

Irena Bach\*, Robert Wójcik\*\*, Grzegorz Bocewicz\*, Zbigniew Banaszak\*\*\*

## **Projektowanie dedykowanych systemów komputerowo wspomaganego harmonogramowania procesów dyskretnych**

### **1. Wprowadzenie**

Większość działań realizowanych w przedsiębiorstwie, np. proces produkcyjny czy proces obsługi klienta, daje się przedstawić w formie modelu dyskretnego problemu decyzyjnego. Uwzględniając przyjęte cele i ograniczenia firmy, przedsiębiorca poszukuje zwykle odpowiedzi w dwóch klasach problemów, związanych odpowiednio z pytaniami:

- 1) *Jakie efekty produkcyjne mogą być osiągnięte przy zadanych ograniczeniach (stanie przygotowania) przedsiębiorstwa?*
- 2) *Jaki stan przygotowania przedsiębiorstwa gwarantuje osiągnięcie oczekiwanych efektów produkcyjnych?*

Wymienione obszary obejmują podzbiory szczegółowych, zwykle rutynowych, pytań dotyczących m.in. określenia zapotrzebowania na zasoby (wytwórcze i finansowe), sposobu alokacji tych zasobów, efektywności ekonomicznej podejmowanych zleceń produkcyjnych, możliwości realizacji zleceń w różnych wariantach organizacji procesu produkcyjnego, itp. Pytania tego typu pozwalają poszukiwać parametrów przedsiębiorstwa w zakresie realizacji podjętych zleceń, tzn. parametrów gwarantujących ich wykonanie z dokładnością do określonych kryteriów efektywności. Rozważane klasy pytań można interpretować w kategoriach problemów: dla danej struktury systemu przedsiębiorstwo – zbiór zleceń produkcyjnych poszukiwany jest taki sposób jej organizacji, który optymalizuje zachowanie systemu; dla zadanych wartości kryterium funkcjonowania systemu poszukiwane są (w określonych dziedzinach) parametry struktury systemu gwarantujące to zachowanie. Klasyfikacja ta odpowiada podziałowi problemów harmonogramowania na problemy typu „w przód” i typu „wstecz” [8].

---

\* Katedra Podstaw Informatyki i Zarządzania, Wydział Elektroniki i Informatyki, Politechnika Koszalińska

\*\* Instytut Informatyki, Automatyki i Robotyki, Politechnika Wroclawska

\*\*\* Zakład Informatyki Gospodarczej, Wydział Zarządzania, Politechnika Warszawska

Istota przedstawionego podziału sprowadza się, w zasadzie, do poszukiwania związków występujących pomiędzy strukturą a zachowaniem systemu. Łatwo zauważyć, iż nie w każdej strukturze możliwe jest osiągnięcie zadanych parametrów zachowania, a także, iż te same parametry funkcjonowania systemu można uzyskać dla różnych jego struktur. Ilustracją tego faktu są problemy harmonogramowania klasy „timetabling”, np. problemy związane z wyznaczaniem planu zajęć. Poszukiwane plany determinują czas i miejsce prowadzonych zajęć – dokładniej mówiąc to: jaka grupa, przez kogo prowadzona, w jakiej sali ma odbywać swoje cotygodniowe zajęcia. Łatwo też widać, że problem ten jest problemem wielokryterialnym – występują trzy, zwykle optymalizowane kryteria „bezokienkowej”: pracy wykładowców, obciążenia sal oraz obsługi grup studenckich. Co więcej, problem ten jest typowym problemem diofantycznym [4], a zatem wymagającym zbadania swojej rozstrzygalności.

Przykładowe pytanie, jakie się pojawia przy harmonogramowaniu produkcji (realizacji zleceń produkcyjnych), to: *Czy istnieje sposób alokacji zasobów do czynności gwarantujący ukończenie wszystkich zadań w określonym horyzoncie czasu?*

Poszukiwane są wtedy, m.in.:

- sposoby alokacji zasobów do czynności i/lub,
- liczba (poziom) dostępnych zasobów i/lub,
- wartości momentów rozpoczęcia czynności i/lub,
- wartości czasów trwania czynności.

Nie wszystkie informacje są precyzyjne i stąd w praktyce występuje konieczność uwzględniania (w procesie podejmowania decyzji) informacji o charakterze nieprecyzyjnym. W zadaniach harmonogramowania informacje te najczęściej dotyczą momentów rozpoczęcia czynności, czasów realizacji lub momentów zakończenia czynności, a także kosztów związanych z ich realizacją. Uwzględnianie tego typu danych w problemach harmonogramowania wymuszone jest licznymi przypadkami występowania różnych zakłóceń powodowanych, np.: absencją pracowników, awariami maszyn, opóźnieniami dostaw itp.

Wielokryterialny charakter problemów planowania produkcji, a w szczególności harmonogramowania jej przepływu, złożoność tych problemów, a także konieczność podejmowania decyzji w trybie na bieżąco wymusza rozwój technik i metod zorientowanych na budowę dedykowanych systemów wspomaganie decyzji. Poszukiwane rozwiązania powinny pozwalać na zintegrowaną, prowadzoną w trybie *on-line*, analizę możliwych, alternatywnych scenariuszy wykonania zleceń produkcyjnych oraz wczesne wykrywanie błędów w zaprojektowanym sposobie realizacji tych zleceń.

## 2. Interakcja

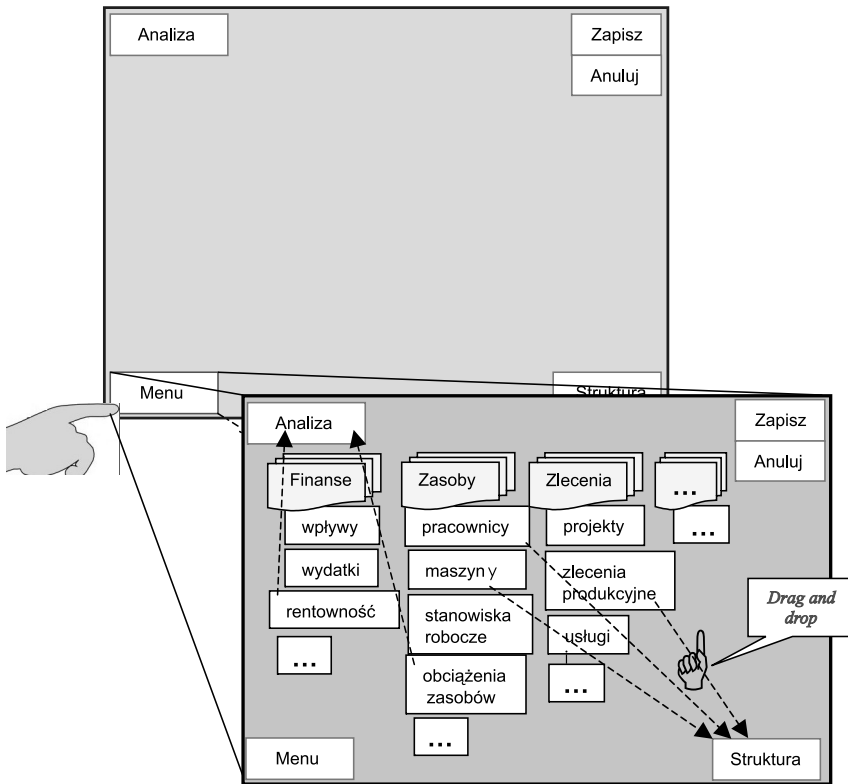
Wskazana wyżej potrzeba stała się przyczyną rozpoczęcia badań nad nową generacją interakcyjnego systemu wspomaganie decyzji (*SWD*) opartego na koncepcji przyjaznego, samoorganizującego się wieloelementowego interfejsu (typu *Drag and Drop*). Przesłanka

proponowanego rozwiązania stał się, opracowany w Katedrze Podstaw Informatyki i Zarządzania Politechniki Koszalińskiej, prototypowy system wspomagania harmonogramowania procesów dyskretnych [3, 5]. Jego weryfikacja przeprowadzona dla danych testowych oraz rzeczywistych wykazała, iż z powodzeniem może być on polecany do komercyjnego użytku:

- 1) adresowany do małych i średnich firm produkcyjnych i/lub usługowych, w których realizowana produkcja/usługa ma charakter:
  - wieloasortymentowy (związany z jednoczesną realizacją różnych przedsięwzięć),
  - jednostkowy i/lub krótkoseryjny,i których właściciel chciałby bezpośrednio (tzn. bez udziału łańcuszka administratorów, programistów, itp.) w sposób racjonalny (posiadający gwarancję realizowalności) decydować o:
  - podejmowaniu (lub nie) kolejnych zleceń,
  - rozwiązywaniu zdarzeń losowych związanych z powstawaniem tzw. wąskich gardeł;
- 2) w celu wspomagania właściciela/decydenta w procesie analizy przedwdrożeniowej poprzedzającej przyjęcie nowego zlecenia, analizy umożliwiającej:
  - czasowo/kosztową ocenę alternatywnych wariantów realizacji zleceń produkcyjnych/usługowych,
  - dostatecznie wczesne wykrywanie wąskich gardeł i/lub kolizji z innymi już realizowanymi projektami/zleceniami,a także w sytuacjach losowych zakłóceń związanych z realizacją procesów produkcyjnych/usługowych powodowanych m.in. przez:
  - absencję pracowników, awarie maszyn i urządzeń,
  - zmiany technologii i/lub warunków realizacji zleceń.

Proponowana koncepcja budowy nowej generacji systemów oparta jest na idei przyjaznego, samoorganizującego się wieloekranowego interfejsu łączącego technologie *Drag and Drop*, *Touch Screen Panel* i/lub *Virtual Table* [15, 16, 17]. W rozważanym kontekście, koncepcja ta nawiązuje do budowy tzw. interakcyjnego systemu nawigacyjnego wariantowania przedsięwzięć.

Przyjmuje się, że dostępny zbiór „folderów” i „zakładek” pozwala ustalić wartości wybranych elementów determinujących strukturę i zachowanie rozważanego systemu „przedsiębiorstwo-zlecenie produkcyjne”. Będący w dyspozycji (wynikający ze specyfiki przyjętego modelu) zestaw zakładek może obejmować: zasoby (różne rodzaje i limity) ich przydział do czynności, czasy wykonania poszczególnych czynności (nominalne, rozmyte), koszty realizacji zleceń, przychody z tytułu wykonania określonych zadań wchodzących w skład zleceń, a także kryteria oceny efektywności funkcjonowania rozważanego układu, takie jak: czas ukończenia poszczególnych zleceń, terminowość realizacji zleceń, stopień wykorzystania dostępnych zasobów, rentowność danego zlecenia czy pakietu zleceń, itp. (rys. 1).



**Rys. 1.** Idea budowy określonej struktury wynikającej z potrzeb przedsiębiorstwa poprzez wykorzystanie dotykowego ekranu *SWD* z mechanizmem *Drag and Drop*

Rysunek 1 przedstawia przykładowy kształt potencjalnej struktury interfejsu systemu. W zależności od sformułowania rozważanego problemu decyzyjnego, ze zbioru dostępnych zakładek zestawia się menu ekranu (ekranów) monitora. Wybrane zakładki rozmieszczone są na ekranie w sposób rozdzielający je na te jego części, które charakteryzują elementy struktury rozważanego układu przedsiębiorstwo-zlecenie oraz te specyfikujące rozważane kryteria oceny funkcjonowania. Przykładowy wybór i rozmieszczenie zakładek przedstawiają rysunki 1 i 2. W przyjętym sposobie rozmieszczania, zakładki opisujące elementy struktury i oceny zachowania (analiza) są zgrupowane odpowiednio w dolnej i górnej części ekranu. W **menu** znajdują się „foldery” obejmujące grupy elementów, które mogą być składowymi struktury przedsiębiorstwa. Za pomocą mechanizmu *Drag and Drop* użytkownik poprzez dotykowy pulpit wybiera interesujące go elementy i przenosi je bądź to do zakładki **struktura**, bądź też do zakładki **analiza**. W ten sposób z dostępnego zestawu elementów buduje strukturę dostosowaną do specyfiki rozważanego problemu decyzyjnego.

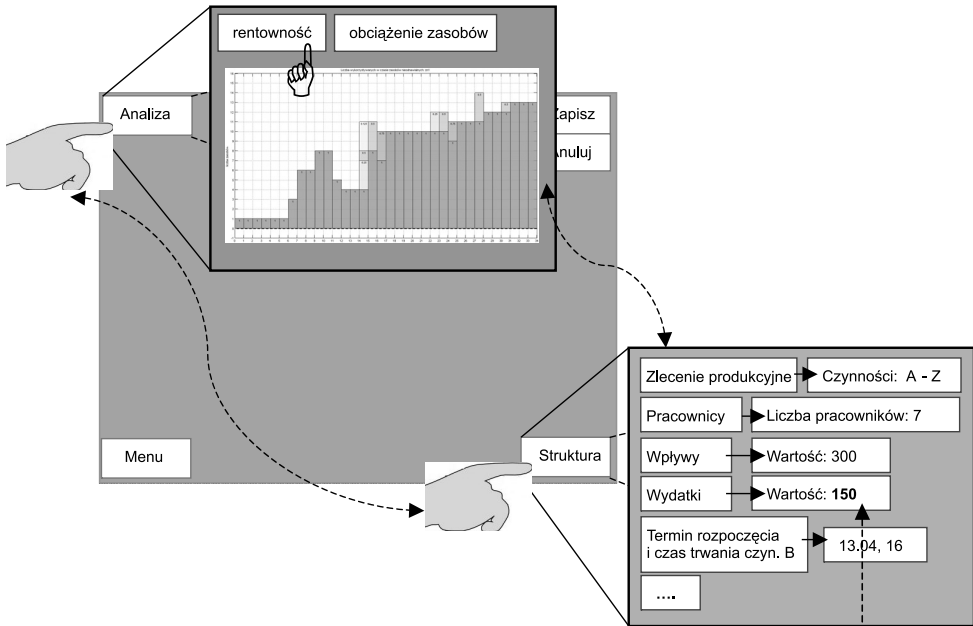
To co interesuje decydenta to przede wszystkim odpowiedź na pytania: 1) *Czy uda się wykonać zlecenie z powodzeniem?* (tzn. wykonać je w określonych warunkach osiągając określone zyski), 2) *Jakie są alternatywne scenariusze realizacji danego zlecenia* (tzn. jakie są konsekwencje podjętych decyzji)? oraz pytanie 3: *Jaki stan przygotowania przedsiębiorstwa pozwoli wykonać zlecenia z założoną efektywnością?*

Odpowiedzi na te pytania powinny być dostarczane decydentowi na bieżąco, jednocześnie ich poszukiwanie, poprzez zastosowanie systemu wspomagania decyzji, powinno być intuicyjne i przyjazne.

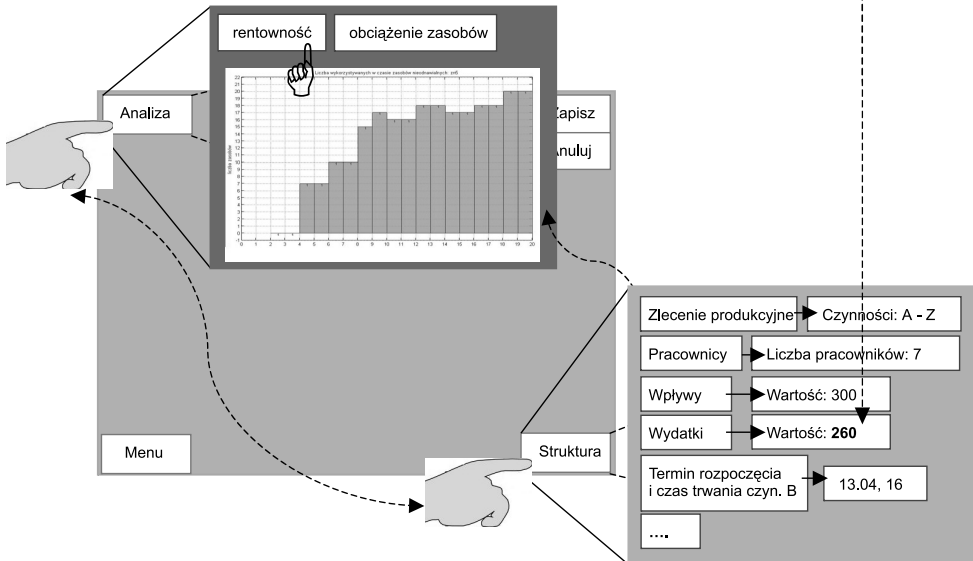
Poszukiwanie rozwiązań oparte jest na, implementowanych w SWD, mechanizmach wnioskowania w przód (odpowiedź na pytanie 1 i 2) oraz wstecz (odpowiedź na pytanie 3). Od strony użytkownika wymagana jest jedynie umiejętność wprowadzania zmian wartości interesujących go parametrów przedsiębiorstwa czy też przedsięwzięcia. Wprowadzone zmiany automatyczne wygenerują odpowiednie modyfikacje planów realizacji danego przedsięwzięcia (rys. 2). Zmiany te można oglądać naciskając zakładkę **analiza** aktywującą, wybrane wcześniej przez użytkownika, analizy dotyczące, np.: harmonogramu realizacji, obciążenia zasobów odnawialnych oraz finansowych przedsiębiorstwa.

Innymi słowy, proponowane rozwiązanie pozwala użytkownikowi na aktywowanie poszczególnych, ustalonych fragmentów zespołu ekranów odpowiadających wybranym parametrom (charakterystykom) przedsiębiorstwa, co wymusza, (jako swoiste reakcje) zmiany parametrów przypisanych do pozostałych okienek ekranów. Przedstawione zachowanie odpowiada sytuacji, w której każdej zmianie parametrów strukturalnych systemu towarzyszy odpowiadająca jej zmiana odpowiednich charakterystyk funkcjonalnych systemu (rys. 2, 3). Działanie takie jest bardzo intuicyjne, pozwala swobodnie i w trybie *on-line* analizować różne reakcje przedsiębiorstwa na zmieniające się warunki pracy oraz podejmowane decyzje.

Wybór i rozmieszczenie zakładek odpowiada przyjęciu sytuacji związanej z pewną grą. Celem tej gry może być poszukiwanie takich elementów struktury, np.: reguł decyzyjnych, limitów zasobów, kosztów, które bądź to ekstremalizują zadany zbiór kryteriów, bądź też gwarantują (wystarczają) osiągnięcie zadanych wartości rozważanego zbioru kryteriów, np.: terminowości, stopnia wykorzystania zasobów, kosztów, itp. Oznacza to, że w pierwszym wypadku poszukiwana jest taka organizacja struktury układu („przedsiębiorstwo-realizowane w nim zlecenie”), która ekstremalizuje zadane kryteria jego funkcjonowania, w drugim zaś poszukiwana jest taka struktura układu (np. dopuszczalna), która gwarantuje oczekiwane wartości parametrów charakteryzujących jego zachowanie. Odpowiadające przedstawionym strategiom scenariusze (warianty) postępowania sprowadzają się w pierwszym przypadku do: arbitralnego ustalenia wartości wybranych parametrów struktury układu oraz oceny wpływu w ten sposób wprowadzonych zmian na wartości wybranych kryteriów oceny funkcjonowania układu, w drugim zaś do ustalenia wartości wybranych kryteriów oceny i sprawdzenia czy w zadanych przedziałach zmienności parametrów opisujących strukturę układu istnieją takie ich wartości, które gwarantują spełnienie przyjętych kryteriów funkcjonowania.



Rys. 2. Wprowadzenie wartości wybranych parametrów struktury przedsiębiorstwa



Rys. 3. Wizualizacja zmian wartości określonych kryteriów oceny (np. rentowność) przy zmianie wybranych wartości parametrów przedsiębiorstwa

Warto zauważyć, że pierwszy z rozważanych przypadków wykorzystywany jest w metodzie zoptymalizowanego przepływu produkcji (*Optimized Production Technology*; OPT) sprowadzającej się do przeszukiwania przestrzeni potencjalnych rozwiązań strukturalno-organizacyjnych układu przedsiębiorstwo-zlecenie pod kątem rozwiązań ekstremalizujących przepływ produkcji (związany z nim strumień zysku). W ogólnym przypadku, przedstawione podejście wykorzystuje paradygmat nierozstrzygalności problemów diofantycznych. Charakter tego typu problemów posiada większość problemów harmonogramowania typu *timetabling*. Uwaga ta wynika z obserwacji, że wartości pewnych parametrów występujących w problemach diofantycznych, są ograniczone do pewnych podzbiorów liczb naturalnych. Oznacza to, że pożądane wartości funkcji celu, na ogół łatwiej osiąga się na drodze syntezy odpowiedniej struktury systemu (gwarantującej oczekiwane jego funkcjonowanie), niż na drodze analizy potencjalnych (z reguły rosnących wykładniczo) wariantów zachowania wynikających z ograniczeń arbitralnie zadanej struktury. Przykładem ilustrującym tę tezę jest np. problem takiej organizacji ruchu miejskiego, w której każda ulica w każdym kierunku stanowiłaby część zielonej fali. Bezowocność tego typu poszukiwań wskazuje, że poszukiwane rozwiązanie jest dopuszczalne tylko w strukturach regularnych (gwarantujących te same odległości między kolejnymi skrzyżowaniami w obu prostopadle przecinających się kierunkach) typu Manhattan.

Warto również podkreślić, że komputerowe implementacje tego typu rozwiązań mogą być wykorzystywane zarówno w trybie *on-line* w procesie podejmowania decyzji jak i w trybie *off-line* w procesach doskonalenia (treningu) umiejętności menedżerskich.

### 3. Modelowanie

Sformułowanie i rozwiązywanie rozważanej klasy dyskretnych problemów decyzyjnych wiąże się z przyjęciem pewnej standardowej struktury modelu systemu „przedsiębiorstwo – portfel zleceń produkcyjnych”, tzw. modelu referencyjnego problemu decyzyjnego. Opracowany model referencyjny obejmuje zbiór zmiennych, ich dziedzin oraz relacji (np. ograniczeń zakładających niewyłączalność i/lub współdzielenie zasobów, ciągły lub dyskretny sposób zużycia zasobów, oraz ograniczeń specyfikujących pytania rutynowe), co pozwala na interpretację problemów decyzyjnych formułowanych w tym modelu, w terminach Problemu Spełniania Ograniczeń (*PSO*) [12].

W przyjętej postaci model referencyjny może być również interpretowany jako swoista baza wiedzy (*BW*) (obejmująca zbiory zmiennych decyzyjnych i ich dziedzin oraz relacji (ograniczeń)), służąca za platformę, tak dla formułowania zbioru pytań rutynowych, jak i wypracowywania odpowiedzi w trybie na bieżąco.

Otwarta struktura modelu pozwala, w zależności od potrzeb, uwzględnić różne rodzaje zmiennych i ograniczeń, a w konsekwencji różne rozszerzenia *PSO*. Daje to zarówno możliwość weryfikacji wybranych instancji problemów decyzyjnych, np. w kontekście spójności i niesprzeczności odpowiedniej *BW*, jak i bezpośredniej ich implementacji

w komercyjnie dostępnych środowiskach programowania z ograniczeniami (*Constraints Programming; CP*) [9, 12]. W szczególności, umożliwia rozszerzenie deterministycznej specyfikacji modelu referencyjnego o nieprecyzyjne zmienne decyzyjne. Zaproponowane rozszerzenie zaowocowało oryginalną wersją Rozmytego Problemu Spełniania Ograniczeń (*RPSO\**) [3] umożliwiającego wprowadzenie jednolitego sposobu definiowania zmiennych o różnym, tak precyzyjnym, jak i nieprecyzyjnym charakterze.

Zasadniczy problem na tym etapie badań sformułowany jest następująco: Dane jest przedsiębiorstwo podejmujące się realizacji określonego portfela przedsięwzięć. Dany jest zbiór pytań rutynowych umożliwiających podjęcie decyzji o przyjęciu lub odrzuceniu danego zlecenia oraz sposobie jego realizacji. Rozważany problem sprowadza się do odpowiedzi na pytanie: *Czy przyjęty model referencyjny umożliwia budowę efektywnego (np. nie gorszego od istniejących) systemu interakcyjnego planowania realizacji portfela przedsięwzięć?*

Przyjmując, że rozważane przedsiębiorstwo i planowane w nim realizacje przedsięwzięć modelowane są w kategoriach *BW*, problem ten dekomponuje się na dwa cząstkowe. Pierwszy z nich sprowadza się do odpowiedzi na pytanie: *Czy system wspomaganie decyzji wykorzystujący daną BW jest w stanie udzielić odpowiedzi na zbiór potencjalnych pytań rutynowych?* (inaczej mówiąc: *Czy dana BW jest spójna i niesprzeczna w kontekście danego zbioru pytań rutynowych?*) Drugi z tych problemów sprowadza się do odpowiedzi na pytanie: *Czy implementowane w technikach CP strategie poszukiwania (wykorzystujące mechanizm wnioskowania przyjęty w metodzie logiczno-algebraicznej (MLA) [6, 7]) umożliwiają udzielanie odpowiedzi na zadawane pytania rutynowe w trybie interakcyjnym?*

## 4. Metodyka

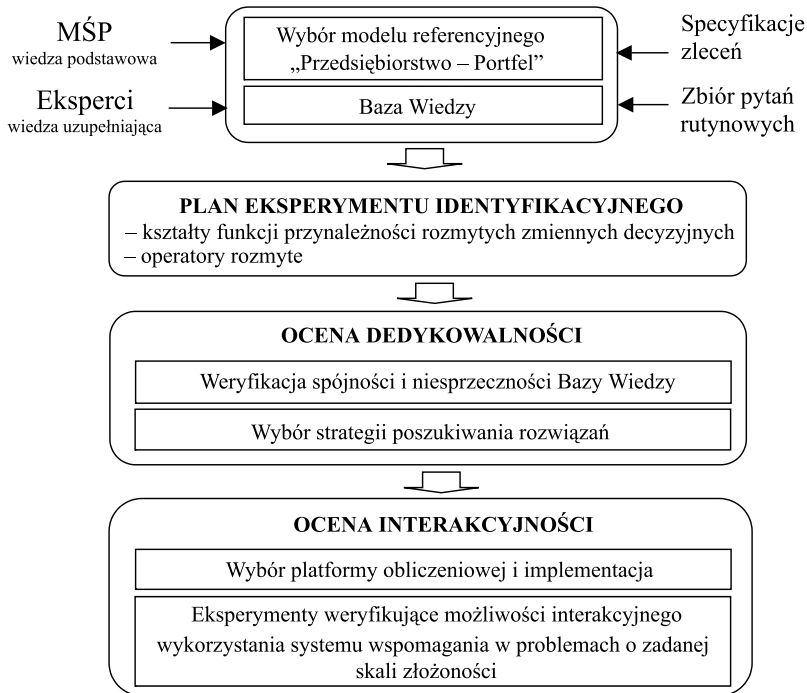
Schemat struktury projektowania dedykowanych systemów interakcyjnego harmonogramowania procesów dyskretnych determinuje schemat metodyki przedstawiony na rysunku 4.

Punktem wyjścia w przyjętej metodyce jest pozyskanie wiedzy dotyczącej obiektu oraz obszaru decyzyjnego. Zakłada się, że wiedza o obiekcie obejmuje tak **wiedzę podstawową** czyli informacje wynikające ze specyfikacji obiektu, jak i **wiedzę dodatkową** pozyskiwaną od eksperta, która ma charakter intuicyjny i wynika z doświadczenia, tzw. **know-how**. Wiedza ta dotyczy również realizowanych przedsięwzięć. Znając specyfikę tej wiedzy (dane precyzyjne, nieprecyzyjne) dokonywany jest wybór modelu referencyjnego. W kolejnym etapie budowana jest *BW*. Wiedza w bazie przyjmuje strukturę *PSO* lub *RPSO\**.

Dane (zmienne decyzyjne) niepewne (rozmyte), a także łączące je relacje składające się na *BW* weryfikowane są w serii eksperymentów identyfikacyjnych. Eksperymenty przeprowadzane są na obiekcie rzeczywistym z klasy tych, dla których dedykowany jest system wspomaganie decyzji i w warunkach zbliżonych do tych przewidywanych w procesie podejmowania decyzji. Odpowiednie plany eksperymentów identyfikacyjnych obejmują rozpoznawanie kształtów funkcji przynależności rozmytych zmiennych decyzyjnych, w tym



również funkcji celu. Dla ustalonych kształtów funkcji przynależności planowane i przeprowadzane są eksperymenty identyfikacyjne weryfikujące stosowane operatory rozmyte. W wyniku tych eksperymentów *BW* wzbogacana jest o operatory, zastosowanie których najwierniej przystaje do rzeczywistości.



**Rys. 4.** Schemat metodyki budowy interakcyjnego systemu wspomagania decyzji

Dalsze postępowanie wymaga oceny dedykowalności budowanego systemu wspomagania decyzji. Gwarancja istnienia odpowiedzi na każde z postawionych pytań rutynowych (z określonej klasy) wymaga sprawdzenia spójności i niesprzeczności *BW*. Sprawdzenie to odbywa się poprzez rozwiązywanie problemu decyzyjnego korzystając z *MLA* [6]. Rozwiązanie tego problemu prowadzi się do sprawdzenia każdego z potencjalnych rozwiązań pod kątem zgodności z ograniczeniem wynikającym z pytania rutynowego. W przypadku odnalezienia potencjalnego rozwiązania niespełniającego ograniczenia wynikającego z pytania rutynowego, następuje jego usunięcie ze zbioru rozwiązań dopuszczalnych.

W kolejnym kroku konieczne jest oszacowanie możliwości uzyskania rozwiązania w trybie *on-line* np. w czasie nie dłuższym niż 5 minut. W sposób eksperymentalny dokonywany jest dobór efektywnej obliczeniowo strategii heurystycznego przeszukiwania przestrzeni potencjalnych rozwiązań. Dobór ten dokonywany jest bądź to poprzez **rozszerzenie wyjściowego zbioru ograniczeń** („wzmacnianie” procedury propagacji ograniczeń), bądź

też poprzez zastosowanie mechanizmów **kompresji ograniczeń** [1, 2, 3] pozwalających zmniejszyć głębokość przeszukiwania drzewa potencjalnych rozwiązań.

Ostatnim etapem jest wybór środowiska i języka implementacji problemu decyzyjnego zdefiniowanego w terminach **PSO** oraz przeprowadzenie eksperymentów weryfikujących możliwości interakcyjnego wykorzystania systemu wspomaganego do rozwiązywania problemów o zadanej skali złożoności. Specyfikacja wiedzy w terminach **PSO** umożliwia implementację rozważanych problemów w komercyjnie dostępnych platformach technik programowania z ograniczeniami **CP**, m.in. w narzędziach takich jak **Oz Mozart** [9], **ILOG** [12], **ECLiPSe** [13], itp.

## 5. Podsumowanie

Przedstawiona idea budowy interakcyjnych systemów wspomaganego decyzyjnego w budowanym, intuicyjnym mechanizmem obsługi nawigacji stanowi ciekawą alternatywę dla rozwiązań dostępnych w ofercie komercyjnej, dedykowanych małym i średnim przedsiębiorstwom różnych sektorów gospodarczych. Badania, prowadzone aktualnie w Katedrze Podstaw Informatyki i Zarządzania, Politechniki Koszalińskiej, koncentrują się wokół budowy prototypowego systemu wspomaganego decyzyjnego, systemu wyposażonego w mechanizmy dotykowej obsługi interfejsu oraz rozwiązania pozwalające na poszukiwanie rozwiązań problemów decyzyjnych z obszaru planowania realizacji portfeli zleceń w trybie *online*. Przyszłe prace wiąże się z projektowaniem multimedialnych, wykorzystujących techniki rzeczywistości wirtualnej trenerów umożliwiających wypracowywanie decyzji w zmiennych warunkach otoczenia (warunkach niepewności), w oparciu o prowadzone wielokryterialne gry decyzyjne.

## Literatura

- [1] Bach I., Bocewicz G., Banaszak Z., *Planowanie przedsięwzięć w środowisku wieloprojektowym*. KN-T Automatykacja – Nowości i Perspektywy, kwiecień 2008, [w:] PAR, Nr 2/2008, Warszawa 2008, 246–256.
- [2] Bach I., Muszyński W., Banaszak Z., *Planowanie jednoczesnej, wieloasortymentowej produkcji jednostkowej*. [w:] Zarządzanie wiedzą i technologiami informatycznymi, Orłowski C., Kowalczyk Z., Szczerbicki E. (red.), PWNT, Gdańsk 2008, 49–60.
- [3] Bach I., *Zastosowanie technik programowania z ograniczeniami i logiki rozmytej do budowy zadaniowo zorientowanych, interakcyjnych systemów wspomaganego planowania inwestycji*. Rozprawa doktorska, Polsko-Japońska Wyższa Szkoła Technik Komputerowych, Warszawa 2008.
- [4] Barrow J.D., *Matematyka nowej ery* (tłumaczenie Wszolek S.). Zagadnienia Filozoficzne w Nauce, XVI/1994, Wydawnictwo Biblos, Tarnów 1994, 87–99.
- [5] Bocewicz G., Bach I., Banaszak Z., *System komputerowego wspomaganego wariantowania przedsięwzięć*. PAR, Nr 10/2008, Warszawa 2008, 10–18.
- [6] Bubnicki Z., *Wstęp do systemów ekspertowych*. PWN, Warszawa 1990.
- [7] Bubnicki Z., *Procesy uczenia i metoda logiczno-algebraiczna w systemach z reprezentacją wiedzy*. Analiza systemowa i zarządzanie, Inst. Badań Sys. PAN, Warszawa 1999.

- 
- [8] Mulawka J.J., *Systemy ekspertowe*. WNT, Warszawa 1997.
  - [9] Rossi F., *Constraint (Logic) programming: A survey on research and applications*. K.R. Apt et al. (Eds.), New Trends in Constraints, LNAI 1865, Springer-Verlag, Berlin 2000, 40–74.
  - [10] Schutle H., Smolka G., Wurtz J., *Finite domain constraint programming in Oz*. German Research Center for Artificial Intelligence, Germany, D-66123 Saarbrücken 1998.
  - [11] Sitek P., Wikarek J., Bach I., *Zastosowanie mechanizmów deklaratywnych do wspomaganie decyzji harmonogramowania*. [w:] Bazy Danych, WKŁ, Warszawa 2007, 269–278.
  - [12] Van Roy P., Haridi S., *Programowanie. Koncepcje, techniki i modele*. Wydawnictwo Helion, Gliwice 2005.
  - [13] [www.ilog.com](http://www.ilog.com).
  - [14] [www.eclipse.org](http://www.eclipse.org).
  - [15] [http://pl.wikipedia.org/wiki/Przeciagnij\\_i\\_upusc](http://pl.wikipedia.org/wiki/Przeciagnij_i_upusc).
  - [16] <http://en.wikipedia.org/wiki/Touchscreen>.
  - [17] [http://en.wikipedia.org/wiki/Virtual\\_table](http://en.wikipedia.org/wiki/Virtual_table).