

# O pewnej specyfikacji procesu decyzyjnego

Tadeusz Krupa

*W pracy przedstawiono mechanizmy towarzyszące procesom decyzyjnym w systemach hierarchicznych w trakcie realizacji złożonych przedsięwzięć, nazywanych zadaniami lub projektami. Każda czynność projektowa jest czynnością wyboru w warunkach ustalonych deterministycznie lub probabilistycznie. W rozważaniach ograniczono się do ujęcia deterministycznego na skończonych zbiorach wariantów. Analizie poddano modele strukturalnej realizacji zadań i procesów. Procesy decyzyjne opisano dla przypadku systemu jednowarstwowego oraz hierarchicznego.*

## 1. Wprowadzenie

W świecie gwałtownie rozwijających się technologii informacyjnych proces podejmowania decyzji nie może pozostawać wyłącznie intuicyjnym. Sztuczna inteligencja, systemy eksperckie, hurtownie danych, programowanie ewolucyjne – to tylko przykłady ważniejszych prób przeprowadzanych w celu wzmocnienia intelektualnych i proceduralnych możliwości człowieka. Obnażenie istoty procesu decyzyjnego nie jest łatwe, chociaż modele elementarnych aktów decyzyjnych lub bardziej złożonych procesów decyzyjnych wydają się być w zasięgu ręki (Krupa 1979: 58-80; Krupa 1998).

W niniejszej pracy przedstawiono mechanizmy towarzyszące procesom decyzyjnym w systemach hierarchicznych w trakcie realizacji złożonych przedsięwzięć, nazywanych zadaniami lub projektami. Każda czynność projektowa jest czynnością decyzyjną (czynnością wyboru) w warunkach ustalonych deterministycznie lub probabilistycznie. W rozważaniach ograniczono się do ujęcia deterministycznego, zakładając równoprawdopodobny wybór spośród skończonego zbioru wariantów. Dla systemów hierarchicznych istotnie ważne jest podejmowanie decyzji „uzgodnionej” na wielu poziomach (warstwach) w tym celu, aby zapewnić jej realizowalność.

Analizie poddano koncepcyjne modele strukturalnej realizacji zadań i procesów. Procesy decyzyjne opisano dla przypadku systemu jednowarstwowego oraz systemu hierarchicznego.

## 2. Proces decyzyjny

Proces decyzyjny to łącznie proces przygotowywania alternatywnych wariantów decyzji oraz proces dokonywania wyboru jednego z tych wariantów do dalszej realizacji. Przygotowanie wariantów decyzji polega na określeniu dla zadanego

problemu decyzyjnego odpowiadających mu obszarów decyzyjnych, z których pobierane będą składowe decyzji (elementarne decyzje) w taki sposób, aby w budowanym wariancie decyzji nie były one względem siebie sprzeczne. W tejże pracy rozpatrywać będziemy hierarchiczne modele zadań, procesów i decyzji z pozycji systemowych (ogólnych), nie odwołując się przy tym do sytuacji praktycznych (Krupa, Ostrowska 1990a).

W celu uniknięcia nieporozumień na tle terminologicznym, ustalimy znaczenia najczęściej używanych słów kluczowych:

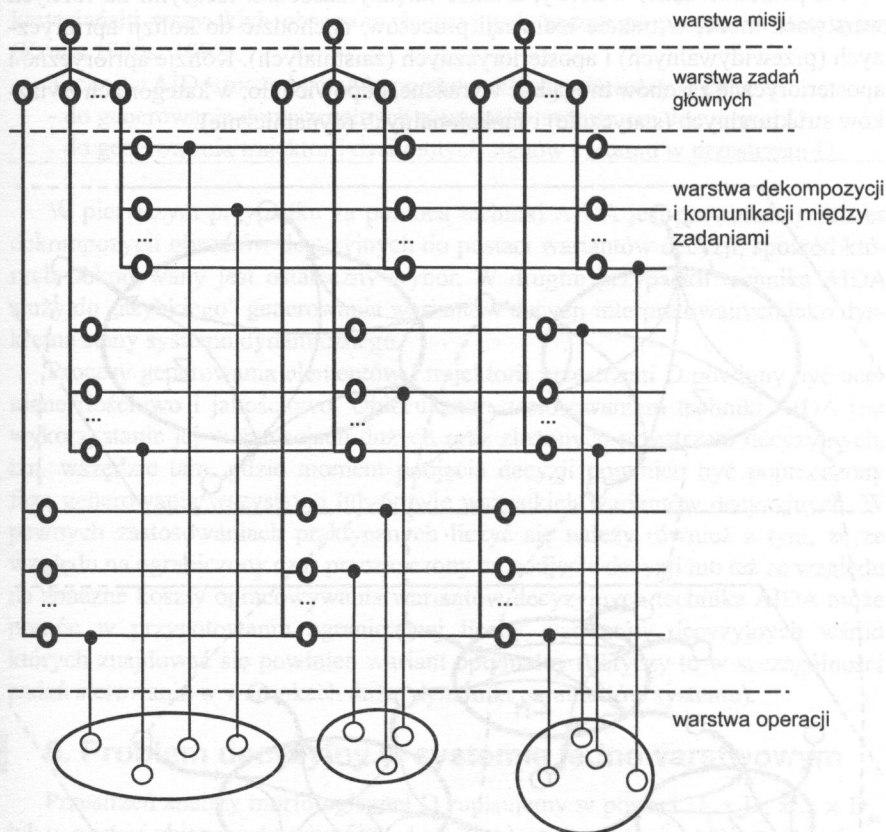
- *decyzja* – uporządkowana n-ka elementów wskazywanych do realizacji utworzona z pojedynczych elementów (elementarnych decyzji) należących do zbiorów alternatywnych względem siebie wariantów decyzji, nazywanych *obszarami decyzyjnymi*;
- *elementarna decyzja* – decyzja, której podjęcie wymaga opracowywania alternatywnych wariantów decyzji i dokonywania spośród nich wyboru;
- *problem decyzyjny* – zbiór obszarów decyzyjnych specyfikujących poszczególne pola problemu decyzyjnego;
- *proces decyzyjny* – to proces przygotowywania obszarów decyzyjnych oraz proces generowania decyzji i dokonywania wyboru jednej z nich do dalszej realizacji;
- *system hierarchiczny* – to, w sensie matematycznym, częściowo uporządkowana struktura elementów i powiązań, w której elementami mogą być zadania, procesy lub decyzje, a powiązania wskazują na kierunek przepływu zasobów;
- *zadanie* – polecenie uzyskania pożądanego stanu *zasobu*;
- *zasób* – wyróżniony rzeczywisty lub hipotetyczny fragment większej całości o ustalonych cechach i repertuarach ich wartości.

### 3. Zadania w systemie hierarchicznym

Zadanie w strukturze zadań, podobnie jak i pojedyncza funkcja w strukturze funkcji, należy do pewnego systemu, którego zachowania strukturalno-funkcjonalne nie są znane w chwili rozpoczynania procesu formułowania zadań. Dla ich struktury ważne jest znalezienie rozwiązania spełniającego jej wszystkie zadania jednocześnie, co implikuje poszukiwanie rozwiązań w sposób warstwowy. Warstwa najwyższa jest najczęściej traktowana jako warstwa celu lub warstwa misji, warstwa najniższa jest warstwą operacji; warstwy pośrednie (warstwa zadań głównych, warstwa dekompozycji i komunikacji między zadaniami) wyrażają proces interpretacji (dekompozycji) adekwatny do aktualnego (zastanego) instrumentarium lub infrastruktury. W modelu warstwowym, w granicach poszczególnych warstw, zadania komunikują się ze sobą poprzez wymianę zasobów rzeczowych i informacyjnych. Komunikacja między sąsiednimi warstwami ma charakter funkcjonalny. Ilustracja związków (zachowań) zadań w modelu strukturalno-funkcjonalnym została pokazana na rys. 1.

Model warstwowy, przez pewne analogie do warstwowego modelu protokołów sieci komputerowych, może również być interpretowany jako metoda rozwiązywania struktury zadań polegająca na ich: 1/ dekompozycji funkcjonalnej zadań na warstwy; 2/ rozpraszaniu strukturalnym zadań wewnątrz warstw; 3/ wzajemnej synchronizacji procesów logistycznych („poziomych”) i funkcjonalnych („pionowych”); 4/ scalaniu i bilansowaniu wyników realizacji zadań w obrębie warstw; 5/ prezentacji całościowych rozwiązań systemu zadań na poszczególnych warstwach.

Mimo hierarchiczności zadań ich realizacja może przebiegać w sposób cykliczny lub nawet współbieżny, tworząc w ogólnym przypadku sieć realizacji zadań. W praktyce należy poszukiwać takich „kompromisowych” konstrukcji modeli projektowania i rozwiązywania zadań, które udaje się efektywnie realizować za pomocą odpowiedniego oprogramowania.



Rys. 1. Związki zadań w modelu strukturalno-funkcyjnym. Źródło: opracowanie własne.

W rozważanym modelu o skuteczności (efektywności) procesu rozwiązywania systemu zadań decyduje dokładność specyfikacji możliwie jak największej liczby „szczegółów”, opisujących zadania wewnątrz warstw.

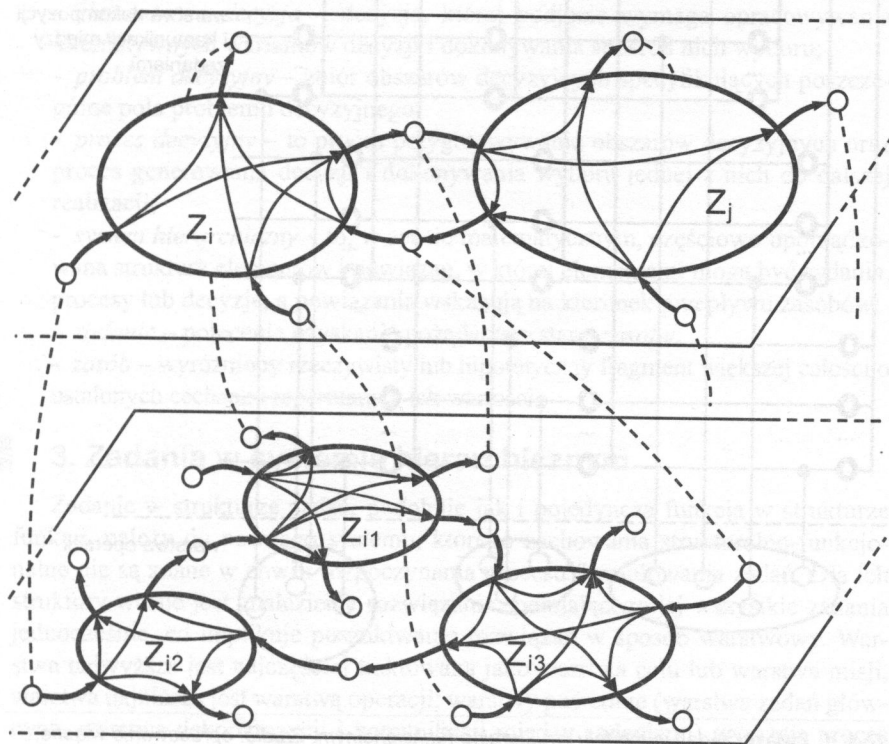
#### 4. Procesy w systemie hierarchicznym

Warunkiem formułowania i realizacji zadań jest dostępność zasobów. Dlatego też poniżej rozważymy ich niektóre cechy funkcjonalne (procesowe).

Ważnym krytycznym spojrzeniem na reguły rządzące „zachowaniem się” zasobów w procesach modelowania i symulacji jest spostrzeżenie o niepowtarzalności eksperymentu komputerowego ze względu na upływ czasu i skutki, jakie temu procesowi towarzyszą w funkcjonowaniu zasobów. W ujęciu warstwowym zasoby

zadań oddziaływają na siebie tworząc konfiguracje. Oddziaływania te mogą wyrażać autonomiczność zachowań poszczególnych zasobów. Każda z warstw opisuje (agreguje) związki przyczynowo-skutkowe między cechami wyjściowymi i wejściowymi zasobów objętych tą warstwą. Warstwowa interpretacja zjawisk towarzyszących zasobom jest pokazana na rys. 2 (6 związków przyczynowo-skutkowych w zasobie  $Z_i$  agreguje 23 takie związki w obiektach  $Z_{i1}$ ,  $Z_{i2}$  i  $Z_{i3}$ ).

Na poziomie danej warstwy, a także między zasobami leżącymi na różnych warstwach może, w trakcie realizacji procesów, dochodzić do kolizji apriorycznych (przewidywalnych) i aposteriorycznych (zaistniałych). Kolizje aprioryczne i aposterioryczne zasobów mogą być wyrażane, odpowiednio, w kategoriach związków strukturalnych (statycznie) i funkcjonalnych (dynamicznie).



Rys. 2. Warstwowa interpretacja strukturalno-funkcjonalnych zachowań zasobu  $Z_i$ . Źródło: opracowanie własne.

Jeżeli projektant modelu systemu decyzyjnego potrafi efektywnie (formalnie) określić podprzestrzenie (obszary) kolizji apriorycznych w przestrzeni stanów zasobu, to można hipotetycznie zakładać istnienie procedur, które pozwolą skutecznie omijać aposterioryczne kolizyjne obszary parametrów. Dzięki takiemu postępowaniu można bezkolizyjnie realizować zadania.

## 5. Projektowanie decyzji za pomocą techniki AIDA

Projektowanie decyzji w systemie jednowarstwowym polega na zdefiniowaniu problemu decyzyjnego w postaci zbioru obszarów decyzyjnych i związków zacho-

dających między elementami tych obszarów bez konieczności analizowania związków morfologicznych występujących między elementami każdego z obszarów oddzielnie. Szczegóły tego postępowania przedstawiono na przykładzie techniki AIDA (*Analysis of Interconnected Decision Areas*). Początkowa faza to określenie obszarów decyzyjnych zapisywanych w postaci tzw. zbiorów formujących. Każdy z obszarów decyzyjnych ma właściwości homologiczne, tzn. jego elementy w określonych wariantach rozwiązania mogą być zamieniane przez inne. Iloczyn kartezjański wszystkich obszarów decyzyjnych wyznacza przestrzeń decyzyjną (Krupa 1990a; 1992).

Technika AIDA może być wykorzystana w dwu odmiennych celach:

- do generowania dopuszczalnych elementów przestrzeni decyzyjnej  $D$ ,
- do generowania trajektorii dyskretnych stanów systemu w przestrzeni  $D$ .

W pierwszym przypadku za pomocą techniki AIDA jest prowadzony proces dekompozycji obszarów decyzyjnych do postaci wariantów decyzji, spośród których dokonywany jest ostateczny wybór. W drugim przypadku technika AIDA służy do „szybkiego” generowania wariantów decyzji interpretowanych jako dyskretne stany systemu dynamicznego.

Procesy generowania elementów i trajektorii przestrzeni  $D$  powinny być oceniane ilościowo i jakościowo. Obiecującym zastosowaniem techniki AIDA jest wykorzystanie jej w sytuacjach dużych oraz złożonych przestrzeni decyzyjnych, tzn. wszędzie tam, gdzie moment podjęcia decyzji powinien być poprzedzony fazą generowania wszystkich lub prawie wszystkich wariantów decyzyjnych. W pewnych zastosowaniach praktycznych liczyć się należy również z tym, że ze względu na ograniczony czas przeznaczony na podjęcie decyzji lub też ze względu na znaczne koszty opracowywania wariantów decyzyjnych technika AIDA może pomóc w przygotowaniu ograniczonej liczby wariantów decyzyjnych wśród których znajdować się powinien wariant optymalny (dotyczy to w szczególności zadań sterowania w warunkach dużej dynamiki parametrów systemu).

## 6. Problem decyzyjny w systemie jednowarstwowym

Przestrzeń analizy morfologicznej  $D$  zapisujemy w postaci  $D_1 \times D_2 \times \dots \times D_m$  lub w postaci zbioru wektorów  $\{<d_{j1}, d_{j2}, \dots, d_{jm}>$  przy założeniu, że  $d_{ji} \in D_i$ , gdzie: obszar decyzyjny (zbiór formujący) jest oznaczony jako  $D_i$ , a  $d_{ji}$  jest odpowiednio  $j$ -tym elementem tego obszaru (elementarną decyzją) oraz że moc dowolnego obszaru decyzyjnego  $|D_i|$  jest wielkością skończoną.

Obszar decyzyjny składa się ze zbioru wzajemnie wykluczających się elementarnych decyzji. Obszar decyzyjny nie może być zbiorem pustym – musi zawierać co najmniej jedną elementarną decyzję. Obszary decyzyjne mogą mieć parami wspólne elementy.

Obszary decyzyjne podlegają operacji uporządkowania logicznego i wartościowego. Uporządkowanie logiczne obszarów decyzyjnych określa przestrzeń i kolejność wyboru elementarnych decyzji.

W wyniku uporządkowania logicznego określone są następujące rodzaje podzbiorów obszarów decyzyjnych:

- podzbiory obszarów wzajemnie się wykluczających – elementarna decyzja z dowolnego z tych obszarów wymusza pominięcie wszystkich pozostałych obszarów i w konsekwencji ich elementarnych decyzji,

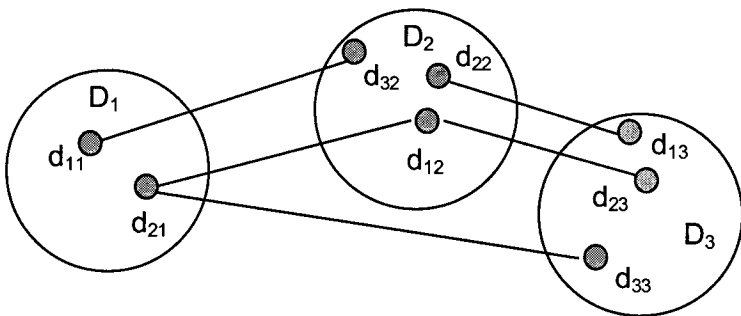
- podzbiory obowiązkowych obszarów wzajemnie niezależnych – elementarna decyzja z dowolnego z tych obszarów może być włączona do decyzji w dowolnej kolejności w stosunku do elementarnych decyzji z pozostałych obszarów decyzyjnych.

Rozwiązaniem problemu decyzyjnego będzie zdefiniowanie zbioru obszarów decyzyjnych  $D_i$  oraz wygenerowanie i ocenie na drzewie rozwiązań (pp. rys. 4) poprawnych wektorów  $\langle d_{j1}, d_{j2}, \dots, d_{jm} \rangle$ .

Rozwiązanie problemu decyzyjnego za pomocą techniki AIDA sprowadza się do:

- (1) określenia wewnętrznie alternatywnych obszarów decyzyjnych, opisujących zadaną sytuację problemową,
- (2) określenia wzajemnie sprzecznych elementów należących do różnych obszarów decyzyjnych,
- (3) generowania i eliminacji tych elementów przestrzeni  $D$ , w których występują pary sprzecznych elementów,
- (4) porządkowania i analizy wariantów rozwiązań.

Dzięki zastosowaniu modelu grafowego oraz uporządkowanej dekompozycji obszarów decyzyjnych w istotny sposób przyspiesza się generowanie i analizę wariantów decyzyjnych. Budowa modelu grafowego przestrzeni decyzyjnej rozpoczyna się od wyeliminowania tych obszarów decyzyjnych, których zbiory formujące zawierają tylko po jednym elemencie, a także od usunięcia powtarzających się elementów.



Rys. 3. Przykład modelu grafowego przestrzeni decyzyjnej. Źródło: opracowanie własne.

Wierzchołki grafu odpowiadające elementom jednego obszaru decyzyjnego łączymy krawędziami. Krawędzie symbolizują fakt alternatywności łączonych elementów. Ze względu na aprioryczne kolizje niektórych elementów, należących do różnych obszarów decyzyjnych, odpowiednie wierzchołki grafu oznaczone tymi elementami również łączymy krawędziami. Przykład ilustrujący dotychczasowe postępowanie jest pokazany na rys. 3.

## 7. Generowanie wariantów decyzyjnych

Procedura generowania wariantów decyzyjnych jest oparta na dekompozycji modelu grafowego przestrzeni decyzyjnej. Dekompozycja polega na systematycznym wydzieleniu wariantów stabilnych wewnętrznie zbiorów formujących. Stabil-

nym wewnątrznie nazywamy taki zbiór elementów zbioru wszystkich decyzji, ze wszystkich obszarów decyzyjnych, który spełnia następujące dwa warunki:

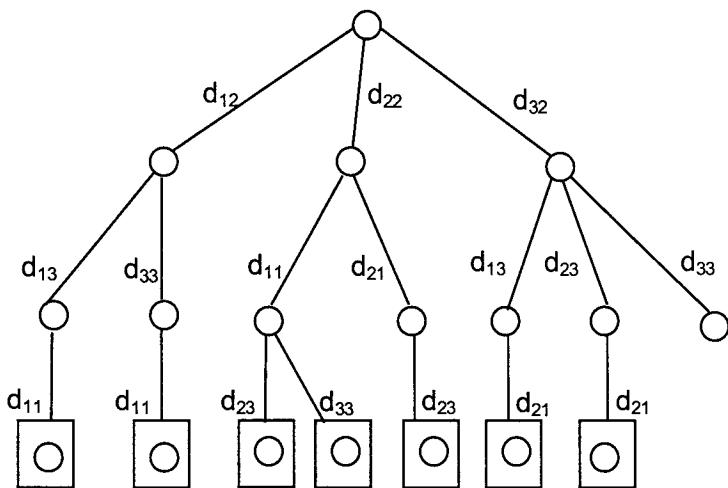
- (1) zawiera tyle elementów decyzyjnych ile jest obszarów decyzyjnych;
- (2) nie zawiera par eliminujących się decyzji.

Z powyższych warunków wynika, że stabilny wewnątrznie zbiór formujący zawiera tylko po jednej decyzji z każdego obszaru decyzyjnego. Na przykład, dla obszarów decyzyjnych  $D_1, D_2, D_3$  (pp. rys. 3) stabilnymi wewnątrznie będą zbiory  $\{d_{11}, d_{22}, d_{33}\}, \{d_{11}, d_{12}, d_{13}\}, \{d_{21}, d_{32}, d_{23}\}$ .

Generowanie wariantów decyzyjnych przebiega następująco:

- (a) określana jest moc każdego zbioru formującego;
- (b) zbiory formujące porządkuje się zgodnie z nierosnącym uporządkowaniem wartości ich mocy;
- (c) zbiory formujące decyzji należących do wszystkich obszarów decyzyjnych rozszczepiane są na tyle grup zbiorów, jak wielka jest moc największego zbioru formującego;
- (d) układany jest kolejny wierzchołek drzewa rozwiązań i wychodzące z niego krawędzie, którym przyporządkowuje się odpowiednie grupy zbiorów formujących.

Przy tworzeniu grup zbiorów formujących należy pamiętać, aby nie zawierały one decyzji alternatywnych w stosunku do decyzji, względem której następuje rozszczepienie zbiorów formujących; jeżeli moc któregoś zbioru formującego jest równa 0, to dana grupa zbiorów jest eliminowana z procesu rozszczepiania i oznaczana jako EZF (Eliminowany Zbiór Formujący); jeżeli moc wszystkich zbiorów formujących pewnej grupy jest równa 1, to dana grupa jest wariantem stabilnego wewnątrznie zbioru decyzji i jest oznaczana jako SWZF (Stabilny Wewnątrznie Zbiór Formujący); zbiory formujące pozostałych grup porządkowane są nierosnąco według ich mocy i rozpoczyna się ponowna realizacja operacji (c) i (d).



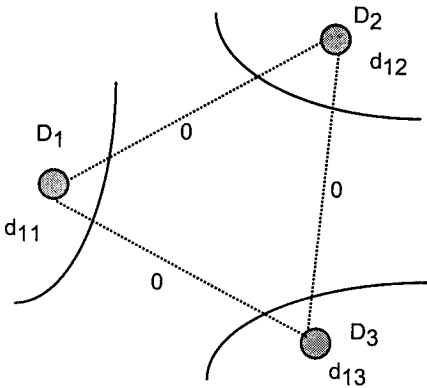
Rys. 4. Drzewo rozwiązań. Źródło: opracowanie własne.

Operacje (a) - (d) są powtarzane tak długo, aż w grupach zbiorów formujących pozostaną jedynie grupy oznaczone jako EZF lub SWZF. Grupy oznaczone jako SWZF stanowią zbiór takich wszystkich możliwych wariantów decyzyjnych, że żaden z nich nie zawiera pary alternatywnych decyzji.

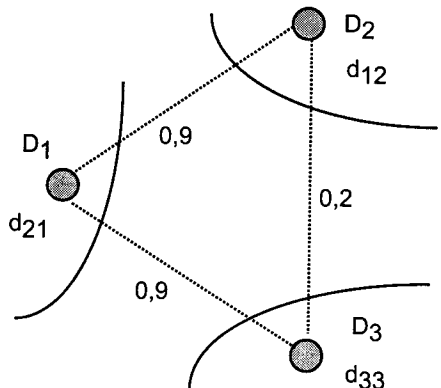
Realizację operacji (a) - (d) ilustruje rys. 4. Na drzewie rozwiązań warianty decyzyjne SWPF oznaczono ramką.

## 8. Napięcia wewnętrzne w wariantach decyzyjnych

W budowanym przez nas modelu decyzyjnym dwa elementy należące do różnych obszarów decyzyjnych mogły wzajemnie się eliminować w wariantach decyzyjnych (jeżeli były połączone krawędzią) lub nie (jeżeli w modelu grafowym nie było krawędzi). W modelu tym w wyniku generowania rozwiązań powstają warianty decyzyjne, w których brak jest „napięcia wewnętrznego” między dowolną parą elementów (pp. rys. 5). W sytuacjach praktycznych każdy wariant decyzyjny zawiera w sobie pewne napięcia wynikające z konieczności „technicznego



Rys. 5. Struktura wariantu decyzyjnego z zerowym napięciem wewnętrznym.



Rys. 6. Struktura wariantu decyzyjnego z rozmytym napięciem wewnętrznym

dopasowania” różnych elementów decyzyjnych (pp. rys. 6).

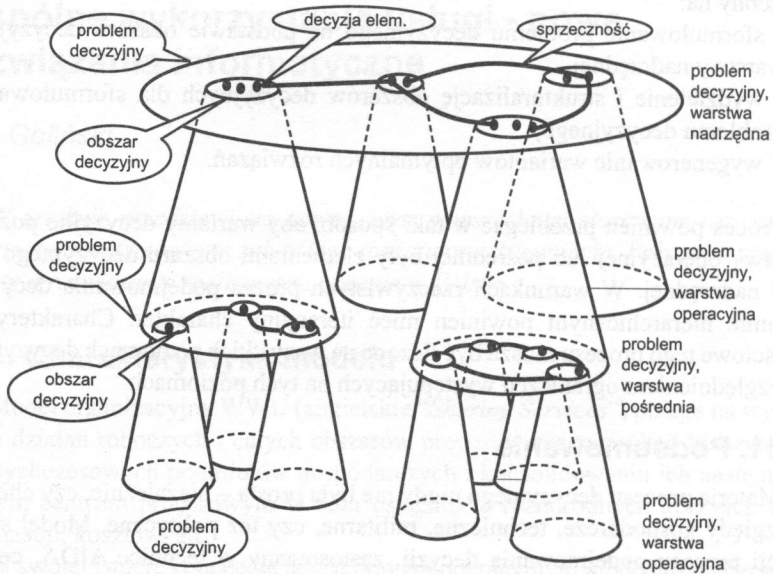
Pomiar (ocena) napięcia wewnętrznego może posłużyć do oszacowania kosztów realizacji danego wariantu („im większe napięcie, tym wyższy koszt”). Dla celów pomiaru przyjmuje się, że napięcie między dwoma elementami decyzyjnymi leży w przedziale  $[0, 1]$ , natomiast wszystkie pary napięć pomiędzy elementami decyzyjnymi tworzą wielobok rozmytych napięć. Ocena napięcia wewnętrznego może być wyliczana z pominięciem lub z uwzględnieniem wag poszczególnych elementów decyzyjnych.

## 9. Projektowanie i podejmowanie decyzji w systemie hierarchicznym

W systemie hierarchicznym decyzje podejmowane są na kilku poziomach (warstwach) w oparciu o sytuację zaistniałą na warstwach sąsiednich. Proces pro-



jektowania oraz podejmowania decyzji zależy w takim przypadku od charakteru organizacji (zawsze jednak decyzje w warstwach wyższych są kształtowane na podstawie stanu realizacji zadań w warstwach niższych) i symetrycznie zadania w warstwach niższych są formułowane w oparciu o decyzje w warstwach wyższych.



Rys. 7. Model problemu decyzyjnego w systemie hierarchicznym. Źródło: opracowanie własne.

Możemy więc obserwować dwa przeciwbieżne strumienie – strumień decyzji i strumień informacji o stanie realizacji zadań. Na każdej z warstw realizowane są zadania i odbywają się procesy podejmowania decyzji. Rys. 7. ilustruje wzajemne rozmieszczenie problemów decyzyjnych na warstwach nadrzędnej, pośrednich i na warstwie operacyjnej. Łatwo zauważyć, że obszar decyzyjny (zawierający elementarne decyzje) warstwy wyższej staje się problemem decyzyjnym warstwy bezpośrednio niżej położonej.

## 10. Generowanie wariantów decyzyjnych w systemie hierarchicznym

Proces podejmowania decyzji w systemie hierarchicznym jest procesem uwarunkowanym kontekstowo – w warstwie nadrzędnej, na poziomie zarządu organizacji, decyzje są uzależnione od aktualnie realizowanej strategii biznesowej, weryfikowanej przez radę nadzorczą oraz ogólnego stanu realizacji zadań w warstwach pośrednich i w warstwie operacyjnej; w warstwach pośrednich podejmowanie decyzji jest determinowane wynikami warstw niższych i planistycznymi parametrami decyzji warstw wyższych; w warstwie operacyjnej podjęcie decyzji jest istotnie ograniczone determinizmem jej obszarów decyzyjnych. Istotnym parametrem procesów decyzyjnych jest czas i związana z nim koordynacja decyzji (Krupa 1998; 2000).

W systemach hierarchicznych proces podejmowania decyzji jest istotnie uwarunkowany logicznie i czasowo. Uwarunkowanie logiczne wynika z oczywistego podporządkowania niższych warstw decyzyjnych warstwom wyższym. Oznacza to, że pojedynczy obszar decyzyjny warstwy wyższej jest problemem decyzyjnym dla warstwy bezpośrednio niżej położonej. Czas w każdej warstwie decyzyjnej jest potrzebny na:

- sformułowanie problemu decyzyjnego na podstawie obszaru decyzyjnego warstwy nadrzędnej,
- wydzielenie i strukturalizację obszarów decyzyjnych dla sformułowanego problemu decyzyjnego,
- wygenerowanie wariantów optymalnych rozwiązań.

Proces powinien przebiegać w taki sposób, aby warianty decyzyjne poziomu warstwy operacyjnej lub pośredniej były elementami obszaru decyzyjnego warstwy nadrzędnej. W warunkach rzeczywistych proces podejmowania decyzji w systemie hierarchicznym powinien mieć iteracyjny charakter. Charakterystyki jakościowe tego procesu muszą być liczone na wszystkich poziomach decyzyjnych z uwzględnieniem ograniczeń występujących na tych poziomach.

## 11. Podsumowanie

Materia procesu decyzyjnego nigdy nie była prosta – niezależnie, czy chodziło o względy gospodarcze, techniczne, militarne, czy też polityczne. Model specyfikacji procesu podejmowania decyzji, zastosowany w technice AIDA, cechuje się dużą prostotą i – co niebywale ważne – może być zastosowany na dowolnym poziomie decyzyjnym, przy zachowaniu ciągłości typu: „wariant decyzyjny warstwy podrzędnej jest elementarną decyzją w obszarze decyzyjnym warstwy bezpośrednio nadrzędnej”. Prostota tego ujęcia, a także algorytmiczność procesu dekompozycji drzewa decyzji w technice AIDA stanowią zachętę do zastosowania techniki komputerowej w modelowaniu i wspomaganiu procesów decyzyjnych.

### Informacje o autorze

**Prof. zw. dr hab. Tadeusz Krupa** – Politechnika Warszawska, Instytut Organizacji Systemów Produkcyjnych. E-mail: t.krupa@wip.pw.edu.pl.

### Bibliografia

- Krupa, T. i M. Stępowski. 1979. Rozszerzona technika „AIDA”. *Problemy Organizacji*, nr 2, s. 58-80.
- Krupa, T. 1990a. Formułowanie zadania projektowego morfologiczną techniką AIDA. *Projektowanie i Systemy XI*, Warszawa: Prace PAN.
- Krupa, T., i T. Ostrowska. 1990b. The Logical Aspects of Tasks and Resource Design. Int. Conf. „Cybernetics and Systems’90”. World Scientific, University of Vienna, Vienna 1990b.
- Krupa, T. 1992. Morfologia struktur informacyjnych – technika AIDA w zadaniach projektowych. w: Kasprzak (red.) *Systemy wspomagania decyzji wielokryterialnych*, Warszawa: Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego.
- Krupa, T. 1995. *Przepływowy model systemu produkcyjnego*. Konf. nt. „CIM, ARIS - informatyczne narzędzia zarządzania przedsiębiorstwem”. Katedra Cybernetyki i Badań Operacyjnych, Wydział Nauk Ekonomicznych, Uniwersytet Warszawski. Rynia V 1995.
- Krupa, T. 1998. Model systemu wspomagania rozmytych procesów decyzyjnych. w: Knosala, R. (red.) *Komputerowo zintegrowane zarządzanie*, Warszawa: WNT.
- Krupa, T. 2000. *Wielozadaniowa sieć transformująca*, w: Knosala, R. (red.) *Komputerowo zintegrowane zarządzanie*, Warszawa: WNT.