

ANALIZA FUNKCJONALNA METOD ILOŚCIOWYCH NA POTRZEBY SYSTEMU WSPOMAGANIA DECYZJI (CZĘŚĆ I)

Jarosław Becker

Katedra Inżynierii Systemów Informacyjnych
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
e-mail: jbecker@wi.zut.edu.pl

Streszczenie. W artykule dokonano przeglądu oraz analizy wybranych metod ilościowych stosowanych do wspomagania problemów decyzyjnych. Badania skoncentrowano na poszukiwaniu metody o dużym potencjale informacyjnym. Założono, że metoda powinna w wysokim stopniu odwzorować rzeczywiste problemy decyzyjne, tak, aby przygotowany na jej wejście zbiór danych numerycznych i lingwistycznych posłużył do dalszych dociekań decydenta i zastosowania komplementarnych metod w jednym systemie informatycznym, będącym narzędziem do poszukiwania rozwiązań najlepszych.

Słowa kluczowe: metody ilościowe we wspomaganie decyzji, wielokryterialne wspomaganie decyzji, systemy wspomaganie decyzji

WSTĘP

Badania nad systemem wspomaganie decyzji obejmują ważny problem związany ze zwiększeniem stosowalności metod (wiedzy) w najważniejszym momencie procesu cywilizacyjnego – gry decyzyjnej oraz wyborze rozwiązań najlepszych. Jako przykład może posłużyć pojęcie aukcji, w której wygrywają oferty na zasadzie „kto da więcej”. Można spotkać się również z sytuacją odwrotną (aukcje odwrotne), polegającą na takim rozdysponowaniu środków finansowych, aby uzyskać najlepsze wnioski (oferty) do realizacji. Innymi słowy, aby przy najmniejszym koszcie wskazać najlepsze jakościowo rozwiązanie do wdrożenia. W tym kontekście poszukuje się odpowiedzi na trzy zasadnicze pytania. Czy wszystkie składowe rozpatrywanego procesu decyzyjnego takie jak: wieloetapowość, wielokryterialność, lingwistyczne i grupowe oceny ekspertów, masowość i elastyczność wariantów decyzyjnych, a także wybór spośród nich

najlepszych z możliwych można opisać w jednym modelu (systemie)? Czy będzie to zrozumiałe dla użytkownika? Czy uzyskane rozwiązanie nie będzie budziło sprzeciwu uczestników w ramach procedur odwoławczych, np. trybu przetargowego?

Celem artykułu jest przegląd i analiza funkcjonalna wybranych metod ilościowych na potrzeby budowy informatycznego systemu, którego zadaniem jest wspomaganie złożonych, wielokryterialnych problemów decyzyjnych. Architektura systemu informatycznego klasy DSS została podporządkowana analizie tych wszystkich elementów (składowych procesu decyzyjnego), które uważa się za ważne z punktu widzenia ostatecznej konstrukcji systemu. Prototyp systemu DSS jest opracowywany w środowisku akademickim Szczecina (DSS 2.0, aut.: R. Budziński, J. Becker) przy użyciu technologii CA Visual Object 2.8 firmy GrafX Software. Należy nadmienić, że metody ilościowe dają podstawy metodyczne, które pozwalają generować rozwiązania najlepsze, jednak nie decydują o użyteczności systemu informatycznego.

DETERMINANTY BUDOWY INFORMATYCZNEGO SYSTEMU WSPOMAGANIA DECYZJI

Systemy wspomaganie decyzji (*DSS* – ang. *Decision Support Systems*) postrzega się jako pakiety oprogramowania komputerowego wspierające kadre kierowniczą w analitycznych fazach formułowania decyzji. Jak podkreślają Turban i Aronson (1998) etap związany z modelowaniem i symulacją stanowi zasadniczą cechę, która odróżnia systemy klasy DSS od systemów analitycznego przetwarzania. Zdaniem Radosińskiego (2001) funkcjonalność rozumiana jako „*zdolność systemu do generowania propozycji działań decyzyjnych wraz z predykcją skutków ich realizacji, czyli tzw. scenariuszy decyzyjnych*” świadczy o przydatności DSS jako narzędzia w dynamicznej analizie decyzyjnej.

Zadaniem systemu DSS jest wspomaganie złożonych, wielokryterialnych problemów decyzyjnych. Specjalizację funkcjonalną systemu określono jako rozwiązywanie zadań związanych z problematyką wyboru (α), grupowania (β), porządkowania (γ) określonych obiektów (wariantów decyzyjnych) oraz analizą i oceną *ex post* wyników postępowania decyzyjnego (w tym symulacyjnego). Zakłada się, że budowa systemu oparta jest na interdyscyplinarnym podejściu, które łączy kwantytatywne i behawioralne aspekty teorii decyzji w kompleksowy, spójny i użyteczny proces wspomaganie decyzji. Ostateczną konstrukcję systemu DSS wyznaczają determinanty wynikające ze złożoności procesu analizy decyzyjnej, zauważalne szczególnie w praktyce.

Architektura systemu informatycznego klasy DSS jest podporządkowana analizie tych wszystkich sytuacji procesu decyzyjnego, które autor (wraz z współpracownikami) uważa za ważne w ostatecznej konstrukcji systemu. Sam fakt, że teoria decyzji tworzą podstawy metodyczne dla generowania rozwiązań najlepszych nie stanowi o praktycznej przydatności systemu informatycznego.

Można wyróżnić następujące uwarunkowania, które należy uwzględnić konstruując system DSS, mianowicie:

- *wieloetapowość* – proces decyzyjny może przebiegać w ramach *jednego lub wielu etapów*,
- *wielokryterialność* – decyzje mogą być rozpatrywane z punktu widzenia dowolnej liczby kryteriów,
 - *struktura kryteriów* – prosta (wektor kryteriów), złożona (zależności hierarchiczne lub sieciowe),
 - *reprezentacja kryteriów* – w formie wartości liczbowych lub słownej,
- *liczba decydentów* – decyzje mogą być podejmowane przez jednego lub grupę decydentów, dodatkowo pewne parametry decyzji (wariantów decyzyjnych) mogą być opiniowane przez eksperta bądź grupę ekspertów o wymaganym poziomie kompetencji,
- *skala problemu decyzyjnego* – problemy małej skali związane z rozstrzygnięciem decyzji obejmującej od kilku do kilkunastu wariantów decyzyjnych (np. wybór i zakup samochodu) lub problemy masowe dotyczące rozpatrzenia kilku dziesiątek lub setek wariantów (np. złożonych wniosków o dofinansowanie),
- *elastyczność wariantów decyzyjnych* – procedura decyzyjna może przebiegać jednokrotnie od zdefiniowania problemu, poprzez określenie wariantów i ich wybór lub może mieć charakter iteracyjny, który daje możliwość modyfikacji wartości charakteryzujących warianty w czasie gry decyzyjnej (mechanizm wieloparametrycznej licytacji).

W świetle wymienionych uwarunkowań architektura systemu DSS powinna spełniać (łączyć) wymagania rozwiązania sieciowego, udostępnianego przez media internetowe i zorientowanego na komunikację, grupowe wspomaganie decyzji oraz modele dostarczane użytkownikowi w postaci gotowych propozycji (wzorców, szablonów) i narzędzi umożliwiających ich modyfikację oraz tworzenie własnych rozwiązań. Struktura DSS musi być elastyczna, ukształtowana w naturalny sposób i rozwijana *ad hoc* w odpowiedzi na zmieniające się potrzeby użytkowników. System DSS funkcjonujący w układzie *dane -> modele -> metody (techniki obliczeniowe) -> wyniki (formy prezentacji)* powinien stanowić jednolitą platformę informatyczną o otwartej architekturze.

PRZEGLĄD METOD WIELOKRYTERIALNEGO WSPOMAGANIA DECYZJI (WWD)

Teoria decyzji opisuje i objaśnia zachowania złożonych systemów. Głównym przedmiotem jej zainteresowania są metody i techniki podejmowania decyzji. Wykształciły się dwa główne nurty teorii decyzji: *ilościowy (normatywny)* – skoncentrowany na rozwoju teorii i metod poszukiwania optymalnych wariantów decyzyjnych przy udziale matematyki stosowanej oraz *behawioralny*

(deskryptywny) – objaśniający podejmowane w praktyce decyzje i odnoszony przede wszystkim do teorii organizacji i zarządzania. Podejście normatywne, dominujące w literaturze, posiadało szereg ograniczeń czyniących je mało przydatnymi w praktyce. Stachowiak (2002) podkreśla, że metody te „były nieskuteczne z powodu ograniczoności przesłanek wyjściowych”. Podejście deskryptywne nie wypełniło tej luki z uwagi na objaśniający charakter (wyjaśnia podjęcie decyzji, zaś nie zaleca, jaką decyzję podjąć). Przykładem wyjścia z tej sytuacji są metody *analizy systemowej*, których celem jest analiza, ocena i wybór wariantów decyzyjnych w toku rozwiązywania złożonych, gospodarczych problemów powstających w różnego rodzaju przedsiębiorstwach i instytucjach. Metodologia analizy systemowej wykorzystuje również wiele przesłanek behawioralnej teorii podejmowania decyzji w warunkach niepewności. Mamy zatem do czynienia z procesem integracji obydwu obszarów racjonalizacji decyzji: behawioralnego i ilościowego, w spójny proces użyteczny dla teoretyków i praktyków. Takie perskryptywne podejście, określane przez Raiffa (1994) jako „wdrażanie czystej teorii do praktyki”, jest obecnie intensywnie rozwijane przy znaczącym udziale technologii informacyjnych [Stachowiak 2002].

Literatura przedmiotu [Bouyssou, Roy 1993], [Greco i in. 2001, 2002], [Słowiński 2007] wskazuje na bardzo dużą różnorodność procedur i metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji (ang. *Multiple Criteria Decision Making – MCDM*). Według Greco i in. (2001) można je podzielić na metody oparte na modelu funkcjonalnym (szkoła amerykańska) oraz modelu relacyjnym (szkoła europejska). Zdaniem R. Słowińskiego (2007) w rozwoju metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji (WWD) wykształciły się trzy klasy modeli agregacji preferencji: do funkcji użyteczności (wartości), do systemu relacyjnego (relacja przewyższania) oraz z zastosowaniem zbioru reguł decyzyjnych („jeżeli ... to ...”).

Wieloatrybutowa teoria użyteczności (ang. *MAUT – Multiattribute Utility Theory*) stanowi zbiór aksjomatów i reguł, na których oparto konstrukcję wielu metod wspomagających podejmowanie decyzji. Wykryształowany na podstawie teorii *model funkcjonalny* polega na agregowaniu różnych punktów widzenia w jedną funkcję użyteczności o wartościach w postaci liczb rzeczywistych. Addytywna bądź multiplikatywna postać tej funkcji służy do odnalezienia wariantu o optymalnym lub najbardziej zbliżonym do optymalnego bilansie wartości kryteriów. W modelu funkcjonalnym wyklucza się sytuację nieporównywalności wariantów decyzyjnych oraz zakłada się przechodność preferencji.

Metody optymalizacji oparte na teorii programowania matematycznego jednoznacznie rozstrzygają problem poszukiwania ekstremum funkcji, oczywiście pod warunkiem, że zbiór rozwiązań dopuszczalnych nie jest zbiorem pustym. W sprawnym poszukiwaniu rozwiązania, które usatysfakcjonuje użytkownika i spełni postulat syntezy globalnego modelu preferencji decydenta (GMPD), R. Słowiński (1984) wyróżnił trzy podejścia: z aprioryczną funkcją celu,

z dialogowym trybem postępowania oraz z wyborem a posteriori rozwiązania uznanego za najlepsze.

W przypadku *syntezy a priori* zakłada się, że użytkownik dostarczy pełnych informacji, które pozwolą określić wartości kryteriów przed rozpoczęciem obliczeń optymalizacyjnych. W podejściu tym poszukuje się rozwiązania najlepiej dostosowanego do zdefiniowanych wartości celów. Reprezentantem tego podejścia jest metoda programowania celowego (ang. *goal programming*; pierwotnie metoda Charnesa-Coopera), w której zadanie programowania wielokryterialnego zostaje przekształcone do postaci jednokryterialnej [Czerwiński 1980]. Zastosowanie tej metody jest właściwe w sytuacji, gdy cele do osiągnięcia są znane, zaś problemem jest dostosowanie się do ich wartości. Nieco odmienne podejście niewymagające określenia a priori wartości celów do realizacji, oparte na aksjomacie „gry celów” zaproponował R. Budziński (1988). W metodzie tej sprowadza się preferowane warunki do postaci funkcji celu, następnie za ich pomocą ocenia się każde dopuszczalne rozwiązanie wieloma wskaźnikami jakości. Zasadnicza różnica tego podejścia w stosunku do programowania celowego polega na maksymalizacji różnicy nieujemnych wskaźników jakości wynikających ze sprowadzenia syntezy preferowanych ograniczeń i bilansów zadania do postaci funkcji celu (funkcji użyteczności) [Budziński 2001].

W metodach z dialogową syntezą faza obliczeń występuje na przemian z fazą decyzyjną. Preferencje decydenta są modelowane dynamicznie dzięki informacyjnemu sprzężeniu zwrotnemu między uzyskiwanymi wynikami rachunku optymalizacyjnego a oczekiwaniami decydenta. Postępowanie dialogowe zostaje przerwane w momencie gdy decydent uzna zaproponowane rozwiązanie za kompromisowe oraz wyczerpujące zgłoszone postulaty. Do grupy tej zalicza się dialogowe programowanie celowe oraz metodę: Goffriona, SWT, Zionsa-Waleniusa, STEM, SEMOPS, Balsona-Kapura, Steuera oraz metodę adaptacyjną. W podejściu związanym z metodami a posteriori w pierwszej kolejności wyznacza się pewien zbiór rozwiązań sprawnych. Następnie przedstawia się go decydentowi, który zgodnie ze swymi preferencjami wybiera rozwiązanie kompromisowe. Do grupy tych metod zalicza się parametryczne programowanie liniowe oraz metody MOLP (ang. *Multi-Objective Linear Programming*).

W obszarze wieloatrybutowej teorii użyteczności opracowano szereg rozwiązań łączących podejście ilościowe z behawioralnym w spójny, użyteczny dla praktyków proces wspomaganie decyzji. W zakresie problematyki porządkowania wariantów decyzyjnych, które spełniają kompletny i preferowany zbiór celów, można przytoczyć popularną metodę AHP (ang. *Analytic Hierarchy Process*) [Saaty 1980] oraz ANP (ang. *Analytic Network Process*), [Saaty 2004] metody typu UTA (ang. *UTilits Additives*). W pracy [Siskos i in. 2005] wyróżniono następujące wersje tego typu metod: UTASTAR, UTADIS, UTADIS I, UTADIS II oraz UTADIS III. Do mniej powszechnych metod można zaliczyć: TOPSIS [Hwang, Youn 1981] i SMART [Olson 1996]. Warto też wspomnieć o prostych,

addytywnych metodach wagowych [Hwang, Youn 1981] oraz ich wersjach rozmytych [Dubois, Prade 1982].

Metodologiczną przeciwwagę dla rozpowszechnionej analizy decyzji opartej na teorii użyteczności zaproponował B. Roy (1990). Metodologia ta obejmuje modelowanie i rozwiązywanie problemów decyzyjnych wraz z charakterystyczną dla nich niepewnością, niedokładnością i nieokreślonością danych, ocen oraz preferencji. Najbardziej znaną reprezentacją tego podejścia jest relacja przewyższania. Relacje te nie są zupełne, ani przechodnie, są określane na podstawie posiadanych informacji i reprezentują ściśle określone preferencje decydenta. Model relacyjny nie narzuca przechodności preferencji i dopuszcza sytuację nieporównywalności. Popularnymi metodami szkoły europejskiej są rodziny metod ELECTRE i Promethee [Spronk i in. 2005].

W obszarze problematyki wyboru (α) można wyróżnić metodę ELECTRE I [Roy 1991], której istotą jest wyznaczenie podzbioru wariantów zawierających najlepszą alternatywę, oraz metodę ELECTRE IS [Bouyssou, Roy 1993] rozszerzoną o możliwość modelowania preferencji na zbiorze pseudo kryteriów. Kolejne wersje rozwiniętej metody ELECTRE I – takie jak: ELECTRE II, III i IV – wspomagają problematykę porządkowania (γ). Ranking wariantów jest uzyskiwany na podstawie dwóch relacji przewyższania: słabej i silnej [Bouyssou, Roy 1993]. Metoda MELCHIOR [Leclercq 1984] jest rozszerzeniem wersji ELECTRE IV o relację porządkową wyrażającą względną ważność kryteriów. W obszarze problematyki grupowania (β) interesującą propozycję stanowi metoda ELECTRE Tri. [La Gauffre i in. 2007] [Roy, Słowiński 2008].

Grupa metod PROMETHEE oparta jest na pozytywnych i negatywnych przepływach preferencji (strumienie przewyższania) określających wspólny balans przewyższania się wariantów decyzyjnych [Peng i in. 2010]. Metody te wykorzystują również teorię grafów. W pracy [Brans, Mareschal 2005] przedstawiono następujące odmiany metod: PROMETHEE I – ranking częściowy, PROMETHEE II – ranking kompletny, PROMETHEE III – ranking odstępów, PROMETHEE IV – przypadki ciągłe i analiza wrażliwości, PROMETHEE GDSS – grupowe podejmowanie decyzji, PROMETHEE V – ograniczenia segmentacji, PROMETHEE VI – reprezentacja ludzkiego umysłu. Funkcjonalność metod PROMETHEE w zakresie wspomaganie decyzji może być poszerzona o analizę wrażliwości oraz GAIA opartą na wizualizacji dostępną od wersji PROMETHEE IV. GAIA jest szczególnie użyteczna w zagadnieniach grupowego wspomaganie decyzji przy zastosowaniu PROMETHEE GDSS [Morais, de Almeida 2007].

W literaturze przedmiotu istnieje grupa mniej popularnych metod, które oparte są na pomysle zaczerpniętym z metod ELECTRE. Z Piotrowski (2009) przytacza za [Martel, Matarazzo 2005] metody takie jak: QUALIFLEX, REGI-ME, ORESTE, ARGUS, EVAMIX, TACTIC, MELCHIOR. Nieco odmienną metodologią bazującą na relacji przewyższania jest PCCA (ang. *Pairwise Criterion Comparison Approach*). W ramach tego podejścia opracowano szereg metod, m.in.: MAP PAC, PRAGMA, IDRA, PACMAN [Martel, Matarazzo 2005].

Istnieją nieliczne propozycje literaturowe opisujące tworzenie podejść hybrydowych, które łączą zastosowanie kilku metod do rozwiązania problemu decyzyjnego. Zastosowanie procedury AHP oraz PROMETHEE do wyboru strategii outsourcingu systemu informatycznego przedstawiono w pracy [Wang, Yang 2007]. Autorzy najpierw zdekomponowali problem do postaci wielopoziomowej hierarchii (AHP), następnie zastosowali metodę PROMETHEE do sporządzenia rankingów wariantów decyzyjnych z punktu widzenia każdego kryterium. Podobne połączenie metody TOPSIS z metodą AHP proponują R. Rao i J. Davim (2008). AHP w tym duecie wspiera proces decyzyjny efektywną procedurą odkrywania względnych ważności wielu różnych atrybutów pod kątem zdefiniowanego celu. W pracy [De Almeida 2007] przedstawiono praktyczne połączenie modelu relacyjnego (metoda ELECTRE) z modelem funkcjonalnym (metoda MAUT). W badaniu dla każdego celu podlegającym maksymalizacji utworzono odrębną funkcję użyteczności. Następnie obliczone wartości tych funkcji wykorzystano w procedurze decyzyjnej ELECTRE. Kolejne interesujące podejście łączące metodę PROMETHEE II oraz programowanie liniowe (PL) przedstawiono w pracy [Brans, Mareschal 2005]. Uzyskany na wyjściu metody PROMETHEE II ranking wraz z tzw. strumieniami netto został wykorzystywany do konstrukcji binarnego zadania PL z ograniczeniami. Rezultatem optymalizacji tego matematycznego układu jest zbiór alternatyw, które spełniają warunki ograniczające i zapewniają maksymalną wartość przepływu strumienia.

FUNKCJONALNOŚĆ I INTEGRACJA WYBRANYCH METOD WWD W SYSTEMIE KLASY DSS

Dobór metody wielokryterialnego wspomaganie decyzji (WWD) do konkretnego problemu determinowany jest przez określony zbiór parametrów. A. Guitouni w pracy [Guitouni, Martel 1998] oraz [Guitouni i in. 1998] określił dwa zestawy takich danych, w postaci warunków koniecznych do tego aby możliwe było zastosowanie określonej metody. Jednak w obydwu podejściach nie rozstrzyga się, które z badanych metod lepiej a które gorzej odwzorowują daną sytuację decyzyjną. W pracy [Piotrowski 2009] uzupełniono tę lukę wprowadzając aspekty trafności dopasowania metody do danej sytuacji decyzyjnej, która postrzegana jest jako relacja przyczynowo-skutkowa świata rzeczywistego pomiędzy zestawem danych opisujących możliwe decyzje a konsekwencją wdrożenia jednej z nich.

Wybór metod WWD z punktu widzenia budowy informatycznego systemu wspomaganie decyzji (systemu klasy DSS), który ma być stosowany do rozwiązywania pewnej klasy problemów zaistniałych w różnych sytuacjach decyzyjnych jest zadaniem o szerszej perspektywie. Jego budowa koncentruje się na integracji metod ilościowych dla (wokół) większej gamy zastosowań. Można tego dokonać przy pomocy nowoczesnych technologii informacyjnych, budując

rozwiązanie o otwartej, elastycznej i zintegrowanej architekturze, określanej mianem platformy informatycznej (lub platformy internetowej). Podstawą takiego systemu jest optymalna organizacja struktur informacyjnych dla opisu różnych sytuacji decyzyjnych. Optymalna z punktu widzenia zakresu wejść informacyjnych integrowanych metod. Poszukuje się metody (lub multimetody) o *największym potencjale informacyjnym* (nośności informacyjnej). Założono, że metoda powinna w wysokim stopniu odwzorować rzeczywiste problemy decyzyjne, tak aby raz przygotowany na jej wejście zbiór danych numerycznych lub lingwistycznych posłużył do dalszych dociekań decydenta i umożliwił zastosowanie innych (np. komplementarnych) metod w jednym systemie informatycznym, będącym narzędziem do poszukiwania rozwiązań najlepszych.

Użycie metod ilościowych i techniki komputerowej wymaga systemowego podejścia do rozwiązywania złożonych, wielokryterialnych, grupowych i wieloetapowych problemów decyzyjnych. W kontekście integracji metod ilościowych wraz z wiedzą wymaganą do ich obsługi w jednym systemie informatycznym *analiza systemowa* stwarza spójne, jednoznaczne i dające się zalgorytmizować ramy postępowania decyzyjnego. Poprawnie skonstruowane w jej toku modele, wyczerpująco opisujące rozpatrywany problem wyboru decyzji, mogą stanowić kompletne metaopisy (w uproszczeniu: szablony modeli matematycznych) w systemie informatycznym. Uzyskana metabaza modeli zawierająca kompleksowy opis struktur informacyjnych dla określonej klasy problemów decyzyjnych może stanowić z kolei podstawę dla integracji i stosowania wielu różnych metod. Metabaza jest elementem umożliwiającym zapewnienie integralności oraz spójności językowej oraz informacyjnej zintegrowanego i kompleksowego systemu informatycznego.

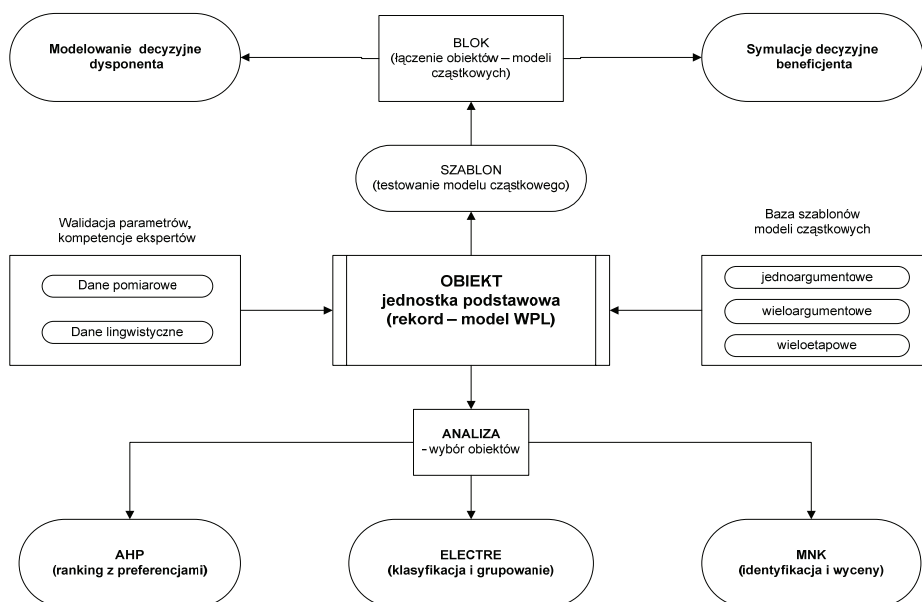
Większość sytuacji decyzyjnych, z uwagi na złożoność świata i wielowymiarowość ludzkiego postrzegania, rozważana jest z punktu widzenia wielu kryteriów. *Wielokryterialność* najszerszej ujmują metody analizy systemowej. To metody o bardzo wysokiej (teoretycznie nieograniczonej) nośności informacyjnej. Za przykład mogą posłużyć modele wielokryterialnego programowania liniowego (WPL). Pozwalają one wyczerpująco opisać sytuację decyzyjną poprzez możliwość definiowania wielu zmiennych decyzyjnych, ograniczeń i bilansów zasobów oraz mnóstwa cząstkowych funkcji celu reprezentujących kryteria wyboru i nadane im preferencje. Jeśli globalnym kryterium celu w takim układzie jest funkcja użyteczności, której łączna wartość osiąga ekstremum na zbiorze rozwiązań dopuszczalnych, to możliwe jest *uzyskiwanie rozwiązań najlepszych z możliwych*.

Problemem z zakresu badań operacyjnych jest przyjęcie odpowiedniej konstrukcji zadania decyzyjnego WPL. Nie może to być klasyczny model rozdziału zasobów o swobodnym układzie. Należy wprowadzić pewne rygory formalne w przyjętej koncepcji systemu DSS, mianowicie: wszystkie warianty decyzyjne (np. wnioski przetargowe) powinno rozpatrywać się w tych samych konstrukcjach – zwanych dalej *submodelami*. Jednostki te tworzą szerszą strukturę,

w której wyróżniono specyficzne ograniczenia dla każdego z obiektów, bilanse i ograniczenia wspólne dla wszystkich obiektów oraz blok kryteriów integrujący problem wyboru w konwencji zbliżonej do programowania celowego.

Najważniejszym momentem w konstrukcji rozpatrywanego systemu DSS jest utożsamianie submodelu matematycznego opisującego wariant decyzyjny, jako OBIEKTU – jednostki podstawowej (rys. 1), z rekordem w relacyjnej bazie danych. Każdy obiekt powstaje na bazie wcześniej zaprojektowanego szablonu (wzorca) i jest względnie odosobnionym modelem decyzyjnym WPL. Zastosowanie specyficznego, diagonalnego układu łączenia submodeli matematycznych [Becker 2008] usprawniło *proces masowej obsługi wariantów decyzyjnych (np. ofert) w postępowaniu optymalizacyjnym*. Zadanie główne (WPL) jest wielokrotnością zmiennych modelu cząstkowego przemnożoną przez np. liczbę wniosków (model cząstkowy może posiadać maksymalnie 99 zmiennych i być opisany 99 ograniczeniami oraz zbliżoną ilością kryteriów oceny), co przy kilkuset wnioskach tworzy zadanie o wyjątkowo dużych wymiarach. W ujęciu bazodanowym blok submodelu odpowiada rekordowi (o zmiennych długościach), a całe zadanie formalnie spełnia warunek relacyjnej bazy danych ze wszystkimi jej atrybutami. Kontrolę wprowadzania wariantów decyzyjnych sprawuje specjalny podsystem oparty na przyjętym modelu cząstkowym, umożliwiającym jego weryfikację (optymalizację) i wykrycie wszystkich potencjalnych zagrożeń dla przyszłego działania całego systemu DSS.

Rysunek 1. Model integracji metod w systemie informatycznym klasy DSS



Źródło: opracowanie własne

Baza szablonów modeli decyzyjnych (rys. 1) jest bardzo ważnym elementem systemu informatycznego pełniącym dwie użyteczne funkcje. Po pierwsze stanowi archiwum i zabezpieczenie dla wielu repozytoriów opisujących różne zadania decyzyjne rozpatrywane w systemie. Po drugie w fazie projektowania nowego szablonu można z niej dziedziczyć i rozwijać do własnych potrzeb wcześniej sprawdzone rozwiązania. Wśród szablonów można wyróżnić następujące kategorie: jednoargumentowe, w których wariant reprezentowany jest przez jedną zmienną decyzyjną (najczęściej typu binarnego), wieloargumentowe (złożone) oraz wieloetapowe, gdzie wartości określonych parametrów każdego submodelu są wynikiem zastosowania reguł decyzyjnych w etapach poprzedzających. *Wieloetapowość* jest rozumiana w systemie DSS jako spełnienie procedur formalnych (np. wynikających z przepisów prawa). Postępowanie decyzyjne może być podzielone na etap: a) formalnej kontroli wniosków, b) wstępnej kwalifikacji wniosków (np. weryfikacja zgodności celów), c) merytorycznej oceny wniosków (np. przez grupę ekspertów) i etap wyboru wniosków (np. uzyskanie konsensusu w podjęciu decyzji grupowej).

Istotnym ograniczeniem modeli WPL z punktu widzenia nośności informacyjnej – oprócz akceptowanego uproszczenia rzeczywistości za pomocą zależności o charakterze liniowym – jest prosta, wektorowa reprezentacja kryteriów oraz konieczność wyrażenia wszystkich parametrów modelu (wartości ocen, osądów, preferencji i ograniczeń) w formie liczbowej. Rozwiązania tych problemów należy upatrywać w podejściu hybrydowym, które połączy zastosowanie modeli WPL z innymi metodami. Na szczególną uwagę zasługuje metoda AHP, która umożliwia zdekomponowanie wektora kryteriów do postaci wielopoziomowej hierarchii, wspiera artykułowanie preferencji decydenta i walidację spójności wyrażanych osądów oraz wykorzystanie ich w procesie agregacji ocen. AHP może wspierać proces analizy systemowej efektywną procedurą odkrywania względnych ważności wielu różnych atrybutów pod kątem zdefiniowanego celu. Coraz częściej przydatnymi dla podjęcia decyzji okazują się być informacje wyrażone w formie słownej (lingwistycznej). Model decyzyjny WPL jest w istocie dwuwymiarową tablicą parametrów techniczno-ekonomicznych, w której parametry nastawialne mogą tworzyć formalne powiązania między np. grupami zmiennych (bilanse) lub też wymuszające wartości określonych stanów, np. zasobów pracy. W tej drugiej grupie, a szczególnie w parametrach cząstkowych funkcji celu, dane mogą pochodzić nie tylko z pomiarów numerycznych, ale mogą być uzasadnionymi ocenami (wycenami) lingwistycznymi. Podstawę dla konwersji ocen słownych w liczbowe (i na odwrót) stanowi metodyka tworzenia kwantyfikatorów lingwistycznych oparta na teorii zbiorów rozmytych. W pracy [Becker, Budziński i in. 2010] na przykładzie rozmytych modeli konceptów lingwistycznych przedstawiono budowę kwantyfikatorów o wieloelementowych słownikach oraz propozycję ich umiejscowienia w systemie informatycznym DSS.

Integracja metody WPL z wybranymi aspektami metody AHP i teorii rozmytej znacząco rozszerza zakres wejść informacyjnych i funkcjonalność systemu DSS. Oprócz elastycznej struktury modeli WPL – wyrażonej za pomocą dowolnej liczby zmiennych decyzyjnych, parametrów, warunków ograniczających, celów cząstkowych – opracowana *procedura walidacji* [Becker 2010-a] pozwala na wycenę każdego parametru. Można uogólnić, że za pomocą tej procedury przeprowadza się kontrolę wszystkich nastawialnych parametrów, które w szablonie submodeli są zadeklarowane w postaci symboli.

W projekcie systemu DSS założono, że parametry modeli decyzyjnych (zadania WPL) mogą być defragmentowane na podkryteria (składniki) i oceniane łącznie poprzez preferencje tych składników w ramach postępowania dialogowego, które stanowi jeden z etapów metody AHP. Oceny mogą być wyrażane za pomocą zdefiniowanego zbioru kwantyfikatorów lingwistycznych (np. wysoki, średni, niski, nie wiem), co umożliwia ich zamianę na wartości numeryczne wymagane w modelu matematycznym. Czynności związane z doбором i konstruowaniem profili interpretujących koncepty lingwistyczne muszą być wykonywane w systemie DSS w fazie projektowania tzw. arkusza walidacji (rys 1, walidacja parametrów). Zakres kontroli wartości parametrów modelu, które muszą mieścić się w dopuszczalnych przedziałach, został znacznie poszerzony. Walidacji podlega cały proces integracji źródeł wiedzy (ocen, osądów, oszacowań) wyrażanych przez oceniających za pomocą liczb lub wybranego zestawu konceptów lingwistycznych. W systemie dostępne są skale ciągle oraz skokowe z dowolną kafeterią opisową lub liczbową (punktową), które można dziedziczyć i dostosowywać do własnych potrzeb. Dla skal z kafeterią możliwa jest na przykład zmiana stopnia gradacji ocen, zmiana funkcji przynależności oraz budowa nowego słownika konceptów lingwistycznych. Należy nadmienić, że obliczona zwrotnie wartość parametru, będąca również wynikiem agregacji grupowych ocen kryteriów tego parametru, może być dodatkowo uwarunkowana dowolną, zdefiniowaną przez użytkownika regułą decyzyjną postaci „*jeżeli ... to...*” (np. gdy w modelu wymagana jest binarna wartość parametru: 0, 1).

Grupowe oceny to właściwość charakterystyczna dla pewnej kategorii zadań decyzyjnych, w których pozyskiwanie danych do interpretacji wielokryterialnej może cechować rozproszenie terytorialne. Przykładem takiego problemu jest wieloetapowa procedura rozpatrywania wniosków unijnych (przyznawania dotacji) z udziałem wielu grup ekspertów, recenzentów o różnych kompetencjach. W systemie DSS przyjęto założenie, że wartości parametrów zadania WPL mogą pochodzić z grupowych ocen wyrażanych za pomocą miar jakościowych, numerycznych lub w sposób mieszany. Ważnym problemem, który należy rozwiązać jest opracowanie algorytmu oceny kompetencji biorących udział w głosowaniach walidacyjnych ekspertów.

Hybrydowa architektura systemu, oparta na połączeniu wybranych metod i technik komputerowych, stanowi pragmatyczne rozwiązanie dla organizacji elastycznych struktur informacyjnych wspomagania decyzji. Jest ona również

podstawą do integracji wielu metod WWD, które mogą być stosowane równolegle, w ramach ustalonej struktury informacyjnej (szablon submodelu) i na tych samych danych. W pracy [Becker 2010-b], dotyczącej integracji metod w prototypowej wersji systemu DSS, zaprezentowano wykorzystanie metod: WPL, AHP, zbiorów przybliżonych oraz MNK na jednym przykładzie (zestawie danych numerycznych i lingwistycznych).

Funkcjonalność metody WPL wykorzystano w systemie DSS do problematyki wyboru (α). Opracowano dwie złożone funkcje, które umożliwiają wielokryterialną symulację wyboru wariantów i rozdziału zasobów (rys. 1). Pierwsza funkcja, *modelowanie decyzyjne dysponenta*, przeznaczona jest dla dysponenta zasobów, który może korygować zasadnicze parametry postępowania decyzyjnego (zasoby wspólne, poziom kryteriów, preferencje) i badać ich wpływ na uzyskane wyniki. Druga, *symulacje decyzyjne beneficjenta*, jest rozwiązaniem dedykowanym dla wnioskodawców postępowania decyzyjnego, które ma charakter *aukcji odwrotnej*. Funkcja ta jest zorganizowana w formie dialogu, gdzie strona (w optymalizacji nazwana umownie: ofertą lub wnioskiem) w celu wzrostu konkurencyjności ma możliwość korekty swoich parametrów i ponownego uczestnictwa w rachunku optymalizacyjnym (warunek elastyczności wariantów decyzyjnych). Istotnym elementem w procesie wieloparametrycznej licytacji ofert jest wiedza o przyczynie nie wejścia określonego bloku oferty (wniosku) do grupy rozwiązań najlepszych (Pareto-optymalnych). Autorską propozycją rozwiązania tego problemu jest zautomatyzowana procedura korygująca parametry wariantu decyzyjnego (oferty) [Becker 2010-b]. W przyszłości można ująć ją w postaci zautomatyzowanego agenta programowego, który reprezentuje interes gracza w iteracyjnym procesie wieloparametrycznej licytacji.

Występują sytuacje, w których problematyka wyboru (α) lub funkcje oparte na aparacie optymalizacyjnym WPL nie spełniają oczekiwań użytkownika, a rezultatem ma być uporządkowanie wariantów od najlepszego do najgorszego (problematyka γ) lub ich pogrupowanie (problematyka β). W takim przypadku system powinien dysponować odpowiednimi metodami, które wykorzystają zapisane w bazie zadania WPL niezbędne dane (np. wektor kryteriów głównych, podkryteriów i preferencji, reguły walidacji danych, profile skal lingwistycznych). Do architektury systemu DSS (rys. 1) włączono algorytm metody AHP, Electre Tri oraz MNK. Integracja wybranych metod w systemie informatycznym nie jest przypadkowa. Przekłada się na wzrost użyteczności systemu, który jest z kolei wynikiem wykorzystania funkcjonalności każdej z metod w spójnym procesie wspomagania decyzji. Z każdym zadaniem decyzyjnym związany jest określony zbiór obiektów (wariantów decyzyjnych). Elastyczność funkcji wspomagania polega na możliwości wyboru obiektów spełniających określony zbiór warunków ograniczających (optymalizacja WPL), jednoczesnym ich uporządkowaniu (ranking AHP) oraz przyporządkowaniu do zdefiniowanych grup (grupowanie Electre Tri). W końcowej fazie możliwa jest analiza i wycena wrażliwości obiektów oraz identyfikacja przyczyn odrzucenia obiektów w procesie wyboru lub

zajęcia danej pozycji w rankingu. Funkcjonalności tę uzyskano wprowadzając do systemu analizę regresji wielorakiej, do szacowania parametrów której stosowana jest metoda najmniejszych kwadratów (MNK). Równanie regresji wykorzystano do oceny wrażliwości wyników rankingu na zmiany wartości parametrów kryterialnych.

ZAKOŃCZENIE

Opracowane podejście hybrydowe, łączące zastosowanie kilku metod i technik komputerowych (jak procedura walidacji parametrów modelu), stanowi optymalny układ organizacji struktur informacyjnych dla opisu różnych sytuacji decyzyjnych. Raz przygotowana struktura submodelu (szablon) wraz z wprowadzonym na jej podstawie zbiorem wariantów decyzyjnych, których atrybuty mogą być wyrażone za pomocą danych numerycznych i lingwistycznych, może posłużyć do dalszych dociekań decydenta i zastosowania innych (np. komplementarnych) metod. Architektura systemu DSS spełnia wymagania rozwiązania zorientowanego na modele, komunikację i grupowe wspomaganie decyzji. Modele są dostarczane użytkownikowi w postaci gotowych propozycji (szablonów) oraz narzędzi umożliwiających ich rozwijanie w kierunku własnych potrzeb. Elastyczne struktury informacyjne systemu DSS sprawiają, że jest on przygotowany do szybko zmieniających się potrzeby użytkowników. Stanowi jednolitą platformę informatyczną o otwartej architekturze. Platformę, która pozwala na różne konfiguracje składników tego układu, mianowicie: *dane* – różne typy numeryczne lub formy lingwistyczne, *modele* – proste (jednowektorowe), złożone (hierarchiczne), uwzględniające zbiór warunków ograniczających oraz wartości parametrów będące wynikiem zastosowania reguł decyzyjnych, *metody* – oparte na optymalizacji WPL, wieloatrybutowej teorii użyteczności (np. AHP, ANP, UTA) lub wykorzystujące relację przewyższania (np. ELECTRE, PROMETHEE), *wyniki* – dowolne graficzne formy prezentacji uzyskanych rezultatów wspomaganie decyzji.

BIBLIOGRAFIA

- Becker J. (2008) Architektura informatycznego systemu generowania wielokryterialnych rozwiązań decyzyjnych: (cz. 1) Koncepcja budowy modelu WPL oparta na niestandardowych zadaniach decyzyjnych, Seria IBS PAN: Badania Systemowe, Tom 64, Wyd. Instytut Badań Systemowych PAN & Polskie Towarzystwo Badań Operacyjnych i Systemowych, Warszawa.
- Becker J. (2010-a) Integracja źródeł wiedzy w modelowaniu zadań WPL na potrzeby systemów klasy DSS, Seria: Studia i Materiały Polskiego Stowarzyszenia Zarządzania Wiedzą nr 27, Wydawnictwo: BEL Studio Sp. z o. o., Bydgoszcz.
- Becker J. (2010-b) Integracja metod w informatycznym systemie wspomaganie decyzji DSS (rozwiązania autorskie), Kongres Badań Operacyjnych i Systemowych – 2010,

- Seria: Studia i Materiały Polskiego Stowarzyszenia Zarządzania Wiedzą nr 32, Wyd.: BEL Studio Sp. z o. o., Bydgoszcz.
- Becker J., Budziński R., Szarafińska M., Wąsikowska B. (2010) *Metodyka formułowania kwantyfikatorów lingwistycznych w systemach informatycznych zarządzania*, Kongres Badań Operacyjnych i Systemowych – 2010, Seria: Studia i Materiały Polskiego Stowarzyszenia Zarządzania Wiedzą nr 31, Wyd.: BEL Studio Sp. z o. o., Bydgoszcz.
- Bouyssou D., Roy B. (1993) *Aide multicritere a la decision: Methodes et cas*, „Economica”, Paris.
- Brans J., Mareschal B. (2005) *Promethee methods*, in: Figueira J., Greco S., Ehrgott M. (edit.), *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*, Chapter 5: 163–195, Springer Verlag, Boston, Dordrecht, London.
- Budziński R. (1988) *Modelowanie organizacji produkcji przedsiębiorstwa rolnego*, Rozprawy i Studia T. CVII, Wyd. Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin.
- Budziński R. (2001) *Metodologiczne aspekty systemowego przetwarzania danych ekonomiczno-finansowych w przedsiębiorstwie*, Monografia, Rozprawy i Studia T. (CDXLVI)372. Wydawnictwo Naukowe US w Szczecinie, Szczecin.
- Czerwiński Z. (1980) *Matematyka na usługach ekonomii*, PWN, Warszawa.
- De Almeida A.T. (2007) *Multicriteria decision model for outsourcing contracts selection based on utility function and ELECTRE method*, *Computers & Operations Research* 34.
- Dubois D., Prade H. (1982) *The use of Fuzzy Numbers in Decision Analysis*, w: Gupta, M.M. and Sanchez, E., *Fuzzy information and decision Processes*, North-Holland.
- Greco S., Matarazzo B., Słowiński R. (2001) *Rough sets theory for multicriteria decision analysis*, *European Journal of Operational Research* (129).
- Greco S., Matarazzo B., Słowiński R. (2002) *Axiomatization of utility, outranking and decision-rule preference models for multiple-criteria classification problems under partial inconsistency with the dominance principle*, „Control and Cybernetics”, vol.: 31/4, p: 1005-1035.
- Guitouni A., Martel J. (1998) *Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method*, *European Journal of Operational Research* 109, p. 501-521.
- Guitouni A., Martel J.-M., Vincke P., North P. B. (1998) *A Framework to Choose a Discrete Multicriterion Aggregation Procedure*, *Defence Research Establishment Valcatier (DREV)*.
- Hwang C.L., Youn K. (1981) *Multiple Attribute Decision Making - Methods and Application: A State of the Art Survey*, Springer-Verlag, New York.
- La Gauffre P., Haidar H., Poinard D. (2007) *A multicriteria decision support methodology for annual rehabilitation programs for water networks*. “Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering” 22, s. 478-488.
- Leclercq J.P. (1984) *Propositions d’extension de la notion de dominance en présence de relations d’ordre sur les pseudo-critères: MELCHIOR*, *Mathematical Social Sciences*, 8.
- Martel J., Matarazzo B. (2005) *Other outranking approaches*, in: Figueira J., Greco S., Ehrgott M. (edit.), *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*, pages 197-262, Springer Verlag, Boston, Dordrecht, London.
- Morais D. C., de Almeida A.T. (2007) *Group decision-making for leakage management strategy of water network*, *Resources, Conservation & Recycling*, No. 52, s. 441-459.
- Olson D.L. (1996) *Decision Aids for Selection Problems*, Springer-Verlag, New York.

- Peng Y., Wang G., Wang H. (2010) User preferences based software defect detection algorithms selection using MCDM, *Information Sciences*, doi:10.1016/j.ins.2010.04.019.
- Piotrowski Z. (2009) Algorytm doboru metod wielokryterialnych w środowisku niedoprecyzowania informacji preferencyjnej, Rozprawa doktorska, Wydział Informatyki ZUT w Szczecinie, Szczecin.
- Radośniński E. (2001) Systemy informatyczne w dynamicznej analizie decyzyjnej, PWN, Warszawa – Wrocław.
- Raiffa H. (1994) The prescriptive orientation of decision making: a synthesis of decision analysis, behavioral decision making, and game theory, in: Rois S. (ed.), *Decision theory and decision analysis, Trend and challenges*, Kluwer Academic Publishers, p. 3-13, Boston-Dordrecht-London.
- Rao R., Davim J. (2008) A decision-making framework model for material selection using a combined multiple attribute decision-making method, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 35, p. 751-760.
- Roy B. (1990) Wielokryterialne wspomaganie decyzji, WNT, Warszawa.
- Roy B. (1991) The outranking approach and the foundations of Electre methods, *Theory and decision* 31.
- Roy B., Słowiński R. (2008) Handing effects of reinforced preference and counter-veto in credibility of outranking. "European Journal of Operational Research", 188, s.186-187.
- Saaty T.L. (1980) *The analytic hierarchy process: Planning, priority setting, resource allocation*, McGraw-Hill International Book Co., New York.
- Saaty T.L. (2004) *The Analytic Hierarchy and Analytic Network Processes for the Measurement of Intangibles Criteria and for Decision-Making*, in: Figueira J., Greco S., Ehrgott M. (edit.), *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*, 67 page chapter, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Siskos, Y., Grigoroudis E., Matsatsinis N. (2005) UTA Methods, in: Figueira, J., Greco, S., Ehrgott, M. (Eds.), *State-of-Art of Multiple Criteria Decision Analysis*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 297-343.
- Słowiński R. (1984) Przegląd metod wielokryterialnego programowania liniowego, „Przegląd Statystyczny”, nr 3/4, Poznań.
- Słowiński R. (2007) Podejście regresji porządkowej do wielokryterialnego porządkowania wariantów decyzyjnych, w: Kulczycki P., Hryniewicz O., Kacprzyk J. (red.), *Techniki informacyjne w badaniach systemowych*, Wyd. Naukowo-Techniczne, Warszawa.
- Spronk, J., Steuer R.E., Zopounidis C. (2005) Multicriteria Decision Aid/Analysis in Finance, in: Figueira J., Greco S., Ehrgott M. (edit.), *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*, pages 799-857, Springer Verlag, Boston, Dordrecht.
- Stachowiak K. (2002) Wielokryterialna analiza decyzyjna w badaniach przestrzenno-ekonomicznych, w: Rogacki H. (red.), *Możliwości i ograniczenia zastosowań metod badawczych w geografii społeczno-ekonomicznej i gospodarce przestrzennej*, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, s.127-136, Poznań.
- Turban E., Aronson E.J. (1998) *Decision Support Systems and intelligent systems*, Prentice-Hall, Upper Saddle River.
- Wang J.-J., Yang D.-L. (2007) Using a hybrid multi-criteria decision aid method for information systems outsourcing, *Computers & Operations Research* 34, p. 3691-3700.

FUNCTIONAL ANALYSIS OF QUANTITATIVE METHODS FOR DECISION SUPPORT SYSTEM (PART 1)

Abstract: The article aims to present the topic of functional analysis of selected (popular) quantitative methods needed for construction of decision support system. The architecture of a DSS-class IT system had been subordinated to the analysis of all elements, which were thought to be important from the point of view of perceiving the final construction of the system. One should mention, that quantitative methods produce methodic bases, which allow for generating the best possible solutions, though they do not decide about the practical fitness for purpose of an IT system.

Key words: quantitative methods in decision support, multi-criteria decision methods, decision support system