej generacji planów wykonawczych danej komórki systemu produkcyjnego, w taki sposób by nadażały one za operacyjnymi planami produkcji pochodzącymi z jednostki koordynacyjnej systemu. W pracy zaprezentowano implementację algorytmu zrealizowaną w technologii internetowej. Przedstawiono schemat współdziałania poszczególnych procedur algorytmu i opisano szczegółowo każdą z nich.*

**Słowa kluczowe:** sterowanie produkcją, harmonogramowanie nadażne, reguły priorytetu, Internet.

### 1. Wprowadzenie

Intensywny postęp technologiczny i organizacyjny w przemyśle jest wymuszany przez wolny rynek. Zakłady produkcyjne starają się osiągnąć jak największe zyski, a jednocześnie konkurencja pomiędzy wytwórcami zmusza ich do stałego podnoszenia jakości i skracania czasu reakcji na zamówienia klienta przy jednoczesnym obniżaniu cen. Postulaty te pozornie są ze sobą w sprzeczności, jednak w praktyce okazuje się, że możliwe jest ich spełnienie. Rozwiązaniem jest usprawnianie technologii oraz właściwa organizacja produkcji.

Nadażne sterowanie produkcją (Zaborowski, 2003), może być jednym ze sposobów osiągnięcia tych celów w przypadku produkcji powtarzalnej. Algorytm nadażnego harmonogramowania produkcji (NHP) jest algorytmem lokalnym w systemie nadażnego sterowania produkcją (Krypek, 2004). Jest przeznaczony do bieżącej generacji planów wykonawczych danej komórki systemu produkcyjnego w taki sposób, by plany te nadażały za planami operacyjnymi komórki, pochodzącymi z jednostki koordynacyjnej systemu.

---

<sup>1</sup> Praca częściowo finansowana w ramach projektu badawczego KBN nr 3T11A02229.

W przeciwieństwie do klasycznych metod harmonogramowania, które generują decyzje o przyszłym wykonywaniu znanych na początku zadań, algorytm nadążnego harmonogramowania produkcji (NHP) działa na bieżąco w nieskończonym horyzoncie czasowym. W kolejnych chwilach kończących okresy pracy lub postoju danej komórki produkcyjnej algorytm NHP generuje decyzje o następnym okresie pracy lub postoju tej komórki. Nie jest to więc algorytm harmonogramowania w zwykłym sensie, a uzasadnieniem jego nazwy jest fakt, że w każdej chwili jego przeszłe decyzje mają strukturę harmonogramu. Oczywiście, jeśli tylko znane są przyszłe zadania komórki z określonego skończonego horyzontu czasowego, to możliwa jest symulacja przyszłego działania algorytmu NHP i uzyskanie w ten sposób klasycznie rozumianego harmonogramu. Jednak takie wykorzystanie algorytmu ma tę samą podstawową wadę, którą mają inne metody, a jest nią oparcie się na niepewnych prognozach przyszłych zadań i przyszłej dostępności zasobów.

W danej chwili algorytm wyznacza decyzje o (Zaborowski, Krystek, 2000):

- wariacie produkcyjnym, czyli o grupie produktów, które mają być wytwarzane po przebrojeniu, albo o postoju,
- wielkościach partii produkcyjnych wytwarzanych produktów,
- długości okresu pracy lub postoju, a stąd o następnej chwili działania algorytmu.

Nadażanie harmonogramów (planów wykonawczych) za zmiennymi planami operacyjnymi polega na utrzymaniu w określonych granicach tych części składowych zapasów, których wahania zależą od różnic pomiędzy planami operacyjnymi i wykonawczymi (Zaborowski, 2000). Składowe te, czyli zaległości w realizacji planów operacyjnych przez plany wykonawcze, są obliczane przez algorytm NHP, a w oparciu o nie są podejmowane decyzje, między innymi o tym, czy dana komórka ma podjąć pracę, czy ma mieć postój.

W poprzednich pracach udowodniono, że jeśli plany operacyjne nie przekraczają zdolności produkcyjnych danej komórki, to algorytm NHP gwarantuje nadażanie planów wykonawczych (Zaborowski, 2000). Jest to możliwe dzięki odpowiednio dobranym wartościom progowym zaległości, poniżej których algorytm podejmuje decyzję o postoju. Ponadto udowodniono, że jeśli plany operacyjne począwszy od pewnej chwili są stałe, to algorytm zapewnia po skończonej liczbie kroków zbieżność planów wykonawczych do idealnych harmonogramów cyklicznych (Zaborowski, 2000). Przy tym w każdym okresie powtarzalności poszczególne warianty produkcyjne występują dokładnie jeden raz. Obie podstawowe właściwości algorytmu NHP nie zależą od tego, według jakich reguł priorytetu wybierany jest wariant produkcyjny dla bieżącego okresu pracy. Wystarczy, że jest to jeden z wariantów, dla których zaległości osiągnęły lub przekroczyły wartości progowe. Powstaje więc pytanie, według jakich kryteriów i w jaki sposób dobrać regułę priorytetu, skoro dwa podstawowe wymagania –

stabilność i zbieżność układu sterowania z algorytmem NHP – są spełnione niezależnie od tych reguł. Jednym z dodatkowych wymagań, które można postawić algorytmowi NHP jest to, by w cyklogramie otrzymywanym dla stałych planów operacyjnych, niezależnie od stanu w chwili ustąpienia zakłóceń, kolejność wariantów produkcyjnych była zgodna z ich numeracją. Może to być kolejność minimalizująca koszty przebrojeń, znaleziona na przykład za pomocą algorytmu komiwojażera.

## 2. Algorytm nadążnego harmonogramowania produkcji

W tabeli 1 zamieszczono wykaz podstawowych oznaczeń wykorzystywanych w dalszym opisie analizowanych wersji algorytmu NHP.

Tabela 1. Wykaz podstawowych oznaczeń algorytmu NHP

W	liczba wariantów produkcyjnych,
w	numer wariantu produkcyjnego, $w = 0, 1, \dots, W$ , $w = 0$ odpowiada postojowi
J, j	liczba produktów, numer produktu, $j = 1, \dots, J$
$J_w$	zbiór numerów produktów wytwarzanych w wariancie „w”, $w = 1, \dots, W$
$s_w$	długość okresu przygotowawczego do pracy w wariancie „w”
$P_{wj}$	takt produkcji produktu „j” w wariancie „w” (liczony w okresach planowania wykonawczego; może być wielkością ułamkową)
$Y_{wj}^*$	wielkość partii w warunkach idealnej produkcji rytmicznej
$x_w^*$	wartość progowa miary czasowej zaległości w realizacji planów operacyjnych dla danego wariantu; jest to także miara czasowa wielkości partii w wariancie „w” w warunkach idealnej produkcji rytmicznej,
$\Delta$	długość okresu planistycznego (liczba okresów planowania wykonawczego w jednym okresie planowania operacyjnego)
$\pi$	współczynnik wykorzystania zasobów odnawialnych, $0 < \pi < 1$
$T^*$	okres powtarzalności przy idealnej produkcji rytmicznej
t	numer okresu planowania wykonawczego i numer jego chwili końcowej; długość okresu planowania wykonawczego wynosi 1, czas w systemie wyrażony jest za pomocą „t” i jest to czas dyskretny (zaokrąglony w razie potrzeby do górnego oszacowania całkowitego)
l	numer okresu planowania operacyjnego i jego chwili końcowej, $l = 1, 2, \dots$
k	numer okresu NHP (okresu obowiązywania decyzji algorytmu nadążnego harmonogramowania produkcji) i jego chwili końcowej, $k = 1, 2, \dots$
$t_l^p$	chwila końcowa l-tego okresu planowania operacyjnego
$t_k^h$	chwila końcowa k-tego okresu NHP
$a_t$	numer aktualnego wariantu produkcyjnego, $a_t \in \{0, 1, \dots, W\}$ ; $a_t = 0$ - postój



$B_{wjt}$	zaległość w nadążaniu planów wykonawczych za planami operacyjnymi (pozostała do wykonania w chwili „t” część planu operacyjnego wytwarzania produktu j w wariantie produkcyjnym „w”), $B_{wjt} = B_{wjt-1} + z_{wjt} - y_{wjt}$ , dla $j \in J_w$ , $w = 1, \dots, W$ , $t = 1, 2, \dots$
$Z_{wjl}$	operacyjny plan produkcji produktu „j” w wariantie produkcyjnym „w” dla okresu „l”
$z_{wjt}$	część aktualnego planu operacyjnego przypadająca na okres „t”
$y_{wjt}$	plan wykonawczy wytwarzania produktu j w wariantie produkcyjnym „w” dla okresu „t”
$x_{wt}$	miara czasowa zaległości w realizacji operacyjnego planu pracy w wariantie produkcyjnym „w”
$r_{wt}$	priorytet wariantu produkcyjnego (w zbiorze wariantów dopuszczalnych wybierany jest wariant o najmniejszej wartości $r_{wt}$ ), $1 \leq r_{wt} \leq W$
$B_{wjt}^+$	zaległość w nadążaniu planów wykonawczych za planami operacyjnymi po korekcie uwzględniającej znajomość planów operacyjnych odczytywanych w chwili „t”
$a_t^+$	decyzja podjęta w chwili „t” o wariantie produkcyjnym dla okresu t+1
$x_{wt}^+$	miara czasowa zaległości po korekcie uwzględniającej znajomość planów operacyjnych udostępnionych w chwili „t”
$r_{wt}^+$	nowa wartość priorytetu wariantu produkcyjnego
$Y_{wik}$	wielkość partii produktu j, w wariantie „w”, w k-tym okresie NHP
T	horyzont planowania wykonawczego (nieistotny gdy wykorzystujemy algorytm NHP w ramach systemu nadążnego sterowania produkcją).

Dane stałe i plany operacyjne muszą spełniać następujące warunki:

$$x_w^* := \text{Max}_{j \in J_w} \{ p_{wj} Y_{wj}^* \}, \quad \text{dla } w = 1, \dots, W \quad (1)$$

$$x_w^* > \frac{\pi(s_w + 1)}{1 - \pi}, \quad \text{dla } w = 1, \dots, W \quad (2)$$

$$\sum_{w=1}^W (s_w + \lceil x_w^* \rceil) < T^* \quad (3)$$

$$\sum_{w=1}^W \text{Max}_{j \in J_w} \{ p_{wj} Z_{wjl} \} \leq \pi \Delta \quad (4)$$

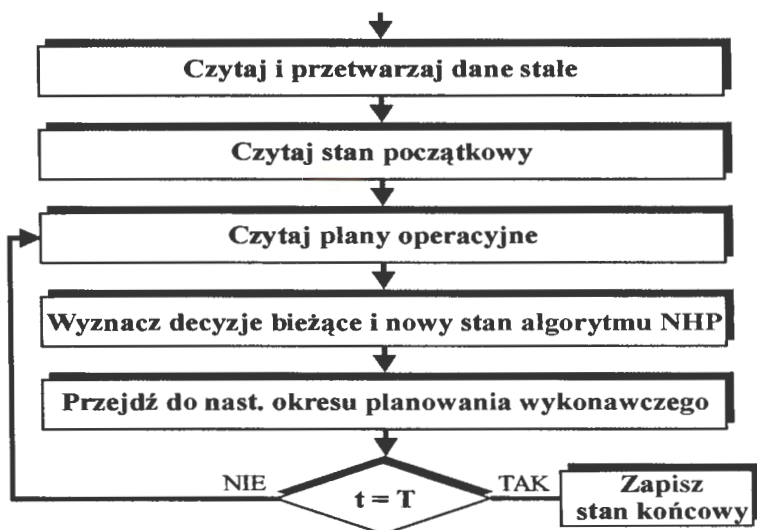
Warunek (2) wprowadzono na potrzeby dowodu twierdzenia o stabilności procesu NHP (Zaborowski, 2000). Warunek (3) obowiązuje, gdy przy produkcji idealnie rytmicznej każdy wariant produkcyjny występuje w okresie powtarzalności

dokładnie jeden raz (Zaborowski, 2000) (symbol  $\lceil \rceil$  w warunku (3) oznacza zaokrąglenie do większej lub równej liczby całkowitej). Plany operacyjne nie mogą przekraczać zdolności produkcyjnych agregatów. Oznacza to, że suma czasów potrzebnych do wykonania planów nie może być większa od długości okresu planowania operacyjnego pomnożonej przez mniejszy od 1 współczynnik  $\square$ .

## 2.1 Ogólny opis algorytmu

Algorytm nadążnego harmonogramowania produkcji nie służy do szeregowania zadań oczekujących w danej chwili na przyszłe wykonanie, lecz do podejmowania bieżącej decyzji o pracy lub postoju danej komórki produkcyjnej i o chwili podjęcia następnej decyzji.

Ogólny schemat działania algorytmu NHP przedstawiono na rys. 1.



Rysunek 1. Procedury algorytmu nadążnego harmonogramowania produkcji  
*Źródło: opracowanie własne.*

## 2.2 Procedury algorytmu

### KROK 1. Czytaj i przetwarzaj dane stałe

Czytaj: $W, T^*, J, \Delta, \pi$ $J_w, S_w,$ dla $w = 1..W,$ $p_{wj}, Y^*_{wj},$ dla $j \in J_w, w = 1..W$
Oblicz: $x_w^* := \text{Max}_{j \in J_w} \{ p_{wj} Y^*_{wj} \},$ dla $w = 1..W$

(5)

**KROK 2. Czytaj stan początkowy**

Czytaj:	$t, k, l, t_1^p, t_k^h, a_t$
	$x_{wt},$ dla $w = 1..W$
	$B_{wjt},$ dla $j \in J_w, w = 1..W$

**KROK 3. Czytaj plany operacyjne**

Jeśli $t = t_1^p$
to podstaw $l := l + 1$
$t_1^p := t + \Delta$
i czytaj $Z_{wjl},$ dla $j \in J_w, w = 1..W$

**Komentarz do KROKU 3:** procedura czytania planów operacyjnych jest wykonywana, jeżeli bieżący okres planowania wykonawczego jest ostatnim z należących do bieżącego okresu planowania operacyjnego. Jeżeli plany są czytane, to dotyczą następnego okresu planowania operacyjnego są też przypisywane następnemu okresowi planowania wykonawczego.

W **KROKU 4** wykonywane są procedury:

- wyznaczania wstępnych wartości nowego stanu algorytmu NHP,
- korekty stanu pochodzącej od nowych planów operacyjnych oraz
- wyznaczania decyzji bieżących (o pracy lub postoiu danej komórki produkcyjnej i o chwili podjęcia następnej decyzji) oraz korekty stanu pochodzącej od tych decyzji.

Pierwsza z tych procedur działa po każdym okresie planowania wykonawczego, druga tylko w chwili czytania planów operacyjnych, a trzecia tylko w chwili kończącej poprzedni okres NHP. Jeżeli aktualny okres planowania wykonawczego jest ostatnim z należących do aktualnego okresu NHP, to wyznaczane są decyzje o pracy lub postoiu komórki produkcyjnej.

Dla okresu PRACY wybierany jest wariant produkcyjny mający np. największe zaległości (reguła LPT). Wielkości partii produktów wytwarzanych w okresie pracy są równe wartościom zaległości w chwili podejmowania decyzji, dzięki czemu zaległości dla wybranego wariantu produkcyjnego mogą być wyzerowane bezpośrednio po podjęciu decyzji. Długość okresu pracy, od której zależy chwila zakończenia tego okresu, jest równa sumie czasu przezbroyenia komórki do wybranego wariantu i czasu roboczego równego zaokrąglonej w górze mierze czasowej zaległości. Jednak w rzadko występującym przypadku wyboru tego samego wariantu pracy, który już był realizowany poprzednio, nie ma potrzeby przezbroyania komórki, a długość okresu pracy jest odpowiednio mniejsza.

W okresie POSTOJU wielkości wszystkich partii są równe zero, a czas trwania postoju kończy się w chwili wczytania następnych planów operacyjnych, gdyż dopiero w tej chwili zaległości mogą wzrosnąć. Nowe zaległości obliczane są jako dotychczasowe zaległości powiększone o właśnie przeczytane plany operacyjne. Wyznaczana jest również miara czasowa zaległości, czyli najkrótszy czas potrzebny do likwidacji wszystkich zaległości w nadążaniu harmonogramów za planami, które są związane z wariantem produkcyjnym „w”.

**KROK 5. Przejdź do następnego okresu planowania wykonawczego**

Podstaw: $B_{wj,t+1} := B_{wjt}^+$ ,      dla $j \in J_w, w = 1..W$ , $x_{w,t+1} := x_{wt}^+$ ,      dla $w = 1..W$ , $a_{t+1} := a_t^+$
<i>W przypadku pracy w systemie nadążnego sterowania produkcją zawieś działanie algorytmu do chwili zakończenia aktualnego okresu planowania wykonawczego</i>
Podstaw $t:=t+1$
<i>W przypadku generacji harmonogramu dla założonego horyzontu planowania T sprawdź, czy <math>t = T</math>, a jeśli tak, przejdź do kroku 6.</i>
Przejdź do kroku 3.

**KROK 6. Zapisz stan końcowy**

Zapisz: $t, k, l, t_l^p, t_k^h, a_t,$ $x_{wt}$ , dla $w = 1..W$ , $B_{wjt}$ ,      dla $j \in J_w, w = 1..W$ .
Stop

**3. Rola reguł priorytetu w algorytmie nadążnego harmonogramowania produkcji**

Podstawowe właściwości algorytmu NHP (zbieżność i stabilność) nie zależą od tego, według jakich reguł priorytetu wybierany jest wariant produkcyjny dla bieżącego okresu pracy (Zaborowski, 2000). Wystarczy, że jest to jeden z wariantów, dla których zaległości osiągnęły lub przekroczyły wartości progowe.

W literaturze znanych jest wiele reguł priorytetu, które w klasycznie sformułowanych problemach szeregowania zadań są wykorzystywane do ustalania kolejności zadań oczekujących na wykonanie w komórkach systemu produkcyjnego (Wróblewski, 1984). Istotną kwestią jest wybór odpowiedniej reguły priorytetu, która w danych warunkach zapewniałaby najlepsze wartości przyjętego kryterium oceny harmonogramów. Powstaje więc pytanie, czy dobór reguł priorytetu ma wpływ na jakość działania algorytmu NHP, skoro jego podstawowe właściwości nie zależą od niego, a z drugiej strony praktyka klasycznego szeregowania zadań każe

spodziewać się takiego wpływu. W szczególności należy badać skuteczność algorytmu NHP przy różnych regułach priorytetu w trzech znacznie różniących się sytuacjach (Zaborowski, Krystek, 2005):

- 1) plany operacyjne zmieniają się przypadkowo, a komórka produkcyjna nigdy nie pracuje rytmicznie,
- 2) plany operacyjne są przedziałami stałe, lecz zmieniają się na tyle często, że komórka produkcyjna rzadko kiedy pracuje rytmicznie, a przez większość czasu pozostaje w stanie nieustalonym,
- 3) plany operacyjne są przedziałami stałe, a zmieniają się tak rzadko, że w komórce prawie zawsze mamy do czynienia z produkcją rytmiczną.

W implementacji algorytmu NHP zastosowano następujące, znane z szeregowania zadań, reguły priorytetu (Krystek, Zaborowski, 2005):

- LPT – (ang. *longest processing time*), najdłuższy czas wykonania,
- SPT – (ang. *shortest processing time*), najkrótszy czas wykonania,
- FIFO – (ang. *first in – first out*), PPPO – (pol. pierwszy przybył – pierwszy obsłużony),
- LIFO – (ang. *last in – first out*) – ostatni przybył – pierwszy obsłużony,
- LPT bwp – z regułą LPT bez wartości progowych.

Dodatkowo, stworzono nową regułę wyboru wariantu produkcyjnego:

- ZKWP – z zadaną kolejnością wariantów produkcyjnych (minimalizującą koszty przebrojeń).

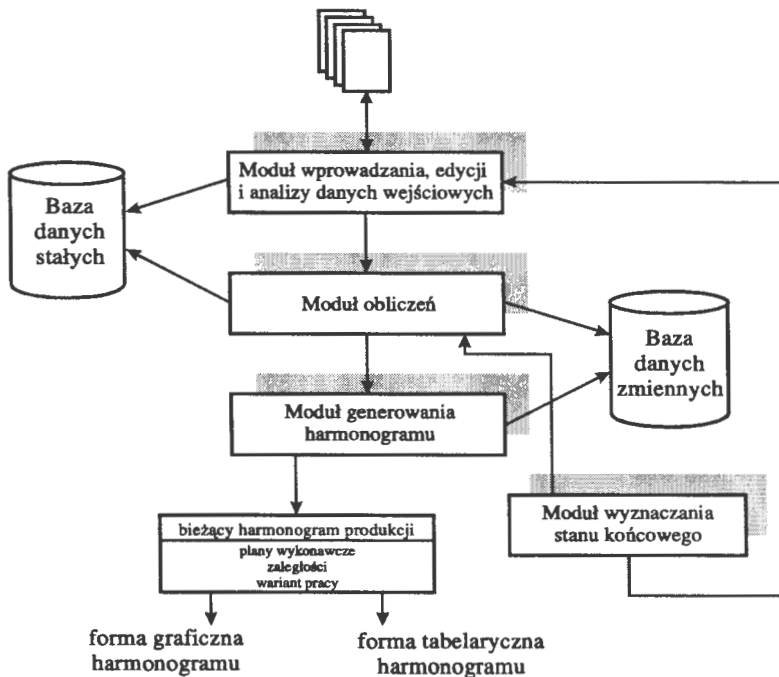
Należy wyraźnie zaznaczyć, że w przypadku algorytmu NHP reguły priorytetu są stosowane do wyboru wariantu produkcyjnego, czyli grupy produktów (Krystek, 2004) a nie do wyboru pojedynczego zadania jak w przypadku szeregowania zadań. I tak, reguła LPT wybiera wariant produkcyjny o najdłuższym czasie potrzebnym do likwidacji zaległości. Za pomocą reguły SPT wybierany jest wariant produkcyjny o najkrótszym czasie potrzebnym do likwidacji zaległości. Reguła FIFO wybiera wariant, który najwcześniej osiągnął wartość progową zaległości. Reguła LIFO wyznacza do realizacji ten wariant, który jako ostatni osiągnął wartość progową zaległości. Heurystyczny algorytm NHP-ZKWP o zadanej kolejności wariantów produkcyjnych został skonstruowany tak, żeby w stanie ustalonym osiągać kolejność wariantów zgodną z ich numeracją (Krystek, Zaborowski, 2005)

Do analizy porównawczej dopuszczono także regułę LPT bwp (bez wartości progowych), który w przypadku małego obciążenia maszyn skraca czas oczekiwania na wykonanie planów operacyjnych, a w przypadku normalnych obciążeń działa tak, jak z wartościami progowymi. Jednak produkcja realizowana w małych partiach jest niekorzystna, gdyż prowadzi do dużej częstotliwości przebrojeń, co zwiększa koszty, a zmniejsza udział czasu pracy w łącznym czasie produkcji i przebrojeń. Stosowanie tego algorytmu ogranicza się do sytuacji, w której popyt jest znacznie mniejszy od zdolności produkcyjnych.

Uwzględnienie powyższych reguł priorytetu w algorytmie NHP wymagało głównie modyfikacji **KROKU 4** (Zaborowski, Krystek, 2005). Różnice dotyczyły także występowania i interpretacji wskaźników priorytetu.

#### 4. Internetowa implementacja algorytmu nadążnego harmonogramowania produkcji

Dynamiczny rozwój technologii internetowej spowodował, że technika internetowa przeniknęła do systemów klasy ERP. W tej chwili liczące się firmy dostosowują się do nowych wymagań klientów. Standardem staje się dostępność aplikacji przez internet. Powoduje to uniezależnienie od platformy sprzętowej i systemu operacyjnego.

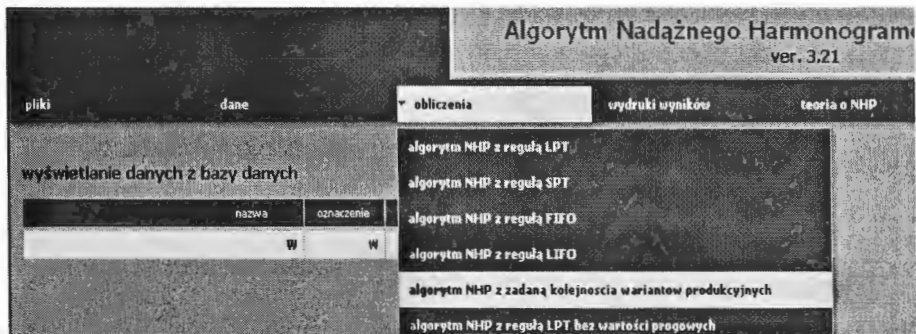


**Rysunek 2.** Struktura aplikacji „Algorytm Nadążnego Harmonogramowania Produkcji”. *Źródło: opracowanie własne.*

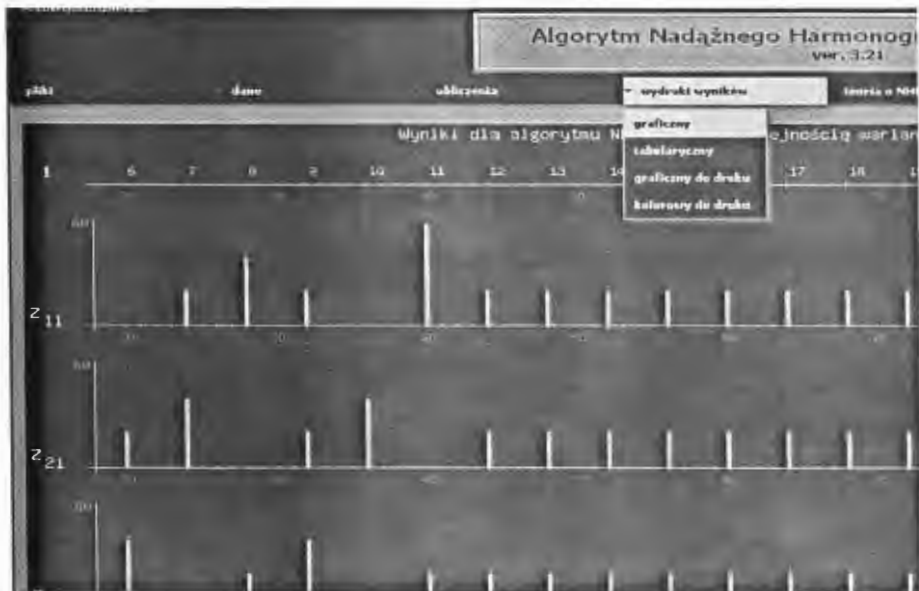
Algorytm został implementowany przy wykorzystaniu możliwości języka PHP jako narzędzia dostępu do relacyjnej bazy danych (Krystek, 2004). Interfejs użytkownika zrealizowano zgodnie ze standardem HTML. Aplikacja NHP pracuje na własnej bazie danych. Aplikację opracowano tak, by użytkownik mógł zmieniać wszystkie dane stałe i parametry stanu początkowego, a także by możliwe było

zapamiętywanie wygenerowanych w danym eksperymencie operacyjnych planów produkcji (rys. 2). Dzięki temu możliwe jest przeprowadzanie nie tylko pojedynczego eksperymentu dla konkretnego zestawu danych wejściowych i planów operacyjnych, ale możliwe było przeprowadzenie serii badań porównawczych dla takich samych danych, lecz dla różnych odmian algorytmu NHP.

Algorytm NHP został zaimplementowany i zrealizowany właśnie w technologii internetowej. Aplikacja „Algorytm Nadążnego Harmonogramowania Produkcji” jest dostępna pod adresem URL: <http://nhp.fl1.com.pl>. Są w niej dostępne wszystkie wersje algorytmu NHP związane z zastosowaniem odpowiedniej reguły priorytetu (rys. 3).



Rysunek 3. Okno wyboru reguły priorytetu algorytmu



Rysunek 4. Okno graficznej prezentacji wyników obliczeń

Witryna ta umożliwia:

- przeprowadzanie obliczeń dla danych zapisanych w bazie danych,
- przeprowadzanie obliczeń dla danych wprowadzanych w trakcie edycji danych,
- wyznaczenie harmonogramów produkcji dla wybranej wersji algorytmu,
- graficzną i tabelaryczną wizualizację otrzymanych wyników (rys.4),
- zapisywanie otrzymywanych wyników.

## 5. Badania symulacyjne

W celu zbadania jakości działania algorytmu NHP w trzech różnych sytuacjach wymienionych w p.3, w każdym eksperymencie wyróżniono trzy przedziały czasowe (Krystek, 2004):

1. przedział generowania nieregularnych, zmieniających się losowo planów operacyjnych,
2. przedział stanu nieustalonego przy stałych planach operacyjnych, do chwili pojawienia się idealnych harmonogramów rytmicznych (cyklogramów),
3. przedział stanu ustalonego, przy stałych planach operacyjnych i idealnie rytmicznych planach wykonawczych.

W każdym eksperymencie:

- średnie wartości miar czasowych zaległości są obliczane na podstawie przebiegów planów wykonawczych w przedziale 1,
- czas trwania stanu nieustalonego jest długością przedziału 2,
- kolejność wariantów produkcyjnych uzyskiwana w stanie ustalonym jest weryfikowana w przedziale 3.

Eksperymenty przeprowadzono w czterech grupach, które różniły się liczbą wariantów produkcyjnych, wynoszącą odpowiednio 4, 7, 10 i 13. Dla każdej grupy wygenerowano losowo 100 różnych ciągów planów operacyjnych, przy czym liczba okresów planowania operacyjnego w tych ciągach wynosiła odpowiednio 250, 450, 550 i 650 (1000, 1800, 2200, 2600 okresów planowania wykonawczego), a przedział czasowy 1 obejmował zawsze, niezależnie od liczby wariantów, 100 okresów planowania operacyjnego (400 okresów planowania wykonawczego). Podział pozostałej części horyzontu na przedziały 2 i 3 jest różny, bo czas trwania stanu nieustalonego zależy od zastosowanej reguły priorytetu. Łącznie w badaniach porównawczych przeprowadzono więc 2400 eksperymentów, ponieważ każdy z 400 ciągów planów operacyjnych był 6-krotnie przetwarzany na odpowiednie ciągi planów wykonawczych, różniące się z powodu zastosowania 6 różnych odmian algorytmu.



## 6. Wyniki badań

Na podstawie przeprowadzonych badań symulacyjnych nie stwierdzono wpływu wyboru reguł priorytetu na wartości średnie miar czasowych zaległości w przedziale czasowym 1, gdzie plany operacyjne zmieniają się losowo. Czasy trwania stanów nieustalonych przy regule LPT były średnio krótsze niż przy stosowaniu innych reguł. Jeżeli istotna jest odpowiednia kolejność realizacji wariantów produkcyjnych w przypadku produkcji rytmicznej to uzasadnione jest zastosowanie algorytmu NHP-ZKWP gdyż za każdym razem doprowadza on do zadanej kolejności wariantów produkcyjnych w cyklogramie stanu ustalonego, podczas gdy dla innych odmian algorytmu NHP kolejność ta była przypadkowa. Niestety, skuteczność algorytmu NHP-ZKWP w stanach ustalonych okupiona jest jego zdecydowanie najgorszymi wynikami dla losowo zmiennych planów operacyjnych i dla stanów nieustalonych przy stałych planach operacyjnych.

Podstawowym przeznaczeniem algorytmu harmonogramowania nadążnego jest bieżąca generacja decyzji po każdym okresie pracy lub postoju, lecz można go również wykorzystywać do układania harmonogramów produkcji dla dowolnie długich horyzontów planowania.

## Literatura

- Krystek J. (2004) *Badania symulacyjne algorytmu nadążnego harmonogramowania produkcji*. Rozprawa doktorska (niepublikowana), Gliwice.
- Krystek J., Zaborowski M. (2004) *Harmonogramowanie nadążne z zadaną kolejnością wariantów produkcyjnych*, w: Zaborowski M. (red.) *Automatyzacja procesów dyskretnych. Sterowanie procesami dyskretnymi. Zarządzanie i inżynieria produkcji*. WNT, Warszawa.
- Krystek J., Zaborowski M. (2005) *Badania symulacyjne algorytmu nadążnego harmonogramowania produkcji*. IX Szkoła komputerowego wspomaganie projektowania, wytwarzania i eksploatacji, Jurata, Wyd. Garmond, 121-130.
- Wróblewski K.J., Krawczyński R., Kosieradzka A., Kasprzyk S. (1984) *Reguły priorytetu w sterowaniu przepływem produkcji*. WNT, Warszawa.
- Zaborowski M. (2000) *Stabilność procesu nadążnego harmonogramowania produkcji*. *Zeszyty Naukowe. Pol. Śl., seria: Automatyka*, 129, Gliwice, 375-382.
- Zaborowski M. (2000) *Zbieżność procesu nadążnego harmonogramowania produkcji*. *Zeszyty Naukowe. Pol. Śl., seria: Automatyka*, 129, Gliwice, 383-390.
- Zaborowski M. (2003) *Nadążne sterowanie produkcją*. Wyd. WAEI Politechniki Śląskiej, Gliwice. ISBN 83-904743-2-8.
- Zaborowski M., Krystek J. (2000) *Algorytm nadążnego harmonogramowania produkcji*, w: *III K.K. Komputerowo Zintegrowane Zarządzanie*. WNT, Warszawa, 290-297.
- Zaborowski M., Krystek J. (2005) *Wpływ reguł priorytetu na działanie algorytmu nadążnego harmonogramowania produkcji*, w: *VIII Konferencja Komputerowo Zintegrowane Zarządzanie*. WNT, Warszawa, 668-679.

**THE FOLLOW-UP SCHEDULING ALGORITHM  
AND ITS INTERNET IMPLEMENTATION**

*The follow-up scheduling algorithm is designed for current generation of work cell executive plans which follow operational production plans coming from the coordination unit. The paper presents an internet implementation of the algorithm. The co-operation diagram of the algorithm procedures is shown. Each of these procedures is described in detail.*

**Keywords:** Production control, follow-up scheduling, dispatch rules, Internet.

**Jan Studziński, Ludosław Drelichowski, Olgierd Hryniewicz  
(Redakcja)**

**ZASTOSOWANIA INFORMATYKI  
W NAUCE, TECHNICE I ZARZĄDZANIU**

Monografia zawiera wybór artykułów dotyczących informatyzacji procesów zarządzania, prezentując bieżący stan rozwoju informatyki stosowanej w Polsce i na świecie. Zamieszczone artykuły opisują metody, algorytmy i techniki obliczeniowe stosowane do rozwiązywania złożonych problemów zarządzania, a także omawiają konkretne zastosowania informatyki w różnych sektorach gospodarki. Kilka prac przedstawia wyniki projektów badawczych Ministerstwa Nauki i Informatyzacji, dotyczących rozwoju metod informatycznych i ich zastosowań.

**ISBN 83-89475-03-0**

**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**