

Krzysztof Bzdyra

ROZDZIAŁ 5

SWZP (System Warianowania Zleceń Produkcyjnych)

5.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się ze strukturą i działaniem systemu komputerowo wspomaganego podejmowania decyzji w zadaniach weryfikacji nowo wprowadzanych zleceń produkcyjnych. Zastosowanie pakietu pozwala na szybką ocenę możliwości terminowej realizacji nowo wprowadzanych zleceń w systemie o znanych i niewykorzystanych mocach produkcyjnych w warunkach istniejących deterministycznych ograniczeń logistycznych. W odróżnieniu od przedstawionych wcześniej systemów (rozdziały 1 – 4), system bazuje na metodach programowania w logice ograniczeń. Dedykowany jest jako narzędzie szybkiej weryfikacji nowo wprowadzanych zleceń produkcyjnych i może stanowić uzupełnienie systemów MRP. Ćwiczenie obejmuje przykłady zadań z zakresu planowania i sterowania przepływem produkcji, takich jak:

- dobór nowych zleceń produkcyjnych;
- projektowanie struktury systemu produkcyjnego.

5.2. Wprowadzenie

Ewolucja systemów wspomaganie decyzji, zwłaszcza w zakresie technicznego przygotowania produkcji, sprowadza się do poszukiwania metod obliczeniowych pozwalających na szybkie (coraz szybsze), tańsze i trafniejsze podejmowanie decyzji. Należy podkreślić, że ze względu na złożony charakter rozwiązywanych problemów, integrujących szereg problemów cząstkowych (marszrutowania, alokacji zasobów, itp.) znalezienie rozwiązania dopuszczalnego jest równie trudne jak rozwiązania optymalnego. Z tego względu istotne jest odejście od problemów optymalizacyjnych na rzecz problemów decyzyjnych. Innymi słowy, należy się skupić na poszukiwaniu odpowiedzi na pytanie *czy rozwiązanie istnieje?*, zamiast na zwykle stawiane *jakie rozwiązanie jest najlepsze?* Podejście takie jest istotne, gdyż większość programów dostępnych na rynku i oferowanych przedsiębiorstwom działa zgodnie z założeniem, że rozwiązania dopuszczalne istnieją. W efekcie poszukują one rozwiązań optymalnych bez sprawdzenia realizowalności zadania. Skutkuje to: rozwiązaniami

nie spełniającymi narzuconych ograniczeń, brakiem rozwiązań, bądź długim czasem oczekiwania na odpowiedź.

Poszukiwanie rozwiązania dopuszczalnego w zakresie wspomaganie decyzji, sprowadza się do bilansowania możliwości dostępnych zasobów (ograniczeń systemu produkcyjnego) z wymaganiami zadań do realizacji (ograniczeniami narzuconymi przez klienta). Podejście takie wymaga, aby specyfikacja problemu obejmowała wszystkie ograniczenia bez ich upraszczania. Oznacza to, że większość dostępnych metod jest nieprzydatna gdyż wymagają dostosowywania specyfikacji problemu decyzyjnego „pod metodę”.

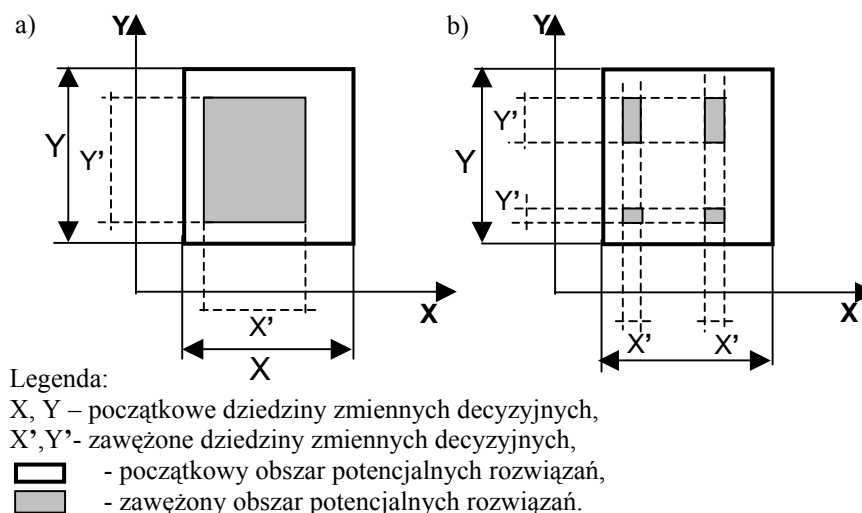
W tym aspekcie atrakcyjne wydają się metody programowania w logice ograniczeń wywodzące się z języka Prolog. Metody te pozwalają w sposób naturalny specyfikować ograniczenia problemu. Ponadto użytkownik nie skupia się na algorytmie poszukiwania rozwiązania, lecz na wyniku, jaki chce uzyskać – zbiorze ograniczeń, jakie powinno spełniać poszukiwane rozwiązanie.

5.2.1. Programowanie w logice ograniczeń

Działanie metod programowania w logice ograniczeń (ang. Constraint Logic Programming – **CLP**) opiera się na propagacji ograniczeń i podstawianiu wartości zmiennych decyzyjnych.

Propagacja polega na analizie ograniczeń występujących w modelu matematycznym problemu. W efekcie, z dziedzin poszczególnych zmiennych decyzyjnych odrzucane są te wartości, które nie spełniają żadnego z ograniczeń. W niektórych przypadkach, zależnych od wykorzystywanego narzędzia, propagacja jest częściowa, tzn. odrzucane są tylko skrajne wartości. W przypadkach tego typu, o skuteczności metod **CLP**, decyduje przyjęta strategia podstawiania. Ilustruje to rysunek 1.

Efektem propagacji ograniczeń jest wyselekcjonowanie zbioru rozwiązań, który zawiera zarówno rozwiązania dopuszczalne, jak i niedopuszczalne, tj. takie, które nie spełniają wszystkich ograniczeń. Oznacza to konieczność weryfikacji wyniku drogą podstawiania wartości zmiennych decyzyjnych.



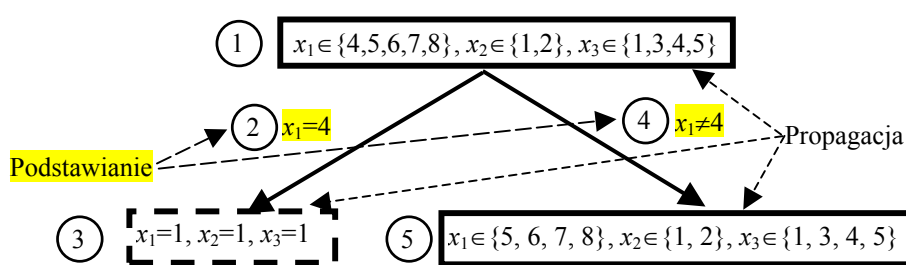
Rys. 1. Zawężanie obszarów potencjalnych rozwiązań w wyniku propagacji: usuwanie wartości skrajnych a), usuwanie wszystkich wartości dziedzin, które nie spełniają ograniczeń b)

Procedury podstawiania (często nazywane procedurami dystrybucji lub ukonkretniania) pozwalają generować konkretne rozwiązania. Działanie tych procedur polega na nadawaniu kolejnym zmiennym decyzyjnym wartości z ich dziedzin. Można wyróżnić wiele strategii podstawiania: od wartości najmniejszych (w danej dziedzinie), od wartości największych, naprzemiennie, itd. Poszukiwanie efektywnego sposobu rozwiązywania problemów planowania przepływu produkcji wymaga umiejętnego połączenia procedur podstawiania i propagacji ograniczeń. Poniższy przykład ilustruje poszukiwanie rozwiązania dopuszczalnego problemu decyzyjnego metodami **CLP**.

Rozważany problem zadany jest przez zbiór zmiennych decyzyjnych $\{x_1, x_2, x_3\}$, rodzinę dziedzin zmiennych $x_1 \in \{1, \dots, 8\}$; $x_2 \in \{1, \dots, 10\}$; $x_3 \in \{1, \dots, 10\}$ oraz zbiór ograniczeń $x_3 \neq 2$, $x_1 - x_3 = 3 \cdot x_2$. W wyniku pierwszej propagacji ograniczeń otrzymano rozwiązanie $x_1 \in \{4, 5, 6, 8\}$ $x_2 \in \{1, 2\}$ $x_3 \in \{1, 3, 4, 5\}$ przedstawiające wartości dziedzin poszczególnych zmiennych decyzyjnych, wartości spełniających przynajmniej jedno ograniczenie (rys. 2).

W kolejnym kroku, dokonano podstawienia pierwszej wartości zmiennej decyzyjnej $x_1 = 4$. Podstawienie to może być interpretowane jako wprowadzenie dodatkowego ograniczenia problemu *PSO*. Oznacza to, że w wyniku tego podstawienia wprowadzono dodatkowe ograniczenie nadające jednej ze zmiennych określoną wartość. Dla tak rozszerzonego zbioru ograniczeń, w kroku trzecim,

dokonano ponownie propagacji ograniczeń. W jej wyniku dziedziny zmiennych decyzyjnych zostały zawężone do zbiorów jednoelementowych; wyznaczone zostało, zatem pierwsze dopuszczalne rozwiązanie $[4, 1, 1]$.



Legenda:

$\boxed{\text{---}}$ - rozwiązanie dopuszczalne,

$\boxed{\text{---}}$ - zawężone dziedziny zmiennych decyzyjnych – rozwiązanie częściowe,

\textcircled{i} - numer i -tego kroku.

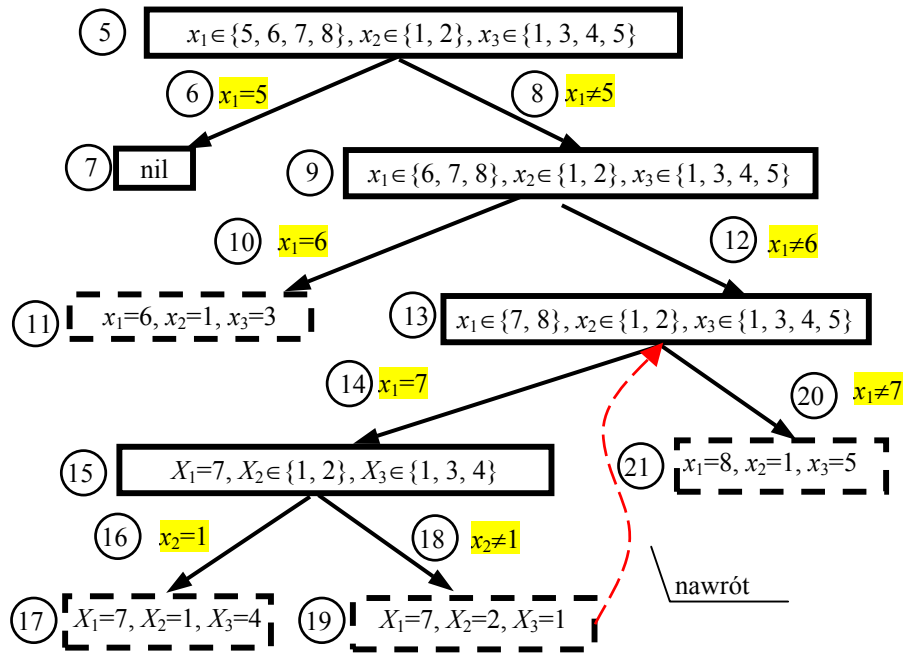
Rys. 2 Poszukiwanie pierwszego rozwiązania dopuszczalnego

Jeżeli poszukiwane są wszystkie rozwiązania dopuszczalne, wówczas realizowane są następujące kroki podstawiania i propagacji. W rozważanym przykładzie kolejna propagacja ograniczeń uwzględnia dodatkowe ograniczenie $x_1 \neq 4$. Schemat poszukiwań kolejnych rozwiązań dopuszczalnych przedstawia rys. 4.3. Warto zwrócić uwagę na podstawienie $x_1 = 5$ (krok szósty). W wyniku propagacji uwzględniającej to ograniczenie, dziedziny pozostałych zmiennych decyzyjnych okazały się być zbiorami pustymi. Oznacza to, że dla podstawienia $x_1 = 5$ rozwiązanie dopuszczalne nie istnieje.

Z kolei podstawienie $x_1 = 7$ (krok czternasty), w kolejnej propagacji (krok piętnasty), prowadzi do rozwiązania, w którym dziedziny zmiennych decyzyjnych są więcej niż jednoelementowe. Oznacza to konieczność podstawiania wartości kolejnej zmiennej decyzyjnej $x_2 = 1$ (krok szesnasty). W wyniku propagacji otrzymano następne rozwiązanie dopuszczalne (krok siedemnasty).

Kolejne podstawienie $x_2 \neq 1$ (w rozważanym przypadku $x_2 = 2$) również prowadzi do rozwiązania dopuszczalnego. Po kroku dziewiętnastym, nastąpił powrót (ang. backtracking) do kroku trzynastego i próby podstawienia $x_1 \neq 7$.

Do znalezienia wszystkich rozwiązań dopuszczalnych potrzebne było zaledwie 21 kroków propagacji i podstawiania, pomimo że potencjalny obszar rozwiązań obejmował 800 rozwiązań ($8 \times 10 \times 10$). Przykład ten dobrze ilustruje możliwości metod **CLP**.



Legenda:

 - rozwiązanie dopuszczalne,

 - zawężone dziedziny zmiennych decyzyjnych – rozwiązanie częściowe,

I - numer *i*-tego kroku,

nil - brak rozwiązania dopuszczalnego.

Rys. 3. Wyszukiwanie zbioru rozwiązań dopuszczalnych

Istnieje szereg języków pozwalających implementować metody CLP. Najbardziej znane to CHiP, Oz, Ilog oraz Eclipse. Wykorzystywane w ćwiczeniu oprogramowanie System Wariantowania Zleceń zaimplementowano w języku Oz – dostępnym *public domain* (www.mozart.org).

5.2.2. Modelowanie zbioru ograniczeń

W algorytmach bazujących na programowaniu w logice ograniczeń, kluczowe jest wyspecyfikowanie zbioru ograniczeń opisujących problem. Ograniczenia te związane są z systemem produkcyjnym lub ze zleceniami napływającymi w do systemu.

Do ograniczeń związanych z systemem można zaliczyć:

- Pojemności buforów maszyn. W każdej jednostce czasu różnica między liczbą detali dostarczanych do bufora i odbieranych z niego, nie może być większa od pojemności bufora. Jednocześnie różnica ta nie może być mniejsza od zera.
- Pojemności środków transportu. Wielkości partii transportowych nie mogą przekraczać pojemności środków transportu. Ponadto suma wszystkich partii transportowych pomiędzy dwoma kolejnymi zasobami produkcyjnymi jest równa wielkości zlecenia.
- Trasy, po jakich poruszają się środki transportu. Jeżeli są narzucone „na sztywno”, wówczas co najwyżej jedna ze zbioru tras jest przypisywana każdemu wózkowi. W przypadku, gdy wózki mogą jeździć dowolnymi trasami, należy podzielić trasy na odcinki (ścieżki) i przydzielać je tak aby koniec jednej ścieżki był początkiem następnej ścieżki na danej trasie.
- Dostępność zasobów w czasie. Operacje realizowane na zasobach nie mogą kolidować z innymi operacjami, remontami, itp.
- Możliwość realizacji operacji na zasobach.

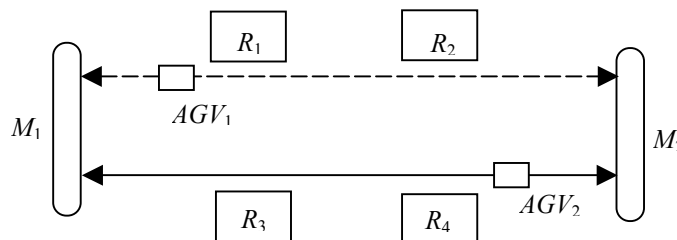
Do ograniczeń narzuconych przez nowoprowadzane zlecenie zalicza się:

- wielkość zlecenia;
- termin realizacji;
- koszt realizacji;
- kolejność realizacji operacji (następstwo technologiczne).

Dodatkowym ograniczeniem jest wymóg zaplanowania bezblokadowego przepływu produkcji.

5.2.3. Przykład zastosowania metod CLP

Celem ilustracji działania metod CLP rozważony będzie problem planowania produkcji w systemie przedstawionym na rysunku 4.



Legenda:

R – zasoby, AGV – wózki, M – magazyn,

Rys. 4. Schemat rozważanego systemu produkcyjnego

Dane jest zlecenie produkcyjne, które można realizować według dwóch marszrut:

$$M_1 - R_1 - R_2 - M_2$$

Lub

$$M_1 - R_3 - R_4 - M_2$$

Zakłada się, że wózek AGV_1 obsługuje marszrutę a), natomiast wózek AGV_2 – marszrutę b). Pojemności wózków wynoszą odpowiednio $V_1 = 3$, $V_2 = 4$. Dodatkowo przyjęto, że czas operacji transportowych wynosi 1 u.j.c., ponadto pomiędzy operacjami transportowymi występuje przerwa równa 1 u.j.c.

Czasy operacji na poszczególnych zasobach, oraz pojemności buforów zasobów produkcyjnych zestawiono w Tablicy 1.

Tablica 1. Czasy operacji i pojemności buforów

Zasób	Czas obróbki	Bufor
R_1	3	5
R_2	4	5
R_3	5	3
R_4	2	7

Wielkość zlecenia wynosi $Z = 20$ sztuk. Termin realizacji to $H = 75$ umownych jednostek czasu. Poszukiwana jest odpowiedź na pytanie „Czy możliwa jest realizacja zlecenia w zakładanym terminie”. Takie postawienie problemu podkreśla decyzyjny, a nie optymalizacyjny jego charakter.

Model matematyczny obejmuje zbiór ograniczeń, jakie musi spełniać rozwiązanie. Przyjęto następujące zmienne decyzyjne:

x_{ij} – liczba detali transportowanych/produkowanych

gdzie:

$j \in \{1, \dots, H\}$ – oznacza jednostkę czasu

$i \in \{1, \dots, 4\}$ – oznacza numer zasobu produkcyjnego

$i \in \{5, \dots, 10\}$ – oznacza operacje transportowe przy czym:

$i = 5$ – transport z M_1 do R_1 (AGV_1)

$i = 6$ – transport z R_1 do R_2 (AGV_1)

$i = 7$ – transport z R_2 do M_2 (AGV_1)

$i = 8$ – transport z M_1 do R_3 (AGV_2)

$i = 9$ – transport z R_3 do R_4 (AGV_2)

$i = 10$ – transport z R_4 do M_2 (AGV_2)

np. $x_{1,5} = 1$ – na zasobie R_1 w 5 jednostce czasu na jest realizowana produkcja, $x_{8,13} = 2$ – w 13 jednostce czasu z magazynu M_1 na zasób R_3 przewożone są 2 detale.

Dziedziny zmiennych decyzyjnych są następujące:

Dla $i \in \{1, \dots, 4\}, j \in \{1, \dots, H\} - x_{ij} \in \{0, 1\}$

Dla $i \in \{5, \dots, 7\}, j \in \{1, \dots, H\} - x_{ij} \in \{0, V_1\}$

Dla $i \in \{8, \dots, 10\}, j \in \{1, \dots, H\} - x_{ij} \in \{0, V_2\}$

Ograniczenie dotyczące realizacji zlecenia:

- suma detali wyprodukowanych na zasobach równa zleceniu Z .

$$\sum_{j=1}^H (x_{1,j} + x_{3,j}) = Z$$

$$\sum_{j=1}^H (x_{2,j} + x_{4,j}) = Z$$
(1)

- suma detali przewożonych między zasobami a magazynami równa zleceniu Z .

$$\sum_{j=1}^H (x_{5,j} + x_{8,j}) = Z$$

$$\sum_{j=1}^H (x_{6,j} + x_{9,j}) = Z$$

$$\sum_{j=1}^H (x_{7,j} + x_{10,j}) = Z$$
(2)

- liczba detali dowiezionych do bufora, nie mniejsza od liczby detali pobranych z bufora na produkcję

$$\sum_{j=2}^H (x_{5,j}) \geq \sum_{j=1}^{H-1} (x_{1,j})$$

$$\sum_{j=2}^H (x_{6,j}) \geq \sum_{j=1}^{H-1} (x_{2,j})$$

$$\sum_{j=2}^H (x_{8,j}) \geq \sum_{j=1}^{H-1} (x_{3,j})$$

$$\sum_{j=2}^H (x_{9,j}) \geq \sum_{j=1}^{H-1} (x_{4,j})$$
(4)

- liczba detali odebranych z bufora, nie większa niż liczba detali wyprodukowanych

$$\begin{aligned}
 \sum_{j=2}^H (x_{6,j}) &\leq \sum_{j=1}^{H-1} (x_{1,j}) \\
 \sum_{j=2}^H (x_{7,j}) &\leq \sum_{j=1}^{H-1} (x_{2,j}) \\
 \sum_{j=2}^H (x_{9,j}) &\leq \sum_{j=1}^{H-1} (x_{3,j}) \\
 \sum_{j=2}^H (x_{10,j}) &\leq \sum_{j=1}^{H-1} (x_{4,j})
 \end{aligned} \tag{5}$$

- czas obróbki detali

$$\begin{aligned}
 \forall j \in \{1, \dots, (H-2)\} \quad \sum_j^{j+2} x_{1,j} &\geq 1 \\
 \forall j \in \{1, \dots, (H-3)\} \quad \sum_j^{j+3} x_{2,j} &\geq 1 \\
 \forall j \in \{1, \dots, (H-4)\} \quad \sum_j^{j+4} x_{3,j} &\geq 1 \\
 \forall j \in \{1, \dots, (H-1)\} \quad \sum_j^{j+1} x_{4,j} &\geq 1
 \end{aligned} \tag{6}$$

- czas pomiędzy operacjami transportowymi

$$\forall i \in \{5, \dots, 10\}, j \in \{1, \dots, (H-1)\} \quad \prod_j^{j+1} x_{i,j} = 0 \tag{7}$$

Po pierwszej propagacji ograniczeń otrzymujemy

Tablica 2. Dziedziny po wstępnej propagacji

Dziedziny zmiennych												
j	1	2	3	4	5	6	7	...	H-3	H-2	H-1	H
$x_{1,j}$	0	{0,1}	{0,1}	{0,1}	{0,1}	{0,1}	{0,1}	...	{0,1}	0	0	0
$x_{2,j}$	0	0	0	{0,1}	{0,1}	{0,1}	{0,1}	...	{0,1}	{0,1}	{0,1}	0
$x_{3,j}$	0	{0,1}	{0,1}	{0,1}	{0,1}	{0,1}	{0,1}	...	{0,1}	0	0	0
$x_{4,j}$	0	0	0	{0,1}	{0,1}	{0,1}	{0,1}	...	{0,1}	{0,1}	{0,1}	0
$x_{5,j}$	{0,3}	{0,3}	{0,3}	{0,3}	{0,3}	{0,3}	{0,3}	...	0	0	0	0
$x_{6,j}$	0	0	{0,3}	{0,3}	{0,3}	{0,3}	{0,3}	...	{0,3}	{0,3}	0	0
$x_{7,j}$	0	0	0	0	{0,3}	{0,3}	{0,3}	...	{0,3}	{0,3}	{0,3}	{0,3}
$x_{8,j}$	{0,4}	{0,4}	{0,4}	{0,4}	{0,4}	{0,4}	{0,4}	...	0	0	0	0
$x_{9,j}$	0	0	{0,4}	{0,4}	{0,4}	{0,4}	{0,4}	...	{0,4}	{0,4}	0	0
$x_{10,j}$	0	0	0	0	{0,4}	{0,4}	{0,4}	...	{0,4}	{0,4}	{0,4}	{0,4}

Dziedziny zostały zawężone w sposób wynikający z kolejności operacji. Jak widać żadna z operacji produkcyjnych ($x_{1,j}$, $x_{2,j}$, $x_{3,j}$, $x_{4,j}$) nie może rozpocząć się w pierwszej jednostce czasu ($j = 1$), gdyż musi zostać poprzedzona operacją transportową. Oczywiście w pierwszej jednostce czasu mogą być realizowane jedynie operacje dowożenia półfabrykatów do zasobów R_1 i R_3 z magazynu M_1 . Załóżmy, że podstawianie wartości zmiennych odbywa się od górnych wartości. Zatem zmiennym $x_{5,1}$ oraz $x_{8,1}$ podstawiamy 3 i 4. W wyniku kolejnej propagacji otrzymujemy kolejne zawężenie dziedzin. Przyjmujemy, że produkcja rozpoczyna się natychmiast po dowiezieniu półfabrykatów.

Tablica 3. Dziedziny zmiennych decyzyjnych po pierwszych podstawieniach

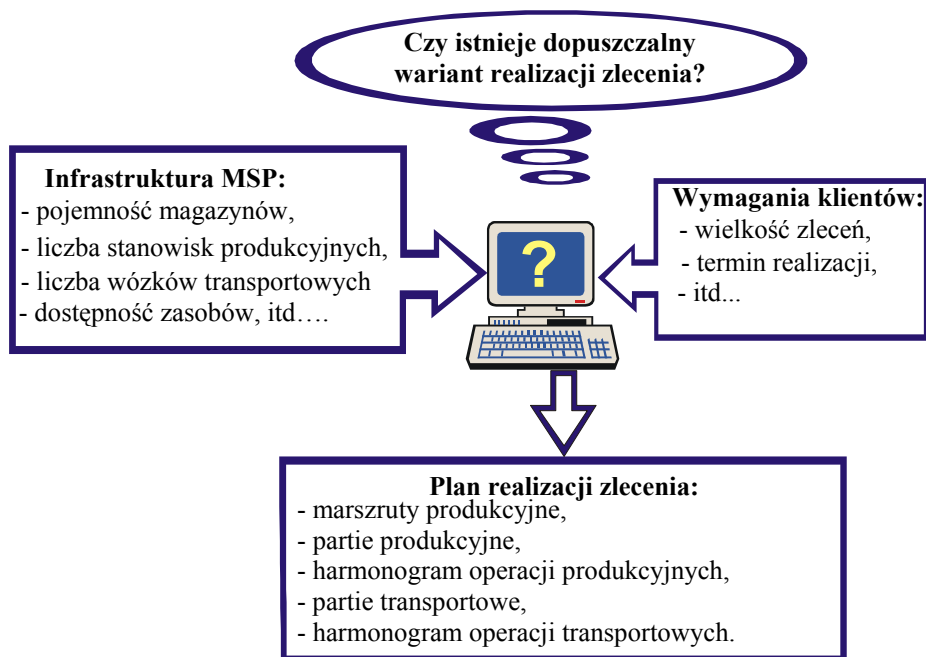
Dziedziny zmiennych												
j	1	2	3	4	5	6	7	...	H-3	H-2	H-1	H
$x_{1,j}$	0	1	0	0	1	0	0	...	{0,1}	0	0	0
$x_{2,j}$	0	0	0	{0,1}	{0,1}	{0,1}	{0,1}	...	{0,1}	{0,1}	{0,1}	0
$x_{3,j}$	0	1	0	0	0	0	1	...	{0,1}	0	0	0
$x_{4,j}$	0	0	0	{0,1}	{0,1}	{0,1}	{0,1}	...	{0,1}	{0,1}	{0,1}	0
$x_{5,j}$	3	0	{0,3}	{0,3}	{0,3}	{0,3}	{0,3}	...	0	0	0	0
$x_{6,j}$	0	0	{0,3}	{0,3}	{0,3}	{0,3}	{0,3}	...	{0,3}	{0,3}	0	0
$x_{7,j}$	0	0	0	0	{0,3}	{0,3}	{0,3}	...	{0,3}	{0,3}	{0,3}	{0,3}
$x_{8,j}$	4	0	{0,4}	{0,4}	{0,4}	{0,4}	{0,4}	...	0	0	0	0
$x_{9,j}$	0	0	{0,4}	{0,4}	{0,4}	{0,4}	{0,4}	...	{0,4}	{0,4}	0	0
$x_{10,j}$	0	0	0	0	{0,4}	{0,4}	{0,4}	...	{0,4}	{0,4}	{0,4}	{0,4}

Kontynuując przedstawiony tryb postępowania pozwala stopniowo zawęzić dziedzinę zmiennych decyzyjnych, aż do uzyskania rozwiązania końcowego.

5.3. System Warianowania Zleceń Produkcyjnych

Rozważany system wspomagania decyzji jest dedykowany dla **MSP** produkcyjnych. Umożliwia szybką weryfikację zleceń napływających do systemu wytwórczego. Weryfikacja polega na znalezieniu takiego planu przepływu produkcji, obejmującego operacje transportu, obróbki, montażu oraz kontroli jakości, który spełnia ograniczenia wynikające ze struktury systemu produkcyjnego, technologii oraz ograniczenia narzucone przez bieżący plan produkcji. Ideę systemu przedstawia rysunek 5.

Działanie systemu sprowadza się do bilansowania możliwości zasobowych producenta z wymaganiami wynikającymi z napływających zleceń. W przypadku pozytywnej weryfikacji użytkownik, dysponuje gotowym planem produkcji obejmującym wybór marszrut w przypadkach, gdy możliwe jest rozważanie marszrut technologicznych, podział na partie produkcyjne i transportowe oraz szeregowanie i harmonogramowanie zadań.



Rys. 5. Działanie systemu weryfikacji zleceń

Możliwe są dwa tryby pracy:

- Wprowadzenie danych o całym asortymencie produkowanym w przedsiębiorstwie. Wariantowanie odbywa się przy założeniu, że zlecenia dotyczą jednego z wyrobów oferowanych przez przedsiębiorstwo. Rola operatora sprowadza się do uzupełniania informacji o dostępie do zasobów, oraz wprowadzania danych zlecenia (co?, ile?, na kiedy?).
- Wprowadzanie na bieżąco nowych procesów technologicznych. Zakłada się, że mogą to być procesy dotyczące wyrobów, których nie ma w bieżącym asortymencie. Podejście takie wymaga współpracy z technologiem, który dla zleceń na nowe wyroby opracuje dokumentację.






Niezależnie od trybu pracy systemu, operator wykonuje te same czynności.

W instrukcji opisano wszystkie opcje systemu według następującego porządku:

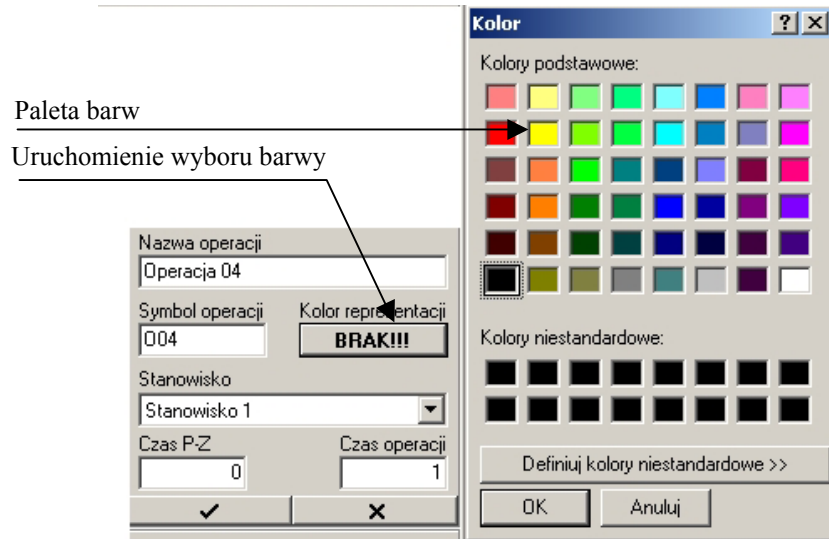
- Definiowanie struktury przedsiębiorstwa:
 - wprowadzanie danych o systemie produkcyjnym i magazynowym;
 - opisanie systemu transportowego;
 - podanie okresów wyłączenia zasobów przedsiębiorstwa.
- Definiowanie procesów technologicznych i asortymentu wyrobów.
- Wprowadzanie danych o zleceniach.
- Wariantowanie zleceń.

5.3.1. Opcje systemu

We wszystkich formularzach **SWZ**, z którymi styka się użytkownik, występują przyciski sterujące. Służą one do edytowania bazy danych systemu. Poniżej przedstawiono ich funkcje:

- dodawanie nowego rekordu, 
- usuwanie rekordu, 
- edycja rekordu, 
- zatwierdzenie zmian (nowego rekordu), 
- rezygnacja z wprowadzenia rekordu. 

Ponadto na wielu formularzach umieszczony został przycisk pozwalający zdefiniować kolor reprezentacji danego rekordu na diagramach Gantta (rys. 6).



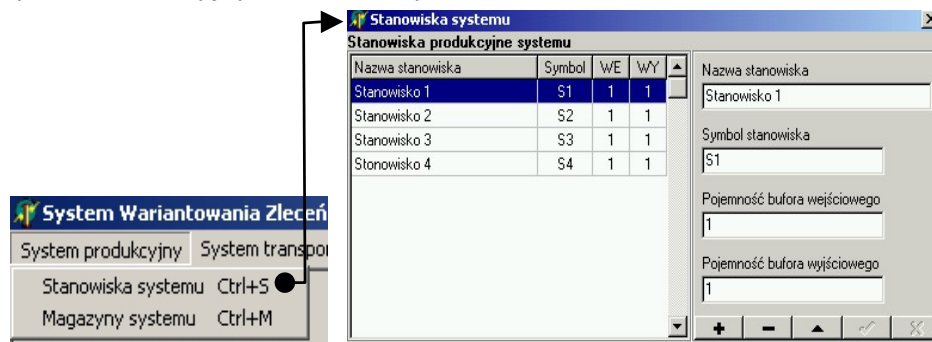
Rys. 6. Wybór koloru reprezentacji rekordu

Opcje Systemu Warianowania Zleceń (SWZ) podzielone zostały na trzy grupy:

- definiujące system produkcyjny i system transportowy;
- definiujące procesy produkcyjne;
- obsługi zleceń.

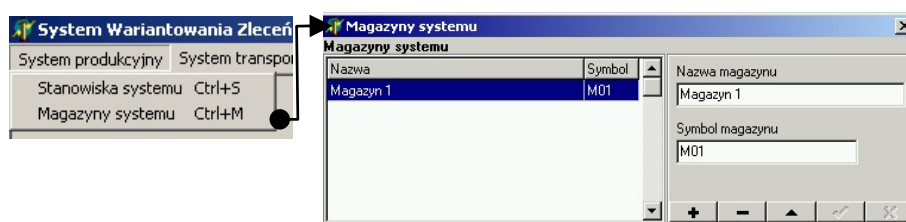
- **Definiowanie systemu produkcyjnego.**

W ramach definiowania systemu produkcyjnego specyfikowane są zasoby produkcyjne przedsiębiorstwa (rozumiane jako stanowiska obróbkowe, montażowe i kontroli jakości). Dla każdego zasobu użytkownik podaje nazwę zasobu, oznaczenie skrótowe, oraz wielkości buforów (wejściowych i wyjściowych) – rys. 7. Definiowanie zasobów produkcyjnych uruchamiane jest przez wybór z menu opcji **System Produkcyjny/Stanowiska systemu**.



Rys. 7 Definiowanie zasobów produkcyjnych

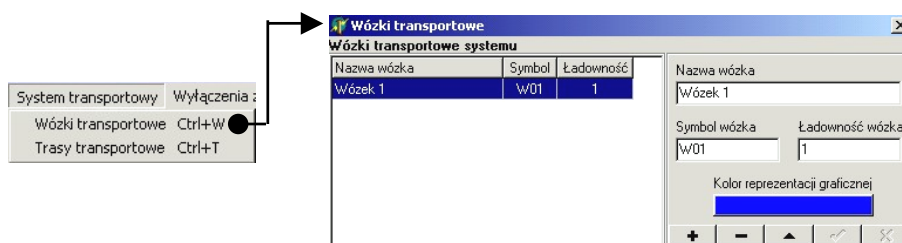
W ramach wprowadzania danych dotyczących systemu produkcyjnego podaje się informacje o magazynach przedsiębiorstwa rozumianych jako magazyny półfabrykatów i magazyny wyrobów gotowych. Użytkownik podaje nazwę magazynu i jego oznaczenie - rys. 8. Definiowanie magazynów uruchamiane jest przez wybór opcji **System Produkcyjny/Magazyny Systemu**



Rys. 8. Wpisywanie magazynów systemu

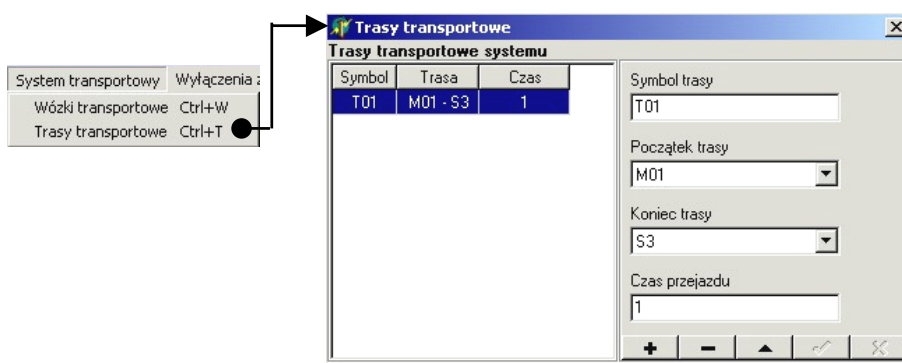
- **Definiowanie systemu transportowego**

W ramach definiowania systemu transportowego przedsiębiorstwa, użytkownik określa liczbę i wielkość środków transportu (wózków) długości tras łączących lokalizacje. Definiowanie wózków uruchamiane jest przez wybór opcji **System transportowy/Wózki transportowe** (rys. 9) Użytkownik określa nazwę i symbol wózka, jego pojemność oraz miejsce postoju w chwili początkowej.



Rys. 9. Definiowanie wózków transportowych

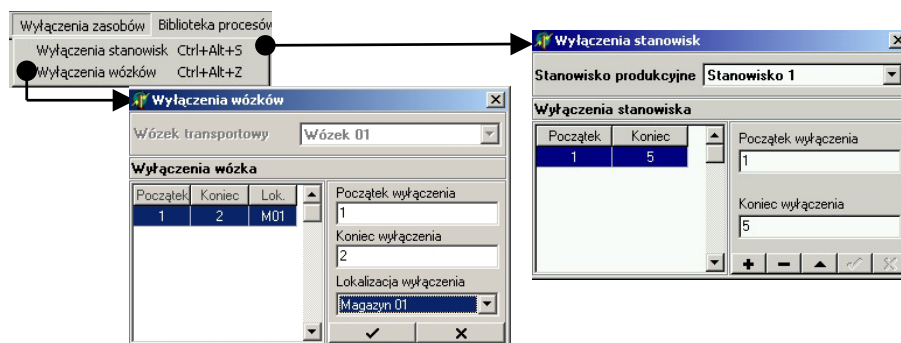
Definiowanie tras transportowych polega na określeniu czasu przejazdu między dwiema dowolnymi lokalizacjami. Nie ma konieczności podawania wszystkich możliwych połączeń. Połączenia niezdefiniowane przez użytkownika traktowane są jako nieistniejące (w trakcie planowania operacji transportowych nie są brane pod uwagę). Definiowanie tras transportowych uruchamiane jest opcją **System transportowy/Trasy transportowe** (rys 10).



Rys. 10. Definiowanie tras transportowych

- **Wyłączenia zasobów**

Zarówno zasoby produkcyjne, jak i transportowe można wyłączyć na określony czas. W przypadku zasobów produkcyjnych podaje się termin początku wyłączenia oraz termin końca wyłączenia. Dla każdego z zasobów można zdefiniować wiele okresów wyłączenia. W przypadku zasobów transportowych oprócz terminów wyłączenia określa się lokalizację, w której to wyłączenie nastąpi. Definiować wyłączenia zasobów można po wybraniu opcji **Wyłączenia zasobów** (rys. 11)



Rys. 11. Wyłączenia zasobów

- **Definiowanie procesów technologicznych**

Na rysunku 10 przedstawiono formularz edycji procesu technologicznego (opcja **Biblioteka procesów/Procesy technologiczne**). Formularz składa się z trzech części: w pierwszej definiowana jest lista procesów, w drugiej marszruta procesu (operacje), w trzeciej poprzedniki operacji.

Definiowanie procesu rozpoczyna się od edycji listy procesów (rys. 12). Należy podać nazwę i symbol procesu. System ma automatyczne generowanie

nazwy i symbolu. Nazwą jest słowo Proces oraz kolejna liczba, symbolem litera P i kolejna liczba dwucyfrowa (począwszy od P01). Generator nadaje najniższy „wolny” numer procesu.

Kolejnym krokiem po wprowadzeniu nowego procesu jest wprowadzanie operacji produkcyjnych. Schemat wprowadzania danych operacji przedstawiono na rysunku 13.

The screenshot shows the 'Procesy technologiczne' window with the following data:

Lista procesów

Nazwa procesu	Symbol
Proces 01	P01
Proces 02	P02
Proces 03	P03

Lista operacji

Operacja	TPZ	T
Operacja 01	1	1
Operacja 02	2	4
Operacja 03	11	3

Wymagania operacji

Operacja poprzednia	Szt.	LSnJP	Nazwa magazynu	Szt.	LSnJP
			Magazyn 02	2	2

Rys. 12. Formularz definiowania procesów technologicznych

Definiowanie procesu rozpoczyna się od edycji listy procesów (rys. 12). Należy podać nazwę i symbol procesu. System ma automatyczne generowanie nazwy i symbolu. Nazwą jest słowo Proces oraz kolejna liczba, symbolem litera P i kolejna liczba dwucyfrowa (począwszy od P01). Generator nadaje najniższy „wolny” numer procesu.

Kolejnym krokiem po wprowadzeniu nowego procesu jest wprowadzanie operacji produkcyjnych. Schemat wprowadzania danych operacji przedstawiono na rysunku 13.

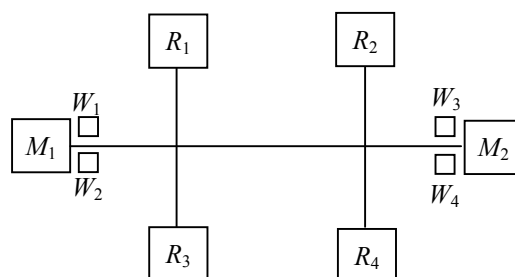


Rys.13. Definiowanie operacji produkcyjnych

Ostatnim, ale bardzo istotnym elementem definiowania procesu technologicznego jest określenie kolejności realizacji operacji. Ze względu na fakt, że każda operacja ma własny indeks w bazie danych, co wpływa na kolejność przesłania informacji o operacjach do modułu obliczeniowego, operacje poprzedzające powinny być definiowane wcześniej. Inaczej mówiąc poprzedniki operacji o danym indeksie, powinny być zdefiniowane z indeksami niższymi. Łatwo zauważyć, że ostatnia operacja procesu technologicznego jest definiowana w SWZ również jako ostatnia.

5.4. Przykład wykorzystania

Rozważmy przykład, w którym system składa się z dwóch magazynów (M_1, M_2), czterech stanowisk produkcyjnych ($R_1 - R_4$) i czterech wózków ($W_1 - W_4$). System jest przedstawiony na rysunku 14.



Rys. 14. Schemat przykładowego systemu

Znane są pojemności buforów przystanowiskowych jak również pojemności wózków transportowych. Parametry te zostały zamieszczone w tabelicy 4.

Tablica 4. Pojemności buforów i wózków

Bufory przystanowiskowe			Wózki		
Stanowisko	Wózek	Pojemność	Wózek	Pojemność	Poł. pocz.
R_1	W_1	5	W_1	5	M_1
R_2	W_2	5	W_2	5	M_1
R_3	W_3	5	W_3	5	M_2
R_4	W_4	5	W_4	5	M_2

W następnej kolejności opisano trasy wózków (odległości między elementami systemu). Odległości te zostały zestawione w tabelicy 5.

Tablica 5. Zestawienie odległości

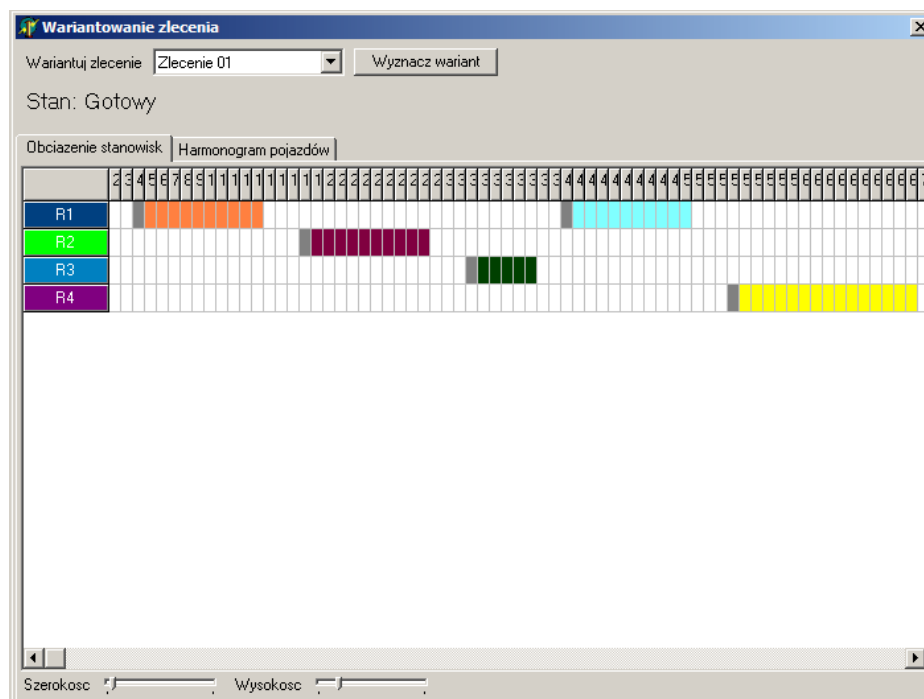
Lp.	Od	Do	Odległość
1	M_1	R_1	2
2	M_1	R_2	3
3	M_1	R_3	2
4	M_1	R_4	3
5	M_1	M_2	3
6	R_1	R_2	3
7	R_1	R_3	2
8	R_1	R_4	3
9	R_1	M_2	3
10	R_2	R_3	3
11	R_2	R_4	2
12	R_2	M_2	2
13	R_3	R_4	3
14	R_3	M_2	3
15	R_4	M_2	2

Dla tak opisanego systemu napływa zlecenie, którego proces opisany jest w Tabelicy 6

Tablica 6. Zestawienie operacji w zleceniu

Nr operacji	Stanowisko	Czas operacji	Czas TPZ
O_1	R_1	2	1
O_2	R_2	2	1
O_3	R_3	1	1
O_4	R_1	2	1
O_5	R_4	3	1

Horyzont planowania wynosi 50 jednostek czasu, natomiast wielkość zlecenia to 10 sztuk. Po uruchomieniu program generuje wynik przedstawiony w postaci diagramu Gantta na rysunku 15



Rys. 15. Wynik wygenerowany przez system SWZ

5.5. Ćwiczenia

Przed przystąpieniem do wykonywania ćwiczenia należy zapoznać się z opisem programu SWZP. Pomocna może się również okazać znajomość podstaw programowania w logice ograniczeń.

Należy zapoznać się z zasadą obsługi menu, funkcjami poszczególnych przycisków wykorzystywanych w programie, strukturą programu oraz sposobami wprowadzania danych i ich modyfikacji.

- Wprowadzić dane systemu produkcyjnego, procesu produkcyjnego. Zweryfikować, czy w nieobciążonym systemie możliwa jest realizacja zlecenia.
- Dla wcześniej zdefiniowanego systemu i procesu produkcyjnego, skrócić czas realizacji (horyzont planowania). Zweryfikować możliwość realizacji procesu.
- Uzyskane rozwiązanie ponownie wprowadzić do systemu SWZP, jako ograniczenie dostępu do zasobów. Zdefiniować nowy proces produkcyjny. Zweryfikować, czy możliwa jest realizacja zlecenia opartego na nowym procesie w sytuacji ograniczonego dostępu do zasobów.
- Zaproponować proces, w którym operacje konkurują o dostęp do zasobów. Zweryfikować możliwość weryfikacji takiego procesu w systemie SWZP

5.6. Pytania

- Jak pojemność buforów w systemie SWZP wpływa na wielkości partii, czy możliwa jest realizacja produkcji przy partiach produkcyjnych większych niż pojemności buforów?
- Jak bazując na modelu systemu produkcyjnego zapisanym w formie zbioru ograniczeń (bez funkcji kryterialnej) poszukiwać rozwiązań optymalnych?
- Jakie kryterium optymalizacji można zastosować w SWZP?

Literatura

- [1] Bzdyra K., Pisz I., Banaszak Z.: *Planowanie przepływu produkcji z wykorzystaniem metod programowania z ograniczeniami*. Prace Naukowe Inst. Technologii Maszyn i Automatykacji Politechniki Wrocławskiej, Nr 84, seria konferencje nr 41, Oficyna Wyd. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2003, s.395-405
- [2] Bzdyra K., Banaszak Z.: *Zastosowanie technik programowania z ograniczeniami w zintegrowanym planowaniu przepływu produkcji*. Polioptymalizacja i Komputerowe Wspomaganie Projektowania Mielno 2004, Wydawnictwa Naukowo – Techniczne, s. 14-21, Materiały XXII Ogólnopolskiej Konferencji Polioptymalizacja i CAD Mielno 2004
- [3] Schulte Ch., Smolka G., Wurtz J.: *Finite Domain Constraint Programming in Oz*. DFKI OZ documentation series, German Research Center for Artificial Intelligence, Stuhlsaltzenhausweg 3, D-66123 Saarbrücken, Germany, 1998.
- [4] Van Roy P.: *Logic Programming in Oz With Mozart*. www.mozart-oz.org (1999)
- [5] www.cosytec.com