

323/2006

Raport Badawczy
Research Report

RB/42/2006

**Problemy komputerowego
wspomagania
decyzji kooperacyjnych**

Lech Kruś

Instytut Badań Systemowych
Polska Akademia Nauk

Systems Research Institute
Polish Academy of Sciences



POLSKA AKADEMIA NAUK

Instytut Badań Systemowych

ul. Newelska 6

01-447 Warszawa

tel.: (+48) (22) 8373578

fax: (+48) (22) 8372772

Kierownik Pracowni zgłaszający pracę:
Prof. dr inż. Roman Kulikowski

Warszawa 2006

PROBLEMY KOMPUTEROWEGO WSPOMAGANIA DECYZJI KOOPERACYJNYCH

Lech Kruś

Instytut Badań Systemowych PAN

1. WSTĘP

W pracy R. Kulikowskiego (2006a) rozpatrzono zagadnienia wspomaganie decyzji dotyczące rozwoju gospodarki oraz bezpieczeństwa przez sprawiedliwe dialogi kooperacyjne. W szczególności zaproponowano zastosowanie koncepcji funkcji użyteczności do wspomaganie rozwoju przez działalność innowacyjną, a także zastosowanie koncepcji funkcji nieużyteczności do redukcji utraty bezpieczeństwa przez działalność ubezpieczeniową i prewencyjną. Przedstawiono szeroki zestaw możliwych zastosowań praktycznych, obejmujący między innymi ocenę korzyści firmy wynikających z wprowadzenia na rynek innowacyjnego produktu przy jednoczesnym uwzględnieniu korzyści klientów kupujących i stosujących ten produkt, redukcję strat powodowanych losowymi zagrożeniami przez działania prewencyjne i ubezpieczenia w służbie zdrowia, w transporcie, edukacji i innych dziedzinach. Zwrócono uwagę na potrzebę dialogów prowadzących do kooperacji. Niniejsza praca wiąże się bezpośrednio z tymi zagadnieniami. Dotyczy problemów wspomaganie analizy działań kooperacyjnych i dialogów, których wynikiem będzie sprawiedliwy podział efektów kooperacji między współpracujące strony. Obie prace zawierają materiał przedstawiony i przedyskutowany na seminarium Kulikowski, Kruś (2006). Celem tego seminarium była prezentacja proponowanych kierunków dalszych badań w omawianej dziedzinie.

Niżej przedstawia się wybrane problemy wspomaganie decyzji kooperacyjnych z zastosowaniem systemów komputerowych. Podstawy teoretyczne stanowią: modelowanie matematyczne, metody analizy wielokryterialnej, metody funkcji użyteczności, teo-

ria gier kooperacyjnych z wykorzystaniem metod obliczeniowych optymalizacji. Przyjmijmy, że kilka podmiotów decyzyjnych (stron negocjacji) rozpatruje udział we wspólnym przedsięwzięciu. Celem wspomaganie decyzji jest doprowadzenie do określenia uczciwego (sprawiedliwego i etycznego), akceptowalnego przez kooperujące strony: 1. udziału (zaangażowania) każdej ze stron w przedsięwzięciu, oraz 2. podziału korzyści wynikających ze współpracy.

Proponowany sposób podejścia do rozwiązania zagadnienia obejmuje:

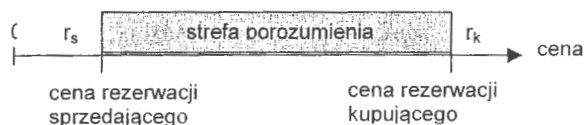
- budowę modeli matematycznych opisujących sytuacje decyzyjne,
- zastosowanie interakcyjnych procedur wyznaczania propozycji kooperacyjnych z uwzględnieniem preferencji stron,
- zastosowanie koncepcji rozwiązań teorii gier kooperacyjnych,
- budowę systemów komputerowych umożliwiających wspomaganie analizy decyzyjnej.

2. PROSTE ZAGADNIENIE TARGU

W praktyce stosowane są różne sposoby osiągnięcia konsensusu rozumianego jako uzgodnienie wzajemnie akceptowalnych decyzji stron: negocjacje bezpośrednie, mediacje, arbitraż. W każdym z powyższych przypadków mamy do czynienia ze specyficzną formą negocjacji. W najprostszym przypadku strony bezpośrednio negocjują warunki porozumienia między sobą. W przypadku, gdy nie mogą dojść do porozumienia, mogą odwołać się do arbitrażu, przy czym arbiter musi być osobą lub instytucją uznaną przez strony, jako ostatecznie rozsądzającą warunki porozumienia i której decyzja będzie przez strony respektowana. W przypadku mediacji, negocjujące strony są wspomagane przez mediatora – osobę, zespół osób lub instytucję, która pomaga stronom osiągnąć konsensus, ale ostateczne decyzje o porozumieniu podejmowane są przez negocjujące strony.

Podstawowym elementem przygotowania do negocjacji każdej ze stron jest określenie najlepszej alternatywnej opcji względem negocjowanego porozumienia (ang. „Best Alternative to Negotiated Agreement” - BATNA), patrz (Fisher, Ury, 1981), (Raiffa, 1982). Rozpatrzmy najprostszy przypadek jednoprzeciwotowego targu kupna-

sprzedaży. Sprzedający i kupujący negocjują cenę towaru. Sprzedający ma określoną minimalną cenę rezerwacji, poniżej której nie opłaca się mu sprzedaż. Kupujący ma maksymalną cenę rezerwacji kupna, powyżej której zakup towaru jest nieopłacalny. Ceny rezerwacji wynikają z określenia ceny „BATNA” odpowiednio sprzedającego i kupującego. Przykładowo w przypadku kupującego może to być inna najlepsza oferta sprzedaży tego towaru lub inny atrakcyjniejszy cel wydatkowania danej kwoty pieniężnej. Zawarcie porozumienia jest możliwe (Rys. 1.), gdy istnieje strefa porozumienia, tzn $r_s < r_k$, gdzie r_s jest ceną rezerwacji sprzedającego, a r_k ceną rezerwacji kupującego. Oczywiście jest, że sprzedający nie zgodzi się sprzedać po cenie niższej niż r_s a kupujący nie zgodzi się kupić po cenie wyższej niż r_k . W tej strefie może być ustalona cena porozumienia, ale również strony mogą nie dojść do konsensusu nawet w przypadku, gdy strefa ta nie jest pusta.



Rys. 1. Strefa porozumienia w jednoprzemiotowym problemie targu

Informacja dotycząca cen rezerwacji (określonych na podstawie pojęcia „BATNA”) jest ściśle chroniona przez każdą ze stron. Typowe jest, że w procesie negocjacji, składając kolejne oferty, strony starają się manipulować informacją. Sprzedający stara się sprawić wrażenie wyższej ceny rezerwacji od rzeczywistej, a kupujący odwrotnie. Cena ustalona w porozumieniu, jeśli oczywiście zostanie obustronnie zaakceptowana, istotnie zależy od tego wrażenia.

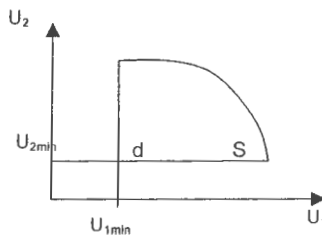
Istnieją oczywiście przykłady mechanizmów odpornych na manipulacje. Opracowane są jednak dla bardzo specyficznych problemów decyzyjnych. Przykładem może być zasada „ja dzielę, ty wybierasz” stosowana do podziału tortu. Rozszerzenia tej procedury na przypadek uczciwego podziału wieloprzemiotowego spadku podał Hugo Steinhaus. Procedura ta jest przedstawiona i szeroko komentowana w pracy (Raiffa, 1982), patrz również (Young, 1982). Groves i Ledyard, (1977) zaproponowali rozwią-

zanie problemu manipulacji (ang. free-rider problem) w przypadku alokacji nakładów na wspólne cele. Zaproponowany mechanizm wykorzystuje idee „karania” za nieuczciwe postępowanie i jest realizowany przez tzw. podwójną płatność (ang. double payment). Interesujące procedury uczciwego podziału środków między projekty badawcze zostały zaproponowane w pracach (Kulikowski i inni, 1981). W ogólnym przypadku problem możliwych manipulacji stron negocjowanego porozumienia jest jednak wciąż otwarty.

3. AKSJOMATYCZNE MODELE TARGU W PRZESTRZENIACH UŻYTECZNOŚCI

Jedno i wieloprzedmiotowy problem targu jest rozpatrywany w klasycznej teorii gier kooperacyjnych w przestrzeni użyteczności negocjujących stron traktowanych jako graczy (Nash, 1950, Raiffa 1953, Kalai, Smorodinsky 1975, Roth 1979, Thomson 1980).

Zakłada się, że znane są informacje o celach negocjujących stron umożliwiające określenie zbioru osiągalnych i akceptowalnych wypłat S (Rys. 2.) w przestrzeniach użyteczności. Strony negocjacji mogą osiągnąć dowolny punkt ze zbioru porozumień, jeśli dojdą do konsensusu. Punkt braku porozumienia d określa użyteczności osiągame przez negocjujących, gdy porozumienie nie będzie zawarte i jest wyznaczany na podstawie pojęcia BATNA.



Rys. 2. Problem targu w przestrzeni użyteczności

W sytuacjach targu w praktyce mamy do czynienia z pewnym konfliktem interesów stron, ale także z pewnym interesem wspólnym. Każdy z graczy chce uzyskać moż-

liwie maksymalny udział w efektach współpracy wynikających z porozumienia – faktycznie kosztem drugiego gracza. Wspólna jest chęć uzyskania porozumienia, gdyż tylko wtedy można uzyskać poprawę użyteczności w porównaniu z punktem d .

Rozwiązanie w grze targu jest formułowane jako sposób wyboru punktu należącego do zbioru S . Różne koncepcje rozwiązań są formułowane przy różnych aksjomatach (zakładanych własnościach opisujących odczucia graczy dotyczących preferencji pojęcia sprawiedliwości. Podstawowe założenie jest następujące: jeśli racjonalny gracz zgadza się z danym zestawem zasad opisanych przez aksjomaty i akceptuje je jako uczciwe – powinien zaakceptować rozwiązanie, które je spełnia.

Przykłady koncepcji rozwiązań

Rozwiązanie egalitarne

Określone jest jako punkt Pareto optymalny w zbiorze S zapewniający równe przyrosty użyteczności. Rozwiązanie to spełnia aksjomaty: słabej Pareto optymalności, symetrii, silnej monotoniczności.

Rozwiązanie kooperacyjne Nasha

Określone jest jako punkt zbioru S maksymalizujący iloczyn przyrostu użyteczności tzn. $\operatorname{argmax}_{u \in S} (U_1 - U_{1\min})(U_2 - U_{2\min})$. Punkt ten spełnia aksjomaty Pareto optymalności, niezależności od afinicznych przekształceń użyteczności, niezależności od nieistotnych alterantów, symetrii.

Rozwiązanie Raiffa-Kalai-Smorodinsky

Jest to punkt Pareto optymalny zbioru S leżący na linii łączącej punkt d z punktem idealnym $I(S) = (I_1(S), I_2(S))$ zbioru S , gdzie $I_i(S) = \max\{U_i \mid U \in S\}$, $i=1,2$. Punkt ten spełnia aksjomaty słabej Pareto optymalności, symetrii, niezależności od afinicznych przekształceń użyteczności, indywidualnej monotoniczności.

Powyższe koncepcje rozwiązań mogą służyć do określania propozycji mediacyjnych, a także arbitrażowych. Mogą być również wykorzystane przez decydentów, którzy chcą zaproponować uczciwe rozwiązania kooperacyjne w sytuacjach, w których nie ma bezpośrednich negocjacji. Jako przykład może służyć uczelnia prywatna, która pro-

ponuje wysokość czesnego uwzględniając nie tylko własne korzyści, ale także korzyści studentów wynikające z uzyskanych na uczelni kwalifikacji.

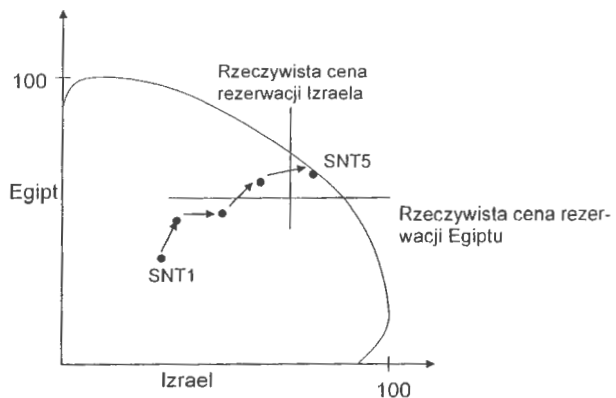
4. PROCES MEDIACJI Z WYKORZYSTANIEM PROCEDURY POJEDYNCZEGO TEKSTU NEGOCJACYJNEGO (ang. Single Negotiation Text – SNT).

Przedstawiona niżej procedura stanowi przykład efektywnego wspomagania procesu negocjacji przez mediatora. Procedura ta została zaproponowana przez R. Fishera i skutecznie zastosowana w negocjacjach w Camp David, USA (patrz Raiffa, 1982).

W negocjacjach w Camp David, które odbyły się w 1978 roku, uczestniczyli jako adwersarze: Premier Izraela Menachem Begin i Prezydent Egiptu Anwar-el Sadat, oraz Prezydent USA Jimmy Carter, pełniący rolę gospodarza i mediatora. Celem negocjacji było rozwiązanie konfliktu na bliskim wschodzie. Stany Zjednoczone miały bardzo silne moralne, polityczne i ekonomiczne interesy, aby zażegnać ten konflikt. Tradycyjny sposób prowadzenia negocjacji, w którym każdy z adwersarzy przedstawiał swoją propozycję rozwiązania konfliktu, nie doprowadziły do konsensusu, mimo starań mediatora i zapewnienia bardzo gościnnej, przyjaznej atmosfery. Po kilku kolejnych wymianach kontrpropozycji, które były absolutnie nie do zaakceptowania przez drugą stronę i nie zbliżały pozycji negocjacyjnych stron, adwersarze szykowali się już do wyjazdu.

Roger Fisher, doradca Prezydenta J. Cartera, zaproponował inny sposób prowadzenia negocjacji. Zamiast dyskutować poszczególne zagadnienia oddzielnie i rozważać wzajemnie przeciwstawne propozycje, adwersarze w kolejnych rundach rokowań otrzymują i analizują propozycje przygotowane przez mediatora. W każdej rundzie pracują nad tym samym tekstem negocjacyjnym (ang. Single Negotiation Text – SNT). Każdy z adwersarzy analizuje ten tekst negocjacyjny, określa najważniejsze dla niego zagadnienia zgodnie z jego priorytetami oraz jakie zmiany, mogłyby przybliżyć osiągnięcie konsensusu. Na podstawie uwag adwersarzy mediator przygotowuje i przedstawia nową wersję propozycji korzystniejszą dla obu stron.

Ideę procedury i kolejne teksty negocjacyjne przedstawia Rys. 3. Osie wykresu przedstawiają odpowiednio użyteczności możliwych rozwiązań dla Izraela i Egiptu w skali do 100%. Przedstawiono hipotetyczny brzeg dopuszczalnych dla adwersarzy rozwiązań, oraz kolejne propozycje mediacyjne: SNT1, SNT2, . . . , SNT5 przygotowane przez mediatora zgodnie z powyższą procedurą. Zaznaczono również ceny rezerwacji adwersarzy. Zauważmy, że na tej ilustracji w 4-tej rundzie udało się przekroczyć cenę rezerwacji Egiptu, a w 5-tej także cenę rezerwacji Izraela. Rzeczywiste negocjacje trwały większą liczbę rund, które doprowadziły sukcesu i osiągnięcia konsensusu. Podana procedura SNT jest często stosowana w negocjacjach międzynarodowych.



Rys. 3. Ilustracja procedury SNT w przypadku negocjacji w Camp David.

5. IDEA KOMPUTEROWEJ PROCEDURY MEDIACYJNEJ W WIELOKRYTERIALNYM ZAGADNIENIU TARGU, ZGODNEJ Z KONCEPCJĄ SNT

Procedura pojedynczego tekstu negocjacyjnego charakteryzuje się tym, że proces negocjacji przebiega w formie sekwencji rund z aktywnym udziałem mediatora. W każdej rundzie mediator przygotowuje konkretną propozycję mediacyjną. Każda ze stron analizuje tę samą propozycję przygotowaną przez mediatora. Przedstawia swoje propo-

zycje, zgodnie ze swoimi preferencjami, jak można te propozycję poprawić. Mediator na podstawie tych uwag otrzymanych od obu stron przygotowuje poprawioną propozycję mediacyjną i proces analizy powtarza się w kolejnej rundzie.

Procedura pojedynczego tekstu negocjacyjnego stanowi inspirację do konstrukcji komputerowego wspomaganie procesu osiągania konsensusu, w którym rolę mediatora pełni odpowiednio zbudowany system komputerowy.

Rozpatrzmy wielokryterialny problem targu, w którym uczestniczy n decydentów (traktowanych zgodnie z teorią gier jako gracze). Każdy gracz $i = 1, \dots, n$, ma określony wektor zmiennych decyzyjnych $x^i \in R^{k_i}$, gdzie k_i jest liczbą zmiennych decyzyjnych gracza i , oraz ma określony wektor kryteriów $y^i \in R^{m_i}$, gdzie m_i jest liczbą kryteriów tego gracza. Przyjmujemy, że dany jest model matematyczny opisujący sytuację decyzyjną, określający

- zbiór dopuszczalnych decyzji $X^0 \subset R^K$, gdzie $R^K = R^{k_1} \times \dots \times R^{k_n}$ jest przestrzenią decyzji wszystkich graczy,
- przestrzeń wypłat wszystkich graczy $R^M = R^{m_1} \times \dots \times R^{m_n}$, określoną jako iloczyn kartezyjski wielokryterialnych przestrzeni wypłat wszystkich graczy,
- funkcję $F : X^0 \rightarrow R^M$ określającą wektory wypłat graczy dla zadanych zmiennych decyzyjnych.

W przypadku ciągłej funkcji F oraz gdy zbiór X^0 jest zwarty, zbiór osiągalnych wielokryterialnych wypłat $Y^0 = F(X^0)$ będzie również zwarty.

Przyjmijmy, że każdy gracz ma swój punkt rezerwacji $d^i \in R^{m_i}$ określony na podstawie koncepcji BATNA w swojej przestrzeni kryteriów. Możemy wówczas sformułować wielokryterialny problem targu, w którym punkt braku porozumienia określony jest przez punkt $d = (d^1, \dots, d^n) \in R^M$, natomiast zbiór porozumień S określony jest przez punkty zbioru $Y^0 \subset R^M$ dominujące punkt d .

Można zaproponować następującą procedurę interakcyjnego, komputerowego wspomaganie procesu mediacji, składającą się z kolejnych rund $t=1, 2, \dots, T$, w trakcie których system komputerowy generuje kolejne propozycje mediacyjne d^t , gracze je ana-

lizują i przedstawiają propozycje poprawy zgodnie ze swoimi preferencjami. Propozycje graczy są podstawą do wygenerowania w następnej rundzie kolejnej propozycji mediacyjnej d^{t+1} , zgodnie z następującym schematem:

$$d^0 = d,$$

$$d^t = d^{t-1} + \alpha^t \cdot [G^t - d^{t-1}], \text{ dla } t=1, 2, \dots, T. :$$

gdzie

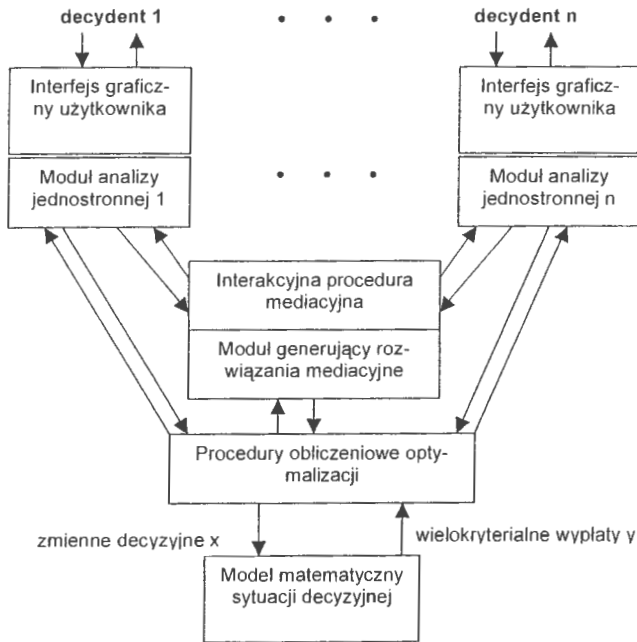
$\alpha^t = \min\{\alpha^1, \dots, \alpha^m\}$, α^t jest tzw. współczynnikiem zaufania zakładanym przez gracza i w rundzie t , $0 < \varepsilon < \alpha^t < 1$,

G^t jest propozycją mediacyjną wyznaczaną przez system komputerowy zgodnie z przyjętą koncepcją rozwiązania teorii gier kooperacyjnych, np. rozwiązania Nasha uogólnioną na przypadek wielokryterialny.

W pracach Kruś (1991, 2002b), Kruś, Bronisz(1996) przedstawiono możliwości budowy interakcyjnych procedur analizy wielokryterialnej i uogólnienia klasycznych koncepcji rozwiązań kooperacyjnych, Nasha, Raiffa-Kalai-Smorodinsky i innych na przypadek wielokryterialny, pokazując nietrywialność takiego uogólnienia i aksjomatyczne własności tych uogólnionych koncepcji rozwiązań.

W każdej rundzie t , dla danego punktu d^t , każdy gracz dokonuje jednostronnej analizy wielokryterialnej w swojej przestrzeni wydat. Do analizy tej bardzo przydatne jest podejście funkcji aspiracji (Wierzbicki, 1986), wykorzystujące ideę punktu referencyjnego. Każdy z graczy zakłada kolejno (pewną liczbę) punktów referencyjnych w przestrzeni swoich kryteriów. System komputerowy dla każdego z tych punktów wyznacza odpowiednie, najlepsze w sensie założonej funkcji osiągnięcia, rozwiązanie niezdominowane w zbiorze Y^0 , poprawiające punkt d^t . Gracz po analizie pewnej liczby tak wygenerowanych rozwiązań niezdominowanych, może wskazać rozwiązanie najlepsze ze względu na jego preferencje. Gracz jest również proszony o określenie współczynnika zaufania α^t , dodatniej liczby mniejszej od 1, której wartość proporcjonalnie ogranicza przyrosty kryteriów wszystkich graczy i umożliwia ewentualne korekty decyzji w następnych rundach. Te najlepsze rozwiązania wskazane przez graczy zawierają informacje o ich preferencjach i są wykorzystywane przy wyznaczeniu przez system następ-

nej propozycji mediacyjnej. W pierwszej rundzie, punktem startowym (punktem status quo) analizy jest punkt d braku porozumienia.



Rys. 4. Ogólna struktura systemu komputerowego wspomagającego decyzje kooperacyjne

Ogólny schemat systemu komputerowego wspomagającego osiągnięcie konsensusu proponowany jest na Rys. 4. Obejmuje on między innymi moduł zawierający implementację modelu matematycznego sytuacji decyzyjnej, moduły indywidualnej analizy decyzyjnej decydentów, moduł analizy wielostronnej - generujący rozwiązania mediacyjne, implementację procedury mediacyjnej, procedury obliczeniowe optymalizacji, interfejs graficzny użytkowników, bazy danych przechowujące informacje niezbędne do zdefiniowania modelu matematycznego oraz przechowujące generowane rozwiązania i analizowane przez decydentów warianty. Strzałki oznaczają przepływy informacji między modułami.

Przedstawiona struktura ma charakter ogólny. Dla konkretnych zagadnień kooperacyjnych występujących w praktyce wymagane jest konstruowanie oddzielnych systemów komputerowych z wykorzystaniem procedur uwzględniających specyfikę konkretnego zagadnienia. Jako przykład może służyć zagadnienie kooperacji dotyczące wspólnej realizacji projektów innowacyjnych rozpatrywane w pracy (Kruś, 2004). Problem dotyczy analizy finansowej wspólnego przedsięwzięcia, którego celem jest opracowanie nowej, innowacyjnej technologii. Realizacja projektu związana jest z dużym ryzykiem niepowodzenia, natomiast w przypadku powodzenia może być oczekiwana bardzo wysoka stopa zwrotu. Problem rozpatrywany jest jako wielokryterialne zagadnienie targu. Punkt status quo, stanowiący punkt startowy negocjacji, leży w tym przypadku na brzegu Pareto w zbioru osiągalnych wypłat w przestrzeni kryteriów wszystkich graczy. Przedstawiona wyżej procedura nie może być wówczas bezpośrednio zastosowana. W pracy (Kruś, 2004c) zaproponowano nową wersję interakcyjnej procedury i przedstawiono ilustrujące ją wyniki obliczeniowe, nie mniej wymagane są dalsze badania nad tym zagadnieniem obejmujące podstawy teoretyczne i zagadnienia praktycznej implementacji.

W przypadku, gdy liczba graczy n jest większa od dwóch i gracze mogą tworzyć różne koalicje (nie tylko koalicję n -osobową), zagadnienie współpracy może być modelowane w formie w n -osobowych gier kooperacyjnych uwzględniających strukturę możliwych koalicji. Analiza takich gier umożliwia ocenę wpływu struktury koalicyjnej na wypłaty uczestników. W pracy (Kruś, Bronisz, 2000) sformułowano i rozpatrzono przypadki takich gier dla wielokryterialnych wypłat graczy. Zaproponowano nowe wielokryterialne koncepcje rozwiązań stanowiące uogólnienie klasycznych koncepcji nukleousa. Pokazano możliwość zastosowania tych nowych rozwiązań do analizy wielokryterialnej w zagadnieniu alokacji nakładów we wspólne przedsięwzięcia.

6. ANALIZA UŻYTECZNOŚCI INWESTOWANIA W PRZEDSIĘWZIĘCIA INNOWACYJNE

Do analizy finansowej przedsięwzięć innowacyjnych z uwzględnieniem ryzyka zastosowano również alternatywne podejście funkcji użyteczności. Podejście to zakłada

możliwość agregowania wielu kryteriów charakteryzujących wypłaty za pomocą funkcji opisującej użyteczność decydenta. Analiza podejmowanych decyzji prowadzona jest w celu maksymalizacji osiąganego użyteczności. Prace w tym kierunku, dotyczące analizy użyteczności inwestowania w przedsięwzięcia innowacyjne (Kruś 2002a, 2004a,b, 2006b), były zainspirowane wynikami R. Kulikowskiego (1998, 2003, 2006a,b,c), który zaproponował koncepcję użyteczności stanowiącą rozwinięcie idei von Neumana Morgensterna (1953), Savage'a (1954), Tversky'ego, Kahnemanna (1981). Stosując tę koncepcję użyteczności opracowano model matematyczny sytuacji decyzyjnej uwzględniający ryzyko niepowodzenia projektu (Kruś 2006b). Zaproponowano w szczególności algorytmiczne wyznaczanie prawdopodobieństwa sukcesu realizacji projektu składającego się z wielu operacji, przy wykorzystaniu ocen ekspertów. Zaproponowano również budowę odpowiedniego systemu komputerowego wspomagającego niezależnych decydentów negocjujących podjęcie i realizację wspólnego przedsięwzięcia innowacyjnego. System zawiera implementację modelu matematycznego oraz opcje umożliwiające decydenom analizę jednostronną i wielostronną problemu ze względu na wymagane nakłady, oczekiwane korzyści i ryzyko niepowodzenia. Wspomaganie analizy jednostronnej obejmuje możliwości generowania przy pomocy systemu różnych scenariuszy realizacji projektu i oceny wynikowych wielkości finansowych i ryzyka. Zakłada się, że analiza ta jest dokonywana niezależnie przez każdą ze stron z zachowaniem poufności informacji. Analiza jednostronna stanowi przygotowanie do negocjacji. Wspomaganie analizy wielostronnej ma na celu ułatwienie znalezienia konsensusu. System umożliwia generowanie propozycji mediacyjnych z uwzględnieniem preferencji negocjujących stron. Propozycje te wyznaczane są zgodnie z koncepcją rozwiązania kooperacyjnego Nasha. Wyznaczane są jako rozwiązania odpowiednio sformułowanych zadań optymalizacji. Przedstawiane są stronom do wspólnej analizy, po której może być wygenerowana kolejna propozycja mediacyjna. Opracowano eksperymentalną wersję systemu. Przeprowadzono eksperymenty obliczeniowe. Wybrane wyniki obliczeniowe przedstawiono w publikacjach. Ilustrują idee wspomaganie omawianej wyżej analizy.

Istotnym elementem systemu jest moduł zawierający implementację modelu opisującego preferencje decydentów za pomocą funkcji użyteczności i obejmujący procedury szacowania parametrów tej funkcji. W szczególności, na podstawie koncepcji podanych

przez R. Kulikowskiego zaproponowano (Kruś 2006a) komputerową implementację procedur obliczeniowych szacowania parametrów funkcji użyteczności, a także funkcji opisującej nieużyteczność możliwych strat i zagrożeń. Procedury te mają charakter interaktywny. Pokazano jak oceny podawane przez decydentów w trakcie danej procedury, zgodnie z ich preferencjami, wpływają na wartości szacowanych parametrów. Podano przykład ilustrujący wpływ szacowanych parametrów na optymalny podział nakładów między przedsięwzięcia o różnym poziomie ryzyka.

7. PROBLEMY WSPOMAGANIA DECYZJI EDUKACYJNYCH STUDENTÓW I UCZELNI PRYWATNEJ

Badania w tym zakresie prowadzone są we współpracy z Wyższą Szkołą Informatyki Stosowanej i Zarządzania w Warszawie. Ich celem prac jest rozwinięcie metodologii prowadzącej do budowy systemu komputerowego wspomagającego decyzje kandydatów na studia, studentów, władz uczelni prywatnej. Decyzje te podejmowane są w warunkach ryzyka. W przypadku kandydatów na studia i studentów dotyczą one wyboru ścieżki edukacyjnej. W przypadku władz uczelni, decyzje dotyczą organizacji procesów edukacyjnych na założonych kierunkach i specjalizacjach studiów, a także ustalania czesnego i wynagrodzenia wykładowców. Podstawowy problem metodologiczny dotyczy oceny efektywności decyzji na podstawie uzyskiwanej użyteczności z uwzględnieniem możliwości finansowych i ponoszonego ryzyka. W pracach (Kruś 2006c,d) przedstawiono propozycję konstrukcji odpowiedniego systemu komputerowego umożliwiającego analizę decyzyjną kandydatów na studia, studentów i władz uczelni z zastosowaniem koncepcji użyteczności R. Kulikowskiego. Struktura systemu obejmuje między innymi moduły zawierające implementacje modeli matematycznych sytuacji decyzyjnych, implementacje modeli opisujących preferencje decydentów za pomocą odpowiednich funkcji użyteczności, interakcyjne procedury estymacji subiektywnych parametrów użyteczności, moduł wspomaganie decyzji obejmujący procedury obliczeniowe generujące wielkości wyjściowe modeli dla zadanych scenariuszy analizy, wyznaczanie miar ryzyka, procedury optymalizacji decyzji. Aktualne wyniki obejmują konstrukcję wybranych modeli sytuacji decyzyjnych z uwzględnieniem zróżnicowania

studentów ze względu na zdolności (szacowane na podstawie wcześniejszych wyników na studiach), a także zróżnicowania kierunków i specjalizacji studiów.

Korzyści studenta z edukacji z uwzględnieniem ryzyka można określić jako zdyskontowaną wartość szacowanego przyrostu dochodów w wyniku ukończenia studiów pomniejszone o zdyskontowane nakłady na kształcenie poniesione w czasie studiów. Korzyści te mogą być osiągnięte pod warunkiem ukończenia tej szkoły i zdania egzaminu dyplomowego, a następnie uzyskania i utrzymania zatrudnienia. Metodologia użyteczności R. Kulikowskiego umożliwi analizę użyteczności studenta z uwzględnieniem tego ryzyka.

Użyteczność studenta podejmującego edukację w szkole wyższej (Krus 2006c) jest zależna od klasy $i \in [1, k]$ zdolności i wiedzy studenta oraz od wybranej specjalności $j \in [1, l]$:

$$U_{x_{sj}}(c_j) = P_s R_{sej}(c_j) p_{ej} S_{sij}^{1-\beta_s} x_s(c_j)^{\beta_s},$$

gdzie $x_{sj}(c_j) = I_e(c_j)/P_s$, $R_{sej}(c_j) = (W_{ej} - I_e(c_j))/I_e(c_j)$, P_s - kapitał posiadany przez studenta w czasie podejmowania studiów, p_{ej} - prawdopodobieństwo ukończenia studiów i uzyskania pracy.

Konstruując powyższą funkcję użyteczności uwzględniono zdyskontowane nakłady $I_e(c)$ studenta na kształcenie:

$$I_e(c_j) = \sum_{t=1}^{T_u} [m(t) + c_j](1 + k_e)^{-t},$$

gdzie $m(t)$ oznacza koszty utrzymania, c_j chesne na specjalizacji j , k_e stopę dyskonta. Przewidywane korzyści z uzyskanego wykształcenia można określić jako:

$$W_{ej} = \sum_{t=T_u+1}^T w_{ej}(t)(1 + k_u)^{-t}, \text{ gdzie}$$

$w_{ej}(t)$ oznacza szacowny przyrost wynagrodzenia absolwenta uczelni po ukończeniu specjalności j w porównaniu z pracownikiem bez takiego wykształcenia.

Stopa zwrotu R_{sej} z poniesionych nakładów na edukację osiągnana jest z prawdopodobieństwem p_{ej} w przypadku sukcesu tj. w przypadku ukończenia studiów i uzyskania

zatrudnienia, natomiast S_{stj} jest indeksem bezpieczeństwa związanym z ryzykiem nieukończenia studiów lub nie uzyskaniem po studiach pracy.

Powyższy model umożliwia analizę użyteczności studenta osiąganę w wyniku edukacji w zależności od jego zdolności, wyboru specjalizacji, przewidywanej sytuacji na rynku pracy, ale także od jego (ew. jego rodziny) sytuacji finansowej. Wybrane elementy systemu zostały eksperymentalnie zaimplementowane. Przeprowadzono eksperymenty obliczeniowe, których wyniki są przedstawione w pracy (Kruś 2006c).

Zakłada się, że system umożliwi analizę różnych sytuacji decyzyjnych studentów i władz uczelni. Proponuje się w związku z tym konstrukcję i komputerową implementację rodziny odpowiednich modeli matematycznych opisujących te sytuacje. Niżej przedstawia się dwa nowe problemy analizy decyzyjnej, w których mogą być wykorzystane idee funkcji użyteczności oraz funkcji nieużyteczności R. Kulikowskiego.

Analiza finansowa korzyści uczelni dla nowo wprowadzanego innowacyjnego kierunku studiów i możliwych strat dotychczasowego kierunku zagrożonego nierentownością

Rozpatrzmy sytuację decyzyjną władz uczelni, która prowadzi kilka kierunków studiów, w przypadku zaobserwowania dla jednego z tych kierunków zmniejszającej się w kolejnych latach liczby kandydatów. Władze uczelni rozważają uruchomienie nowego, innowacyjnego kierunku z jednoczesnym ograniczeniem miejsc na kierunku zagrożonym nierentownością. Koncepcja funkcji użyteczności i nieużyteczności przedstawiona w pracy (Kulikowski, 2006b) umożliwia analizę finansową decyzji władz uczelni z uwzględnieniem ryzyka. Niech indeks i oznacza kierunek innowacyjny, a indeks z kierunek dotychczasowy zagrożony nierentownością. Przyjmijmy, że roczna wysokość czesnego wynosi c_1 , c_2 koszty operacyjne c_{o1} , c_{oz} przypadające na przygotowanie jednego miejsca na studiach, n_1 , n_2 - liczbę przygotowanych miejsc, k_1 , k_2 - liczba oczekiwanych studentów, odpowiednio na kierunku innowacyjnym i oraz dotychczasowym z .

Przyjmujemy, że uczelnia dysponuje kapitałem P_u , z którego część $I_{u1}=n_1 c_{o1}$ zostaje przeznaczona na przygotowanie miejsc dla n_1 studentów na kierunku innowacyjnym, a część $I_{u2}=n_2 c_{oz}$ na przygotowanie n_2 miejsc na kierunku z .

Rozpatrujemy sumę użyteczności kierunku innowacyjnego i :

$$U_{ii}(c) = P_u R_u p_i S^{1-\beta_u} x_i^{\beta_u} = P_u \cdot (c_i / c_{oi} - 1) \cdot p_i \cdot S_i^{1-\beta_u} \cdot x_i^{\beta_u}$$

, gdzie $x_i = I_{ii} / P_u$,

stopa zwrotu: $R_{ii} = c_i / c_{oi} - 1$ z prawdopodobieństwem $p_{ii} = k_i / n_i$ (przy założeniu dwumianowego rozkładu prawdopodobieństwa sukcesu uczelni w pozyskiwaniu studentów).

oraz możliwej nieużyteczności kierunku zagrożonego z :

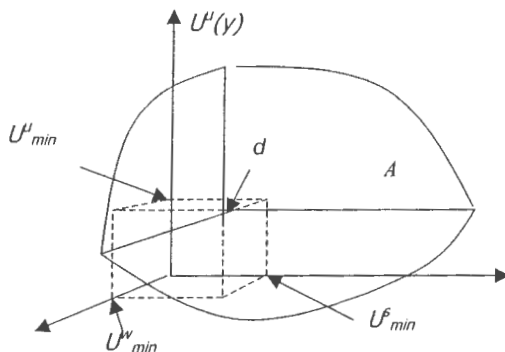
$$D(x_i) = K_r \frac{R_{ii} p_i}{S_i^{\beta_i - 1}} x_i^{\beta_i}, \text{ gdzie stopa strat } R_{ii} = \frac{K_e - \bar{K}_e}{\bar{K}_e}, \quad x_i = K_e / K_r, \text{ oraz}$$

$K_r = P_u$ posiadane rezerwy kapitału, $K_e = I_{ud}$ zagrożony kapitał, \bar{K}_e = wartość K_e w przypadku niedostatecznej liczby studentów, p_i prawdopodobieństwo wystąpienia zagrożenia.

Problem kooperacji: uczelnia prywatna - studenci - wykładowcy

W pracy (Krus, 2003) rozpatrzono problem kooperacji uczelni prywatnej i studentów jako zagadnienie targu w przestrzeni użyteczności. Problem ten dotyczy ustalania wysokości czesnego dla poszczególnych kierunków studiów przez władze szkoły. Nie mamy w tym wypadku do czynienia z bezpośrednimi negocjacjami dotyczącymi wysokości czesnego między władzami szkoły a studentami. Władze szkoły powinny jednak proponować uczciwy poziom czesnego, zapewniający odpowiedni poziom korzyści zarówno szkoły jak i studentów, konkurując na rynku edukacyjnym z innymi szkołami. Pomocna jest przy tym analiza rozwiązań kooperacyjnych wykorzystująca koncepcje gier kooperacyjnych. Wskazane jest rozszerzenie tej analizy i uwzględnienie trzeciego partnera w procesie edukacji – wykładowców. Rozpatrzmy ustalony kierunek studiów i specjalność. Przyjmijmy że c oznacza poziom czesnego w ciągu roku, a w poziom wynagrodzenia wykładowców np. za 1 godzinę wykładu. (inne zajęcia np. ćwiczenia, laboratoria, konsultacje mogą być w odpowiedniej proporcji przeliczone na godziny wykładowe). Użyteczność uczelni $U_u(c, w)$ może być rozpatrywana jako zależna od dwóch zmiennych: wysokości czesnego c oraz wynagrodzeń wykładowców w . Mogą być również określone użyteczności studentów $U_s(c)$, oraz wykładowców $U_w(w)$. Szkoła traktując studentów i wykładowców jako partnerów wspólnego przedsięwzięcia stara się

określić uczciwy poziom czesnego, ale także poziom wynagrodzeń wykładowców, zapewniając partnerom odpowiedni poziom użyteczności. Dla każdego z partnerów istnieją minimalne akceptowalne poziomy użyteczności określone zgodnie z koncepcją BATNA, odpowiednio U_{umin} , U_{smin} , U_{wmin} dla uczelni, studentów i wykładowców. Przykładowo w przypadku wykładowców, minimalna akceptowalna użyteczność U_{wmin} może być określona na podstawie analizy warunków zatrudnienia w konkurencyjnej szkole, ale z uwzględnieniem także wszystkich związanych z tym zatrudnieniem kosztów wynikających np. z koniecznością dojazdów. Warunki akceptowalności uczelni: $U_u(c,w) \geq U_{umin}$, studenta $U_s(c) \geq U_{smin}$, wykładowców: $U_w(w) \geq U_{wmin}$ oraz ograniczenia modelu matematycznego opisującego sytuację decyzyjną określają zbiór A akceptowalnych wypłat w trójwymiarowej przestrzeni użyteczności, jak zilustrowano to na Rys. 5. Należy zwrócić uwagę, że zbiór ten nie jest określony w sposób jawny. Natomiast konkretny punkt tego zbioru może być wyznaczony na podstawie relacji modelu.



Rys. 5. Zbiór porozumień A w przestrzeni użyteczności uczelni, studentów i wykładowców, traktowanych jako partnerów wspólnego przedsięwzięcia.

Na rysunku zaznaczono punkt braku porozumienia $d=(U_{umin}, U_{smin}, U_{wmin})$, określony, jak wspomniano, na podstawie najlepszych alternatywnych opcji uczelni, studentów, wykładowców. Problem decyzyjny polega na wyborze Pareto optymalnego punktu ze zbioru A , akceptowalnego przez partnerów jako uczciwe rozwiązanie. W jego określeniu przydatne może być rozwiązanie kooperacyjne zgodne z koncepcją Nasha.

Wyплаты określone przez osiągnięte użyteczności partnerów i odpowiadające im decyzje (c, w) mogą być wyznaczone przez rozwiązanie następującego problemu optymalizacji:

$$\max_{c,w} [(U_s(c) - U_{smin}) \cdot (U_u(c,w) - U_{umin}) \cdot (U_w(w) - U_{wmin})],$$

przy ograniczeniach $(U_s(c), U_u(c,w), U_w(w)) \in A$

Oddzielny problem związany jest z budową bazy danych dla rodziny modeli matematycznych. W szczególności niezbędne jest zbieranie i przechowywanie danych historycznych uczelni dotyczących przepływu studentów na poszczególnych latach dla określonych kierunków i specjalizacji studiów, umożliwiającymi ocenę prawdopodobieństw przejść studentów w zależności od ich zdolności. Wymagane są również oddzielne badania rynku pracy absolwentów przy wykorzystaniu metod ekspertów i badań ankietowych.

8. PODSUMOWANIE

Praca została zainspirowana ideami R. Kulikowskiego wspomaganie decyzji związanych z rozwojem gospodarki i bezpieczeństwem przez sprawiedliwe dialogi kooperacyjne. Efektywna realizacja tych idei wymaga między innymi opracowania odpowiednich metod wspomaganie decyzji kooperacyjnych z wykorzystaniem technik komputerowych. Proponowana idea polega na opracowaniu interakcyjnych procedur ułatwiających osiągnięcie konsensusu stron, przy wykorzystaniu koncepcji rozwiązań gier kooperacyjnych do wyznaczania propozycji mediacyjnych. Dyskutowane są problemy konstrukcji systemów komputerowych ułatwiających analizę decyzyjną przy zastosowaniu alternatywnych podejść: analizy wielokryterialnej przy wykorzystaniu idei funkcji aspiracji i punktu referencyjnego A. Wierzbickiego oraz koncepcji funkcji użyteczności R. Kulikowskiego. Podstawę do analizy stanowi model matematyczny opisujący sytuację decyzyjną, budowany zgodnie z zasadami nauk systemowych i teorii sterowania. W rozpatrywanych sytuacjach decyzyjnych często nie ma danych historycznych niezbędnych do konstrukcji klasycznych modeli. Wskazane jest połączenie różnych metod, w szczególności metod ocen grupowych ekspertów, badań ankietowych i in-

nych, umożliwiających generowanie i analizę scenariuszy. W trakcie analizy decyzyjnej mamy do czynienia z procesem uczenia decydenta, który na podstawie generowanych na podstawie modelu wyników lepiej poznaje problem decyzyjny i może dokładniej oraz bardziej świadomie określić swoje preferencje. Oznacza to, że funkcja użyteczności decydenta nie jest stacjonarna. Konstrukcja systemu komputerowego powinna uwzględnić możliwość sukcesywnego skalowania funkcji w interakcji z procesem analizy generowanych rozwiązań. Oddzielny otwarty problem badawczy dotyczy możliwości manipulacji decydentów w interakcyjnych procedurach decyzyjnych.

BIBLIOGRAFIA

- Fisher R., Ury W. (1981). *Getting to Yes*. Houghton Mifflin, Boston.
- Groves T., J. Ledyard, (1977) *Optimal Allocation of Public Goods: A Solution to Free-rider Problem*. *Econometrica*, Vol 45, 783-809.
- Kalai E., M. Smorodinsky (1975). *Other Solutions to Nash's Bargaining Problem*. *Econometrica*, Vol. 43, 513-518.
- Kahneman D., Tversky A. (1979) *Prospect theory: an analysis of decision under risk*. *Econometrica*, 47(2).
- Kruś L. (1991). *Some Models and Procedures for Decision Support*. in *Bargaining*. W: *Multiple Criteria Decision Support*, (P. Korhonen, A. Lewandowski, J. Wallenius Eds.), Springer Verlag.
- Kruś L., P. Bronisz (1993). *Some New Results in Interactive Approach to Multicriteria Bargaining*. In "User-Oriented Methodology and Techniques of Decision Analysis and Support" (J. Wessels, A.P. Wierzbicki, Eds), Springer Verlag.
- Kruś L. (1996). *Multicriteria Decision Support in Negotiations*. *Control and Cybernetics*, 25, 6, 1245-1260.
- Kruś L., Bronisz, P. (2000). *Cooperative game solution concepts to a cost allocation problem*. *EJOR*, 122, No. 2, 258-271.
- Kruś L. (2002a). *A system Supporting Financial Analysis of an Innovation Project in the case of Two Negotiating Parties*. *Bull. of Polish Academy of Sci., Ser. Techn.*, 50, No. 1, 93-108.
- Kruś L. (2002b). *Multicriteria Decision Support in Bargaining, a Problem of Players Manipulations*. In: *Multiple Objective and Goal Programming*, (T. Trzaskalik, J. Michnik, Eds), Physica Verlag, Springer.
- Kruś L. (2003). *Rozwiązania kooperacyjne w systemie edukacyjnym*. W: *Inżynieria wiedzy i systemy ekspertowe* (Z. Bubnicki, A. Grzech, Red.), O.W. Politechniki Wrocławskiej. Wrocław.

- Kruś L. (2004a) *Analiza współpracy we wspólnych przedsięwzięciach innowacyjnych*. W: *Badania operacyjne i systemowe, 2004. Podejmowanie decyzji. Podstawy metodyczne i zastosowania*. EXIT, Warszawa.
- Kruś L. (2004b). *A Computer Based System Supporting Analysis of Cooperative Strategies*. W: *Artificial Intelligence and Soft Computing – ICAISC 2004*, (L. Rutkowski, J. Siekmann, R. Tadeusiewicz, L. Zadeh, Eds), *Lecture Notes in Computer Science*, Springer.
- Kruś L. (2004c). A multicriteria approach to cooperation in the case of innovative activity. *Control and Cybernetics*, **33**, No. 3.
- Kruś L. (2006a). Problemy skalowania funkcji użyteczności w zagadnieniach wspomagania zarządzania kapitałami z uwzględnieniem ryzyka. W: *Modelowanie preferencji a ryzyko* (T. Trzaskalik Red.), Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Katowicach, Katowice.
- Kruś L. (2006b) *Problemy konstrukcji systemów komputerowych wspomagania decyzji*. W: *Systemowo-komputerowe wspomaganie zarządzania wiedzą*, R. Kulikowski, Z. Bubnicki, J. Kacprzyk (red.) EXIT, Warszawa.
- Kruś L. (2006c) *Komputerowe wspomaganie decyzji edukacyjnych*. W: Red. *A. Grzech: Inżynieria wiedzy i systemy ekspertowe*. Oficyna Wydaw. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
- Kruś L. (2006d) Koncepcja użyteczności R. Kulikowskiego w zastosowaniu do komputerowego wspomagania decyzji edukacyjnych. W: *Badania operacyjne i systemowe 2006, Analiza systemowa w globalnej gospodarce opartej na wiedzy: e-wyzwania*, Red. E. Urbańczyk, A. Straszak, W. Owsiański, EXIT, Warszawa.69-90..
- Kulikowski R. (1998) Portfolio optimization: two factors utility approach. *Control & Cybernetics*, 3. Warszawa
- Kulikowski R. (2003) Wspomaganie decyzji obciążonych ryzykiem. W: *Aktywne zarządzanie inwestycjami finansowymi*, Red.: M. Krawczak, A. Jakubowski, P. Konieczny, R. Kulikowski, A. Miklewski, G. Szkatuła. EXIT, Warszawa.
- Kulikowski R. (2006a) Wspomaganie decyzji dotyczących rozwoju gospodarki oraz bezpieczeństwa przez sprawiedliwe dialogi kooperacyjne. Raport Badawczy, RB/22/2006, Instytut Badań Systemowych PAN, Warszawa.
- Kulikowski R. (2006b) *Metodologia użyteczności trwałego rozwoju oraz jej zastosowania*, W: *Systemowo-komputerowe wspomaganie zarządzania wiedzą*, Red.: R. Kulikowski, Z. Bubnicki, J. Kacprzyk. EXIT, Warszawa.
- Kulikowski R. (2006c) Wspomaganie rozwoju kraju przez współdziałanie placówek naukowych i uczelni z przedsiębiorstwami. W: Red. *A. Grzech: Inżynieria wiedzy i systemy ekspertowe*. Oficyna Wydaw. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
- Kulikowski R., L. Kruś (2006) Wspomaganie decyzji w negocjacjach zapewniających sprawiedliwe kooperacje oraz rozwój gospodarki i wzrost bezpieczeństwa. Seminarium Pracowni Wspomagania Decyzji w Warunkach Ryzyka, 06.11.2006, Instytut Badań Systemowych PAN, Warszawa.

- Nash J. (1950). The Bargaining Problem. *Econometrica*, **18**, 155--162.
- von Neumann J., Morgenstern O. (1953). *Theory of games and economic behaviour*. Princeton Univ. Press.
- Ogryczak, W. (2002) Multiple criteria optimization and decisions under risk. *Control and Cybernetics*, 31,4. 15.
- Raiffa H. (1953) Arbitration Schemes for Generalized Two-Person Games. *Annals of Math. Studies*. No. 28,361-387, Princeton.
- Raiffa H. (1982) *The Art and Science of Negotiations*. Harvard Univ. Press, Cambridge.
- Roth, A.E. (1979). *Axiomatic Models of Bargaining*. Lecture Notes in Economics and Math. Systems. Vol 170, Springer Verlag, Berlin.
- Savage L.J. (1954). *The foundations of statistics*. New York, Wiley.
- Thomson W.(1970). Two Characterization of the Raiffa Solution. *Economic Letters*. Vol. 6, 225-231.,
- Tversky A., Kahneman O. (1981). The framing of decisions and the psychology of choice. *Science* **211**, 453-480.
- Tversky A. (1967). Utility theory and additivity analysis of risky choices. *Experimental Psychology*, **75**, 27-37.
- Wierzbicki, A.P. (1986). On the Completeness and Constructiveness of Parametric Characterization to Vector Optimization Problems. *OR-Spectrum*, **8**, 73--87.
- Wierzbicki, A. P., Krus, L., Makowski, M. (1993). The Role of Multi-Objective Optimization in Negotiation and Mediation Support. *Theory and Decision*, special issue on "International Negotiation Support Systems: Theory, Methods, and Practice", **34**, 2.
- Young, H.P. (1982). *Cost Allocation*. Prentice Hall. New York.



