

INTEGRACJA METODY AHP I ELECTRE TRI – ROZWIĄZANIA DECYZYJNE W SYSTEMIE DSS (CZĘŚĆ II)

Jarosław Becker

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

Streszczenie: W artykule skoncentrowano się na ukazaniu praktycznych aspektów prowadzonych badań naukowo-inżynierskich związanych z integracją metody AHP i ELECTRE TRI w informatycznym systemie wspomaganie decyzji. W architekturze systemu DSS ujęto algorytmy obu metod. Działają one na wspólnym zbiorze obiektów (wariantów decyzyjnych), które można uporządkować (AHP) oraz przydzielić do zdefiniowanych grup (ELECTRE TRI). W części końcowej opracowania zilustrowano funkcjonalność metod w formie studium przypadku, generując rozwiązania decyzyjne przy użyciu opracowanego prototypu DSS 2.0.

Słowa kluczowe: metody ilościowe we wspomaganie decyzji, wielokryterialna analiza decyzyjna, systemy wspomaganie decyzji

WSTĘP

Artykuł jest kontynuacją badań obejmujących przegląd i analizę funkcjonalną metod ilościowych z obszaru WAD (Wielokryterialnej Analizy Decyzyjnej) na potrzeby budowy informatycznego systemu wspomaganie decyzji.¹ Dyskusja dotyczyła funkcjonalności metod w systemie informatycznym, w aspekcie rozwiązywania złożonych (wielokryterialnych, wieloetapowych, grupowych, iteracyjnych i masowych) problemów decyzyjnych związanych z wyborem, uporządkowaniem i grupowaniem jednorodnych wariantów decyzyjnych (np. ujętych w formie wniosków, ofert). Autor uargumentował wybór metody WPL jako metody bazowej (charakteryzującej się dużą nośnością informacyjną), która posłużyła za platformę do definiowania problemów

¹ Artykuł opublikowano w zeszłorocznym wydaniu Czasopisma jako część I.

decyzyjnych oraz organizacji danych wejściowych, niezbędnych do zintegrowania i zastosowania komplementarnych metod (m. in. AHP i ELECTRE TRI) w systemie informatycznym.

Celem artykułu (część II) jest ukazanie inżynierskiej strony realizowanych badań nad integracją metody AHP i ELECTRE TRI w informatycznym systemie klasy DSS (wersja DSS 2.0). Obszerne omówienie wspomnianych metod zawierają pozycje: [Saaty 1980], [Saaty 2004], [La Gauffre i in. 2007], [Roy, Słowiński 2008]. W pracy skupiono się na modelu integracji danych wejściowych oraz procedurach ich preparacji. Funkcjonalność uzyskanych rozwiązań prototypowania zilustrowano na praktycznym przykładzie analizy decyzyjnej wniosków, które składają rolnicy starający się o pomoc finansową na działalność związaną z produkcją mleka. Badanie zrealizowano w formie studium przypadku na danych teoretycznych. Zachowano założenia formalnej procedury podziału środków finansowych, które ustanowiono w ramach działania „Modernizacja gospodarstw rolnych” objętego Programem Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2007-2013.

IDEA INTEGRACJI METOD AHP I ELECTRE TRI W SYSTEMIE INFORMATYCZNYM WSPOMAGANIA DECYZJI

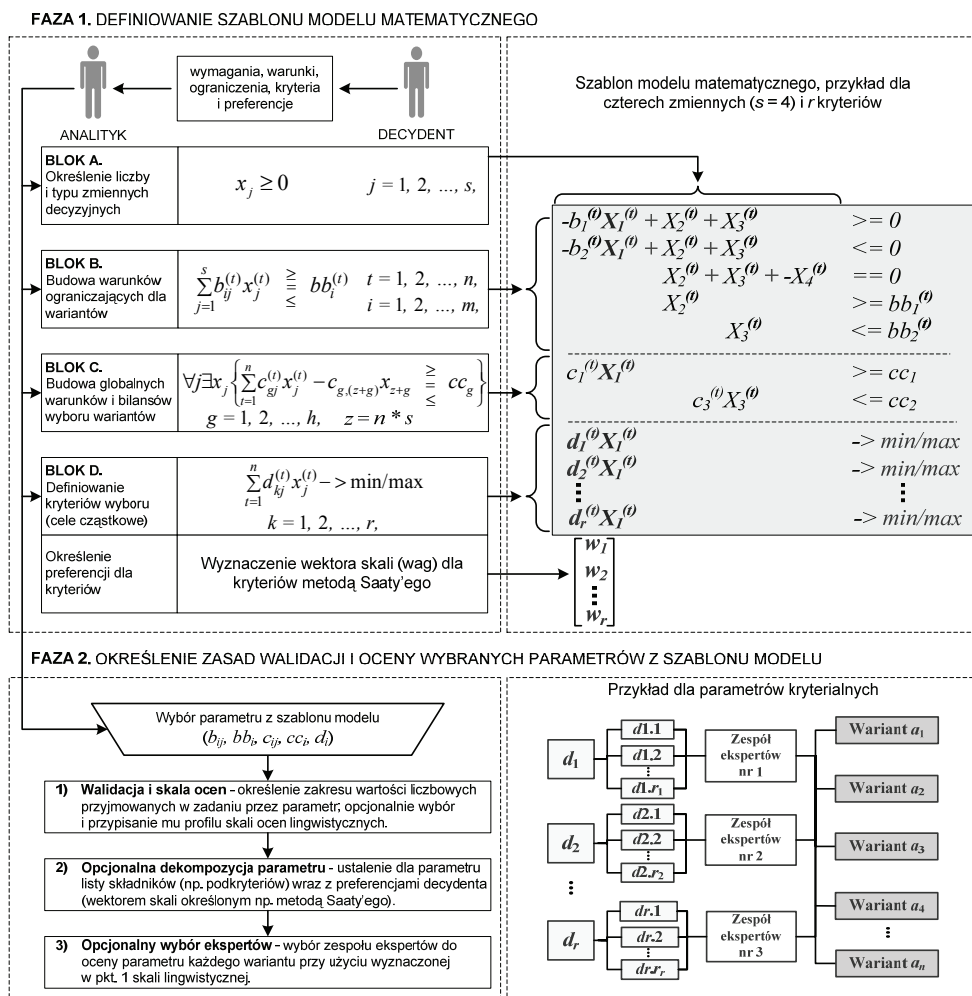
W literaturze można zauważyć wiele odwołań do pojęcia „procesy integracyjne”. F. B. Vernadat (1996) rozumie ten termin jako, cyt.: „*połączenie niejednorodnych składników w całość tak, że współdziałając w ramach tej całości, wzmagają swoją skuteczność*”. Integracja metod w informatycznym systemie wspomaganie decyzji polega najczęściej na wykorzystaniu ich funkcjonalności w ramach spójnego, logicznego i kompleksowego procesu. Uzyskany w ten sposób efekt synergii objawia się zmniejszeniem obszaru niepewności podejmowanych decyzji oraz wzrostem użytecznych informacji (podpowiedzi, sugestii działania).

W systemie DSS założono, że z każdym zadaniem decyzyjnym związany jest zbiór obiektów (wariantów decyzyjnych). Wspomaganie koncentruje się na możliwości wyboru tych obiektów (optymalizacja WPL), ich uporządkowaniu (ranking AHP) oraz przyporządkowaniu do zdefiniowanych klas (grupowanie ELECTRE TRI). Trzonem integracji metod w systemie DSS jest zunifikowana, blokowa struktura, stosowana do definiowania różnej postaci szablonów modeli matematycznych i pozwalająca na wyczerpujący opis (zbiór metadanych) rozpatrywanych, jednorodnych obiektów oraz kryteria, preferencje i reguły ich analizy. W wymiarze inżynierskim jest to platforma służąca do określenia struktur informacyjnych bazy modeli WPL (nazwana umownie platformą WPL, rys. 1), która narzuca pewien schemat postępowania podczas budowy modelu oraz dostarcza mechanizmy kontroli jego spójności i sprawności działania (badanie na danych testujących, czy projektowany układ dla zadania decyzyjnego nie jest sprzeczny). Powstały w efekcie projektowania na platformie WPL szablon modelu

matematycznego pozwala na dostarczenie na wejścia integrowanych metod (WPL, AHP i ELECTRE TRI; rys. 1, faza 1):

- zbioru warunków ograniczających bloku B, które charakteryzują wewnętrzną strukturę każdego t -tego wariantu za pomocą określonej w bloku A liczbą s zmiennych decyzyjnych x_j (typu: rzeczywistego, całkowitego lub binarnego), parametrów $b_{ij}^{(t)}$ oraz wartości ograniczających $bb_i^{(t)}$,

Rysunek 1. Formalizacja zadania decyzyjnego w systemie DSS (platforma WPL)



Źródło: opracowanie własne

- zbioru warunków ograniczających i bilansów bloku C, które wyznaczają zasady wyboru wariantów, np. łączną liczbę wybieranych wariantów lub inną graniczną wartość cc_g , dla sumy iloczynu wybranej zmiennej x_j i parametru $c_{gj}^{(t)}$,
- wektora wartości kryteriów (reprezentowany w bloku D jako zbiór r preferowanych celów cząstkowych) oraz odpowiadający mu wektor skali (wag w_k dla każdego k -tego celu cząstkowego, $k = 1, 2, \dots, r$) wyznaczany przy użyciu metody Saaty'ego.

Wprowadzona w systemie DSS procedura walidacji parametrów modelu [Becker 2010] pozwala na kontrolę i wycenę każdego z nich, uwzględniając określenie przedziału dopuszczalnych wartości dla parametru (np. $\langle d_{k,min}, d_{k,max} \rangle$, $k = 1, 2, \dots, r$) oraz możliwość wybór profilu skali ocen dla parametru (rys. 1, faza 2). Skali bazującej na określonej funkcji przynależności, o wybranej z zakresu od 2 do 11 liczbie stopni i indywidualnie określonej kafeterii (zbiorze konceptów lingwistycznych, np. mało, średnio, dużo). Istnieje również możliwość dekompozycji parametru na składniki oraz wybór zespołu ekspertów oceniających dany parametr (lub jego składowe) w każdym wariancie przy użyciu skali punktowej lub lingwistycznej.

Opracowany system DSS to rozwiązanie hybrydowe, które łączy techniki komputerowego przetwarzania danych z algorytmami różnych metod wspomaganie decyzji. Na podstawie przygotowanej struktury informacyjnej (szablonu modelu matematycznego) dla zadania decyzyjnego wprowadzany jest do systemu zbiór jednorodnych obiektów (wariantów decyzyjnych: a_1, a_2, \dots, a_n). Każdy wariant to zapis (rekord) w tabeli relacyjnej bazy danych i jednocześnie autonomiczny model matematyczny, inaczej sformalizowana postać zadania programowania linowego, które posiada rozwiązanie (rys. 2).

Optymalizacyjna procedura wyboru najlepszych, z punktu widzenia określonych preferencji, obiektów zakłada ulokowanie wskazanych rekordów jako submodeli w zadaniu głównym (rys. 2, krok A1). Z budową zadania związany jest zapis cząstkowych funkcji celu w postaci równań (blok D), ich normalizacja i ujęcie w funkcji użyteczności [Becker 2008]. Rywalizacja wariantów decyzyjnych w zadaniu głównym zmierza w kierunku osiągnięcia ustalonego przez decydenta wzorca preferencji, rozumianego jako optimum funkcji użyteczności. Niech $G(d^*)$ jest nadrzędną funkcją celu. W zbiorze decyzji dopuszczalnych D^* określony jest zbiór funkcji cząstkowych f_1, f_2, \dots, f_r , które przyjmują wartości dodatnie. W zadaniu maksymalizuje się sumę wskaźników jakości, które przyjmują wartości ujemne w przypadku, gdy cząstkowa funkcja celu f_k dąży do minimum i nieujemne w sytuacji przeciwnej ($f_k \rightarrow max$). Wynikają one ze sprowadzenia syntezy preferowanych równań celów cząstkowych (rys. 2, krok A2)

$$\sum_{t=1}^n d_{kj}^{(t)} x_j^{(t)} - x_{(z+h+k)} = 0 \quad (1)$$

do postaci funkcji celu (rys. 2, krok A4)

$$G(d^*) = \sum_{k=1}^r f_k(d^*) = \sum_{k=1}^r w_k u_k x_{(z+h+k)} \rightarrow \text{maksimum} . \quad (2)$$

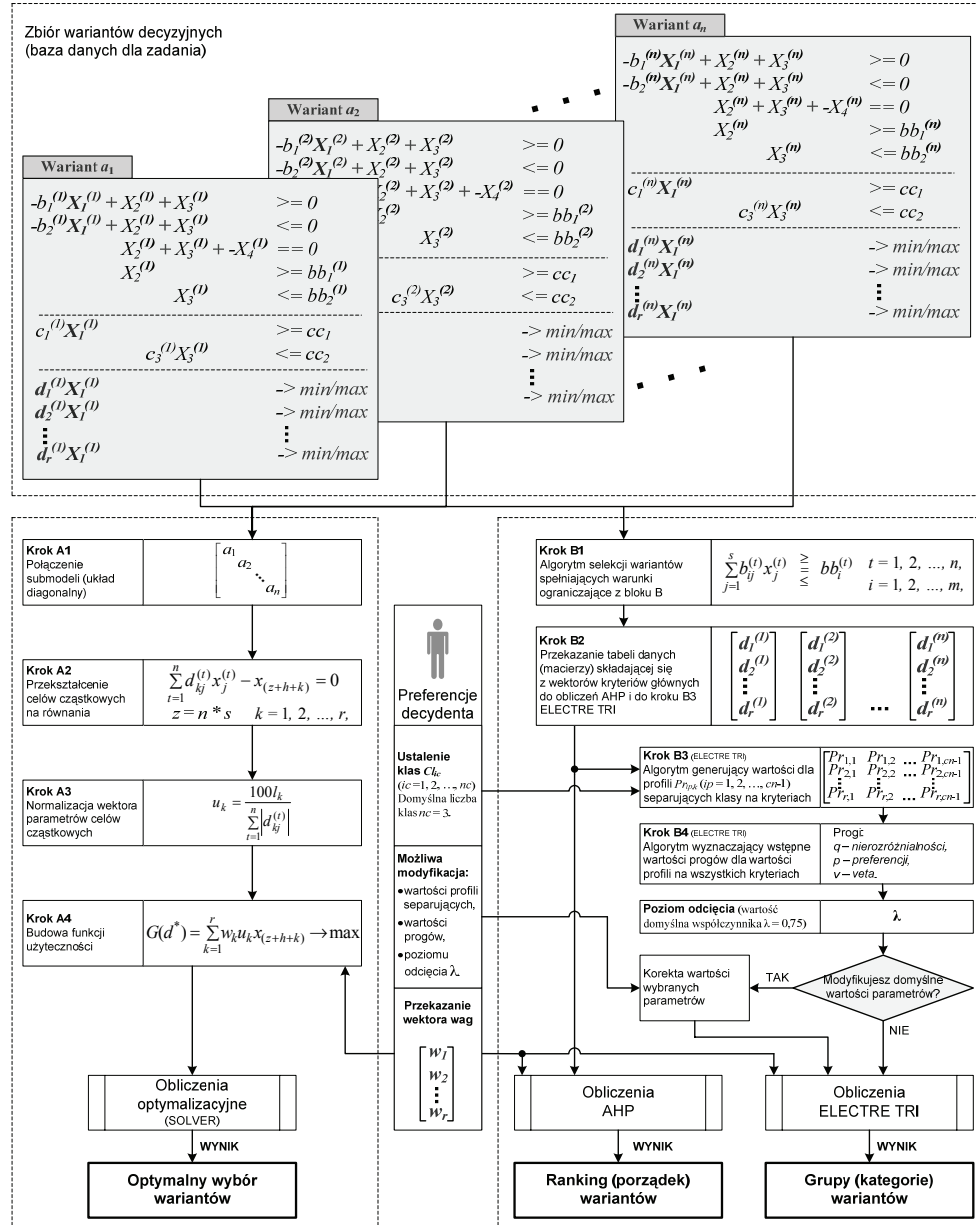
Przy czym w_1, w_2, \dots, w_r są współczynnikami wagowymi (preferencjami decydenta) przykładanymi do osiągnięcia różnych celów. Natomiast u_k są parametrami technicznymi [Budziński 2001] sprowadzającymi k -te cele cząstkowe do ich jednakowej rangi w obliczeniach optymalizacyjnych (rys. 2, krok A3). Suma wartości składników funkcji użyteczności (globalnego kryterium celu) osiąga ekstremum na zbiorze rozwiązań dopuszczalnych (wariantów decyzyjnych), co umożliwia znalezienie rozwiązania najlepszego z możliwych.

W konstrukcji systemu DSS założono, że integrowane metody AHP i ELECTRE TRI będą funkcjonować na wspólnym zbiorze danych, wariantów decyzyjnych (rys. 2, baza danych dla zadania). Spełnienie tego wymogu skłoniło do opracowania odpowiedniej procedury (w tym algorytmów; rys. 2, krok B1-B4) preparacji danych wejściowych dla obu metod. Korzystnym efektem tego podejścia (integracji metod na platformie WPL) jest poszerzenie zakresu funkcjonalności obu procedur, szeregowania (AHP) i grupowania (ELECTRE TRI), o algorytm selekcji wariantów spełniających warunki ograniczające z bloku B. Warto w tym miejscu przypomnieć, że w optymalizacyjnej procedurze wyboru (rys 2., krok A1-A4) warunki te, jako składnik submodeli matematycznych, zawsze są lokowane w modelu głównym i rozpatrywane łącznie jako zadanie programowania liniowego. Formalnie metody AHP i ELECTRE TRI tego typu warunków nie uwzględniają. Dlatego postanowiono, żeby na etapie preselekcji wariantów (rys. 2., krok B1) użytkownik systemu DSS mógł sam o tym zdecydować.

Kolejny algorytm systemu (rys. 2, krok B2) dla wyznaczonego zbioru wariantów, z poszczególnych rekordów pobiera wektory kryteriów, tworzy tabelę (macierz), która jest źródłem danych dla obliczeń AHP i kolejnego etapu preparacji danych wejściowych ELECTRE TRI (krok B3). Do uzyskania rankingu wariantów system pobiera jeszcze wektor współczynników wagowych $\{w_1, w_2, \dots, w_r\}$, które zostały określone przez decydenta na wstępie, podczas definiowania szablonu modelu matematycznego (rys. 1, blok D). Natomiast do obliczeń ELECTRE TRI preferencje trafiają dopiero po wstępnym wyznaczeniu przez system niezbędnych wartości parametrów: klas Cl_{ic} ($ic = 1, 2, \dots, nc$), profili Pr_{ip} ($ip = 1, 2, \dots, nc-1$), progów (q – nierozróżnialności, p – preferencji, v – weta) i wskaźnika odcięcia $\lambda \in (0,5; 1)$; który wyznacza poziom wiarygodności dla twierdzenia dotyczącego relacji przewyższania.

Przy pierwszym uruchomieniu procedury grupowania generowany jest automatycznie (bez ingerencji użytkownika) domyślny podział wariantów dla ustalonych z góry wartości parametrów. Założono, że będzie to podział na 3 klasy ($nc = 3$), przy współczynniku odcięcia $\lambda = 0,76$.

Rysunek 2. Idea integracji metod w systemie DSS



Źródło: opracowanie własne

W kroku B3 (rys. 2) algorytm generuje wartości dla profili Pr_{ip} separujących klasy na kryteriach d_k ($k = 1, 2, \dots, r$). W działaniu tym wykorzystuje się podsystem profili skal punktowych i lingwistycznych stosowany do oceny

parametrów modelu matematycznego (rys. 1, faza 2). System dobiera skalę, której liczba stopni (τ) odpowiada wyznaczonej liczbie klas (nc). Następnie wykorzystuje jej wartości do podziału zakresu $\langle d_{k,min}, d_{k,max} \rangle$ na odcinki, których długości zależą od wybranej charakterystyki. W ustawieniach domyślnych systemu DSS wybrano funkcję liniową, która daje podział na odcinki o tej samej długości. Krańce odcinków to wstępne wartości profili $Pr_{k,ip}$ na k -tym kryterium. Wartości te można modyfikować, np. wygenerować na podstawie charakterystyki nieliniowej i jeśli zachodzi taka potrzeba skorygować każdą z osobna. Rezultatem generowania profili dla każdego kryterium jest macierz.

W kolejnym etapie (rys. 2, krok B4) dla każdej wartości granicznej $Pr_{k,ip}$ system wyznacza wstępne wielkości trzech progów według prostej zależności liniowej $\{q_{k,ip} = \alpha_q Pr_{k,ip}, p_{k,ip} = \alpha_p Pr_{k,ip}, v_{k,ip} = \alpha_v Pr_{k,ip}\}$, gdzie $0 < \alpha_q < \alpha_p < \alpha_v < 1$. Przy pierwszym uruchomieniu procedury grupowania progi są generowane dla ustalonych wartości umownych: $\alpha_q = 0,03$; $\alpha_p = 0,20$; $\alpha_v = 0,40$. Następnie, podobnie jak w przypadku profili, system pozwala użytkownikowi skorygować wartości parametrów $\{\alpha_q, \alpha_p, \alpha_v\}$ oraz poszczególnych progów $\{q_{k,ip}, p_{k,ip}, v_{k,ip}\}$.

STUDIUM ROZWIĄZAŃ DECYZYJNYCH W SYSTEMIE DSS

Funkcjonalność przedstawionych rozwiązań modelowych integracji metod w informatycznym systemie DSS można zilustrować na praktycznym przykładzie. Wariantami decyzyjnymi w zadaniu są wnioski, które składają rolnicy starający się o pomoc finansową na działalność związaną z produkcją mleka w ramach działania „Modernizacja gospodarstw rolnych” objętego Programem Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2007-2013. Problem decyzyjny sprowadza się do oceny wniosków złożonych o dofinansowanie i dokonanie wyboru tych, które z punktu widzenia określonych kryteriów i preferencji dotacjodawcy są najlepsze. W badaniu zachowano założenia formalnej procedury podziału środków finansowych. Na podstawie oryginalnego szablonu dokumentu określono dane teoretyczne dla 10 wniosków.

Osoby ubiegające się o dotację na produkcję mleka muszą spełniać szereg warunków, np.: należy być właścicielem gospodarstwa rolnego zarejestrowanym w ewidencji producentów gospodarstw rolnych, nie przekraczać wieku emerytalnego, w przypadku zajmowania się produkcją mleka należy taką działalność prowadzić minimum 1 rok, z kolei powierzchnia gospodarstwa nie może być mniejsza niż 1 ha i nie większa niż 300 ha. Poza tym beneficjent musi mieć już przyznaną minimalną kwotę mleczną w wysokości 20 tys. kg. Wielkość ekonomiczna gospodarstwa powinna wynosić min 4 ESU (europejska jednostka wielkości – określa dochodowość (wielkość, siłę) gospodarstw rolnych; 1 ESU = 1200 EUR). W 2011 roku graniczna kwota dofinansowania produkcji mleka przypadająca na jednego beneficjenta (wniosek) wynosiła 300 000 zł.

Tabela 1. Warunki i kryteria wyboru wniosków

Parametr	Opis
BLOK B. WARUNKI BINARNE DLA WNIOSKU (0 - nie, 1 - tak)	
bb1	Powierzchnia gospodarstwa (grunty rolne) mieści się w przedziale od 1 do 300 ha?
bb2	Beneficjent posiada wykształcenie rolnicze lub staż rolniczy?
bb3	Kwota mleczna wynosi co najmniej 20 tys kg?
bb4	Wielkość ekonomiczna gospodarstwa wynosi co najmniej 4 ESU?
bb5	Wiek beneficjenta (kobiety od 18 do 60 lat; mężczyźni od 18 do 65 lat)?
bb6	Beneficjent posiada numeru ident. w ewidencji producentów lub gospodarstw rolnych?
bb7	Beneficjent jest obywatelem kraju Uni Europejskiej?
bb8	Produkcji mleka trwa więcej niż 1 rok?
bb9	Kwota zapotrzebowania nie przekracza 300 tys zł?
bb10	Wniosek złożony w terminie?
bb11	Wniosek wypełniony zgodnie z wymaganiami formalnymi (druk, rubryki, podpisy)?
bb12	Załączono komplet dokumentów?
bb13	Biznes plan poprawny?
bb14	Operacja realizowana na terenie Polski?
bb15	Wnioskodawca mieszka na terenie Polski?
BLOK C. WARUNKI OGRANICZAJĄCE DLA ZADANIA	
c1	Kwota dotacji celowej (zapotrzebowanie w tys. zł)
cc1	Pula środków finansowych przeznaczonych na dotacje (tys. zł)
cc2	Ograniczenie liczby wniosków (szt.)
BLOK D. KRYTERIA WYBORU WNIOSKÓW	
d01	Innowacyjność operacji (0 pkt - mała, 1 pkt - przeciętna, 2 pkt - znacząca)
d02	Powierzchnia gospodarstwa nie przekracza średniej wartości powierzchni gospodarstwa w danym regionie (0 pkt - przekracza, 1 pkt - nie przekracza)
d03	Wpływ operacji na środowisko naturalne (0 pkt - duży wpływ, 1 pkt - umiarkowany wpływ, 2 pkt - bark wpływu)
d04	Wysokość wnioskowanej kwoty (250 tys zł do 300 tys zł = 0 pkt, 200 tys zł do 249 tys zł = 3 pkt, mniej niż 200 tys zł = 5 pkt)
d05	Operacja poprawia komfort życia zwierząt (0 pkt = nie, 1 pkt = tak)
d06	Operacja podniesie jakość mleka (0 pkt - nie, 1 pkt - umiarkowanie, 2 pkt - znacznie)
d07	Beneficjent ma mniej niż 40 lat (0 pkt - nie, 1 pkt - tak)
d08	Staż pracy w rolnictwie przy produkcji mleka (3 pkt - 1 rok, 2 pkt - 2 do 4 lat, 1 pkt - 5 do 7 lat, 0 pkt - powyżej 8 lat)
d09	Ocena punktowa wielkości ekonomicznej gospodarstwa ESU (0-10 pkt. - rys. 5a)
d10	Ocena punktowa wielkości kwoty mlecznej (0-10 pkt. - rys. 5b)

Źródło: opracowanie własne na podstawie Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2007-2013, działanie „Modernizacja gospodarstw rolnych” (<http://www.minrol.gov.pl>).

Wnioski oceniane są w dwóch etapach. W pierwszej kolejności poddawane są kontroli formalnej, która polega sprawdzeniu m. in. czy: wniosek został wypełniony prawidłowo i na właściwym formularzu, podane wartości parametrów mieszczą się w wyznaczonych przedziałach, został złożony na czas i jest załączony komplet dokumentów. Pełną listę warunków binarnych zawiera tabela 1 (blok B), niespełnienie któregokolwiek skutkuje odrzuceniem wniosku. W takim przypadku w formalnej procedurze przewidziano możliwość poprawienia dokumentu w określonym czasie. Przygotowany w systemie DSS szablon modelu

matematycznego dla rozpatrywanego zadania wyboru wniosków jest nieskomplikowany. Założono, że każdy wniosek będzie reprezentowany przez jedną zmienną typu binarnego (oznaczenie 'X01', rys. 3). Warunki ograniczające bloku B to zbiór prostych nierówności $\{X01 \leq bb1, X01 \leq bb2, \dots, X01 \leq bb15\}$, w których parametry z prawej strony znaku relacji przyjmują wartości binarne. Część z nich, jak: $bb1, bb3, bb4, bb5, bb8$ i $bb9$, wyliczana jest automatycznie przez systemy DSS na podstawie podanej w formularzu wartości bezwzględnej (ocn) oraz odpowiednio przygotowanej reguły (np. $if(ocn_1 \geq 1 \text{ and } ocn_1 \leq 300, bb1 := 1, bb1 := 0)$). Pozostał wprowadzane są do systemu przy użyciu binarnej skali ocen ('tak' $\rightarrow bb1 := 1$; 'nie' $\rightarrow bb1 := 0$). Jeżeli wszystkie warunki ograniczające z bloku B są spełnione to wniosek przechodzi do kolejnego etapu, w którym jest poddawany ocenie merytorycznej.

Rysunek 3. Podgląd szablonu modelu matematycznego zdefiniowanego dla zadania wyboru wniosków

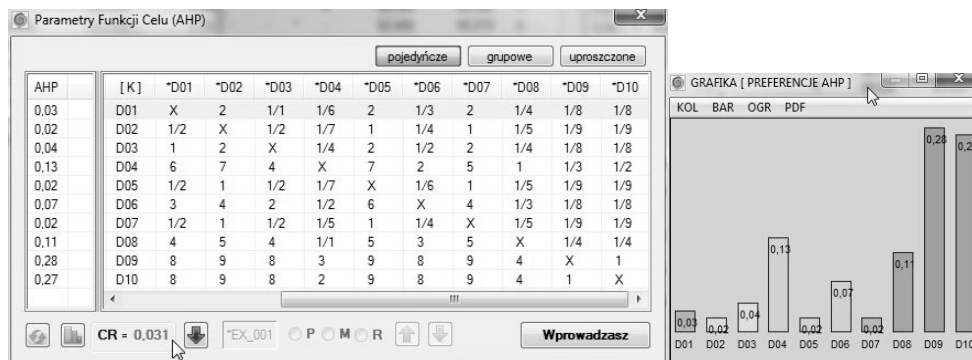
IND	BILANSE	X01_Wybór	F01...	F02...	F03...	F04...	F05...	F06...	F07...	F08...	F09...	F10...	REL	OGRAN
B01	Powierzchnia gospodarstwa (gr...	1,000											<=	bb1
B02	Wykształcenie rolnicze (lub sta	1,000											<=	bb2
B03	Minimalna kwota mleczna (20 tys	1,000											<=	bb3
B04	Minimalna wielkość ekonomicz...	1,000											<=	bb4
B05	Wiek beneficjenta (M: 18-65; K:	1,000											<=	bb5
B06	Posiadanie nr id. w ew. produce	1,000											<=	bb6
B07	Beneficjent jest obywatelem kra	1,000											<=	bb7
B08	Prowadzi gosp. rolne (produkcję	1,000											<=	bb8
B09	Kwota zapotrzebowania nie prz...	1,000											<=	bb9
B10	Wniosek złożony w terminie	1,000											<=	bb10
B11	Wniosek wypełniony zgodnie z...	1,000											<=	bb11
B12	Załączono komplet dokumentó...	1,000											<=	bb12
B13	Biznes plan poprawny	1,000											<=	bb13
B14	Operacja realizowana na terenie	1,000											<=	bb14
B15	Wnioskodawca mieszka na ter...	1,000											<=	bb15
C01	Kwota zapotrzebowania	c1											<=	cc1
C02	Liczba wniosków	1,000											<=	cc2
D01	Innowacyjność operacji	d1	-n1 ...										==	0
D02	Powierzchnia gosp. nie przekrac	d2		-n2 ...									==	0
D03	Wpływy operacji na środowisko ...	d3			-n3 ...								==	0
D04	Wysokość wnioskowanej kwoty ...	d4				-n4 ...							==	0
D05	Operacja poprawia komfort życia z	d5					-n5 ...						==	0
D06	Operacja podniesie jakość mleka	d6						-n6 ...					==	0
D07	Beneficjent ma mniej niż 40 lat	d7							-n7 ...				==	0
D08	Staż pracy w rolnictwie przy pro	d8								-n8 ...			==	0
D09	Ocena Wiekości ekonomicznej ...	d9									-n9 ...		==	0
D10	Ocena pkt. na podst. wysokości k	d10										-n1...	==	0
CEL	FUNKCJA WPL		a01...	a02...	a03...	a04...	a05...	a06...	a07...	a08...	a09...	a10...	=>	MAX

Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem systemu DSS 2.0.

W oryginalnej procedurze ocena merytoryczna wniosku wyrażona jest sumą punktów uzyskanych na poszczególnych kryteriach. Ilość zdobytych punktów decyduje o pozycji wniosku w rankingu. Do oceny wniosków przyjęto 10 kryteriów $\{d01, d02, \dots, d10\}$. W tabeli 1 (blok D) zamieszczono ich opis oraz sugerowane w dokumentacji różne skale punktowe. W systemie DSS zrezygnowano z niejednorodnych rozpiętości, dla wszystkich kryteriów przyjęto

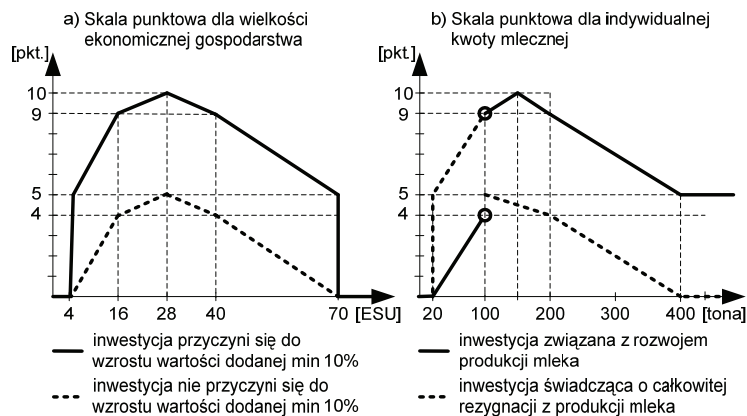
jednolitą skalę od 0 do 10 punktów a w zamian określono preferencje (wektor wag) odzwierciedlające tę różnorodność. Obserwując rys. 4 (kolumny AHP i [K], lub wykres) wyraźnie widać, że najsilniej preferowanymi kryteriami są *d09* oraz *d10*, które miały pierwotnie przydzieloną skalę o największym zakresie od 0 do 10pkt. Natomiast najniższe współczynniki wagowe nadano: *d02*, *d05* i *d07*, ponieważ miały skalę binarną {0 pkt.; 1 pkt.}. Podczas konstrukcji wektora skali system obliczał na bieżąco wartość wskaźnika *CR*. Uzyskana na koniec wartość $CR = 0,031$ świadczy o zachowaniu spójności ocen porównywanych parami kryteriów.

Rysunek 4. Okno wyznaczania wektora skali dla kryteriów



Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem systemu DSS 2.0.

Rysunek 5. Formalne oceny punktowe dla kryterium ESU i indywidualnej kwoty mlecznej



Źródło: opracowanie własne na podstawie Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2007-2013, działanie „Modernizacja gospodarstw rolnych” (<http://www.minrol.gov.pl>).

Rysunek 6. Ranking wniosków metodą AHP i symulacja podziału środków finansowych

Krok 1. Pula środków do podziału wynosi 1500 tys. zł; dotacja równa jest 100% kwoty zapotrzebowania

Objekt	Nazwa potoczna	OZM_tys.zł	E	B	S	Sumy ocen	Preferencje	[R]
CB0003	Budowa obory	240,000	-	-	*	70,900	77,920	1
CB0001	Zakup systemu udojowego	250,000	-	-	*	62,800	69,130	2
CB0007	Modernizacja systemu udojowego	230,000	-	-	*	69,500	65,300	3
CB0010	Zakup urządzeń do produkcji mleka	300,000	-	-	*	62,400	65,070	4
CB0005	Zakup pojazdu z systemą do przewozu mleka	220,000	-	-	*	73,000	64,800	5
CB0009	Zakup zbiorników chłodniczych do mleka	200,000	-	-	*	68,700	62,640	6
CB0006	Zakup separatora śmietany i homogenizatora	285,000	-	-	*	38,500	38,000	7
CB0008	Zakup maszyn rolniczych	265,000	-	-	*	38,500	28,200	8
CB0004	Budowa kurnika	290,000	-	-	*	26,500	20,300	9
CB0002	Zakup ciągnika i maszyn rolniczych	300,000	-	-	*	24,000	13,800	10

Krok 2. Pula środków do podziału wynosi 1500 tys. zł; dotacja równa jest 57% kwoty zapotrzebowania

Objekt	Nazwa potoczna	OZM_tys.zł	E	B	S	Sumy ocen	Preferencje	[R]
CB0003	Budowa obory	136,800	-	-	*	70,900	77,920	1
CB0001	Zakup systemu udojowego	142,500	-	-	*	62,800	69,130	2
CB0007	Modernizacja systemu udojowego	131,100	-	-	*	69,500	65,300	3
CB0010	Zakup urządzeń do produkcji mleka	171,000	-	-	*	62,400	65,070	4
CB0005	Zakup pojazdu z systemą do przewozu mleka	125,400	-	-	*	73,000	64,800	5
CB0009	Zakup zbiorników chłodniczych do mleka	114,000	-	-	*	68,700	62,640	6
CB0006	Zakup separatora śmietany i homogenizatora	162,450	-	-	*	38,500	38,000	7
CB0008	Zakup maszyn rolniczych	151,050	-	-	*	38,500	28,200	8
CB0004	Budowa kurnika	165,300	-	-	*	26,500	20,300	9
CB0002	Zakup ciągnika i maszyn rolniczych	171,000	-	-	*	24,000	13,800	10

Krok 3. Pula środków do podziału wynosi 1200 tys. zł; dotacja równa jest 100% kwoty zapotrzebowania

Objekt	Nazwa potoczna	OZM_tys.zł	E	B	S	Sumy ocen	Preferencje	[R]
CB0003	Budowa obory	240,000	-	-	*	70,900	77,920	1
CB0001	Zakup systemu udojowego	250,000	-	-	*	62,800	69,130	2
CB0007	Modernizacja systemu udojowego	230,000	-	-	*	69,500	65,300	3
CB0010	Zakup urządzeń do produkcji mleka	300,000	-	-	*	62,400	65,070	4
CB0005	Zakup pojazdu z systemą do przewozu mleka	220,000	-	-	*	73,000	64,800	5
CB0009	Zakup zbiorników chłodniczych do mleka	200,000	-	-	*	68,700	62,640	6
CB0006	Zakup separatora śmietany i homogenizatora	285,000	-	-	*	38,500	38,000	7
CB0008	Zakup maszyn rolniczych	265,000	-	-	*	38,500	28,200	8
CB0004	Budowa kurnika	290,000	-	-	*	26,500	20,300	9
CB0002	Zakup ciągnika i maszyn rolniczych	300,000	-	-	*	24,000	13,800	10

Krok 4. Pula środków do podziału wynosi 1200 tys. zł; dotacja równa jest 80% kwoty zapotrzebowania

Objekt	Nazwa potoczna	OZM_tys.zł	E	B	S	Sumy ocen	Preferencje	[R]
CB0003	Budowa obory	192,000	-	-	*	70,900	77,920	1
CB0001	Zakup systemu udojowego	200,000	-	-	*	62,800	69,130	2
CB0007	Modernizacja systemu udojowego	184,000	-	-	*	69,500	65,300	3
CB0010	Zakup urządzeń do produkcji mleka	240,000	-	-	*	62,400	65,070	4
CB0005	Zakup pojazdu z systemą do przewozu mleka	176,000	-	-	*	73,000	64,800	5
CB0009	Zakup zbiorników chłodniczych do mleka	160,000	-	-	*	68,700	62,640	6
CB0006	Zakup separatora śmietany i homogenizatora	228,000	-	-	*	38,500	38,000	7
CB0008	Zakup maszyn rolniczych	212,000	-	-	*	38,500	28,200	8
CB0004	Budowa kurnika	232,000	-	-	*	26,500	20,300	9
CB0002	Zakup ciągnika i maszyn rolniczych	240,000	-	-	*	24,000	13,800	10

Krok 5. Pula środków do podziału wynosi 1200 tys. zł; dotacja równa jest 50% kwoty zapotrzebowania

Objekt	Nazwa potoczna	OZM_tys.zł	E	B	S	Sumy ocen	Preferencje	[R]
CB0003	Budowa obory	120,000	-	-	*	70,900	77,920	1
CB0001	Zakup systemu udojowego	125,000	-	-	*	62,800	69,130	2
CB0007	Modernizacja systemu udojowego	115,000	-	-	*	69,500	65,300	3
CB0010	Zakup urządzeń do produkcji mleka	150,000	-	-	*	62,400	65,070	4
CB0005	Zakup pojazdu z systemą do przewozu mleka	110,000	-	-	*	73,000	64,800	5
CB0009	Zakup zbiorników chłodniczych do mleka	100,000	-	-	*	68,700	62,640	6
CB0006	Zakup separatora śmietany i homogenizatora	142,500	-	-	*	38,500	38,000	7
CB0008	Zakup maszyn rolniczych	132,500	-	-	*	38,500	28,200	8
CB0004	Budowa kurnika	145,000	-	-	*	26,500	20,300	9
CB0002	Zakup ciągnika i maszyn rolniczych	150,000	-	-	*	24,000	13,800	10

Źródło: opracowanie własne z wykorzystaniem systemu DSS 2.0.

Podobnie jak to miało miejsce w bloku B, na podstawie podanej w formularzu wartości bezwzględnej (*ocn*) oraz odpowiednio przygotowanej w programatorze systemu DSS reguły, w bloku D wyliczane są wartości punktowe dla kryteriów: *d02*, *d04*, *d7*, *d8*, *d9*, *d10* (patrz: tabela 1). Na szczególną uwagę zasługują dwa kryteria (*d9* i *d10*), które mają największy wpływ na pozycję wniosków w rankingu. Prawodawcy dotacji unijnych opracowali dla nich złożone reguły przyznawania punktów (rys. 5 a i b). Pozostałe kryteria podlegają ocenie eksperckiej, dlatego przyporządkowano im w systemie odpowiednie skale lingwistyczne (np. skala dla *d03*: 'duży wpływ' → 0 pkt., 'umiarkowany wpływ' → 5 pkt.; 'brak wpływu' → 10 pkt.).

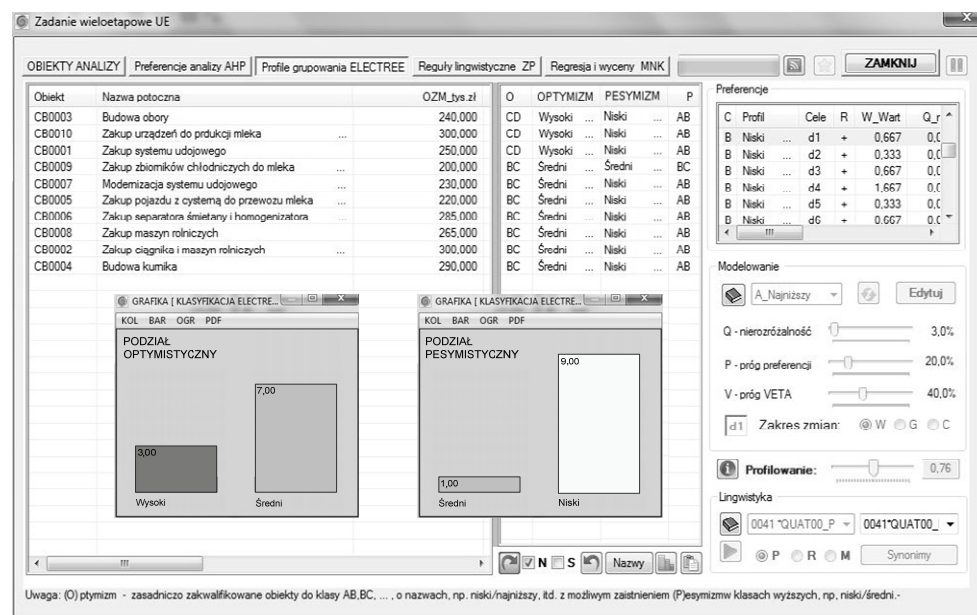
Po zdefiniowaniu struktury informacyjnej zadania decyzyjnego – szablonu modelu matematycznego, zakresu i reguł transformacji wartości jego parametrów oraz skal lingwistycznych do ich eksperckiej oceny – wprowadzono do systemu wartość kwoty do podziału (*cc1* = 1500 tys. zł) oraz dane dla dziesięciu wniosków. Następnie na podstawie rankingu AHP przeprowadzono badanie symulacyjne rozdziału środków finansowych. W ostatniej fazie, przy pomocy ELECTRE TRI, przydzielono wnioski do trzech zdefiniowanych klas jakości: niskiej, średniej, wysokiej. Działanie to pozwoliło odpowiedzieć na szereg interesujących pytań. Na przykład: jaka jest struktura podziału wniosków, czy jest zgodna z porządkiem uzyskanym w rankingu, czy wszystkie wnioski są porównywalne (założenie AHP), jaką kategorię stanowią faworyci rankingu, czy są to wysoko, przeciętnie, a może nisko preferowane wnioski?

Po zatwierdzeniu w menu systemu DSS pozycji o nazwie „*Analiza, rankingi i klasyfikacje*” pojawia się okno z pięcioma zakładkami: 1) Obiekty analizy, 2) Preferencje analizy AHP, 3) Profile grupowania ELECTRE TRI, 4) Reguły lingwistyczne ZP, 5) Regresja i wyceny MNK. Dwie opcje, przedostatnia wykorzystująca metody teorii zbiorów przybliżonych do poszukiwania reguł decyzyjnych oraz ostatnia oferująca analizę regresji i wyceny wariantów decyzyjnych nie zostały omówione, ponieważ wykraczają poza zakres opracowania (określony w tytule). Po uruchomieniu okna system ustawia się na pierwszej zakładce. Użytkownik może w niej dokonać selekcji wariantów według dowolnych warunków filtrowania i przekazać wybrany podzbiór do kolejnych zakładek (w omawianym przykładzie do analizy przekazano wszystkie wnioski).

Funkcjonalność opcji „*Preferencje analizy AHP*” zilustrowano w pięciu krokach (rys. 6). W pierwszym kroku, po uaktywnieniu zakładki, system wyświetlił ranking wniosków, od najbardziej do najmniej preferowanych, według kolumny *Preferencje*. W kolumnie *Sumy ocen* widoczne są punkty obliczone bez uwzględnienia wektora wag, natomiast w *OZM_tys zł* ukazana jest możliwa do uzyskania kwota dotacji. Dotację otrzymają beneficjenci, których wnioski zajmują najwyższą lokatę i jednocześnie suma kwot ich zapotrzebowania nie przekracza puli środków do podziału. Dla ustalonej na wstępie puli do rozdysponowania *cc1* = 1,5 mln zł i przy zachowaniu wielkości dotacji na poziomie 100% kwoty

zapotrzebowania zakwalifikowało się sześć najlepszych wniosków (rys. 6, krok 1). System informuje o tym fakcie wyróżniając odpowiednio wiersze w kolumnie 'E' ('-/⊗' → weszły/nie weszły do rozwiązania). W drugim kroku symulacji poszukiwano odsetka kwoty zapotrzebowania, przy którym dotację mogliby otrzymać wszyscy beneficjenci. W tym celu zmniejszano stopniowo wartość odsetka i kontrolowano pojawiające się w kolumnie 'E' oznaczenia '⊗'. Okazało się, że warunek ten może zostać spełniony przy zmniejszeniu dotacji do poziomu 57% kwot zapotrzebowania (rys 2, krok 2). W kolejnych krokach symulacji zmniejszono o trzy miliony pułę dofinansowania ($cc1 = 1,2$ mln zł) i ponownie rozważano stosunek liczby wniosków otrzymujących dotację do wielkości ich kwot, stanowiących odsetek zgłoszonego zapotrzebowania. W kroku 3 przy 100% dotacjach zakwalifikowały się cztery wnioski, w kroku 4 przy 80% było to sześć wniosków, a przy 50% dziewięć.

Rysunek 7. Analiza podziału wniosków na kategorie metodą ELECTRE TRI



Źródło: opracowanie własne przy zastosowaniu systemu DSS 2.0.

W ostatnim etapie badania, wybierając zakładkę „Profile grupowania ELECTRE TRI”, system pogrupował wnioski z punktu widzenia przyjętych preferencji do trzech klas jakości ($nc = 3$): AB – niska, BC – średnia, CD – wysoka. Klasy te są definiowane niezależnie od wariantów oraz są porównywalne z punktu widzenia preferencji decydenta. W rozważanym przykładzie (w obliczeniach) system zastosował umownie wygenerowaną macierz dla dwóch profili separujących (kolumny) i dziesięciu kryteriów (wiersze), domyślne wartości parametrów: $\alpha_q = 0,03$; $\alpha_p = 0,20$ i $\alpha_v = 0,40$ używane do wyznaczenia wartości

progów na poszczególnych profilach oraz współczynnik odcięcia (poziom wiarygodności) $\lambda = 0,76$. Zgodnie z założeniami metody ELECTRE TRI przydziału wariantów do wyznaczonych klas dokonano za pomocą procedury optymistycznej i pesymistycznej (rys 7). Uzyskany podział nie jest jednoznaczny, w obydwu podejściach struktury podziału wniosków znacząco się różnią. W ujęciu optymistycznym są 3 wnioski wysoko preferowane i 7 średnio, natomiast w pesymistycznym tylko 1 przeciętnie preferowany, a pozostałe nisko. Niezgodność ta sygnalizuje występowanie pewnych niejednoznaczności. W praktyce, gdy wynikowe przydziały się różnią, ostatecznego przyporządkowania dokonuje decydent. Trzy wnioski o identyfikatorze: CB0003, CB0010 i CB0007, zostały zaklasyfikowane do skrajnych grup. Oznacza to, że są one nieporównywalne z wyznaczonymi profilami separującymi oraz, wnioskując dalej, z wariantami, dla których taka porównywalność zachodzi. Metoda AHP zakłada pełną porównywalność obiektów (nie powinno się w niej zestawiać np. Rolls-Royce z Fiatem 126p). W rankingu wnioski te znalazły się w pierwszej czwórce, więc tym bardziej jest to asumpt dla decydenta do zastanowienia i wnikliwej analizy danych. Tylko jeden wniosek z numerem CB0009 uzyskał jednoznaczny przydział do średniej klasy w obu podejściach. Pozostałe sześć wniosków na pewno nie należy do kategorii wysoko preferowanych ich przydział waha się w zależności od podejścia na granicy klasy średniej (optymizm) i niskiej (pesymizm). Generalnie struktura przydziału wniosków do klas w kolejności od wysokiej do niskiej w dobrym stopniu odpowiada porządkowi uzyskanemu w rankingu. Wynika to z faktu, że większość wniosków (7 z 10) była porównywalna z profilem separującym kategorię słabą od średniej.

ZAKOŃCZENIE

Opracowany system DSS spełnia wymagania rozwiązania zorientowanego na modele, komunikację i grupowe wspomaganie decyzji. Modele są dostarczane użytkownikowi w postaci gotowych propozycji (szablonów) wraz z narzędziami umożliwiającymi ich rozwijanie w kierunku własnych potrzeb. Elastyczne struktury informacyjne systemu DSS (repozytoria baz danych i szablonów modeli matematycznych) sprawiają, że jest narzędziem przystosowanym do szybko i często zmieniających się potrzeby użytkowników. Stanowi on spójną 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, *metody* – oparte na optymalizacji WPL, wieloatrybutowej teorii użyteczności (AHP) lub wykorzystujące relację przewyższania (ELECTRE TRI), *wyniki* – dowolne graficzne formy prezentacji uzyskanych rezultatów analizy decyzyjnej.

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) 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, s. 49-60.
- 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.
- 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.
- Roy B., Słowiński R. (2008), Handling 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.
- Vernadat, F.B. (1996) Enterprise Modeling and Integration: Principles and Applications. London: Chapman & Hall.
- Program Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2007-2013 (<http://www.minrol.gov.pl>)

AHP AND ELECTRE TRI METHOD INTEGRATION – STUDIES ABOUT DECISION SOLUTIONS IN DSS SYSTEM (PART II)

Abstract: The article is a continuation of research that includes the review and functional analysis of quantitative methods within MCDA for designing needs of an information system supporting decisions (the article was published in a previous edition of the Magazine as part I). The aim of the part II is to show practical aspects of conducted research connected with integration of AHP and ELECTRE TRI methods with their application. Research was conducted in a form of studies over decision solutions that were conducted with the use of prepared system of DSS class (prototype version DSS 2.0). Methods work in the common set of objects that may be put in order (AHP) and devote to defined groups (ELECTRE TRI).

Keywords: quantitative methods in decision support, multiple criteria decision analysis, decision support system