

Jakub Brzostowski

Politechnika Śląska

Tomasz Wachowicz

Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach

WYKORZYSTANIE IDEI AUTOMATYCZNEGO GENEROWANIA POWIERZCHNI INDYFERENCJI DO BUDOWY SYSTEMU OCENY OFERT NEGOCJACYJNYCH W SYSTEMIE WSPOMAGANIA NEGOCJACJI NegoManage

Wprowadzenie

W procesie wielokryterialnego podejmowania decyzji decydent staje przed bardzo trudnym problemem porównywania wariantów decyzyjnych opisanych pewną liczbą kryteriów, które zwykle pozostają ze sobą w konflikcie. Konflikt między kryteriami sprawia, że zazwyczaj polepszenie wartości (poziomu realizacji) jednego kryterium odbywa się kosztem pogorszenia poziomów realizacji innych kryteriów. Uchwycenie tych zależności oraz wycena różnic w poziomach realizacji poszczególnych kwestii nie są sprawą prostą, stąd też w analizie takich problemów decydenta niejednokrotnie stosuje się formalne metody i modele podejmowania decyzji. Istnieje wiele metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji, różniących się założeniami, ograniczeniami czy też metodologią analizy preferencji. Wśród metod tych można wyróżnić np. MAUT (Multi Attribute Utility Theory) – [Keeney i Raiffa 1976], AHP [Saaty 1980], metody syntetycznego przewyższania ELECTRE [Roy 1968], PROMETHE [Brans 1982], czy metody opierające się na statystycznym pomiarze odległości, jak TOPSIS [Hwang i Yoon 1981] czy VIKOR [por. Opricovic i Tzeng 2004].

Metoda AHP opiera się na dekompozycji wyjściowego problemu decyzyjnego na elementy składowe oraz wielokrotnym porównaniu wszystkich tych elementów parami. W najprostszym przypadku dekomponujemy problem poprzez osobną specyfikację kryteriów oceny, które muszą zostać porównane parami w celu wyznaczenia ich wag (istotności) oraz wariantów decyzyjnych, które są porównywane parami ze względu na każde z kryteriów oceny z osobna, w celu wyznaczenia ich rankingów jednokryterialnych. Następnie AHP dokonuje agregacji tych wyników i wyznacza globalny wektor skali odzwierciedlający ranking wariantów. Metoda ta, choć powszechnie stosowana, ma poważną wadę, zmusza bowiem decydenta do dokonywania oceny wielu par elementów procesu decyzyjnego, co w dużych problemach decyzyjnych może być kłopotliwe, uciążliwe i skutkować brakiem spójności oceny. Metody wywodzące z MAUT, jak proste modele liniowe, sprowadzają się do wyznaczenia systemu scoringowego, w ramach którego decydent określa wagi kryteriów oraz użyteczności każdego poziomu realizacji (opcji) tych kryteriów. Do obliczenia scoringu wariantu trzeba obliczyć średnią ważoną poziomów realizacji wszystkich kryteriów, gdzie wartość opcji każdego kryterium jest wyznaczana z jednokryterialnej funkcji użyteczności uprzednio skonstruowanej dla każdego kryterium z osobna. Choć proste, metody opierające się na MAUT wymagają od decydenta arbitralnego przypisania ocen do opcji, co nie jest intuicyjne i wymaga uprzedniego przygotowania matematycznego. Metody z klasy ELECTRE oraz PROMETHE opierają się na koncepcji przewyższenia. W metodach tych określa się poziom przewyższenia jednego wariantu przez drugi dzięki badaniu różnic w poziomach realizacji poszczególnych wariantów. Po określeniu poziomu przewyższenia (np. za pomocą pewnych predefiniowanych funkcji preferencji – por. PROMETHEE) dla każdej pary wariantów, te poziomy są agregowane, aby stworzyć częściowy lub pełny ranking rozpatrywanych wariantów. Metody AHP, ELECTRE oraz PROMETHE konstruują rankingi dla z góry danych zbiorów wariantów i nie budują systemu scoringowego. Opierając się na idei porównań parami, metody te są bardzo wrażliwe na postać predefiniowanego zbioru wariantów decyzyjnych i przy najdrobniejszych jego zmianach mogą skutkować odwróceniem rankingów [por. De Keyser i Peeters 1996]. Metody TOPSIS i VIKOR wymagają z kolei od decydenta zdecydowanie najmniejszej ingerencji w procedurę obliczeniową. W wyznaczaniu rankingów wariantów operują one pewnym systemem punktów referencyjnych oraz statystyczną ideą pomiaru odległości między wariantami a punktami referencyjnymi. Kontrowersyjny na ogół jest jednak dobór wykorzystywanej metryki (bądź miary) odległości, która zastępuje tutaj funkcję

oceny (preferencji) decydenta, a która może determinować ranking uzyskany w wyniku zastosowania metody. Nie tylko ona może wpływać na uporządkowanie wariantów decyzyjnych, gdyż podobny efekt ma wybór stosowanej formuły normalizacji zmiennych, wymagany we wcześniejszych krokach algorytmu obliczeniowego tych metod. Wybór właściwej dla danego zagadnienia metody wielokryterialnego podejmowania decyzji nie jest więc sprawą prostą.

Sytuacja wspomagania negocjacji, w szczególności zaś budowy systemu oceny ofert negocjacyjnych, ma również swoją specyfikę. W fazie prenegocjacyjnej negocjatorzy przygotowują się do procesu negocjacyjnego, definiując w sposób mniej lub bardziej sformalizowany przestrzeń negocjacyjną, co pozwala w jakimś stopniu określić zbiór kwestii negocjacyjnych oraz potencjalnych zakresów zmienności poziomów realizacji tych kwestii [por. Lewicki et al. 1999]. Formalnie, wariant negocjacyjny może być opisany zestawem pewnych cech, co pozwala na zapisanie takiego wariantu w postaci wektora: $\bar{a} = (a_1, a_2, \dots, a_k) \in D^k$. W fazie strukturyzacji problemu negocjatorzy muszą natomiast wydzielić zestaw kwestii, które podlegają negocjacjom. Wariant jest więc odwzorowywany w przestrzeń kwestii, która zwykle będzie przedziałem liczbowym: $g_i : D^k \rightarrow [c_i, d_i] (g_i(\bar{a}) \in [c_i, d_i])$ (gdzie g_i jest funkcją przekształcającą wariant w poziom realizacji i -tej kwestii negocjacyjnej).

Oferty proponowane przez strony w toku negocjacji będą właśnie pochodzić z tak zdefiniowanego zbioru wariantów. W związku z tym negocjatorzy oczekują, iż wynikiem analizy ich preferencji będzie konstruowany formalnie system oceny ofert negocjacyjnych, a więc z punktu widzenia teorii decyzji – pewien system scoringowy. Klasyczne algorytmy metody porównywania parami oraz TOPSIS i VIKOR generują jedynie rankingi wariantów decyzyjnych, dlatego też nie znajdują tutaj zastosowania. Jedynie klasyczna metoda MAUT pozwala na wygenerowanie takiego scoringu. Wymaga ona jednak od decydenta określenia wag dla wszystkich kryteriów oceny (w kontekście negocjacji rozumianych jako kwestie negocjacyjne) oraz arbitralnego oceniania zdekomponowanych elementów problemu decyzyjnego. W problemie negocjacyjnym taka sytuacja nie jest pożądana, gdyż zbiory potencjalnych ofert, choć skończone, mogą być nieprzeliczalnie duże, co czyni proces definiowania ocen chociażby jedynie wybranych opcji istotnych, czasochłonnym i uciążliwym, o ile nie – z punktu widzenia praktyki zastosowania – niewykonalnym.

We wcześniejszej pracy Autorów [Brzostowski i Wachowicz 2011a], przedstawiającej badania nad analizą preferencji w negocjacjach, omówiono sposób generowania systemu scoringowego ofert negocjacyjnych, który na

etapie analizy preferencji pozwala na wyeliminowanie konieczności ważenia kryteriów oceny oraz na oceny pojedynczych opcji składowych tych ofert. Pojście to znalazło zastosowanie w systemie wspomaganego negocjacji NegoManage [Brzostowski i Wachowicz 2009]. W zaproponowanej metodzie decydent konstruuje system scoringowy poprzez określenie zbiorów wariantów równoważnych (indyferentnych) oraz przypisanie tymże zbiorom poziomów użyteczności poprzez operowanie oceną jakościową (z predefiniowanej skali lingwistycznej). Zestaw tak określonych zbiorów wariantów indyferentnych wraz z przypisanymi do nich użytecznościami składa się na system scoringowy ofert negocjacyjnych, który następnie może być wykorzystany w trakcie negocjacji właściwych do oceny propozycji przedstawianych przez strony. System NegoManage buduje nad każdym zbiorem wariantów indyferentnych rozkład prawdopodobieństwa w taki sposób, aby dla dowolnego wariantu można było określić prawdopodobieństwo przynależności tego wariantu do danej warstwy (zbioru wariantów indyferentnych). W metodzie analizy preferencji systemu NegoManage rozróżniono dwie czynności o zgoła odmiennym charakterze, mianowicie: proces konstrukcji systemu scoringowego, jako określenie zbioru warstw z przypisaniem do nich użyteczności oraz proces oceny wariantu w trakcie negocjacji właściwych. Ocena wariantu odbywa się poprzez obliczenie prawdopodobieństw przynależności wariantu do wszystkich predefiniowanych wcześniej przez negocjatora warstw i obliczenia splotu tychże prawdopodobieństw z użytecznościami przypisanymi do warstw. Jest to etap kalkulacji, realizowany automatycznie i nie wymaga jakiegokolwiek interwencji ze strony negocjatora. Proces konstrukcji systemu scoringowego wymaga jednakże już zaangażowania ze strony decydenta, konieczne jest bowiem zdefiniowanie, na podstawie subiektywnych przeświadczeń, zbiorów wariantów indyferentnych. Im więcej tych zbiorów i przykładów wariantów opisujących te zbiory, tym bardziej precyzyjny i adekwatnie opisujący preferencje negocjatora system oceny otrzymamy.

W niniejszej pracy zostanie przedstawiona propozycja automatycznej konstrukcji zbiorów wariantów indyferentnych na potrzeby systemu oceny ofert negocjacyjnych, opierająca się na koncepcji przedstawionej przez Keeney'a i Raiffę [1976]. W kolejnych częściach pracy zostaną przedstawione podstawowe elementy teorii związane z metodologicznym uzasadnieniem wykorzystania idei powierzchni indyferencji do wspomaganego negocjacji. W części pierwszej zostanie omówiony warunek odpowiedniości współczynników trade-off, co pozwoli później – wykorzystując skalowanie conjoint – formalnie przedstawić algorytm generowania krzywych indyferencji. W dalszych częściach pracy dokonano uogólnień procedury na trzy lub większą liczbę kwestii negocjacyjnych.

W ostatniej sekcji, na przykładzie systemu NegoManage, zostanie przedstawiona kompletna procedura budowy systemu oceny ofert negocjacyjnych wykorzystujących kompletny mechanizm formalny omówiony we wcześniejszych częściach pracy.

1. Warunek odpowiedniości współczynników trade-off – addytywna funkcja użyteczności

Jednym z istotnych elementów związanych z generowaniem powierzchni (czy zbiorów) indyferencji jest zagadnienie analizy trade-off i interpretacji współczynników trade-off¹. W analizie preferencji współczynniki te definiują relacje między zmieniającymi się wartościami poziomów realizacji pewnych kryteriów oceny. Dzięki ich określeniu decydent jest świadomy tego, w jaki sposób słabe poziomy realizacji niektórych kwestii mogą zostać zrekomensowane przez wyższe (lepsze, bardziej preferowane) opcje innych kryteriów. W tej części pracy zostanie przytoczona koncepcja warunku odpowiedniości współczynników trade-off Keeney’ego i Raiffy [1976]. Warunek ten ma zastosowanie w automatycznym generowaniu zbioru wariantów nierozróżnialnych (indyferentnych) na podstawie koncepcji wariantów marginalnych. Wariant marginalny jest wariantem, w którym poziomy realizacji wszystkich kwestii przyjmują wartości rezerwacji² (tj. najgorsze poziomy realizacji tej kwestii akceptowane przez decydenta³) poza jedną kwestią, której poziom realizacji jest różny od poziomu rezerwacji. Wartość i -tej kwestii (X_i) należy do zbioru poziomów rozdzielczości ograniczonego poziomem rezerwacji oraz poziomem aspiracji: $X_i = [l_i, r_i] \subset R$.

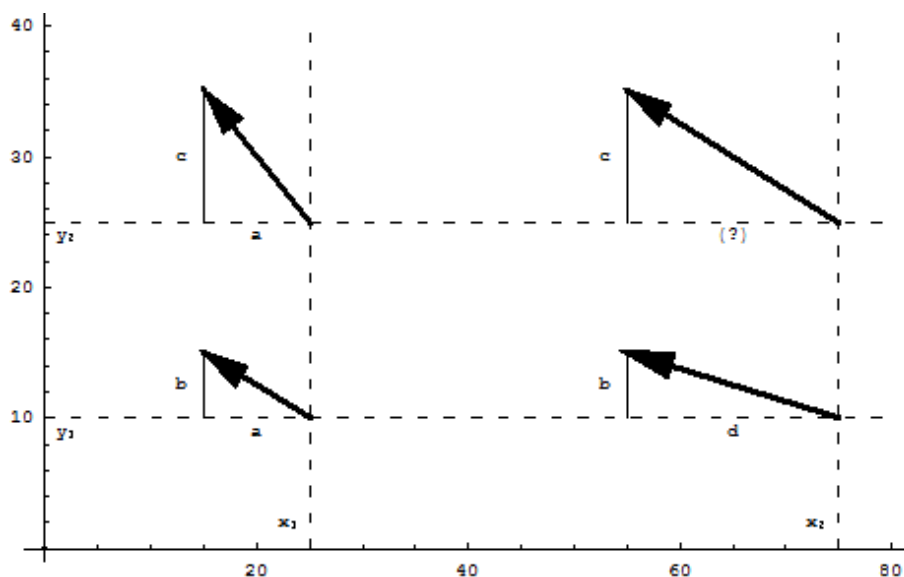
Wariant jest natomiast reprezentowany przez element ze zbioru $\prod_{i=1}^n X_i$ (gdzie n jest liczbą rozpatrywanych kwestii).

Analizę odpowiedniości współczynników trade-off przeprowadzimy na prostym przykładzie. Rozważmy cztery punkty w przestrzeni wariantów decyzyjnych, opisane dwoma kwestiami negocjacyjnymi X i Y , tj. $A(x_1, y_1)$, $B(x_1, y_2)$, $C(x_2, y_1)$, $D(x_2, y_2)$, przedstawione na rys. 1.

¹ Współczynniki te są również zwane współczynnikami wymiany lub kompensacji, lub stopami zastąpienia.

² Poziomy rezerwacji są również zwane w literaturze poziomami zastrzeżonymi decydenta.

³ W problemie maksymalizacji będą to najniższe wartości kwestii na jakie negocjator (decydent) jest się w stanie zgodzić, podczas gdy w problemie minimalizacji – najwyższe dopuszczalne i akceptowalne przez decydenta wartości tej kwestii.



Rys. 1. Współczynniki trade-off zgodnie z addytywną funkcją użyteczności

Źródło: Keeney i Raiffa [1976].

Analizując rys. 1 i przedstawione na nim informacje o możliwej kompensacji wartości ocen, łatwo odczytamy, że:

1. W punkcie A (x_1, y_1) zwiększenie poziomu realizacji kwestii Y o wartość b jest warte zapłacenia wartości a w przestrzeni kwestii X.
2. W punkcie B (x_1, y_2) zwiększenie poziomu realizacji kwestii Y o wartość c jest warte zapłacenia wartości a w przestrzeni kwestii X.
3. W punkcie C (x_2, y_1) zwiększenie poziomu realizacji kwestii Y o wartość b jest warte zapłacenia wartości d w przestrzeni kwestii X.

W konsekwencji tak przedstawionych informacji pojawia się pytanie, ile warte jest (w przestrzeni kwestii X) w punkcie D (x_2, y_2) zwiększenie poziomu realizacji kwestii Y o c jednostek?

(*) *Mówimy, że warunek odpowiedniości współczynników trade-off jest spełniony, jeśli ów przyrost jest wart zapłacenie d w przestrzeni kwestii X i to bez względu na wartości $x_1, y_1, x_2, y_2, a, b, c$ oraz d . Okazuje się, że warunek ten jest spełniony, jeśli funkcja użyteczności jest określonej postaci.*

Definicja 1.1. Struktura preferencji jest addytywna wtedy i tylko wtedy, gdy istnieje funkcja użyteczności odwzwierciedlająca tę strukturę preferencji, która może być wyrażona w następującej postaci:

$$v(x, y) = v_X(x) + v_Y(y). \quad (1)$$

Twierdzenie 1.1. Struktura preferencji jest addytywna i wyraża się w postaci formuły (1), wtedy i tylko wtedy, gdy warunek odpowiedniości współczynników trade-off jest spełniony.

2. Generowanie krzywych indyferencji – skalowanie conjoint

Założmy, że mamy addytywną postać funkcji użyteczności postaci (1), co implikuje spełnienie warunku odpowiedniości współczynników trade-off. Rozpatrzmy teraz zagadnienie generowania krzywych indyferencji dla kolejnych wartości funkcji użyteczności. Niech x_0 oraz y_0 będą najniższymi możliwymi poziomami realizacji kolejno dla kwestii X oraz Y , najgorszymi dla decydenta. Wobec tak określonego punktu początkowego całą tę procedurę da się zapisać etapami w zgrubnym algorytmie:

1. Definiujemy $v(x_0, y_0) = u_0$, gdzie u_0 jest najniższą wartością użyteczności przypisaną do najgorszego rozważanego wariantu.
2. Następnie określamy wartość u_1 , która jest pewnym wybranym przez decydenta poziomem użyteczności. Prosimy decydenta o zidentyfikowanie dwóch wariantów marginalnych (x_0, y_1) oraz (x_1, y_0) , które zapewnią mu użyteczność (jakość) na poziomie u_1 . Decydent określa zatem dwa nierozróżnialne warianty, dla których poziom realizacji jednej z kwestii przyjmuje wartość minimalną, natomiast wartość poziomu realizacji drugiej kwestii zostaje odpowiednio zwiększona do takiego poziomu, aby warianty osiągnęły wartość użyteczności u_1 . Warianty te są indyferentne, a wypłaty z nimi związane, w sensie użyteczności, równe, co można zapisać

$$(x_1, y_0) \approx (x_0, y_1), \quad v(x_1, y_0) = u_1 = v(x_0, y_1). \quad (2)$$

3. Analizujemy teraz kolejną wartość użyteczności równą u_2 . Decydent wybiera taką wartość użyteczności u_2 , którą zapewnia wariant (x_1, y_1) , zbudowany z niezastrzeżonych poziomów realizacji wariantów marginalnych określonych w pierwszym kroku. Wzorem poprzedniego kroku, dla nowo zdefiniowanego poziomu użyteczności u_2 decydent określa dwa warianty marginalne, indyferentne między sobą i jednocześnie indyferentne z wariantem (x_1, y_1) , tj.

$$(x_2, y_0) \approx (x_1, y_1) \approx (x_0, y_2) \quad v(x_1, y_1) = u_2. \quad (3)$$

4. Na podstawie wcześniejszych definicji decydenta dokonujemy skalowania, przyjmując, że

$$(x_1, y_2) \approx (x_2, y_1). \quad (4)$$

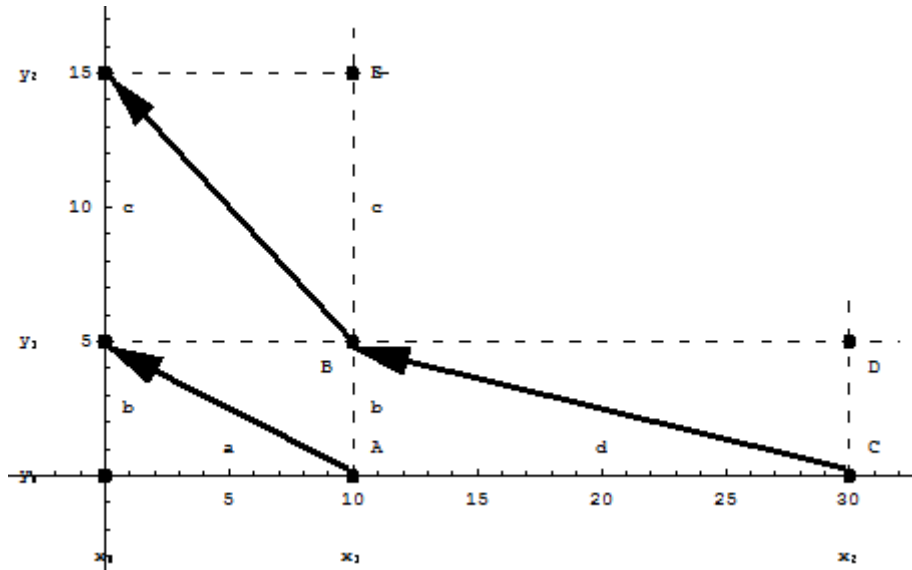
Powyższa równoważność jest spełniona, jeśli zachodzi warunek odpowiedniości współczynników trade-off. Jeśli porównamy rys. 1 oraz 2 możemy zaobserwować, że warunek odpowiedniości współczynników trade-off implikuje, że odległość w przestrzeni kwestii X pomiędzy punktami B i D musi być równa d i dlatego też punkty D i E są indyferentne.

5. Zakładając, że indyferentność między punktami D i E zachodzi, decydent określa poziom użyteczności u_3 dla następnej krzywej indyferencji, zawierającej warianty (x_1, y_2) oraz (x_2, y_1) . Następnie decydent definiuje warianty marginalne dla tego poziomu wartości użyteczności, tj.

$$(x_3, y_0) \approx (x_2, y_1) \approx (x_1, y_2) \approx (x_0, y_3) \quad v(x_2, y_1) = u_3. \quad (5)$$

6. Kolejne krzywe indyferencji (dla zwiększających się wartości użyteczności) są generowane w sposób analogiczny.

Powyższy proces generowania krzywych indyferencji zilustrowano w formie graficznej na rys. 2.



Rys. 2. Generowanie krzywych indyferencji z warunku odpowiedniości współczynników trade-off
Źródło: Keeney i Raiffa [1976].

3. Powierzchnie indyferencji w przypadku trzech kwestii negocjacyjnych

Obecnie będzie omawiane zagadnienie rozszerzenia koncepcji definiowania krzywych indyferencji z poprzedniej części pracy na zagadnienie decyzyjne (negocjacyjne), uwzględniające trzy kryteria oceny (kwestie).

Definicja 3.1. [Keeney i Raiffa 1976]. Wariant decyzyjny o konsekwencjach (x', y') jest warunkowo preferowany względem wariantu o konsekwencjach (x'', y'') przy danym z' wtedy i tylko wtedy, gdy (x', y', z') jest preferowane od (x'', y'', z') .

Warunkowa indyferencja jest definiowana w sposób analogiczny do preferencji z definicji 2, dlatego też można mówić o warunkowych krzywych indyferencji w przestrzeni $X \times Y$ przy danym z' . Prowadzi to w konsekwencji do następującej definicji:

Definicja 3.2. [Keeney i Raiffa 1976]. Para kwestii X i Y jest preferencyjnie niezależna od kwestii Z , jeśli preferencje warunkowe w przestrzeni $X \times Y$ przy danym z' nie zależą od z' .

Założmy, że para kwestii $\{X, Y\}$ jest preferencyjnie niezależna od Z . Jeśli spełnione jest następujące zdanie:

$$(x_1, y_1, z') \approx (x_2, y_2, z'), \quad (6)$$

wtedy jest również spełnione zdanie:

$$(x_1, y_1, z) \approx (x_2, y_2, z) \quad \forall z \in Z. \quad (7)$$

Mając zdefiniowane zależności preferencyjne między kryteriami oceny wariantów decyzyjnych, możemy przystąpić do zdefiniowania funkcji użyteczności dla problemu decyzyjnego o trzech kryteriach.

Twierdzenie 3.1. [Keeney i Raiffa, 1976]. Funkcja użyteczności v może zostać wyrażona w postaci addytywnej:

$$v(x, y, z) = v_x(x) + v_y(y) + v_z(z), \quad (8)$$

gdzie v_x , v_y oraz v_z są jednokryterialnymi funkcjami użyteczności, wtedy i tylko wtedy, gdy $\{X, Y\}$ jest preferencyjnie niezależne od Z , $\{X, Z\}$ jest preferencyjnie niezależne od Y oraz $\{Y, Z\}$ jest preferencyjnie niezależne od X .

Definicja 3.3. [Keeney i Raiffa 1976]. Jeśli każda para kwestii jest preferencyjnie niezależna od swojego dopełnienia, to kwestie są parami preferencyjnie niezależnymi.

W poprzedniej części pracy omówiono konstrukcję krzywych indyferencji w przestrzeni dwóch kryteriów (kwestii negocjacyjnych). Procedurę rozpoczęto od ustalenia wartości x_0 , y_0 oraz odpowiadającej im użyteczności zerowej. Następnie pytaliśmy decydenta o określenie x_1 i y_1 , budując na ich podstawie warianty marginalne, a w kolejnym etapie o x_2 oraz y_2 . Warunek odpowiedniości współczynników trade-off został wykorzystany po to, by uzasadnić indyferencję wariantów (x_1, y_2) i (x_2, y_1) . Teraz użyjemy idei preferencyjnej niezależności parami, aby dokonać analogicznej procedury budowy zbiorów wariantów indyferentnych w przestrzeni trzech kwestii:

1. Decydent dobiera wartości x_0 , y_0 oraz z_0 , aby zachodził warunek:

$$v(x_0, y_0, z_0) = u_0, \quad (9)$$

gdzie u_0 jest najniższą możliwą wartością użyteczności.

2. Decydent określa wartości x_1 , y_1 oraz z_1 w celu skonstruowania wariantów marginalnych takich, że:

$$(x_1, y_0, z_0) \approx (x_0, y_1, z_0) \approx (x_0, y_0, z_1), \quad (10)$$

$$u_1 = v(x_1, y_0, z_0) = v(x_0, y_1, z_0) = v(x_0, y_0, z_1). \quad (11)$$

3. Z kroku drugiego wiemy, że $(x_1, y_0) \approx (x_0, y_1)$ przy danym z_0 , dlatego też punkty (x_1, y_0) , (x_0, y_1) muszą być warunkowo indyferentne również przy danym z_1 . Jako konsekwencję tej obserwacji otrzymujemy następujące stwierdzenie:

$$(x_1, y_0, z_1) \approx (x_0, y_1, z_1). \quad (12)$$

Podobnie, drugi krok skutkuje indyferencją $(x_1, z_0) \approx (x_0, z_1)$ przy danym y_0 . Z preferencyjnej niezależności $\{X, Z\}$ od Y wynika również indyferencja $(x_1, z_0) \approx (x_0, z_1)$ przy danym y_1 , czyli: $(x_1, y_1, z_0) \approx (x_0, y_1, z_1)$.

4. Prosimy decydenta o określenie takich wartości x_2 , y_2 oraz z_2 , aby dla określonego u_2 zachodziło:

$$(x_2, y_0, z_0) \approx (x_0, y_2, z_0) \approx (x_0, y_0, z_2) \approx (x_1, y_1, z_0) \quad (13)$$

$$u_2 = v(x_2, y_0, z_0) = v(x_0, y_2, z_0) = v(x_0, y_0, z_2) = v(x_1, y_1, z_0) \quad (14)$$

Aby konstruować kolejne zbiory wariantów indyferentnych, musimy odpowiedzieć na pytanie, skąd wiemy (bez warunku odpowiedniości współczynników trade-off), że prawdziwe będzie następujące stwierdzenie:

$$(x_2, y_1, z_0) \approx (x_1, y_2, z_0). \quad (15)$$

Najpierw musimy wykazać, że zachodzi $(x_2, y_1, z_0) \approx (x_1, y_1, z_1)$ oraz $(x_1, y_2, z_0) \approx (x_1, y_1, z_1)$, a wówczas korzystając z przechodniości relacji indyferencji potwierdzimy prawdziwość naszego stwierdzenia (15).

Wiemy, że zachodzi:

$$(x_2, y_0, z_0) \approx (x_1, y_0, z_1). \quad (16)$$

Jako że $\{X, Z\}$ jest preferencyjnie niezależne od Y , możemy zamienić y_0 na y_1 w stwierdzeniu (16), co skutkuje prawdziwością stwierdzenia:

$$(x_2, y_1, z_0) \approx (x_1, y_1, z_1). \quad (17)$$

W sposób analogiczny wykażemy również, że

$$(x_1, y_2, z_0) \approx (x_1, y_1, z_1). \quad (18)$$

Z podstawienia prawych stron stwierżeń (16) i (17) udowadniamy prawdziwość (15).

Powyższa procedura pokazuje, jak w przestrzeni trzech kwestii można konstruować powierzchnie indyferencji w przypadku addytywnej struktury preferencji.

4. Uogólnienie procedury generowania powierzchni indyferencji na przypadek z dowolną liczbą kwestii

Rozpatrzmy teraz przypadek decyzyjny z większą liczbą kryteriów oceny. Przyjmiemy, że dysponujemy zestawem kwestii $X_1, X_2, \dots, X_s, X_{s+1}, \dots, X_n$. Dzielimy ten zestaw na dwa podzestawy Y oraz Z , tj.

$$Y = \{X_1, \dots, X_s\} \quad Z = \{X_{s+1}, \dots, X_n\}. \quad (19)$$

Podział (19) może być jakimkolwiek podziałem wyjściowego zestawu kwestii (indeksy mogą być permutowane bez utraty ogólności), dlatego też będziemy zakładać, że zestaw Y zawiera jakiegokolwiek s kwestii z całego zestawu wyjściowego, a Z jest jego dopełnieniem.

Definicja 4.1. [Keeney i Raiffa 1976]. Jeśli $\bar{y}', \bar{y}'' \in Y$ oraz $\bar{z}' \in Z$, wówczas będziemy mówić, że \bar{y}' jest warunkowo indyferentne z \bar{y}'' przy danym \bar{z}' , wtedy i tylko wtedy, gdy

$$(\bar{y}', \bar{z}') \approx (\bar{y}'', \bar{z}'). \quad (20)$$

Definicja 4.2. [Keeney i Raiffa 1976]. Zestaw Y jest preferencyjnie niezależny od swojego dopełnienia Z , wtedy i tylko wtedy, gdy warunkowa struktura preferencji w przestrzeni Y przy danym \bar{z}' ($\bar{z}' \in Z$) nie zależy od \bar{z}' . Symbolicznie, Y jest preferencyjnie niezależne od Z , wtedy i tylko wtedy, gdy dla pewnego \bar{z}' zachodzi:

$$(\bar{y}', \bar{z}') \approx (\bar{y}'', \bar{z}') \Rightarrow (\bar{y}', \bar{z}) \approx (\bar{y}'', \bar{z}), \quad \forall \bar{z} \in Z, \forall \bar{y}, \bar{y}'' \in Y. \quad (21)$$

Definicja 4.3. [Keeney i Raiffa 1976]. Kwestie X_1, X_2, \dots, X_n są wzajemnie preferencyjnie niezależne, jeśli każdy podzbiór Y tychże kwestii, jest preferencyjnie niezależny od uzupełniającego zbioru kwestii (od swojego dopełnienia w zbiorze wszystkich kwestii).

Twierdzenie 4.1. [Keeney i Raiffa 1976]. Przy danych kwestiach X_1, X_2, \dots, X_n , gdzie $n \geq 3$, addytywna funkcja użyteczności

$$v(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n v_i(x_i), \quad (22)$$

gdzie v_i jest funkcją użyteczności w zbiorze X_i istnieje wtedy i tylko wtedy, gdy kwestie są wzajemnie preferencyjnie niezależne.

W poprzednich częściach pracy przedstawiono procedurę skalowania conjoint służącą do generowania krzywych indyferencji w przestrzeni dwóch kwestii oraz analogiczną procedurę służącą do generowania powierzchni indyferencji w przestrzeni trzech kwestii. Warunek wzajemnej preferencyjnej niezależności pozwala na generowanie powierzchni indyferencji w przestrzeni dowolnej liczby kwestii. Przy założeniu addytywnej struktury preferencji powierzchnie te mogą zostać wygenerowane w następujący sposób:

1. Definicję rozpoczynamy od powierzchni indyferencji z najniższym poziomem użyteczności. Zakładając, że rozpatrujemy n kwestii (kryteriów) decydujemy najpierw dobiera punkty marginalne x_0^1, x_0^2, x_0^n , takie, że

$$v(x_0^1, x_0^2, \dots, x_0^n) = u_0, \quad (23)$$

gdzie u_0 jest najniższą możliwą wartością użyteczności.

Pierwsza powierzchnia indyferencji składa się zatem z jednego punktu.

2. Decydent jest proszony o określenie wariantów marginalnych, dla drugiej powierzchni indyferencji.

$$(x_1^1, x_0^2, \dots, x_0^n)$$

$$(x_0^1, x_1^2, \dots, x_0^n)$$

⋮

$$(x_0^1, x_0^2, \dots, x_1^n)$$

W przypadku tworzonych wariantów marginalnych, zgodnie z definicją, wszystkie kwestie zostały ustawione na wartość x_0^i z wyjątkiem jednej kwestii, której wartość została ustawiona na x_1^i . Kolejnych n wariantów marginalnych stanowi następną powierzchnię indyferencji, do której decydent przypisuje poziom użyteczności u_1 . W związku z tym:

$$v(x_1^1, x_0^2, \dots, x_0^n) = v(x_0^1, x_1^2, \dots, x_0^n) = \dots v(x_0^1, x_0^2, \dots, x_1^n) = u_1. \quad (24)$$

3. Do kolejnej (trzeciej) powierzchni indyferencji dodaje się nowe warianty, na podstawie wiedzy zdobytej podczas generowania drugiej powierzchni indyferencji. Warianty trzeciej powierzchni indyferencji są tworzone w sposób następujący:

- a) używamy punktów marginalnych pierwszych dwóch powierzchni:

$$x_0^1, x_0^2, \dots, x_0^n, x_1^1, x_1^2, \dots, x_1^n;$$

- b) tworzymy zbiór wariantów S_3 , taki że:

$$S_3 = \{(x_{k_1}^1, x_{k_2}^1, \dots, x_{k_n}^1) \mid k_1 + k_2 + \dots + k_n = 2 \wedge \forall i \mid k_i \in \{0,1\}\}. \quad (25)$$

Zbiór S_3 stanowi część powierzchni trzeciej i zawiera wszystkie warianty, dla których dolne indeksy sumują się do dwójki oraz indeksy te są ze zbioru $\{0,1\}$. Taka metoda generowania wariantów jest uogólnieniem metody generowania wariantów przedstawionej w poprzednich rozdziałach.

4. Decydent jest proszony o dodanie wariantów marginalnych do trzeciej powierzchni indyferencji:

$$\begin{aligned} & (x_2^1, x_0^2, \dots, x_0^n) \\ & (x_0^1, x_2^2, \dots, x_0^n) \\ & \vdots \\ & (x_0^1, x_0^2, \dots, x_2^n) \end{aligned}$$

Te warianty powinny być indyferentne do wariantów wygenerowanych przez procedurę uprzednio dla tej powierzchni.

5. Dodajemy do czwartej powierzchni warianty, na podstawie wartości punktów marginalnych $x_0^1, x_0^2, \dots, x_0^n, x_1^1, x_1^2, \dots, x_1^n, x_2^1, x_2^2, \dots, x_2^n$ pierwszych trzech powierzchni. Warianty dla czwartej powierzchni indyferencji są generowane w sposób następujący:

$$S_4 = \{(x_{k_1}^1, x_{k_2}^1, \dots, x_{k_n}^1) \mid k_1 + k_2 + \dots + k_n = 3 \wedge \forall i \mid k_i \in \{0,1,2\}\}. \quad (26)$$

Zbiór S_4 stanowi zbiór wariantów indyferentnych dla czwartej powierzchni.

Ten zbiór zawiera warianty, dla których dolne indeksy sumują się do trójki i nie zawiera jeszcze wariantów marginalnych.

6. Decydent jest proszony o dodanie do czwartej powierzchni wariantów marginalnych następującej postaci:

$$\begin{aligned} & (x_3^1, x_0^2, \dots, x_0^n) \\ & (x_0^1, x_3^2, \dots, x_0^n) \\ & \vdots \\ & (x_0^1, x_0^2, \dots, x_3^n) \end{aligned}$$

7. Decydent kontynuuje procedurę dodawania wariantów marginalnych do następnych powierzchni, kończąc na powierzchni m -tej, która jest ostatnią powierzchnią zawierającą warianty marginalne.

8. Automatycznie uzupełniamy kolejne powierzchnie, dodając do każdej z nich warianty w następujący sposób:

$$S_l = \{(x_{k_1}^1, x_{k_2}^1, \dots, x_{k_n}^1) \mid k_1 + k_2 + \dots + k_n = l - 1 \wedge \forall i \mid k_i \in \{0,1,2, \dots, m\}\}. \quad (27)$$

Zbiór S_l ($m \leq l \leq p$) stanowi powierzchnię indyferencji zawierającą warianty, dla których dolne indeksy sumują się do $l-1$ oraz dolne indeksy nie przekraczają m . S_{p+1} jest ostatnią powierzchnią indyferencji.

Powyższa procedura jest odpowiednia dla struktury preferencji, dla której zachodzi warunek wzajemnej preferencyjnej niezależności. Ponadto warunek ów zachodzi, gdy struktura preferencji jest addytywna. Mimo że w tej pracy nie zakłada się wzajemnej preferencyjnej niezależności, procedura nadaje się do wygenerowania wstępnej postaci zestawu powierzchni indyferencji, a następnie korekty wariantów w ramach tychże powierzchni tak, aby warianty były zgodne z ogólniejszą formą nieaddytywnej struktury preferencji decydenta.

5. System oceny ofert negocjacyjnych opierających się na deklarowanych powierzchniach indyferencji

W poprzednich rozdziałach przedstawiono procedurę automatycznego generowania powierzchni indyferencji, którą wykorzystuje się w systemie wspomaganego negocjacji NegoManage. Ręczne generowanie zbiorów wariantów indyferentnych jest uciążliwe, lecz zwykle, automatycznie wygenerowane powierzchnie indyferencji są zgodne jedynie z addytywną postacią funkcji użyteczności. Jako że we wspomaganym negocjacji w systemie NegoManage nie zakłada się addytywności, powierzchnie po automatycznym wygenerowaniu muszą być ręcznie zmodyfikowane, by odzwierciedlać nieliniowe preferencje.

W systemie NegoManage negocjator definiuje preferencje, określając najpierw odwzorowanie poziomów skali lingwistycznej w wartości numeryczne, a następnie liczbę kwestii negocjacyjnych oraz liczbę powierzchni indyferencji. Są to podstawowe dane niezbędne do zidentyfikowania ogólnej struktury problemu negocjacyjnego. Dalsza strukturyzacja problemu wymaga od negocjatora zdefiniowania zakresów zmienności poziomów realizacji wszystkich kwestii negocjacyjnych wraz z określeniem monotoniczności tychże kwestii. W obecnej wersji systemu w negocjacjach są dopuszczane jedynie kwestie ilościowe lub jakościowe, o zdefiniowanych ekwiwalentach numerycznych. Dwa główne okna definiowania struktury problemu negocjacyjnego w NegoManage przedstawiono na rys. 3.

Lewa formatka z rys. 3 pozwala na kalibrację przyjętej skali lingwistycznej, zdefiniowanie ekwiwalentów numerycznych skali⁴ oraz określenie liczby warstw – powierzchni indyferencji (klas jakości potencjalnych ofert negocjacyjnych) – oraz liczby kwestii. Druga formatka (prawa) pozwala na identyfikację z nazwy kwestii negocjacyjnych oraz – poprzez określenie skrajnych wartości

⁴ Podstawy teoretyczne takiego i innych sposobów kalibracji skali lingwistycznej można znaleźć np. w pracy [Jadidi et al. 2008]. Dokładny opis podwójnej, zintegrowanej skali lingwistycznej wykorzystanej w NegoManage można znaleźć w pracy: [Brzostowski i Wachowicz 2011b].

poziomów realizacji kwestii – wyznaczenie dopuszczalnej przestrzeni negocjacyjnej. Negocjator określa również w sposób ogólny pożądany porządek wartości poziomów realizacji tej kwestii (oznaczenie monotoniczności).

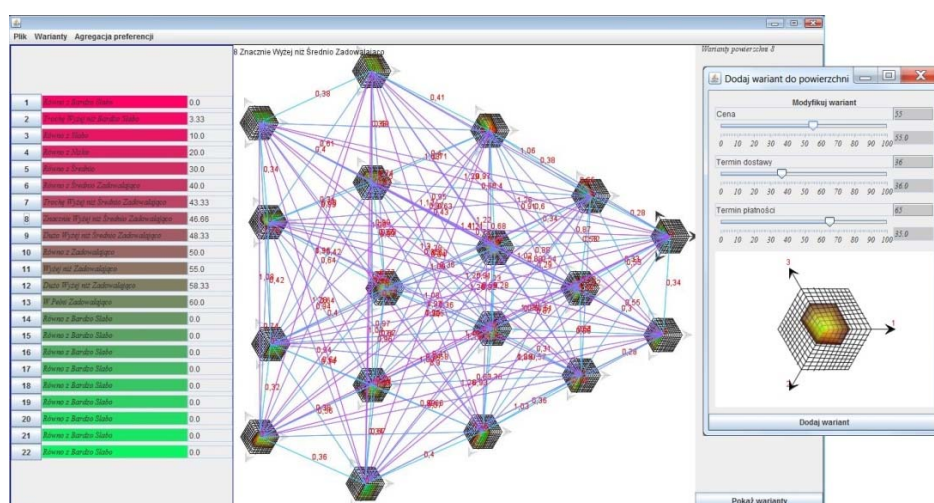
Wartość lingwistyczna	Wartość numeryczna
Barczo Slabo	0
Slabo	10
Nisko	20
Średnio	30
Średnio Zadawalajaco	40
Zadawalajaco	50
W Pełni Zadawalajaco	60
Wartość lingwistyczna	Wartość numeryczna
Równno z	0
Nieznacznie Wyżej niż	10
Trochę Wyżej niż	20
Wyżej niż	30
Znacznie Wyżej niż	40
Dużo Wyżej niż	50
O Wiele Wyżej niż	60
Liczba powierzchni [5,24]	22
Liczba kwestii negocjacyjnych [3,5]	3

Cel nr	Wartość dolna	Wartość górna	Monotoniczność
1: Cena	50	500	<input checked="" type="radio"/> dodatnia <input type="radio"/> ujemna
2: Gwarancja	30	60	<input type="radio"/> dodatnia <input checked="" type="radio"/> ujemna
3: Czas dostawy	7	21	<input type="radio"/> dodatnia <input checked="" type="radio"/> ujemna

Rys. 3. Formatki definiowania struktury problemu w NegoManage

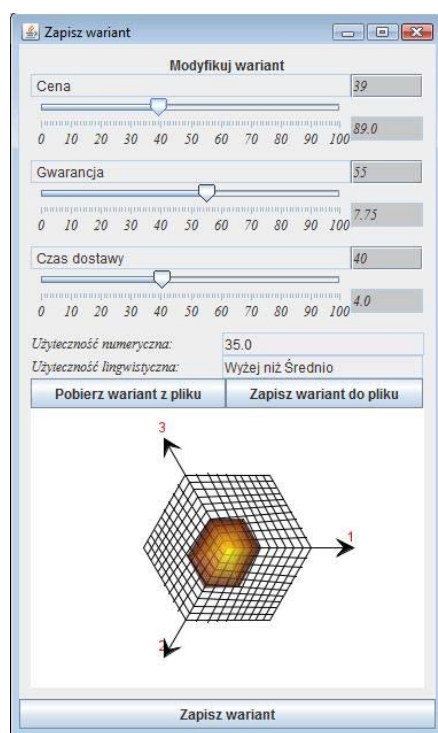
W kolejnym kroku analizy preferencji negocjator jest proszony o podanie przykładów ofert reprezentujących każdą z zadeklarowanych przez niego warstw. Posługując się narzędziem graficznym, negocjator buduje hiperkostkę o kształcie zależnym od wybranych przez niego poziomów realizacji wszystkich kwestii z jakich ma się składać oferta. Po dodaniu jednej oferty do warstwy jest proszony o zadeklarowanie jeszcze kilku wariantów należących do tej samej warstwy (o tej samej jakości), a różniących się poziomami realizacji kwestii od oferty pierwszej. Im więcej takich hiperkostek zadeklaruje negocjator, tym bardziej precyzyjny system oceny otrzyma w efekcie. Takie operacje negocjator powtarza dla wszystkich zadeklarowanych powierzchni indyferencji. Następnie dla każdej klasy jakości ofert negocjacyjnych system konstruuje rozkład prawdopodobieństwa nad odpowiadającą tej klasie powierzchnią indyferencji [Brzostowski i Wachowicz 2011]. Najpierw zbiór wariantów indyferentnych jest dzielony na klastry na podstawie algorytmu statystycznej klasteryzacji, a następnie dla każdego klastra jest budowany rozkład normalny prawdopodobieństwa przynależności wariantów do klastra. Ostatecznie rozkłady dla wszystkich klastrów są agregowane, by stworzyć wielomodalny rozkład prawdopodobieństwa nad

całym zbiorem wariantów indyferentnych. Obliczenia te są realizowane przez system z pominięciem interakcji z użytkownikiem (negocjatorem). Użytkownik przypisuje jedynie do każdego zbioru wariantów indyferentnych poziom lingwistycznej użyteczności. W efekcie otrzymuje się więc zestaw rozkładów prawdopodobieństwa wraz z lingwistycznymi ocenami jakości (użytecznościami) przypisanymi do każdej z powierzchni indyferencji. Taki zestaw danych stanowi system scoringowy, który może być użyty do oceny dowolnej oferty negocjacyjnej z predefiniowanej wcześniej przestrzeni negocjacyjnej (zbioru ofert dopuszczalnych). Przykład definiowania oferty na potrzeby danej klasy oraz kompletnie zdefiniowaną klasę z ofertami ją reprezentującymi (hiperkostkami) z wyestymowanym dla niej poziomem użyteczności przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Deklaracja oferty i obraz powierzchni indyferencji w systemie NegoManage

W fazie negocjacji właściwych system scoringowy może zostać użyty do oceny dowolnego wariantu wybranego przez negocjatorów ze zbioru wariantów dopuszczalnych. Aby ocenić proponowaną ofertę negocjacyjną, NegoManage najpierw wyznacza poziomy przynależności wybranego wariantu do poszczególnych warstw, czyli prawdopodobieństwa lokalizacji wariantu na poszczególnych powierzchniach indyferencji. W następnym kroku jest wyznaczany spłot sekwencji prawdopodobieństw z sekwencją użyteczności (suma iloczynów prawdopodobieństw i poziomów użyteczności dla wszystkich warstw). Taka agregata stanowi wartość oczekiwaną użyteczności dla ocenianego wariantu i w formie oceny numerycznej jest prezentowana negocjatorowi (rys. 5).



Rys. 5. Formatka oceny jakości (użyteczności) wybranej oferty negocjacyjnej

Podsumowanie

Przedstawione w niniejszej pracy rozważania miały na celu przybliżenie idei budowy systemu oceny ofert negocjacyjnych (systemu scoringowego w ogólności), opierającego się na koncepcji powierzchni indyferencji. Taki system powstaje na podstawie danych wejściowych wprowadzanych przez negocjatora w postaci przykładów kompletnych ofert negocjacyjnych, którym towarzyszą pewne oceny (opis użyteczności), np. definiowane z użyciem skali lingwistycznej. Warianty podobne tworzą warstwy (klastry) tej samej jakości. Aby z tak zdefiniowanej struktury preferencji można było wnioskować o ocenie dowolnej oferty negocjacyjnej, pobranej z predefiniowanego zbioru wariantów dopuszczalnych, muszą być jednak spełnione pewne założenia co do postaci preferencji i współczynników wymiany (trade-off). W związku z tym w niniejszej pracy skupiono się na przypomnieniu wybranych idei wieloatrybutowej teorii użyteczności, wykorzystywanych do tworzenia systemu oceny ofert negocjacyjnych. Wywodząc z warunku odpowiedniości współczynników trade-off w kla-

sycznym ujęciu wielokryterialnym, przedstawiono kolejno sposób generowania krzywych indyferencji dla tego przypadku oraz jego uogólnienie na przypadek trzech lub więcej kwestii negocjacyjnych (kryteriów). Przybliżono również system oceny ofert opierających się na tym uogólnieniu, zaimplementowany w postaci modułu analizy preferencji systemu wspomaganego negocjacji NegoManage.

Proponowana procedura analizy preferencji może być alternatywą do klasycznych systemów opierających się na prostych, addytywnych funkcjach scoringowych. Procedura ta nie wymaga bowiem od negocjatorów żmudnego i nieintuicyjnego przypisywania abstrakcyjnych punktów oceny (użyteczności) do wszystkich kwestii negocjacyjnych i ich poziomów realizacji – co w przypadku dużych problemów negocjacyjnych może być wręcz niewykonalne w rozsądnym, przeznaczonym na przygotowanie do negocjacji czasie. Wymaga ona jedynie od negocjatora zdefiniowania przykładów ofert (kontraktów) – reprezentantów pewnych klas jakości (np. wariantów bardzo dobrych, średnich, miernych itp.). Klasom tym są przypisywane oceny lingwistyczne, których ekwiwalenty numeryczne (w postaci oceny liczbowej) można otrzymać dzięki wcześniejszej kalibracji tej skali. Analizując następnie podobieństwo zgłaszanych w toku negocjacji wariantów do klas (reprezentowanych w postaci warstw – powierzchni indyferencji) zaproponowane w pracy narzędzie informatyczne jest w stanie, poprzez stosowne uogólnienia, wyznaczyć ocenę końcową wyrażoną zarówno w postaci termów lingwistycznych użytej skali zintegrowanej, jak i poprzez numeryczne oceny. Potwierdzenie aplikacyjności i użyteczności takiej metody analizy preferencji wymaga jednakże stosownych testów na eksperymentalnych grupach negocjatorów. Symulacje negocjacyjne planuje się przeprowadzić na grupach negocjujących studentów kierunków informatycznych i matematycznych.

Literatura

- Brans J.P. (1982): *L'ingenierie de la decision. Elaboration dinstruments daide a la decision. Methode PROMETHEE*. In: *Laide a la Decision: Nature, Instruments et Perspectives Davenir*. Eds. R. Nadeau, M. Landry. Presses de Universite Laval, Quebec, Canada.
- Brzostowski J., Wachowicz T. (2009): *Conceptual Model of eNS For Supporting Preference Elicitation and Counterpart Analysis*. In: *Proceedings of GDN 2009: An International Conference on Group Decision and Negotiation*. Eds. D.M. Kilgour, Q. Wang. Wilfried Laurier University.
- Brzostowski J., Wachowicz T. (2011a): *Preference Consistency Analysis in the Negotiation Offers' Evaluation System based on the Concept of Indifference Set and Extended Linguistic Scales*. IWoMCDM – Ustroń 2011.

- Brzostowski J., Wachowicz T. (2011b): *Użycie skal lingwistycznych do opisu użyte czności w procesie analizy preferencji*. Ogólnopolska Konferencja Naukowa Modelowanie Preferencji a Ryzyko – Ustroń 2011.
- De Keyser W., Peeters P. (1996): *A Note on the Use of PROMETHEE Multicriteria Methods*. „European Journal of Operational Research”, No. 89.
- Hwang C.L., Yoon K. (1981): *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. Springer-Verlag, Berlin.
- Jadidi O., Hong T.S., Firouzi F., Yusuff R.M., Zulkifli N. (2008): *TOPSIS and Fuzzy Multi-Objective Model Integration for Supplier Selection Problem*. „Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering”, 31(2).
- Keeney R., Raiffa H. (1976): *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs*. Cambridge University Press.
- Lewicki R., Saunders D., Minton J. (1999): *Negotiation*. The MacGraw-Hill Companies, Boston.
- Opricovic S., Tzeng G.H. (2004): *Compromise Solution by MCDM Methods: A Comparative Analysis of VIKOR and TOPSIS*. „European Journal of Operational Research”, No. 156 (2).
- Roy B. (1968): *Classement et choix en présence de points de vue multiples (la méthode ELECTRE)*. „La Revue d’Informatique et de Recherche Opérationnelle” (RIRO), No. 8.
- Saaty T. (1980): *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw Hill, New York.
- Saaty T.L., Alexander J.M. (1989): *Conflict Resolution: The Analytic Hierarchy Approach*. Praeger, New York.

AUTOMATED GENERATION OF INDIFFERENCE SURFACES FOR THE FORMATION OF NEGOTIATION OFFER’S SCORING SYSTEM IN THE NEGOTIATION SUPPORT SYSTEM NegoManage

Summary

In this paper we discuss the mechanism for building the negotiation offers’ scoring system by means of the automatically generated indifference surfaces. We introduce the classic approach based on trade-off analysis first, that derives from multiple attribute value theory and present its application for the simplest case of two- and three-criteria decision problem. Then we analyze its generalization for the cases with more than three decision criteria, which involves also the interaction with decision maker. Finally we present the models software implementation that is applied in the negotiation support system called NegoManage.