



POLSKA AKADEMIA NAUK
Instytut Badań Systemowych

**WIELOKRYTERIALNE DECYZJE
KOOPERACYJNE**

**METODY
WSPOMAGANIA KOMPUTEROWEGO**

Lech Kruś

Warszawa 2011



**POLSKA AKADEMIA NAUK
INSTYTUT BADAŃ SYSTEMOWYCH**

**Seria: BADANIA SYSTEMOWE
Tom 70**

**Redaktor naukowy:
Prof. dr hab. inż. Jakub Gutenbaum**

Warszawa 2011

Rada redakcyjna serii: BADANIA SYSTEMOWE

Prof. Olgierd Hryniewicz - przewodniczący

Prof. Jakub Gutenbaum – redaktor naczelny

Prof. Janusz Kacprzyk

Prof. Tadeusz Kaczorek

Prof. Roman Kulikowski

Prof. Marek Libura

Prof. Krzysztof Malinowski

Prof. Zbigniew Nahorski

Prof. Marek Niezgódka

Prof. Roman Słowiński

Prof. Jan Studziński

Prof. Stanisław Walukiewicz

Prof. Andrzej Weryński

Prof. Antoni Żochowski



**POLSKA AKADEMIA NAUK
INSTYTUT BADAŃ SYSTEMOWYCH**

Lech Kruś

**WIELOKRYTERIALNE DECYZJE
KOOPERACYJNE
METODY WSPOMAGANIA KOMPUTEROWEGO**

Warszawa 2011

**Copyright © by Instytut Badań Systemowych PAN
Warszawa 2011**

Dr inż. Lech Kruś
Instytut Badań Systemowych
Polska Akademia Nauk
Newelska 6, 01-447 Warszawa
email: krus@ibspan.waw.pl

Recenzenci:

Prof. dr hab. inż. Ignacy Kaliszewski

Prof. dr hab. inż. Andrzej P. Wierzbicki

Skład: Lech Kruś i Urszula Kruś

Wydawca:

Instytut Badań Systemowych
Polska Akademia Nauk
Newelska 6, 01-447 Warszawa
www.ibspan.waw.pl

ISSN 0208-8029

ISBN 9788389475381

Wprowadzenie

W pracy rozważa się sytuacje decyzyjne, w których jest kilku decydentów negocjujących warunki możliwej współpracy. Problem dotyczy podziału efektów współpracy, przy czym każdy decydent ma swój odrębny, zestaw celów, które chciałby osiągnąć i kieruje się swoimi preferencjami. Cele te są w ogólnym przypadku konfliktowe, zarówno w przypadku każdego decydenta jak i między decydentami. Każdy decydent ma określony wektor kryteriów mierzących poziomy osiągnięcia jego celów, przy czym wartości tych kryteriów zależą od decyzji wszystkich decydentów. Sytuacje takie nazywane są sytuacjami kooperacyjnymi z wielokryterialnymi wypłatami decydentów. Zakłada się, że można zbudować model matematyczny opisujący taką sytuację decyzyjną a w szczególności pozwalający wyznaczyć wielokryterialne wypłaty decydentów w zależności od podejmowanych przez nich decyzji.

Praca dotyczy problemów metodologicznych związanych ze wspomaganie procesu decyzyjnego w takich sytuacjach przy wykorzystaniu modeli matematycznych. Przedstawia się podstawy teoretyczne i metody, które mogą być wykorzystane w konstrukcji systemów komputerowych wsparcia decyzyjnego.

Cechą charakterystyczną rozpatrywanych w pracy problemów w przypadku wielokryterialnych wypłat jest to, że każdy decydent ma do czynienia z pewnym zbiorem tzw. niezdominowanych rozwiązań, przy czym zbiory rozwiązań decydentów są wzajemnie współzależne. Zbiory niezdominowanych rozwiązań są na ogół niemożliwe do zapisania w formie analitycznej i przedstawienia decydom w takiej formie do analizy. Możliwe jest natomiast wyznaczenie pewnej skończonej liczby punktów należących do tych zbiorów przy zastosowaniu metod obliczeniowych.

W uzupełnieniu do rozwijanych w pracy podstaw teoretycznych i metod wspomaganie decyzji kooperacyjnych, rozpatruje się również zagadnienia budowy i zastosowania systemów komputerowych nie tylko do wspomaganie analizy decyzyjnej dokonywanej indywidualnie przez każdego decydenta z uwzględnieniem jego preferencji, ale także do wspomaganie procesu mediacji, w trakcie którego generowane są propozycje mediacyjne.

Dla przypadku pojedynczego decydenta rozwinięte zostały metody wielokryterialnego wspomaganie decyzji. Istnieje już obecnie bardzo wiele prac przeglądowych i monografii poświęconych metodom wielokryterialnego podejmowania decyzji. np. (Branke, Deb, Miettinen, Słowiński 2008), (Wierzbicki, Makowski, Vessels 2000), (Kaliszewski 1994, 2006), (Chankong, Haimes 1983), (Cohon, 1985), (Galas, Nykowski, Żółkiewski 1987), (Hwang, Masud, 1979), (Sawaragi, Nakayama, Tanino 1985), (Steuer 1986), (Yu 1985), (Zeleny 1982). Proponowane w tych pracach podejścia mają na celu umożliwienie decydentowi wyboru ze zbioru rozwiązań niezdominowanych rozwiązania zgodnego z jego preferencjami, przy zastosowaniu pewnej procedury przeglądania tego zbioru. Wykorzystywane są przy tym różne metody obliczeniowe.

Wśród stosowanych podejść na szczególną uwagę zasługują metody stosujące pojęcie tzw. funkcji osiągnięcia, wykorzystujących poziomy aspiracji czy punkty referencyjne, sprecyzowane przez decydenta, por. (Wierzbicki, 1982, 1986, Wierzbicki i inni 2000). W metodach tego typu stosowana jest interakcyjna procedura, w trakcie której decydent może coraz lepiej poznawać zbiór rozwiązań niezdominowanych, wyznaczając przy pomocy systemu komputerowego niektóre rozwiązania z tego zbioru. Odpowiednio dobierając punkty referencyjne może także kierować sposobem przeglądania tego zbioru i wybrać ostateczne rozwiązanie zgodnie ze swoimi preferencjami.

W przypadku kilku decydentów zagadnienie jest bardziej złożone, ponieważ istnieje wiele indywidualnych zbiorów rozwiązań niezdominowanych i zbiory te są współzależne. Decydenci mają zwykle różne cele, których osiągnięcie jest mierzone za pomocą kryteriów i mają różne preferencje. Rozwiązaniem całego problemu jest wariant, który zostanie zaakceptowany przez wszystkich decydentów. Decydenci mogą być w różnej tzw. *pozycji przetargowej*. Każdy z nich może mieć inny wpływ na wyniki współpracy. Wspomaganie procesu decyzyjnego rozumiane jest w tym przypadku jako wspomaganie decydentów w procesie analizy umożliwiającej lepsze rozumienie ich pozycji przetargowej, a także jako wspomaganie procesu negocjacji, tzn. pomoc w znalezieniu akceptowalnego przez nich wszystkich rozwiązania.

Istnieje obecnie wiele prac poświęconym analizie procesów negocjacji a także ich formalnemu opisowi, np. prace (Barclay, Peterson 1976), (Raiffa 1982), (Axelrod 1985), (Wierzbicki 1985, 1987, 1990), (Kersten, Szapiro 1986), (Kersten i inni 1988, 1991), Sebenius (1992, 2007). Idee komputerowego wspomagania procesów negocjacji oraz przykłady zbudowanych systemów można

znaleźć w pracach autorów: Goeltner (1987), Jarke, Jelassi, Shakun (1987), Kersten (1985, 1988), Korhonen, Moskowitz, Wallenius, Zions (1986), DeSanctis, Gallupe (1987), Shakun (1988), Nunamaker, Applegate, Konsynsky (1988), Korhonen, Wallenius, (1989), Nyhart, Samarasan (1989), Vetschera (1990), Teich, Wallenius, Kuula, Zions (1995), Ehtamo, Hamalainen (2001), Heiskanen, Ehtamo, Hamalainen (2001). Rozwijane są idee wspomagania negocjacji przez internet, w tym z wykorzystaniem systemów wieloagentowych, i zbierane jest doświadczenie stosowania takich systemów, np. (Kersten, Sunil 1999, Kersten i inni 2002, Kersten, Lo 2003, Chen i inni 2005, Vetschera, Kersten, Köszegi 2006, Vetschera 2007, Wachowicz 2006, 2008, Szapiro, Wojewnik 2007, 2008).

Monografia przedstawia specyficzne autorskie podejście do problemu negocjacji przy wielokryterialnych wypłatach decydentów.

Sytuację decyzyjną, w której znajdują się decydenci opisuje się za pomocą gier wielokryterialnych, w szczególności wielokryterialnego problemu targu i wielokryterialnych gier koalicyjnych. Wypłaty w takich grach rozpatrywane są w przestrzeni będącej iloczynem kartezjańskim przestrzeni kryteriów poszczególnych decydentów. W momencie rozpoczęcia badań w latach 80-ych ubiegłego wieku, teoria takich gier nie była jeszcze rozwinięta. Zaproponowano więc i przedstawia się w pracy odpowiednie sformułowania takich gier, koncepcje ich rozwiązań i analizę właściwości. Proponowane koncepcje rozwiązań charakteryzują się tym, że uwzględniają preferencje każdego z decydentów.

Proponuje się konstrukcję wielorundowych procedur wspomagających analizę decyzyjną wykonywaną przez decydentów jak i proces mediacji z wykorzystaniem koncepcji rozwiązań teorii gier. W każdej rundzie takiej procedury każdy decydent przeprowadza

analizę wielokryterialną osiągalnych wypłat w swojej przestrzeni kryteriów, co umożliwi mu wskazanie swoich preferencji. Informacje o tych preferencjach umożliwiają z kolei wyliczenie propozycji mediacyjnej. Propozycja mediacyjna wyznaczana jest na podstawie jednej z proponowanych w pracy koncepcji rozwiązania gry wielokryterialnej. Propozycja mediacyjna uwzględnia preferencje wszystkich decydentów i jest przedmiotem indywidualnej analizy przez decydentów w kolejnej rundzie.

W pracy opisano, jak taka procedura może być zaimplementowana w konstrukcji komputerowego systemu wsparcia decyzyjnego.

Zaproponowane w pracy podejście stanowi uzupełnienie ewentualnie alternatywę do podejść prezentowanych w cytowanej wyżej literaturze.

Układ pracy jest następujący.

W rozdziale 2 przedstawia się podstawowe pojęcia i idee wielokryterialnej optymalizacji. Szczególną uwagę zwrócono na metodę punktu referencyjnego z wykorzystaniem funkcji osiągnięcia A.P. Wierzbickiego, ponieważ metoda ta jest wykorzystywana w proponowanych procedurach wspomagających analizę i proces mediacji, przedstawionych w dalszej części pracy.

Rozdział 3 wprowadza podstawowe pojęcia dotyczące negocjacji i klasycznej teorii gier. Klasyczną jest nazywana teoria gier rozwijana przy założeniu skalarnych wypłat graczy.

Kolejne rozdziały 4 - 9 zawierają oryginalne wyniki w zakresie przedmiotowym monografii uzyskane w trakcie prowadzonych badań.

Rozdział 4 zawiera ogólne sformułowanie wielokryterialnego problemu decyzyjnego w sytuacjach kooperacyjnych. Podaje się

definicję wielokryterialnego problemu targu. Proponuje się kilka koncepcji rozwiązań, stanowiących uogólnienie rozwiązań znanych z literatury. Rozwiązania te są określane z wykorzystaniem wprowadzonej, oryginalnej koncepcji tzw. punktu względnej utopii. Punkt ten uwzględnia preferencje decydentów określone w ich przestrzeniach kryteriów. Analizuje się właściwości tych rozwiązań i ich relacje.

Przedstawia się następnie możliwości wykorzystania tych rozwiązań w interakcyjnych procedurach mediacyjnych (Rozdział 5). Inspiracją do formułowania takich procedur były koncepcje i metody negocjacji (Raiffa 1982) stosowane w praktyce, np. zakończone sukcesem rokowania izraelsko-egipskie w Camp David. Proponuje się oryginalną procedurę, w której wprowadza się i łączy dwa sposoby wspomagania decyzyjnego: tzw. jednostronne i wielostronne. Wspomaganie jednostronne pozwala każdemu z decydentów biorących udział w negocjacjach na niezależną analizę problemu bez uwzględnienia aktualnych decyzji pozostałych decydentów. Wspomagana jest analiza wielokryterialna wykonywana przez każdego z decydentów metodą punktu referencyjnego z użyciem funkcji osiągnięcia. We wspomaganiu wielostronnym uwzględnione są aktualne decyzje wszystkich decydentów. Taki sposób wspomagania decyzyjnego umożliwi decydentom lepsze poznanie ich sytuacji przetargowej, wybór propozycji rozwiązań zgodnie z ich preferencjami, a także wspomaga znalezienie konsensusu, jako rozwiązania niezdominowanego, akceptowanego przez wszystkich decydentów.

Powyższa procedura została wykorzystana w konstrukcji komputerowego systemu wsparcia decyzyjnego MCBARG. Strukturę

i funkcje tego systemu omawia się w rozdziale 6. System ten umożliwia budowę modelu problemu decyzyjnego opisywanego jako wielokryterialny problem targu i przeprowadzenie sesji negocjacyjnych z udziałem osób przyjmujących rolę decydentów w tym problemie. System wspomaga proces analizy wielokryterialnej dokonywany w każdej rundzie przez każdego decydenta oraz pełni rolę niezależnego mediatora i ułatwia decydentom znalezienie konsensusu. W rozdziale tym przedstawia się także przykłady dotyczące międzynarodowej współpracy w zakresie kwaśnych deszczów, oraz współpracy gospodarstw rolnych, modelowane jako wielokryterialny problem targu. Modele wielokryterialnego problemu targu dla tych przykładów zostały zbudowane z wykorzystaniem edytora systemu MCBARG a następnie wykorzystane w przeprowadzonych eksperymentalnych sesjach negocjacji.

W Rozdziale 7 rozpatruje się sytuacje decyzyjne opisywane za pomocą wielokryterialnych gier kooperacyjnych, uwzględniających możliwość tworzenia przez graczy koalicji. Przedstawia się rozwinięcie sformułowania klasycznych gier kooperacyjnych podanego przez Aumana (1967), oraz koncepcji rozwiązań na przypadek wielokryterialnych wypłat graczy. W przestrzeniach wielokryterialnych wypłat rozpatruje się różne sformułowania dominacji. Podaje się oryginalną propozycję koncepcji rozwiązania typu nukleolus, uwzględniającego preferencje wszystkich graczy. Przedstawia się także idee interakcyjnej procedury wspomagającej analizę i proces mediacji, w której zaproponowana koncepcja nukleolusa służy do wyznaczania propozycji mediacyjnych.

Rozdział 8 przedstawia rodzinę gier opisujących współpracę graczy zainteresowanych pozyskaniem pewnego zestawu dóbr przez realizację wspólnego projektu. Proponuje się i analizuje procedury alokacji kosztów między graczy, wykorzystujące mechanizm

cenowy oraz różne koncepcje rozwiązań. Przedstawia się także procedurę wspomagającą analizę problemu alokacji kosztów. Problem alokacji kosztów rozpatruje się także w kolejnym rozdziale 9 w klasie tzw. gier kooperacyjnych w postaci funkcji partycji. Gry takie opisują rzeczywiste sytuacje, w których wypłaty każdej koalicji zależą nie tylko od graczy, którzy ją tworzą, ale także od struktury koalicji tworzonych przez graczy pozostałych. W pracy rozwijana jest teoria takich gier. W szczególności formułuje się koncepcje rozwiązań, takich jak rdzeń gry i zbiory stabilne. Analizuje się właściwości tych rozwiązań.

Rozdział 10 zawiera podsumowanie najważniejszych wyników uzyskanych w trakcie dotychczasowych badań i prezentowanych we wcześniejszych rozdziałach oraz propozycje kierunków dalszych badań.

Monografię kończy bibliografia zawierająca 235 pozycji literatury i indeks.

Przedstawiane w pracy wyniki były prezentowane m.in. w niżej wymienionych pracach:

- w zakresie idei wspomagania negocjacji w wielokryterialnych sytuacjach kooperacyjnych: (Fortuna, Kruś 1984, Kruś 1985, Bronisz, Kruś 1987, 1988, 1989a, 1989b, Bronisz, Kruś, Wierzbicki 1989, Kruś 1991, Kruś, Bronisz 1993, Kruś 1996, 2002b, 2004b, Wierzbicki, Kruś, Makowski 1993),

- dotyczących systemu komputerowego MCBARG i przykładów wielokryterialnych problemów targu: (Kruś, Bronisz, Łopuch 1990, Kruś, Łopuch 1989, Kruś, Łopuch, Bronisz 1989, Kruś 1992a),

- dotyczących wielokryterialnych gier koalicyjnych, gier wielopremiotowych w zastosowaniu do alokacji kosztów, gier w postaci funkcji partycji: (Kruś, Bronisz 1995, 1996, 1998, 2000, Kruś 2008, 2009).

Lista ważniejszych wyników

W zakresie sytuacji kooperacyjnych modelowanych jako wielokryterialny problem targu:

- koncepcje indywidualnie niezdominowanych wypłat graczy oraz punktu względnej utopii (Definicje 4.1, 4.2),
- koncepcja uogólnionego rozwiązania Raiffy-Kalaia-Smorodinsky'ego i jego aksjomatyzacja (Twierdzenia 4.1. i 4.2),
- koncepcja uogólnionego rozwiązania leksykograficznego i jego aksjomatyzacja (Twierdzenie 4.3),
- koncepcja rozwiązania iteracyjnego (Twierdzenie 5.1. pokazujące właściwości tego rozwiązania),
- propozycja interakcyjnej procedury wspomagającej analizę i proces mediacji,
- zaprojektowanie i implementacja systemu komputerowego (MCBARG) wspomagającego analizę i proces mediacji w wielokryterialnym problemie targu, w tym algorytmizacja interakcyjnej procedury wymienionej wyżej,
- opracowanie przykładów ilustrujących wielokryterialny problem targu: współpracy gospodarstw rolnych, problemu kwaśnych deszczów.

W zakresie sytuacji kooperacyjnych modelowanych jako wielokryterialne gry koalicyjne bez wypłat ubocznych:

- sformułowanie założeń i koncepcji rozwiązań takiej gry (Definicje 7.1 - 7.4 oraz Twierdzenia 7.1 i 7.2),
- propozycja nukleolusa uwzględniającego preferencje decydentów a także zbadanie jego właściwości (Lematy 7.1 - 7.3, Twierdzenie 7.3),
- idea interakcyjnej procedury wspomagania negocjacji w sytuacjach decyzyjnych opisywanych przez wielokryterialną grę kooperacyjną.

W zakresie zastosowania gier koalicyjnych w problemach alokacji kosztów:

- sformułowanie problemu alokacji kosztów z wykorzystaniem mechanizmu cen, jako wielopredmiotowej gry kooperacyjnej (Definicje 8.1-8.5),
- koncepcja rozwiązania wg idei Shapley'a i analiza właściwości (Twierdzenie 8.1),
- koncepcja nukleolusa i analiza jego właściwości (Twierdzenie 8.3),
- idea iteracyjnej procedury wspomagającej analizę wielokryterialną,
- propozycje i zbadanie właściwości rozwiązań gier kooperacyjnych w postaci funkcji partycji, formułowanych przy słabszej relacji dominacji niż przyjmowane w literaturze,
- pokazanie, że nukleolus i rdzeń w takich grach mogą być wyznaczone jako analogiczne koncepcje rozwiązań odpowiednio sformułowanych gier w postaci funkcji charakterystycznej (Twierdzenia 9.2 i 9.5).

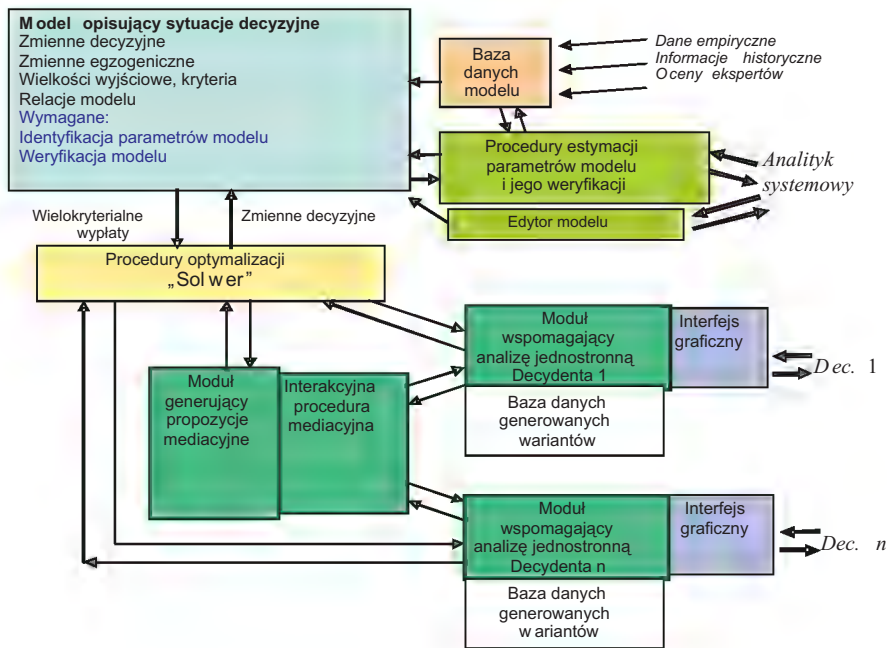
System komputerowy wspomagający analizę i proces mediacji oraz przykłady wielokryterialnego problemu targu

Przedstawia się system komputerowy, w którym została zaimplementowana interakcyjna procedura omówiona w poprzednim rozdziale. Formułuje się również przykłady wielokryterialnych problemów targu opisujących zagadnienia: współpracy gospodarstw rolnych, współpracy krajów dotyczącej redukcji zanieczyszczeń powietrza w związku z problemem kwaśnych deszczy. Odpowiednie modele dla tych przykładów zostały zbudowane z wykorzystaniem edytora modelu wbudowanego w ten system komputerowy.

6.1 Struktura systemu

Ogólna struktura systemu komputerowego wspomagającego proces analizy i mediacji w wielokryterialnym problemie targu jest przedstawiony na Rys. 6.1.

Proponowany system zawiera reprezentację modelu, moduły wspomagające jednostronną analizę wykonywaną przez decydentów, moduł generujący propozycje mediacyjne, a także moduły zawierające procedury obliczeniowe (solwer), odpowiednie bazy danych, procedury realizujące interakcyjne sesje pracy i interfejs graficzny. Model opisujący problem decyzyjny stanowi podstawę



Rysunek 6.1. Ogólna struktura systemu

do przeprowadzenia analizy decyzyjnej. Model jest konstruowany przez analityków systemowych, przy wykorzystaniu zebranej odpowiedniej informacji, zgodnie z regułami nauk systemowych. Model zawiera specyfikację zmiennych decyzyjnych, zmiennych egzogenicznych, wielkości wyjściowych, kryteriów, relacje opisujące zależności wielkości wyjściowych i kryteriów od zmiennych decyzyjnych, dla zakładanych zmiennych egzogenicznych. Parametry modelu są identyfikowane na podstawie zebranych danych źródłowych. Model wymaga odpowiedniej weryfikacji i oceny przed użyciem do analizy decyzyjnej. Z tych względów, w strukturze systemu wymieniono bazę danych źródłowych, edytor modelu, procedury estymacji parametrów modelu i jego weryfikacji.

Moduł wspomagający jednostronną analizę umożliwia każdemu decydentowi uzyskać niezależnie informacje o możliwych wielokryterialnych wypłatach przy zakładanych scenariuszach, oraz poszukiwać preferowanej opcji. Analiza taka wykonywana jest w sposób interakcyjny.

System generuje także propozycje mediacyjne. Propozycje te są wyznaczane przy wykorzystaniu koncepcji rozwiązań teorii gier, omawianych w poprzednich rozdziałach, oraz na podstawie preferencji decydentów. Propozycje mediacyjne są generowane i prezentowane decydentom do analizy w specjalnej procedurze mediacyjnej. Procedury obliczeniowe optymalizacji są wykorzystywane w systemie przy analizie wielokryterialnej, w modułach wspomagających analizę jednostronną oraz w module wyznaczającym propozycje mediacyjne przy obliczaniu koncepcji rozwiązań teorii gier.

Zgodnie z tą ogólną strukturą oraz wykorzystując omówione wcześniej wyniki teoretyczne opracowano system komputerowy nazwany "MCBARG". MCBARG został zaprojektowany jako system wspomagający analizę decyzyjną w wielokryterialnym problemie targu. Przyjęto założenie, że model tego problemu jest sformułowany w przestrzeni kryteriów decydentów przez dany punkt status quo i układ nierówności definiujących zbiór porozumień.

Oprogramowanie systemu zostało opracowane w ramach prac prowadzonych dla International Institute for Applied System Analysis w Austrii (IIASA), w ramach tematu badawczego „Aspiration based decision support systems”. Oprogramowanie to zostało przygotowane zgodnie ze standardami przyjętymi w IIASA, a także było dystrybuowane przez IIASA. Wersja użytkowa systemu zawiera skompilowany kod, pomocnicze zbiory informacyjne, przykłady ilustracyjne modeli problemów targu oraz przykłady sesji

negocjacyjnych. Oprogramowanie może być instalowane na dowolnym komputerze typu IBM PC lub z nim kompatybilnym, pracującym z systemem operacyjnym MS Windows XP/Vista/7. Dokumentacja systemu (Kruś, Bronisz, Łopuch 1990) zawiera ważniejsze podstawy teoretyczne, szczegółowy opis funkcji systemu i jego użytkowania, ilustracyjny przykład sesji komputerowej.

6.2 Funkcje systemu

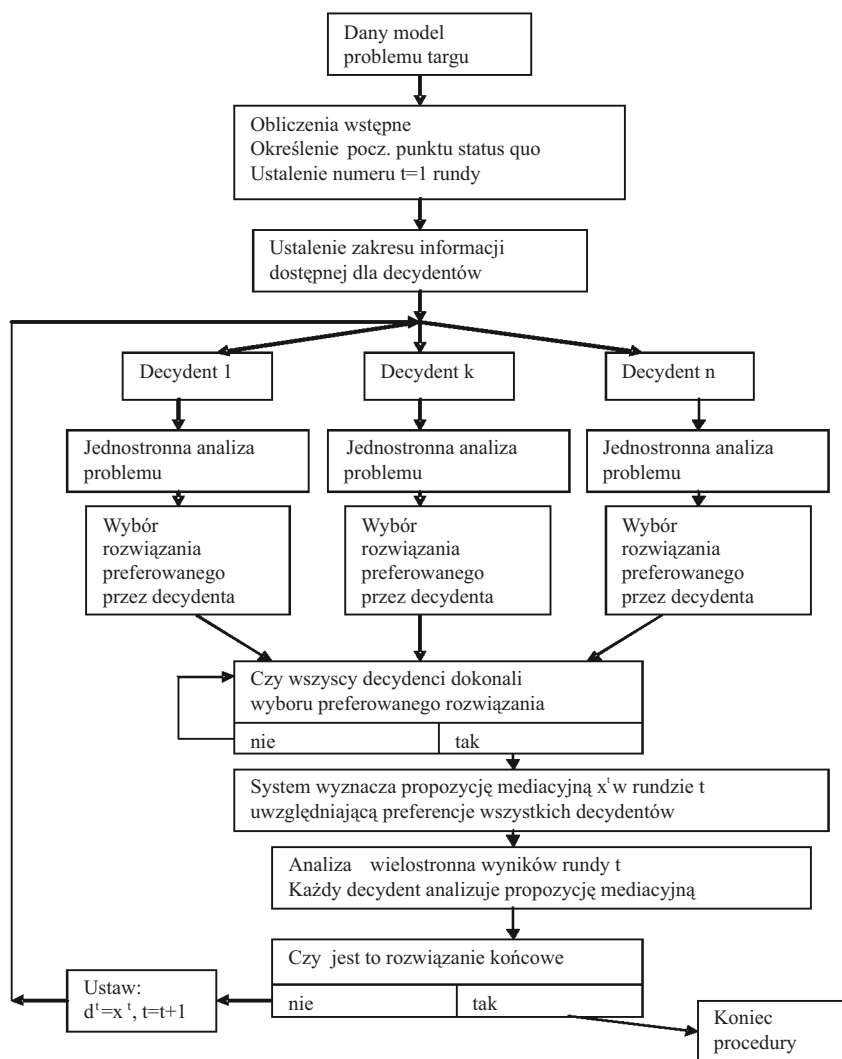
Podstawowe funkcje systemu obejmują:

- wspomaganie procesu konstrukcji i edycji modelu wielokryterialnego problemu targu,
- wspomaganie analizy tego problemu targu,
- przeprowadzenie interakcyjnej procedury mediacyjnej.

Interakcyjna procedura mediacyjna wspomaganie negocjacji jest realizowana zgodnie z metodą wykorzystującą ideę iteracyjnego rozwiązania problemu targu przedstawioną w punktach 5.1 i 5.2. Ogólny schemat algorytmu procedury przyjęty w systemie MCBARG jest przedstawiony na rysunku 6.2.

Procedura wspomaganie negocjacji prowadzona jest w pewnej liczbie iteracji - rund. W każdej z nich system umożliwia decyden-
tom (wspomaga):

1. przeprowadzenie wstępnej analizy problemu targu - dostarczając informacje o oszacowanych ograniczeniach wypląt, generując przykład rozwiązania kooperacyjnego, tzw. rozwiązanie neutralne,



Rysunek 6.2. Schemat algorytmu procedury mediacyjnej wspomagającej negocjacje

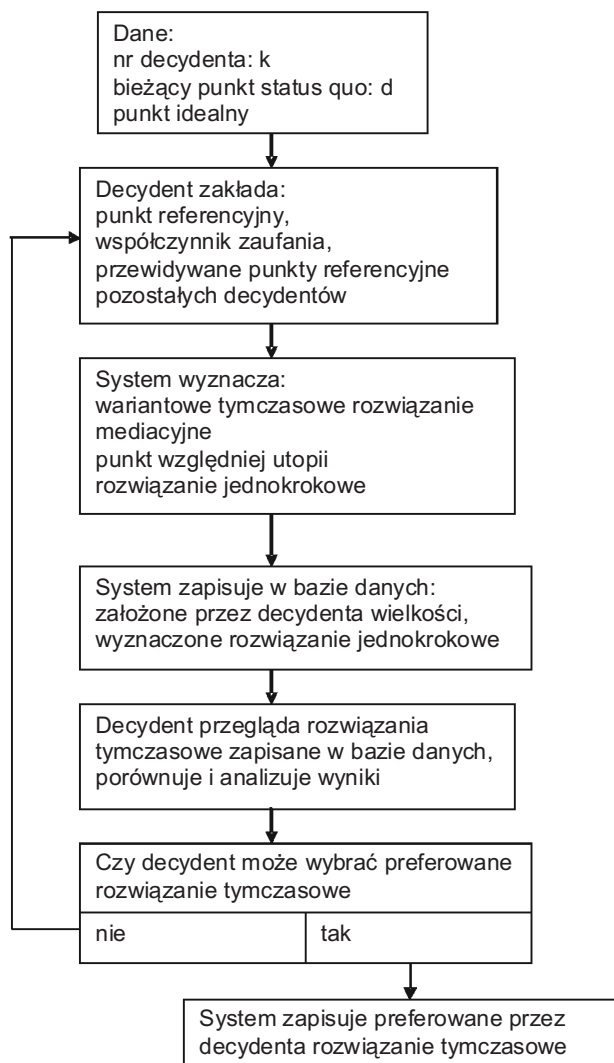
2. jednostronną analizę problemu, dokonywaną niezależnie przez każdego z decydentów w ramach interakcyjnej procedury, w której system generuje kolejne przewidywane propozycje kooperacyjne dla zakładanych przez decydenta punktów referencyjnych i współczynników zaufania (schemat algorytmu jednostronnej analizy problemu jest przedstawiony na rysunku 6.3); system wyznacza także, dla informacji decydenta, punkty względnej utopii i odpowiadające mu rozwiązania niezdominowane zwane jednokrokowymi,
3. obliczenie, zgodnie z preferencjami decydentów, wielostronnego rozwiązania kooperacyjnego rundy traktowanego jako propozycja mediacyjna.

Zakłada się, że system jest obsługiwany przez operatora - analityka systemowego, który definiuje model oraz przygotowuje i prowadzi sesję negocjacyjną, w której realizowana jest procedura mediacyjna. W czasie tej sesji przekazuje sterowanie systemem decydom. Operator przejmuje sterowanie w przypadku, gdy sesja zostanie przerwana lub zakończona. Sterowanie systemem odbywa się przy pomocy zestawu kolejnych menu. System zawiera tzw. samoopis, tzn. zestaw informacji Info wyświetlanych na życzenie użytkownika, zawierających opis systemu i informacje o jego użytkowaniu, a także system objaśnień Help. Ogólny schemat korzystania z systemu jest przedstawiony na rysunku 6.4.

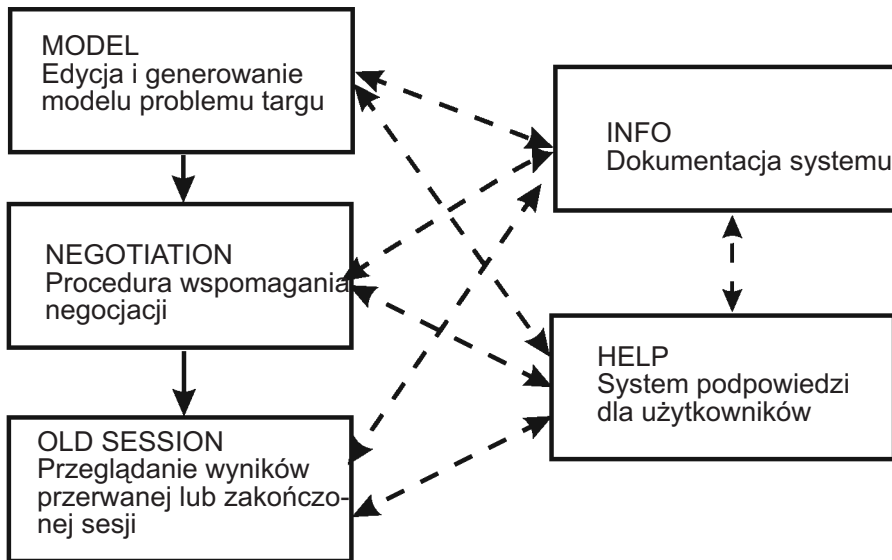
Główne menu systemu zawiera następujące opcje:

Information, Model, Old session, Negotiation.

Opcja Information pozwala uzyskać ogólną informację o systemie.



Rysunek 6.3. Schemat algorytmu jednostronnej analizy problemu



Rysunek 6.4. Ogólny schemat korzystania z opcji systemu MCBARG

Opcja `Model` umożliwia sformułowanie i edycję modelu problemu targu. W szczególności, aby sformułować model należy podać: liczbę i identyfikatory decydentów, liczbę kryteriów dla każdego decydenta, nazwy kryteriów, jednostki, status kryteriów (czy są minimalizowane czy też maksymalizowane), wartości status quo dla poszczególnych kryteriów, zestaw formuł określających nierówności opisujące zbiór porozumień w przestrzeni kryteriów. Przy edycji formuł mogą być używane wszystkie operacje arytmetyczne i podstawowe funkcje. Oprogramowanie systemu zawiera kompilator translujący zapis modelu na kod wewnętrzny, oraz procedury diagnostyczne analizujące poprawność sformułowania problemu targu. Model może być oczywiście zapamiętany na dysku.

Opcja `Old session` umożliwia analizę wcześniej przeprowadzonej i zapamiętanej sesji negocjacyjnej.

Opcja `Negotiations` rozpoczyna sesję negocjacyjną, która jest prowadzona zgodnie z omówionym wcześniej algorytmem. Informacje poszczególnych decydentów są chronione przez system haseł (passwords). W szczególności nie są dostępne dla pozostałych decydentów informacje o dokonywanych w danej rundzie próbach testujących zbiór porozumień, ani o podjętej decyzji – to jest o wyborze preferowanego wariantu przewidywanego rozwiązania. Decydenci mogą się natomiast porozumieć przed sesją i uzgodnić zakres dostępu do wzajemnej informacji dotyczącej poprzednich rund.

Przewidziano trzy stopnie dostępu do tej informacji:

1. brak takiego dostępu w ogóle;
2. dostęp do informacji o wynikach pozostałych decydentów z poprzednich rund i możliwość symulacji wpływu ich decyzji na wyniki decydenta;
3. dostęp do informacji zgodnie z punktem 2, a dodatkowo możliwość badania wpływu decyzji danego decydenta na wyniki pozostałych decydentów.

Uzgodniony poziom dostępu do informacji jest wprowadzany przez operatora przed rozpoczęciem sesji. Wewnętrzne menu każdego decydenta umożliwia mu dokonywanie interaktywnej analizy problemu, przeglądanie uzyskanych wariantów rozwiązań, podjęcie decyzji – wybór preferowanego wariantu. Gdy decydenci zakończą interaktywną analizę w danej rundzie i podejmą decyzje, system przechodzi do następnej rundy. Operator może przeglądać wyniki decydentów w czasie trwania sesji. Przejmuje sterowanie nad systemem, gdy sesja zostanie przerwana lub zakończona. Może zapamiętać sesję na dysku i przeglądać jej wyniki wykorzystując opcję `Old session`.

6.3 Przykłady wielokryterialnych problemów targu

6.3.1 Zagadnienie współpracy gospodarstw rolnych

Rozpatrzmy niżej problem współpracy dwóch gospodarstw rolnych opisanych wielokryterialnymi modelami programowania liniowego.

Zagadnienie współpracy, zwłaszcza międzynarodowej było przedmiotem wielu prac. Należy wymienić w szczególności prace: (Ameliańczyk 1979), (Piasecki, Hołubiec Ameliańczyk 1982), w których szczegółowo przeanalizowano, stosując podejście gier kooperacyjnych, problem współpracy międzynarodowej polegający na odpowiedniej wymianie dóbr między partnerami.

W niniejszej pracy rozpatruje się przypadek, w którym problem współpracy polega na wspólnym podejmowaniu decyzji gospodarczych w obydwu gospodarstwach i odpowiednim podziale nadwyżek wynikających ze współpracy, i jest sformułowany w postaci wielokryterialnego zagadnienia targu. System MC-BARG może być zastosowany do wspomagania decyzji w problemie targu, w którym zbiór porozumień zdefiniowany jest w przestrzeni kryteriów. W pracy (Kruś 1989) sformulowano wielokryterialny problem targu dla ogólniejszych zadań opisanych przez model w przestrzeni decyzyjnej oraz przedstawiono koncepcję nowej wersji systemu dla takich zadań, powiązanej z systemami typu DIDAS (Rogowski, Sobczyk, Wierzbicki 1988). Niżej formułuje się przykład takiego problemu dla modelu liniowego oraz przedstawia się praktyczną procedurę umożliwiającą wykorzystanie do tego celu istniejącego już systemu MC-BARG. Proponowana idea polega na aproksymacji zbioru porozumień przez powłokę wypukłą rozpiętą na zbiorze punktów reprezentujących rozwiązania niezdominowane zadania

wielokryterialnej optymalizacji sformułowanego dla połączonego modelu liniowego obu gospodarstw.

Rozpatrzmy dwa gospodarstwa rolne opisane liniowymi modelami produkcyjnymi, dla których sformułowano wielokryterialne zadania optymalizacji. Mają one postać odpowiednio 6.1 i 6.2:

$$\begin{aligned} A^1 x^1 &\leq b^1 \\ y^1 &= C^1 x^1 \rightarrow \max \end{aligned} \quad (6.1)$$

$$\begin{aligned} A^2 x^2 &\leq b^2 \\ y^2 &= C^2 x^2 \rightarrow \max \end{aligned} \quad (6.2)$$

gdzie: wektory x^1, x^2 oznaczają zmienne decyzyjne obejmujące strukturę upraw, rozdysponowanie nakładów produkcji rolnej, wielkość stada zwierząt itp.;

wektory y^1, y^2 oznaczają kryteria optymalizacji, przykładowo wielkość produkcji towarowej określonych produktów rolnych;

macierze A^1, A^2 zawierają współczynniki technologiczne produkcji;

wektory b^1, b^2 zawierają prawe strony ograniczeń wynikających z ograniczonych zasobów środków i nakładów produkcji oraz z wymagań technologicznych.

Są to typowe problemy wielokryterialne, których analiza decyzyjna, oraz znalezienie rozwiązania zgodnie z preferencjami gospodarzy (właścicieli, zarządzających) może być dokonana przy wykorzystaniu pakietu IAC-DIDAS-L (Rogowski, Sobczyk, Wierzbicki 1988). Przyjmijmy, że w wyniku takiej analizy zostały wybrane preferowane rozwiązania to jest wektor zmiennych decyzyjnych \hat{x}^1, \hat{x}^2 i odpowiadające im wektory kryteriów \hat{y}^1, \hat{y}^2 . Przez współpracę rozumie się wspólne podejmowanie decyzji produkcyjnych w celu uzyskania nadwyżki względem rozwiązań określonych przez wartości kryteriów \hat{y}^1, \hat{y}^2 . W przypadku współpracy mamy do czynienia

z problemem optymalizacji w postaci zadania nazwanego PSUM:

$$Ax \leq b$$

$$y = Cx \rightarrow \max$$

gdzie $x = (x^1, x^2)$, $y = (y^1, y^2)$, macierz A powstała odpowiednio z macierzy A^1 i A^2 , wektor b z wektorów b^1 , i b^2 , a macierz C z elementów macierzy C^1 i C^2 .

Problem współpracy polega na wyznaczeniu rozwiązania nie-zdominowanego tego zadania zgodnie z preferencjami obu decydentów i na odpowiednim podziale wynikłej ze współpracy nadwyżki. Zauważmy, że zmienne decyzyjne spełniające ograniczenia zadania PSUM określają w przestrzeni kryteriów obu gospodarzy pewien simpleks. Rozwiązań problemu współpracy należy poszukiwać w tym simpleksie wśród punktów dominujących punkt \hat{y}^1 , \hat{y}^2 .

Wymieniony problem współpracy można sformułować jako następujący wielokryterialny problem targu, określony przez parę: (S, d) , gdzie $S \in \mathbb{R}^m$ oznacza zbiór porozumień, $d \in \mathbb{R}^m$ oznacza punkt status quo. S i d określone są w przestrzeni kryteriów będącej iloczynem kartezjańskim przestrzeni kryteriów obu decydentów (t.j. $m = \dim(y^1) + \dim(y^2)$). W rozpatrywanym przypadku $d = (\hat{y}^1, \hat{y}^2)$. Zbiór S jest określony przez wyżej wymieniony simpleks. Problem polega na znalezieniu rozwiązania w zbiorze S , na które obaj gospodarze – decydenci wspólnie wyrażą zgodę. W systemie MCBARG założono, że model określony jest wprost w przestrzeni celów, jako układ nierówności opisujących zbiór S . Oczywiście, w takim przypadku nie jest możliwe określenie wprost zmiennych decyzyjnych odpowiadających wyznaczonemu rozwiązaniu. W niniejszej pracy przedstawia się procedurę wykorzystania

systemu MC-BARG w przypadku ogólniejszego, omówionego wyżej modelu liniowego określonego w przestrzeni zmiennych decyzyjnych, tak aby możliwe było określenie zmiennych decyzyjnych odpowiadających wybranemu przez decydentów rozwiązaniu.

Procedura ta dla danych dwóch modeli gospodarstw składa się z następujących etapów:

1. Utworzenie zadań optymalizacji wielokryterialnej dla dwóch gospodarstw (odpowiednio 6.1 i 6.2).
2. Analiza decyzyjna każdego z zadań i wyznaczenie preferowanych rozwiązań \hat{y}^1 , \hat{y}^2 , niezależnie dla każdego gospodarstwa, przy wykorzystaniu pakietu IAC-DIDAS-L.
3. Utworzenie zadania optymalizacji wielokryterialnej modelu połączonego PSUM.
4. Generacja pewnej siatki punktów reprezentujących zbiór rozwiązań niezdominowanych zadania PSUM, przy wykorzystaniu pakietu IAC-DIDAS-L.
5. Wyznaczenie powłoki wypukłej rozpiętej na tych punktach (przy wykorzystaniu opracowanego programu komputerowego o nazwie SCONVEX),
6. Wprowadzenie opisu powłoki wypukłej jako aproksymowanego modelu programu targu w systemie MC-BARG.
7. Przeprowadzenie sesji wspomagania negocjacji z wykorzystaniem systemu MC-BARG.
8. Wyznaczenie (przy pomocy pakietu IAC-DIDAS-L) rozwiązania modelu PSUM w przestrzeni zmiennych decyzyjnych, odpowiadającego rozwiązaniu kooperacyjnemu, uzyskanemu w systemie MC-BARG, oraz ocena błędu aproksymacji.

Zaproponowana procedura postępowania została praktycznie przetestowana dla konkretnego przykładu modeli produkcyjnych dwóch gospodarstw rolnych. Szczegółowe wyniki można znaleźć w pracy (Kruś, Łopuch 1989). Natomiast w tej pracy omówimy krótko przeprowadzony eksperyment badawczy.

Przyjęte modele produkcyjne opisują gospodarstwa rolne, średniego rozmiaru. Zakłada się, że każde gospodarstwo posiada grunty orne oraz trwałe użytki zielone. Dysponuje również fermą krów mlecznych. Model opisuje sferę produkcyjną tego gospodarstwa w postaci zestawu liniowych równań i nierówności, przedstawiających zależności występujące w gospodarstwie. Są to typowe modele optymalizacyjne pozwalające wyznaczyć optymalny rozmiar działalności produkcyjnych przy danych uwarunkowaniach.

W każdym modelu występuje około 20 zmiennych decyzyjnych, opisujących prowadzone działalności produkcyjne roślinne i zwierzęce. Część z nich dotyczy produkcji towarowej (np. produkcji żyta, ziemniaków czy mleka), zaś część produkcji zużywanej w obrocie wewnętrznym gospodarstwa (pasze).

Równania modelu obejmują:

- bilanse wykorzystania powierzchni gruntów ornych i trwałych użytków zielonych;
- bilanse wykorzystania środków produkcji takich jak nawozy mineralne, siła pociągowa, stanowiska inwentarskie, siła robocza;
- bilanse żywienia zwierząt, wyrażone w składnikach odżywczych;
- bilanse następstwa roślin.

Wielkościami ograniczającymi produkcję są: powierzchnia gruntów ornych i trwałych użytków zielonych, ilość dostępnych

nawozów mineralnych, ilość dostępnej siły pociągowej i siły roboczej ludzkiej, ilość stanowisk inwentarskich. Zakłada się, że pasze dla zwierząt są całkowicie wytwarzane w gospodarstwie. Jedynie pasze treściwe mogą pochodzić z zakupu.

Wykorzystując te modele sformułowano zadania optymalizacji wielokryterialnej (6.1) i (6.2) dwóch gospodarstw. Przyjęto, że obydwa gospodarstwa charakteryzują się podobnymi kierunkami produkcji, ponoszą podobne nakłady jednostkowe, różnią się jednak posiadanymi zasobami środków produkcji oraz preferencjami co do głównych celów produkcji. Zestaw kryteriów jest ten sam dla obu gospodarstw – maksymalizacja produkcji towarowej: żyta, ziemniaków i mleka.

Rozwiązania zadań optymalizacji wielokryterialnej uzyskano przy pomocy pakietu IAC-DIDAS-L (Dynamic Interactive Decision Analysis and Support System for Multicriteria Analysis of Linear and Dynamic Linear Models), przedstawionego w pracy (Rogowski, Sobczyk, Wierzbicki 1988). Pakiet ten umożliwia w szczególności formułowanie w sposób interakcyjny liniowych zadań optymalizacji wielokryterialnej, ich rozwiązywanie oraz graficzną analizę wyników. Pakiet umożliwia generowanie i przeglądanie rozwiązań efektywnych, wykorzystując ideę funkcji osiągnięcia (Wierzbicki 1982, 1986). Poszczególne rozwiązania uzyskiwane są po określeniu przez użytkownika poziomów aspiracji (punktów odniesienia) dla poszczególnych kryteriów. Wykorzystywane są one jako parametry w generowanym i rozwiązywanym przez system zadaniu optymalizacji. Użytkownik dostaje odpowiedź czy postulowane przez niego wartości celów mogą być osiągnięte. Jeżeli nie, system wyznacza wartości możliwie zbliżone do poziomów aspiracji. Jeżeli wartości postulowane są osiągalne ale nie mogą być

przekroczone – wartości wyznaczone przez system pokrywają się z poziomami aspiracji. Jeżeli w końcu wartości postulowane mogą być przekroczone – wartości wyznaczone przez system odpowiadają wartościom przekraczającym poziomy aspiracji.

Wykorzystując ten pakiet symulowano niezależnie zachowanie (przeprowadzono interaktywne sesje) dwóch decydentów – właścicieli gospodarstw, różniących się preferencjami co do kryteriów i poszukujących najlepszych rozwiązań wielokryterialnych zadań optymalizacji (6.1) i (6.2). Sesje zakończyły się wybraniem przez decydentów ich preferowanych, niezdominowanych rozwiązań.

W celu sformułowania problemu współpracy rozpatruje się zadanie wielokryterialnej optymalizacji dla połączonego modelu obu gospodarstw, a problem polega na odpowiednim podziale nadwyżki jakiej można oczekiwać w wyniku współpracy. Dla danych modeli (6.1) i (6.2) zbudowano model połączony oznaczony dalej PSUM, zakładając łączne wykorzystanie zasobów oraz nakładów produkcji obu gospodarstw. Formalnie, w modelu PSUM, wektor zmiennych decyzyjnych oznacza złożenie zmiennych modeli (6.1) i (6.2), a prawe strony ograniczeń – odpowiednio sumę prawych stron modeli (6.1) i (6.2). Kryteria w modelu PSUM obejmują podobnie jak w modelach (6.1) i (6.2): produkcję towarową żyta, ziemniaków, oraz mleka, przy czym należy je rozumieć jako sumę wartości kryteriów obydwu decydentów.

W systemie MC-BARG model targu sformułowany jest przez punkt status quo oraz przez zbiór porozumień w przestrzeni celów określony w postaci układu nierówności. W omawianym przykładzie jako punkt status quo przyjęto preferowane rozwiązania gospodarzy wyznaczone dla modeli (6.1) i (6.2) (to jest punkt przestrzeni celów określony przez sumy wartości poszczególnych

kryteriów). Zbiór porozumień ma interpretację możliwych kombinacji nadwyżek uzyskiwanych w wyniku współpracy, i jest określony przez zbiór rozwiązań zadania optymalizacji wielokryterialnej dla modelu PSUM dominujących punkt status quo. Oczywiście problem targu ma sens o ile taka nadwyżka istnieje. W rozpatrywanym przykładzie (Kruś, Łopuch 1989) okazało się, że nadwyżka taka istnieje. Brzeg zbioru porozumień w przypadku liniowego zadania optymalizacji wielokryterialnej stanowi brzeg pewnego sympleksu. Wyznaczenie dokładne tego brzegu nie jest akceptowalne ze względu na czaso- i pracochłonność obliczeniową. W pracy podjęto próbę aproksymacji tego zbioru. W tym celu wyznaczono zbiór (siatkę) rozwiązań optymalizacji wielokryterialnej modelu PSUM reprezentujących zbiór elementów Pareto optymalnych poszukiwanego zbioru porozumień. Bardzo użyteczny okazał się pakiet IAC-DIDAS-L, a w szczególności zastosowane w nim podejście przesuwanego punktu odniesienia. Umożliwił odpowiedni wybór siatki punktów dobrze reprezentujących ten brzeg.

Następny etap pracy polegał na wyznaczeniu powłoki wypukłej rozpiętej na tych punktach. W tym celu wykorzystany został wcześniej opracowany program SCONVEX (patrz Skwarczyło 1988). Program ten umożliwia wyznaczenie parametrów hiperpłaszczyzn, które określają w wielowymiarowej przestrzeni właśnie powłokę wypukłą, rozpiętą na danym zbiorze punktów. Wykorzystując ten program uzyskano zbiór hiperpłaszczyzn definiujących zbiór porozumień problemu targu w systemie MCBARG.

Wykorzystując system MCBARG przeprowadzono interakcyjną sesję, eksperyment growy z dwoma decydentami, którego celem było sprawdzenie interakcyjnej procedury wspomagającej negocjacje. Wyniki sesji zamieszczono w pracy (Kruś, Łopuch 1989).

Uzyskano rozwiązanie zadowolające obu decydentów. Nie dostarcza jednak ono pełnej informacji o wymaganych działaniach gospodarstw (zmiennych decyzyjnych) prowadzących do tego rozwiązania. Kolejnym etapem eksperymentu było zatem wyznaczenie wartości zmiennych decyzyjnych modelu. Sformułowano ponownie zadanie optymalizacji wielokryterialnej dla modelu wspólnego gospodarstw (PSUM) i rozwiązano je przy wykorzystaniu pakietu IAC-DIDAS-L, przyjmując jako wartości punktów odniesienia wartości kryteriów uzyskane w wyniku przeprowadzonej sesji w systemie MCBARG.

Proponowane podejście pozwala oszacować błąd aproksymacji zbioru rozwiązań niezdominowanych modelu PSUM w punktach odpowiadających wyznaczonym rozwiązaniom kooperacyjnym w systemie MC-BARG. Błąd ten można określić jako:

$$\delta = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \frac{|y_i^r - \hat{y}_i|}{\hat{y}_i}.$$

gdzie: k – jest liczbą kryteriów w modelu PSUM,

y_i^r – oznacza rozwiązanie kooperacyjne wyznaczone w systemie MC-BARG, i przyjęte jako punkt odniesienia w systemie IAC-DIDAS-L,

\hat{y}_i – oznacza rozwiązanie znalezione w systemie IAC-DIDAS-L odpowiadające temu punktowi odniesienia.

W rozważanym przykładzie, oszacowania błędu były rzędu jednego promila.

6.3.2 Problem kwaśnych deszczów

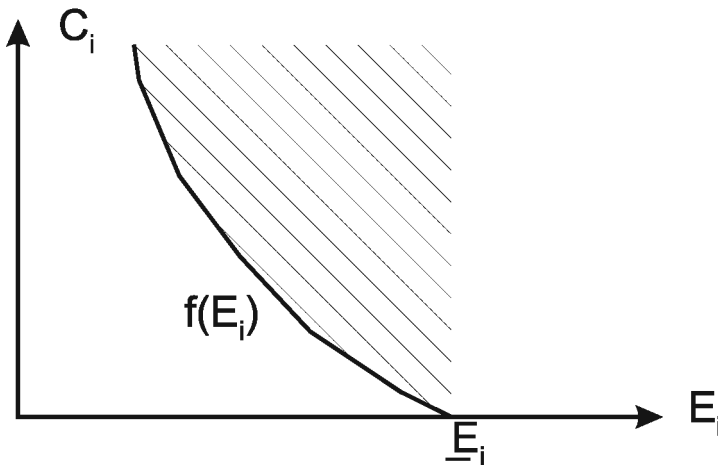
Przykładem praktycznego zagadnienia, który może być rozpatrywane jako wielokryterialny problem targu, jest problem międzynarodowej współpracy dotyczący zanieczyszczeń atmosferycznych w Europie (tzw. problem kwaśnych deszczy). Rozwój przemysłu i komunikacji powoduje wzrost emisji zanieczyszczeń atmosferycznych w szczególności dwutlenku siarki w poszczególnych krajach europejskich. Zanieczyszczenia te przenoszone są przez prądy powietrza ponad granicami krajów i opadają w formie kwaśnych deszczy. Powodują degradację środowiska (obumieranie lasów, zakwaszanie gleby i wód). Możliwa jest współpraca różnych krajów w celu koordynacji przedsięwzięć, takich jak zmiany technologii na nowocześniejsze, charakteryzujące się mniejszą emisją zanieczyszczeń, odchodzenie od paliw o dużej zawartości siarki itp., oraz uzgodnienie wymaganych na to nakładów finansowych, w celu redukcji opadu tych zanieczyszczeń. Przedstawiony niżej przykład pokazuje jak ten problem współpracy międzynarodowej może być rozpatrywany jako wielokryterialny problem targu. Przykład został zainspirowany pracami IIASA (The RAINS model of acidification), patrz: (Alcamo, Show, Hordijk 1990), (Hordijk 1991, Makowski 2000).

Rozpatrujemy dwa kraje (w analogiczny sposób można zbudować model dla większej liczby krajów) zamierzające zmniejszyć emisję siarki i analizujące możliwe programy redukcji tej emisji. Zakłada się, że w każdym z krajów jest już przyjęty pewien plan kontroli emisji siarki, przy którym spodziewany jest poziom emisji E_i , gdzie $i = 1, 2$ jest numerem kraju. Oba kraje uznają, że opad siarki, który wystąpi przy tych emisjach jest nieakceptowalny i rozważają dodatkowe programy redukcji wytwarzanych zanieczyszczeń i wymagane nakłady finansowe.

Dla każdego kraju dana jest funkcja kosztów f opisująca minimalne nakłady C_i wymagane w celu zmniejszenia emisji siarki z poziomu \underline{E}_i do poziomu E_i :

$$C_i \leq f(E_i), \quad i = 1, 2. \quad (6.3)$$

Zakłada się, że funkcja ta jest malejąca, przedziałami liniowa i ma taką postać, że $f(\underline{E}_i) = 0$. Przykład funkcji kosztów przedstawiony jest na rysunku 6.5. Obszar zakreskowany odpowiada różnym technologiom i wymaganim nakładom finansowym umożliwiającym zmniejszenie wielkości emisji poniżej wartości \underline{E}_i .



Rysunek 6.5. Przykład funkcji kosztów

Opad zanieczyszczeń w każdym z krajów określony jest przy użyciu tzw. “European Monitoring and Evaluation Programme Matrix” (Alcamo, Show, Hordijk, 1990), gdzie określone są wartości parametrów atmosferycznego transportu zanieczyszczeń siarki między krajami. Równania opadu siarki mają postać:

$$D_i = a_{i1} * E_1 + a_{i2} * E_2 + \underline{D}_i, \quad i = 1, 2, \quad (6.4)$$

gdzie: a_{ij} ($i, j = 1, 2$) są parametrami atmosferycznego transportu siarki między krajami, \underline{D}_i stanowią tzw. tło, to jest w tym przypadku opad wynikający z emisji innych krajów.

Każdy z krajów może oczywiście podjąć niezależną realizację programu redukcji zanieczyszczeń. Mając dany model, przedstawiony wyżej, każdy kraj może przyjąć określone nakłady, oznaczone przez $\bar{X}_i = \bar{C}_i$, przy których uzyskany zostanie poziom emisji \bar{E}_i , oraz opad siarki \bar{D}_i , gdzie i jest numerem kraju, a \bar{C}_i jest kosztem realizacji programu redukcji w danym kraju.

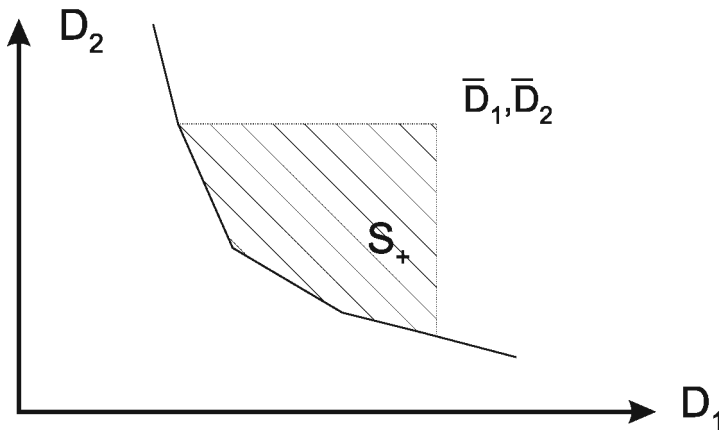
Przypadek taki stanowi alternatywę do współpracy obu krajów, zakładającej przyjęcie porozumienia dotyczącego realizacji wspólnego programu i utworzenia wspólnego funduszu na realizację tego programu. W tym przypadku wprowadzamy dodatkowe ograniczenie do opisu modelu:

$$X_1 + X_2 = C_1 + C_2, \quad (6.5)$$

gdzie: X_1, X_2 oznaczają wkłady poszczególnych krajów we wspólny fundusz, a C_1, C_2 oznaczają koszty przedsięwzięć realizowanych w poszczególnych krajach w ramach wspólnego funduszu.

Interesuje nas zbiór takich wspólnych programów, charakteryzowanych przez wymagane nakłady X_1, X_2 oraz opad zanieczyszczeń siarki D_1, D_2 , które są korzystniejsze dla obu krajów w porównaniu z przypadkiem pierwszym, gdy współpracy nie ma. Rozpatrzmy w tym celu następujący problem optymalizacji wielokryterialnej, w którym minimalizowane są wartości nakładów X_1, X_2 oraz opady siarki D_1, D_2 traktowane jako kryteria, przy ograniczeniach określonych przez zależności (6.3), (6.4) i (6.5). Zmiennymi decyzyjnymi są koszty przedsięwzięć w poszczególnych krajach C_1, C_2 , oraz emisje siarki E_1, E_2 . Ograniczenia (6.3), (6.4), (6.5) określają pewien simpleks w przestrzeni

kryteriów. Oznaczmy ten simpleks przez S . Zbiór korzyści jakie oba kraje mogą uzyskać w wyniku współpracy może być określony przez następujący zbiór oznaczony S_+ : $S_+ = \{(X_1, X_2, D_1, D_2) : (X_1, X_2, D_1, D_2) \in S, (X_1, X_2, D_1, D_2) \leq (\bar{X}_1, \bar{X}_2, \bar{D}_1, \bar{D}_2)\}$. Jest to podzbiór zbioru S , określający projekty korzystniejsze dla obu krajów w porównaniu z przypadkiem braku współpracy. W przypadku, gdy zbiór ten jest niepusty istnieje zainteresowanie współpracą. Na rysunku 6.6 przedstawiono przekrój zbioru S_+ (obszar zakreskowany) w podprzestrzeni D_1, D_2 dla pewnych danych wartości X_1, X_2 .



Rysunek 6.6. Przekrój zbioru S_+ w podprzestrzeni D_1, D_2

Możemy sformułować wielokryterialny problem targu, w którym mamy do czynienia z dwoma wymienionymi krajami. Każdy kraj $i = 1, 2$ ma określone dwa kryteria traktowane jako wypłaty, odpowiednio: nakłady finansowe X_i danego kraju, oraz opad siarki D_i w danym kraju. Każdy kraj stara się minimalizować swoje kryteria. Punkt status quo d jest określony przez wypłaty osiągalne w przypadku braku współpracy, t.j. $d = (\bar{X}_1, \bar{X}_2, \bar{D}_1, \bar{D}_2)$. Zbiór porozumień jest określony wprost przez zbiór S_+ . Punkt status

quo i zbiór porozumień określone są w czterowymiarowej przestrzeni kryteriów obu krajów. Symulacje modelu RAINS pokazują, że współpraca jest rzeczywiście efektywna, umożliwiając oszczędność nakładów z jednoczesnym zmniejszeniem opadu zanieczyszczeń. Oznacza to, że w zbiorze porozumień rzeczywiście istnieją punkty poprawiające wszystkie kryteria obu krajów w porównaniu z punktem status quo. Problem polega na znalezieniu niezdominowanego punktu w zbiorze porozumień, na który zgodzą się oba kraje. Punkt ten powinien być wybrany zgodnie z preferencjami krajów. Problem dotyczy w tym przypadku odpowiedniego podziału korzyści wynikających ze współpracy. Zauważmy, że każdy kraj może mieć inne preferencje co do swoich kryteriów. Zakładamy, że istnieje zbiór decydentów, z których każdy reprezentuje jeden kraj i mediator pomagający w znalezieniu akceptowalnego przez wszystkich i korzystnego rozwiązania w drodze specyficznego procesu negocjacji.

Zauważmy, że istnieją dwa aspekty decyzyjne problemu. Każdy decydent ma do czynienia z wielokryterialnym problemem podejmowania decyzji dotyczącym wyboru rozwiązania w przestrzeni jego kryteriów zgodnie ze swoimi preferencjami. Z drugiej strony, wypłaty decydentów są wspólnie zależne i istnieje kwestia jak podzielić między decydentów korzyści wynikające ze współpracy. Proponowane wspomaganie decyzji polega na umożliwieniu decydentom analizy ich sytuacji przetargowej oraz na ułatwieniu osiągnięcia porozumienia, tzn. wspólnego wyboru rozwiązania ze zbioru porozumień.

Opracowano przykład liczbowy modelu, wykorzystując materiały dostępne w Międzynarodowym Instytucie Stosowanej Analizy Systemowej (IIASA, Transboundary Air Pollution Project, Laxenburg, Austria). Model dotyczy dwóch krajów, z których pierwszy jest krajem wysoko rozwiniętym, posiadającym nowoczesne małodopadowe technologie, natomiast drugi jest krajem rozwijającym się, o przestarzałych, silnie zanieczyszczających technologiach i posiadającym ograniczone środki na przedsięwzięcia redukcji zanieczyszczeń. W celu określenia zbioru porozumień w przestrzeni kryteriów zastosowano podejście analogiczne do przedstawionego w punkcie poprzednim, dotyczącym problemu współpracy gospodarstw rolnych. Sformułowano zadania optymalizacji wielokryterialnej obu krajów, przy założeniu braku współpracy. Wykorzystując pakiet IAC-DIDAS-L wyznaczono przykładowe rozwiązania określające punkt status quo w problemie targu. Sformułowano zadanie optymalizacji wielokryterialnej przy założeniu współpracy obu krajów. Wyznaczono zbiór rozwiązań niezdominowanych tego zadania dla wybranej siatki punktów. Wyznaczono powłokę wypukłą rozpiętą na tych punktach w postaci układu nierówności liniowych. Układ tych nierówności definiuje zbiór porozumień w problemie targu. Określony w ten sposób problem targu został wprowadzony do systemu MCBARG. Przeprowadzono eksperymenty - sesje komputerowe z wykorzystaniem tego systemu. Wyniki jednej z sesji zostały przedstawione w pracy (Kruś, Bronisz, Łopuch 1990), jako ilustracja zastosowania systemu do wspomaganego negocjacji.

6.4 Podsumowanie

Wprowadzone w poprzednich rozdziałach koncepcje rozwiązań wielokryterialnego problemu targu i interakcyjna procedura wspomagająca analizę dokonywaną przez decydentów i sam proces mediacji, zostały zastosowane w konstrukcji systemu komputerowego MCBARG. System ten zawiera wbudowany edytor modeli. Z jego pomocą skonstruowano modele dla przykładów wielokryterialnego problemu targu. Modele te służyły najpierw do testowania systemu. Z ich pomocą przeprowadzono szereg sesji ilustrujących działanie i możliwości systemu.

Uwagi końcowe

W pracy rozpatruje się sytuacje decyzyjne, w których decydenci mogą odnosić korzyści w wyniku wzajemnej współpracy. Korzyści te określane są w porównaniu z sytuacją, gdyby dany decydent nie przystąpił do współpracy, zgodnie z koncepcją BATNA. Każdy decydent podejmuje niezależne decyzje oraz ma swój niezależny wektor kryteriów określający wyniki tych decyzji i swoje preferencje wyboru. Wartości kryteriów danego decydenta zależą od decyzji wszystkich decydentów.

Zakłada się, że dany jest model matematyczny pozwalający wyznaczyć wartości kryteriów każdego decydenta w zależności od decyzji wszystkich decydentów. Model nie opisuje preferencji decydentów. Nie zakłada się istnienia określonych funkcji użyteczności decydentów. Zaproponowano metody wspomagające analizę decyzyjną w wielokryterialnej przestrzeni wypłat stanowiącej iloczyn kartezyjański przestrzeni kryteriów poszczególnych decydentów oraz procedury umożliwiające znalezienie zgodnych decyzji. Przedstawiono ogólny opis matematyczny rozważanych sytuacji decyzyjnych i na tej podstawie sformułowano model wielokryterialnego problemu targu (rozdział 4) rozpatrywany dalej w pracy, a także sformułowano model wielokryterialnej gry kooperacyjnej,

w której uwzględnia się wpływ możliwych koalicji na rozwiązania i wypłaty graczy.

W przypadku wielkryterialnego problemu targu zaproponowano uogólnione rozwiązanie Raiffy-Kalaia-Smorodinsky'ego (R-K-S) oraz jego aksjomatyczną charakteryzację. Założono, że każdy gracz ma możliwość analizy niezdominowanych wypłat w swojej przestrzeni kryteriów. Na podstawie wskazanych przez graczy wypłat, wybranych zgodnie z ich preferencjami, konstruuje się tzw. punkt względnej utopii. Punkt ten uwzględniający preferencje wszystkich graczy jest podstawą konstrukcji proponowanego rozwiązania. Rozwiązanie to, w przypadku jednokryterialnych wypłat, sprowadza się do rozwiązania R-K-S. Nie jest natomiast prostym rozszerzeniem klasycznego rozwiązania R-K-S konstruowanym z wykorzystaniem punktu idealnego w przestrzeni wielokryterialnych wypłat. Pokazano, że w szczególnych przypadkach rozwiązanie to może być tylko słabo niezdominowane w zbiorze wypłat. Kolejna propozycja dotyczy, uogólnionego na przypadek wielokryterialnych wypłat, rozwiązania Imai, wykorzystującego porządek leksykograficzny. Podano idee algorytmu umożliwiającego poprawę słabo niezdominowanych rozwiązań R-K-S do rozwiązań niezdominowanych. Przedstawiono również konstrukcje umożliwiające uogólnienie na przypadek wielokryterialnych wypłat klasycznych rozwiązania Nasha i Rozwiązania Egalitarnego. Przeprowadzono analizę własności tych rozwiązań.

Przedstawiane w pracach (Kruś, Bronisz 1993, Kruś 2002) sformułowania wielokryterialnego problemu targu i koncepcje rozwiązań były następnie przedmiotem badań innych autorów np. (Hinojosa i inni 2005), (Marmol i inni 2007).

Koncepcje uogólnionych rozwiązań R-K-S oraz Imai zostały zastosowane w konstrukcji interakcyjnych procedur wspomagan

analizy decyzyjnej decydentów i wyznaczania propozycji mediacyjnych. Wielostronna analiza decyzyjna poprzedzona jest etapem analizy jednostronnej, w trakcie której każdy decydent niezależnie bada zbiór swoich niezdominowanych wypłat w swojej przestrzeni kryteriów, wykorzystując podejście punktu referencyjnego. Wskazane przez każdego decydenta wypłaty, wybrane zgodnie z jego preferencjami, są podstawą wyznaczenia propozycji mediacyjnej. Propozycja ta uwzględnia preferencje wszystkich decydentów i jest przedmiotem analizy wielostronnej. W kolejnych rundach powtarzane są oba etapy analizy. Sformułowano w tym celu koncepcję rozwiązania iteracyjnego i pokazano jego zbieżność do rozwiązania Pareto optymalnego.

Przedstawiono koncepcje ogólnej konstrukcji komputerowych systemów wspomagania decyzji w rozpatrywanych sytuacjach przetargowych. Procedura wykorzystująca rozwiązanie iteracyjne została zaimplementowana w systemie komputerowym MCBARG. Zamieszczono dwa przykłady ilustrujące wielokryterialny problem targu: przykład dotyczący zagadnienia kwaśnych deszczów oraz przykład dotyczący współpracy gospodarstw rolnych. Przykłady te zostały wprowadzone do systemu i pozwalają prześledzić jego działanie.

W rozdziale 7 rozpatrzono sytuacje kooperacyjne opisywane przez modele wielokryterialnych gier koalicyjnych bez wypłat ubocznych. Podano sformułowanie matematyczne takiej gry, a następnie zbadano jej własności i sformułowano koncepcje rozwiązań takie jak rdzeń i nukleolus gry. Zaproponowano oryginalny sposób określania funkcji nadwyżki uwzględniającej preferencje graczy oraz generowaną przez tę funkcję postać nukleolusa. Nucleolus ten, w przypadku klasycznych gier targu, sprowadza się do koncepcji podanej przez Schmeidlera (1969), natomiast w przypadku gier

targu sprowadza się do uogólnionego rozwiązania Raiffy-Kalaia-Smorodinsky'ego podanego w pracy (Kruś, Bronisz 1993) i rozpatrywanego w pracy (Kruś 2002) oraz omówionego w rozdziale 4. Podano również ideę iteracyjnej procedury wspomagającej analizę i wyznaczenie rozwiązania mediacyjnego. Przedstawiane problemy były wcześniej przedmiotem prac (Kruś, Bronisz 1995), (Kruś 2008). Podane propozycje korespondują z ideą zastosowania punktów referencyjnych do wyznaczania propozycji mediacyjnych w grach koalicyjnych przedstawioną w pracy (Wierzbiński 2005).

W rozdziale 8 rozpatrzono problem decyzyjny, w którym podmioty decyzyjne negocjują realizację wspólnego lub wspólnych przedsięwzięć w celu pozyskania wiązki dóbr. Mogą działać indywidualnie lub tworzyć koalicje. Problem dotyczy podziału pozyskanej wiązki dóbr i udziału w kosztach przedsięwzięć. Zaproponowano model rodziny gier kooperacyjnych opisującej ten problem alokacji kosztów z uwzględnieniem mechanizmu cenowego i wypłat ubocznych. Zagadnienie to przedstawiono na podstawie wcześniejszej pracy (Kruś, Bronisz 2000). Zbadano różne koncepcje rozwiązań tych gier. Zaimplementowano algorytm wyznaczania różnych koncepcji nukleolusa traktowanego jako podstawę do wyznaczania propozycji mediacyjnych. Przedstawiono przykład numeryczny ilustrujący proponowane analizy. Zaproponowano również procedurę wspomagającą analizę wielokryterialną i proces mediacji. Problem alokacji i kosztów jest również rozpatrywany w sytuacji, gdy wypłata danej koalicji zależy nie tylko od graczy, którzy ją tworzą, ale także od struktury koalicyjnej graczy pozostałych (rozdział 9). Sytuację taką opisano jako grę kooperacyjną w postaci funkcji partycji. Uzyskane wyniki dotyczą koncepcji rozwiązań w tych grach i ich analizy. Istotne jest w szczególności pokazanie koincydencji rdzenia takiej gry z rdzeniem odpowiednio skonstruowanej gry w postaci funkcji charakterystycznej. Rdzeń

taki określa ramy, w których decydenci mogą prowadzić negocjacje. Można również wtedy zastosować podejście prezentowane w rozdziale 8. Nowe zagadnienia badań w tym kierunku mogą dotyczyć koncepcji rdzeni optymistycznych i pesymistycznych rozpatrywanych w pracach Koczy'ego (2007, 2008).

Uzyskane wyniki teoretyczne mogą mieć zastosowanie nie tylko w omawianym problemie kooperacji, opisywanym jako modele targu lub modele gier kooperacyjnych z wektorowymi wypłatami graczy, ale także w szerszej klasie zagadnień dotyczących także sytuacji niekooperacyjnych. Przykładowo, algorytm interakcyjnej procedury mediacyjnej, wykorzystującej idee rozwiązania iteracyjnego oraz metodę punktu referencyjnego i funkcji osiągnięcia, został zastosowany dla przypadku wielokryterialnej, niekooperacyjnej gry dynamicznej dotyczącej tzw. „wojny rybnej” (prace magisterskie: Cichoń (1989), Kaniewski (1990)), w eksperymentalnym systemie komputerowym. Wielokryterialne rozwiązania w grach niekooperacyjnych były rozpatrywane między innymi w pracach (Wierzbicki 1990, Kruś, Bronisz 1994).

Równolegle z badaniami, których wyniki przedstawia się w tej pracy, prowadzonych z zastosowaniem analizy wielokryterialnej i podejścia punktu referencyjnego, prowadzono prace z zastosowaniem idei funkcji użyteczności. Wykorzystywano koncepcje funkcji użyteczności R. Kulikowskiego (1998, 2002, 2003) inspirowane pracami Savage (1954), Tverskiego i Kahnemana (Tversky 1967, Tversky, Kahneman 1981). Uzyskane wyniki (Kruś 2002a, 2004a), (Kulikowski, Kruś 2003) dotyczą między innymi konstrukcji systemów komputerowych wspomagania analizy decyzyjnej, analizy wspólnych przedsięwzięć innowacyjnych, analizy problemu kooperacji na przykładzie szkoły wyższej. W przypadku stosowania koncepcji funkcji użyteczności decydentów, szczególnie istotny jest problem

identyfikacji jej postaci na podstawie interakcji z decydentami. Interesujące ze względu na zastosowania w praktyce i jako przedmiot dalszych badań są procedury budowy modelu preferencji decydentów prezentowane w pracach (Greco, Mousseau, Słowiński 2008), (Figueira, Greco, Mousseau, Słowiński 2008), oraz zastosowanie teorii zbiorów przybliżonych (Greco, Matarazzo, Słowiński 2001, 2008).

Bieżące i planowane badania dotyczą również zastosowania metod proponowanych w pracy do analizy motywacyjnie zgodnych wielokryterialnych mechanizmów rynkowych z wykorzystaniem systemów wieloagentowych. Zagadnienie zgodności motywacji w mechanizmach rynkowych rozwijane jest w pracach E. Toczyłowskiego (por. Toczyłowski 2003, 2009). Dotyczy ono badania i konstrukcji takich mechanizmów rynkowych, w których harmonizowane są interesy uczestników tak, że występowałaby zgodność ich motywacji i uczestnicy ci byłiby skłonni do przekazywania niezafałszowanych informacji, umożliwiającą efektywne funkcjonowanie danego systemu. W pracy (Kruś, Skorupiński, Toczyłowski 2010) zagadnienie to jest badane jest na przykładzie problemu producenta i jego klientów.

Przedstawiane w tej pracy metody są zgodne z ideami dotyczącymi zaufania i uczciwości w systemach rozproszonych (A. Wierzbicki 2010), stanowiącymi kolejny interesujący kierunek dalszych badań.

Bibliografia

- Alcamo J., Shaw R., Hordijk L. (1990) The RAINS Model of Acidification, Science and Strategies in Europe. Kluwer Ac. Publ., Dordrecht.
- Ameliańczyk, A. (1979) Multicriterial optimization of international economic cooperation control. Prace Naukowe ICT Polit. Wrocław. Nr 39.
- Aumann, R. J. (1961) The Core of Cooperative Games without Side Payments. *Trans. Amer. Math. Soc.* Vol. 98, 539-552.
- Aumann, R. J. (1967) A Survey of Games without Sidepayments. In: *Essays in Mathematical Economics*, M. Shubik, ed., Princeton University Press, 3-27.
- Aumann, R.J., Maschler, M. (1964) The Bargaining Set for Cooperative Games. In: *Advances in Game Theory* (M. Dresher, L. S. Shapley and A. W. Tucker, eds.), *Annals of Mathematics Studies*, No. 52, Princeton University Press, Princeton, New Jersey.

- Auman, R.J., Peleg, B. (1960) Von Neumann-Morgenstern solutions to cooperative games without side payments, *Bull. of the American Mathematical Society*. 66, 173-179.
- Axelrod R., (1985), *The Evolution of Cooperation*. Basic Books, New York.
- Barclay S., Peterson C (1976) Multi-attribute Models for Negotiations. Technical Report 76-1, Decisions and Designs, Inc. McLean, VA.
- Bednarczuk E. (2005) Parametryczne problemy optymalizacji wielokryterialnej, warunki stabilności rozwiązań. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT. Warszawa.
- Bednarczuk E. (2006) Stability analysis for parametric vector optimization problems. *Dissertationes Mathematicae*. Warszawa.
- Benayoun R., de Montgolfier J., Laritchev O. (1971) Linear programming with multiple objective functions: Step Method (STEM). *Mathematical Programming*, 1, 366-375.
- Bergstresser, K., P.L. Yu (1977) Domination Structures and Multicriteria Problems in N-person Games. *Theory and Decision*, Vol. 8, 5-48.
- Bergman L., H. Cesar, G. Klaassen (1990) A Scheme for Sharing the Costs of Reducing Sulfur Emissions in Europe. WP-90-005.IIASA, Laxenburg, Austria.
- Billera L.,J., Heath D. C. (1982) Allocation of Shared Costs: A Set of Axioms Yielding a Unique Procedure, *Mathematics of Operations Research*, Vol. 7, No. 1, 32-39.

- Blass A., Raiffa H. (1986) Copmuter Program for Investigating the Efficient Solutions of Two-party, multiple-issue Negotiations, Unpublished Manuscript, Harvard University.
- Bouyssou D., Marchant T., Pirlot M., Tsoukias A., Vincke P. (2006) Evaluation and Decision Models with Multiple Criteria. Springer.
- Branke, J., Deb, K., Miettinen, K., Słowiński, R. (Eds.) (2008) Multiobjective Optimization, LNCS 5252, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Bronisz P., L. Krus (1986a), Interactive System Aiding Decision Making in Multiobjective Cooperative Games. Mathematical Background, *Syst. Anal. Model. Simul.*, vol.3, 387-394.
- Bronisz P., L. Krus (1986b) Supporting of Negotiation in Bargaining Problem with Multiple Payoffs. W: Proceedings of the 1986 IFAC Workshop on Modeling, Decision and Game with Application to Social Phenomena, Vol II, Beijing, China, 496-502.
- Bronisz P., L. Kruś (1987) A Mathematical Basis for System Supporting Multicriteria Bargaining, *Archiwum Automatyki i Telemechaniki*, vol. 4, Warsaw, Poland, 331-337.
- Bronisz P., L. Kruś, B. Lopuch (1987) An Experimental System Supporting Multiobjective Bargaining Problem. A Methodological Guide, W: Theory, Software and Testing Examples for Decision Support Systems, ed. A. Lewandowski, A.P.Wierzbicki, IIASA, Laxenburg.

- Bronisz P., L. Kruś, (1988a) Application of Generalized Raiffa Solution to Multicriteria Bargaining Support. W: System Modeling and Optimization, M. Iri, K. Yajima (eds), Lecture Notes in Control and Information Sciences 113, Springer-Verlag, 207-211.
- Bronisz P., L. Kruś, (1988b) Interactive Procedures for Multicriteria Decision Support in Bargaining Problem. W: System Analysis and Simulation, A. Sydow, S.G. Tzafestas, R. Vichnevetsky (eds), Band 46, Akademie-Verlag, Berlin, 59-62.
- Bronisz P., L. Kruś, A. Wierzbicki (1989) Towards Interactive Solutions in a Bargaining Problem, W: Aspiration Based Decision Support Systems, ed.: A.Lewandowski, A.P.Wierzbicki, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Vol. 331, Springer Verlag, Berlin, 251-268.
- Bronisz P., H. Bury, L. Kruś (1989) Interaktywny system wspomagający analizę strategii rozwojowych. W: Materiały 1-szej Krajowej Konferencji BOiS, IBS PAN, Warszawa.
- Bronisz P., L. Kruś (1989a) Dynamic Solution of Two-Person Bargaining Games. in: Processes of International Negotiations, F. Mautner-Markhof (ed.), Westview Press, Boulder, 449-456.
- Bronisz P., L. Kruś (1989b) An Experimental System Supporting Negotiation on Joint Development Program. in: Processes of International Negotiations, F. Mautner-Markhof (ed.), Westview Press, Boulder, 519-529.
- Bui T. (1987) Co-oP - A Group Decision Support System for Cooperative Multiple Criteria Group Decision Making. Lecture Notes in Computer Science 290, Springer Verlag, Berlin.

- Bury H., L. Kruś, R. Kulikowski (1988) Supporting Planning Decisions by Experiments with Complex Development Model. W: Methodology and Applications of Decision Support Systems, Third Polish Finnish Conference, Sobieszewo 1988. IBS PAN. Warszawa.
- Chander, P., Tulkens, H. (1997) The core and economy with multilateral environmental externalities, *International Journal of Game Theory* 26(3), 379-401.
- Chankong, V., Haimes, Y.Y.(1983) Multiobjective Decision Making: Theory and Methodology. Elsevier Science Publishing, New York.
- Charnes, A., Cooper, W.W., Ferguson, R.O. (1955) Optimal estimation of executive compensation by linear programming. *Management Science* 1(2), 138-151.
- Charnes, A., Cooper, W.W. (1961) Management Models and Industrial Applications of Linear Programming, John Wiley and Sons, New York.
- Charnes, A., Cooper, W.W.(1977) Goal programming and multiple objective optimization; part 1. *European Journal of Operational Research* 1(1), 39-54.
- Chen E., Vahidov R., Gregory E. Kersten G.E.(2005) Agent-supported negotiations in the e-marketplace. *International Journal of Electronic Business*, 3 (1), 28-49 .
- Cichoń T. (1989) Narzędzia softwerowe do symulacji i wspomaganie decyzji w przypadku wielokryterialnej gry dynamicznej. Praca magisterska, Politechnika Warszawska, Wydział Elektroniki, Instytut Automatyki.

- Cruijssen F., Cools M. and Dullaert W. (2007) Horizontal cooperation in logistics: Opportunities and impedimenta. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 43(2), 129-142.
- Davis M., Maschler M. (1965), The Kernel of a Cooperative Game, *Naval Research Logistic Quarterly*, Vol. 12.
- Deb K. (2008), Introduction to Evolutionary Multiobjective Optimization. W: Multiobjective Optimization, Branke, J., Deb, K., Miettinen, K., Slowiński, R. (Eds.), LNCS 5252, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 57-95.
- Deb K., Chaudhuri S., Miettinen K.(2006) Towards estimating nadir objective vector using evolutionary approaches. W: Keijzer, M., i inni (red) Proceedings of the 8th Annual Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO-2006), Seattle, vol. 1, 643-650. ACM Press, New York.
- Dell R. F., Karwan M. H. (1990) An Interactive MCD Weight Space Reduction Method Utilizing a Tchebysheff Utility Function. *Naval Research Logistics*, 37, 263-277.
- Dreyfus S. (1985) Beyond Rationality, W: M. Grauer, M. Thompson, A. P. Wierzbicki (eds): Plural Rationality and Interactive Decision Processes, Proceedings Sopron 1984, Springer-Verlag, Heidelberg.
- Ehtamo H., Hamalainen R.P. (2001) Interactive multiple-criteria methods for reaching pareto optimal agreements in negotiations. *Group Decision and Negotiation*, 10(6):475-491.
- Fandel G., (1979) Optimale Entscheidungen in Organisationen, Springer-Verlag, Heidelberg.

- Fandel G., A.P. Wierzbicki, (1985) A Procedural Selection of Equilibria for Supergames, (private unpublished communication).
- Fandel G., Gal T. (red)(1997): Multiple Criteria Decision Making. LNEMS 448, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Figueira J., Greco S., Ehrgott M. (red)(2005) Multiple Criteria Analysis State of the Art Surveys. Springer + Business Media Inc.
- Figueira J., Greco S., Mousseau V., Słowiński R. (2008) Interactive Multiobjective Optimization Using a Set of Additive Value Functions. W: J. Branke i inni (red.) Multiobjective Optmization. LNCS 5252, 97-119. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Fernández F.R., Hinojosa M.A., Puerto J. (2004) Multi-criteria minimum cost spanning tree games. *European Journal of Operational Research*, 158 (2), 399-408.
- Fisher R., Ury W., (1981) Getting to Yes, Houghton Mifflin, Boston.
- Fortuna Z., Kruś L. (1984) Simulation of an Interactive Metod Supporting Collectiva Decision Making using a Regional Development Model. In: Interactive Decision Analysis, M. Grauer, A. P. Wierzbicki eds., Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Springer, Berlin, 201-209.
- Galas Z., Nykowski I., Żółkiewski Z, (1987) Programowanie wielokryterialne. Państwowe Wydawnictwo Naukowe. Warszawa.
- Gass, S., Saaty, T.(1955) The computational algorithm for the parametric objective function. *Naval Research Logistics Quarterly* 2, 39-45. Springer-Verlag, Heidelberg.

- Gately D. (1974) Sharing the Gains from Regional Cooperation: A Game Theoretic Application to Planning Investment in Electric Power, *International Economic Review*, Vol. 15.
- Gembicki, F., Y. Y. Haimes (1975) Approach to Performance and Multiojective Sensitive Optimization: the Goal Attainment Method. *IEEE Automatic Control* AC-20, No. 6.
- Geoffrion, A.M.(1968) Proper efficiency and the theory of vector maximization. *Journal of Mathematical Analysis and Applications* 22(3), 618-630.
- Gillies D. B. (1959) Solution to General Nonzero Sum Games, *Annals of Mathematics Studies*, Vol. 40.
- Goeltner C. (1987) The Copmuter as a Third Party: Decision Support System for Two Party Single-issue and Two Party multiple-issue Negotiations. Working Paper 1958-87, Alfred P. Sloan School of Management, MIT, Cambridge, MA.
- Gondzio J., Makowski M. (1995) HOPDM - Modular Solver for LP Problems: Users Guide to version 2.12. Working Paper WP-95-50, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg.
- Granat J., Makowski M. (2000) Interactive specification and analysis of aspiration-based preferences. *EJOR*, 122 (2) 469-485.
- Grauer M., M. Thompson, A.P. Wierzbicki (eds), (1985) Plural Rationality and Interactive Decision Processes, Proceedings Sopron 1984, Springer-Verlag, Heidelberg.
- Greco S., Matarazzo B., Słowiński R. (2001) Rough Sets Theory for Multicriteria Decision Analysis. *EJOR*, 129, 1-47.

- Greco S., Matarazzo B., Słowiński R. (2008) Dominance-Based Rough Set Approach to Interactive Multiobjective Optimization. W: J. Branke i inni (red.) *Multibjective Optmization*. LNCS 5252, 121-155. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Greco S., Mousseau V., Słowiński R. (2008) Ordinal Regression Revisited: Multiple criteria ranking with a set of Additive Value Functions. *EJOR*. 191 (2) 416-436).
- Harsanyi J.C., R. Selten, (1972) A Generalized Nash Solution for Two-Person Bargaining Games with Incomplete Information, *Management Sciences*, Vol. 18, 80-106.
- Heiskanen P., Ehtamo H., Hamalainen R.P. (2001) Constraint proposal method for computing Pareto solutions in multi-party negotiations. *European Journal of Operational Research*, 133(1), 44-61.
- Hordijk L. (1991) Use of the RAINS Model in Acid Rains Negotiations in Europe. *Environmental Science Technology*, 25 (4).
- Huang, C.Y., Sjöström, T. (2003) Consistent solutions for cooperative games with externalities, *Games and Economic Behavior* 43, 196-213.
- Hwang C., Masud A. S. M., Paidy S. R., Yoon K. (1979) *Multiple Objective Decision Making: Methods and Applications, A state-of-the-art survey*. Springer Verlag.
- Ignizio, J.P.(1985) *Introduction to Linear Goal Programming*. Sage Publications, Beverly Hills.
- Imai H., (1983) Individual Monotonicity and Lexicographical Maxmin Solution, *Econometrica*, Vol.51, 389-401.
- Jahn, J.(2004) *Vector Optimization*. Springer, Berlin.

- Jacket-Lagreze E., Siskos J. (1982) Assessing a set of Additive Utility Functions for Multicriteria Decision Making: The UTA Method. *EJOR*, 10:151-164.
- Jacket-Lagreze E. (1990) Interactive Assessment of Preferences Using Holistic Judgements. The PREFCALC system. W: Readings in Multiple Criteria Decision aid, (C. A. Bana e Costa Ed.). Springer Verlag, Berlin, 335-350.
- James L.D., R.R. Lee, (1971) Economics of Water Resources Planning. New York, McGraw-Hill.
- Jaszkiewicz A., Słowiński R. (1995) The light-beam search – outranking based interactive procedure for multiple -objective mathematical programming. W: Advances in Multicriteria Analysis (Pardalos P. M., Siskos Y., Zopoundis C. red.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 129-146.
- Jarke M., Jelassi M. T., Shakun M. F. (1987) Mediator: Towards a negotiation support system. *European Journal of Operation Research* 31, 314-334.
- Kalai, E. (1975) Excess Functions for Cooperative Games without Sidepayments. *SIAM J. Appl. Math.*, Vol.29, No. 1, 60-71.
- Kalai E., Smorodinsky M. (1975) Other Solutions to Nash's Bargaining Problem, *Econometrica*, Vol. 43, 513-518.
- Kaliszewski, I.(1994) Quantitative Pareto Analysis by Cone Separation Technique. Kluwer, Dordrecht.
- Kaliszewski I., Zionts S. (2004) Generalization of the Zionts-Wallenius Multicriteria Decision Making Algorithm. *Control and Cybernetics* 3, 477-500.

- Kaliszewski, I. (2006) *Soft Computing for Complex Multiple Criteria Decision Making*, Springer.
- Kaniewski M., (1990) *Wspomaganie decyzji w wielokryterialnych grach dynamicznych na przykładzie modelu gry połowowej*. Praca magisterska, Politechnika Warszawska, Wydział Elektroniki, Instytut Automatyki.
- Keeney, R.L., Raiffa, H. (1976) *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs*. Wiley, Chichester.
- Kersten G. E. (1985) *NEGO - Group Decision Support System. Information and Management*. Vol. 8., 237-386.
- Kersten G. E. (1988) *A Procedure for Negotiating Efficient and Non-Efficient Compromises. Decision Support Systems* 4, 167-177, North-Holland.
- Kersten, G. E.; Koszegi, S.T.; Vetschera, R. (2002) *The effects of culture in anonymous negotiations: experiment in four countries. System Sciences, System Sciences, 2002. HICSS. Proceedings of the 35th Annual Hawaii International Conference, 7-10 Jan. 2002* , 418 - 427.
- Kersten G., Lo G. (2003) *Aspire: an integrated negotiation support system and software agents for e-business negotiation. International Journal of Internet and Enterprise Management*, 1 (3), 293 - 315.
- Kersten G. E., Michalowsky W., Matwin S., Szpakowicz S. (1988) *Rule-based Modelling of Negotiation Strategies. Theory and Decision*, Vol. 25., 225-257.

- Kersten G. E., Michalowski W., Szpakowicz S., Koperczak Z. (1991) Restructurable Representations of Negotiations. *Management Science*, 37 (10).
- Kersten G.E., Sunil J. (1999) WWW-based negotiation support: design, implementation, and use. *Decision Support Systems* 25, (2), 135-154.
- Kersten G. E., Szapiro T. (1986) Generalized Approach to Modeling Negotiations, *European Journal of Operational Research*, Vol. 26, 1, 142-149.
- Khorram E., Zarepisheh M., Ghaznavi-ghosoni B.A.(2010) Sensitivity analysis on the priority of the objective functions in lexicographic multiple objective linear programs *EJOR*, 207, 1162-1168.
- Kóczy L.Á. (2007) A Recursive Core for Partition Function Form Games. *Theory and Decision* 63, 41-51.
- Kóczy L.Á. (2008) Sequential Coalition Formation and the Core in the Presence of Externalities. *Games and Economic Behavior*
- Konarzewska-Gubała E. (1980) Programowanie przy wielorakości celów. Warszawa. PWE.
- Konarzewska-Gubała E. (1991) Wspomaganie decyzji wielokryterialnych: system „Bipolar”. *Prace Naukowe Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu. Seria Monografie i Opracowania*, 76.
- Kopelowitz A. (1967) Computation of the Kernels of Simple Games and the Nucleolus of N-Person Games. RM No. 31, Research Program in Game Theory and Math. Economics, Department of Mathematics, Hebrew University of Jerusalem.

- Korhonen P., Laakso J. (1986) A Visual Interactive Method for Solving the Multiple Criteria Problem. *EJOR*, 24, 227-287.
- Korhonen P., Salo S., Steuer, R.E.(1997) A heuristic for estimating nadir criterion values in multiple objective linear programming. *Operations Research* 45(5), 751-757.
- Korhonen P., Moskowitz H., Wallenius J., Zionts S. (1986) An Interactive Approach to Multiple Criteria Optimization with Multiple Decision-Makers. *Naval Research Logistics Quarterly*, vol. 33, 589-602, John Wiley & Sons.
- Korhonen P., Wallenius J. (1989) Supporting Individuals in Group Decision-making. Helsinki School Of Economics, Finland.
- Kostreva M.M., Ogryczak W., Wierzbicki A. (2004) Equitable Aggregation and Multiple Criteria Analysis. *EJOR*, 158, 362-367.
- Krajewska M.A., Kopfer H. (2006) Collaborating freight forwarding enterprises. *OR Spectrum*, 28 (3), 301-317.
- Kreglewski T., Paczynski J., Granat J., Wierzbicki A. P. (1988) IAC-DIDAS-N A Dynamic Interactive Decision Analysis and Support System for Multicriteria Analysis of Nonlinear Models with Nonlinear Model Generator supporting model analysis, IIASA working paper, IIASA, Laxenburg , Austria.
- Kreglewski T., (1984) private communication.
- Kruś L. (1985) An Interactive Method for Decision Support in a Two-person Game with an Example from Regional Planning. In: Plural Rationality and Interactive Decision Processes, M. Grauer, M. Thompson, A. P. Wierzbicki eds., Lecture Notes in

Economics and Mathematical Systems, Springer, Berlin, 336-343.

Kruś L., Lopuch B., Bronisz P., (1989) Application of interactive solutions for decision support in bargaining problem, an illustrative example. In: Methodology and Applications of Decision Support Systems, R. Kulikowski (ed.), Proceeding of the 3-rd Polish-Finnish Symposium, Gdansk, 1988, 121-140.

Kruś L., Bronisz P., Lopuch B., (1990) MCBARG - Enhanced, A System Supporting Multicriteria Bargaining, IIASA Collaborative Paper, CP-90-006, IIASA, Laxenburg, Austria.

Kruś, L., Lopuch B. (1989) Wielokryterialny problem targu w przypadku modeli liniowych i jego rozwiązanie przy użyciu systemu MCBARG. Przykład modeli gospodarstwa rolnego. Opracowanie ZTSW 16/17/89, IBS PAN, Warszawa.

Kruś L., Bronisz P. (1990). Decision Support on Joint Development Program, Opracowanie, ZTSW, IBS PAN, Warszawa.

Kruś L., (1991) Some Models and Procedures for Decision Support in Bargaining, W: Multiple Criteria Decision Support. Korhonen, Lewandowski, Wallenius (ed.), Lecture notes in Economics and Math. Systems, Vol. 356, Springer Verlag, Berlin 350-359.

Kruś, L. (1992a) Interactive Approach to multicriteria bargaining on an example of acid rains problem. W: Systems and Control (Han-Fu Chen Ed.) International Acad. Publ., Beijing, China.

Kruś, L. (1992b) Computer Based Mediation Support. W: Preprints of the IFAC Workshop on "Support Systems for Decision and Negotiation Processes", June, 24-26, 1992, Warsaw, Poland.

- Kruś L., Bronisz P. (1993) Some New Results in Interactive Approach to Multicriteria Bargaining. W: User Oriented Methodology and Techniques of Decision Analysis, Wierzbicki i inni (red.), Lecture Notes in Econ. and Math. Systems, Springer Verlag, Berlin, str 21-34.
- Kruś L., Bronisz P. (1994) On n-person Noncooperative Multicriteria Games Described in Strategic Form. *Annals of Operation Research*. Vol. 51 (1994), 83-97. J. C. Balzer AG, Sci. Publ.
- Kruś L., Nahorski Z., Owsinski J. W. (eds.) (1994). Decision Support in Negotiations and Policy Determination. Special issue of *Control and Cybernetics*. Vol. 22, No.4, 1993 (appeared in 1994).
- Kruś L. (1994) Wspomaganie negocjacji w wielokryterialnym zagadnieniu targu. Biuletyn Instytutu Badań Systemowych PAN. Nr 2, 14-26.
- Kruś L., Bronisz P. (1995) Solution Concepts in Multicriteria Cooperative Games without Side Payments. W: System Modelling and Optimization, J. Dolezal (ed.), Chapman and Hall Publ.
- Kruś L., Bronisz P. (1996) Cooperative Game Model for a Cost Allocation Problem. In: S. Bańka, S. Domek, Z. Emirsajłow (eds) Methods and Models in Automation and Robotics. Proc of the Third Int. Symposium. 10-13 September, Międzyzdroje Poland. Technical Univ. of Szczecin, Vol. 1, 275-280.
- Kruś L., (1996) Multicriteria Decision Support in Negotiations, *Control and Cybernetics*, Vol. 25 , No. 6, 1245-1260.
- Kruś L., Bronisz P. (1998) Cooperative game in partition function form for a cost allocation problem. In: S. Bańka, S. Domek, Z. Emirsajłow (eds) Methods and Models in Automation

and Robotics. Proc.of the Fifth Int. Symposium. 25-29 August, Międzyzdroje, Poland. Technical Univ. of Szczecin, 279-284.

Kruś L., Bronisz, P., (2000) Cooperative game solution concepts to a cost allocation problem, *European Journal of Operational Research*. Vol. 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.*, Vol. 50, No. 1, 93-108.

Kruś L. (2002b) Multicriteria Decision Support in Bargaining, a Problem of Players Manipulations, in: T. Trzaskalik, J. Michnik, (eds), *Multiple Objective and Goal Programming*, Physica Verlag, Springer, Berlin.

Kruś L., (2004a), A Computer Based System Supporting Analysis of Cooperative Strategies, in: L. Rutkowski, J. Siekmann, R. Tadeusiewicz, L. Zadeh, (eds), *Artificial Intelligence and Soft Computing - ICAISC 2004*, Lecture Notes in Computer Science, Springer, Berlin.

Kruś L. (2004b) A multicriteria approach to cooperation in the case of innovative activity, *Control and Cybernetics*, Vol. 33 , No. 3.

Kruś L. (2008) On Some Procedures Supporting Multicriteria Cooperative Decisions. *Foundations of Computing and Decision Science*, 33 (3), 257-270.

Kruś L. (2009) Cost Allocation in Partition Function Form Games. *Operation Research and Decisions*, No. 2, 39-49.

- Kruś L. Skorupiński J., Toczyłowski E. (2010) Analiza motywacyjnie zgodnych decyzji wielokryterialnych na przykładzie problemu producenta i klientów. *Badania Operacyjne i Systemowe*.
- Kulikowski R. (1998) Portfolio optimization: two factors utility approach, *Control & Cybernetics*, 3.
- Kulikowski R.(2002) URS methodology - a tool for stimulation of economic growth by innovations, *Bulletin of the Polish Academy of Sciences, Sci. Tech.*, Vol. 50 , No. 1.
- Kulikowski R.(2003) On general theory of risk management and decision support systems, *Bulletin of the Polish Academy of Sciences, Sci. Tech.*, Vol. 51 No. 3.
- Kulikowski R. , L. Kruś (2003) Support of education decisions. In: *Group Decisions and Voting* (J. Kacprzyk, D. Wagner eds), Akad. Oficyna Wyd. EXIT, Warszawa.
- Lax D. A., Sebenius J. K. (1985) The Power of Alternatives and the Limits to Negotiations, *Negotiation J.* Vol. 1, 163-179.
- Legros P.(1986) Allocating Joint Costs by Means of Nucleolus, *Int. Journal of Game Theory*, Vol. 15, Issue 2, 109-119.
- Lewandowski A., A.P. Wierzbicki A.P. (1989) *Aspiration Based Decision Support Systems*. Springer, Berlin.
- Lewandowski A., T. Kreglewski, T. Rogowski, A. P. Wierzbicki (1989) Decision Support Systems of DIDAS Family. In: *Aspiration Based Decision Support Systems*, (A. Lewandowski, A.P. Wierzbicki eds.) *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, Vol. 331, Springer-Verlag, 21-47.

- Littlechild S.C. (1974) A Simple Expression for the Nucleolus in a Special Case, *Int. Journal of Game Theory*, Vol. 3, Issue 1, 21-29.
- Littlechild, S.C., Thompson, G.F. (1977) Aircraft landing fees: a game theory approach. *The Bell Journal of Economics*. Vol. 8, 186-204.
- Littlechild S.C., Vaidya K.G. (1976) The Propensity to Disrupt and the Disruption Nucleolus of a Characteristic Function Game, *Int. Journal of Game Theory*, Vol. 5, 151-161.
- Lucas, W.F., (1965) Solution for Four-Person Games in Partition Function Form, *SIAM Review*. Vol. 13, 118-128.
- Lucas, W.F. (1968) A game with no solutions. *Bull. of the American Mathematical Society* Vol. 74, 237-239.
- Lucas, W.F. (1969) The proof that a game may not have a solution. *Transactions of the American Mathematical Society*, Vol.137, 219-229.
- Luce R.D., H. Raiffa, (1957) *Games and Decisions: Introduction and Critical Survey*, New York: Wiley.
- Makowski M. (2005) A structured modeling technology. *EJOR*, Vol. 166 (3), 615-648.
- Makowski, M., Somlyódy, L. and Watkins, D. (1996), Multiple Criteria Analysis for Water Quality Management in the Nitra Basin. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, Vol. 32: 937-951.
- Makowski, M. (2000) Modeling paradigms applied to the analysis of European air quality. *EJOR*, Vol. 122 (2), 219-241.

- Maschler M, Peleg B, Shapley L.S. (1979) Geometric Properties of the Kernel, Nucleolus and Related Solution Concepts, *Mathematics of Operations Research*, Vol. 4, 303-338.
- Matsubayashi N., Umezawa M., Masuda Y. and Nishino H. (2005) A cost allocation problem arising in hub-spoke network systems. *European Journal of Operational Research*, Vol. 160 (3), 821-838.
- Matwin S., Szpakowicz S., Koperczak Z., Kersten G.E., Michalowski W.(1989) Negoplan: An Expert System Shell for Negotiation Support, *IEEE Intelligent Systems*, Vol. 4 (4), 50-62.
- Matwin, S., Szapiro T., Haigh K. (1991) Genetic Algorithms Approach to a Negotiation Support System. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* Vol. 21 (1), 102-114.
- Michalowski W., Szapiro T. (1989) A procedure for worst outcomes displacement in multiple criteria decision making . *Computers and Operations Research*, Vol. 16, (3), 195-206.
- Michalowski W., Szapiro T. (1992) A Bi-reference Procedure for Interactive Multiple Criteria Programming. *Operations Research*, Vol. 40, No. 2
- Miettinen, K. (2008) Introduction to Multiobjective Optimization: Noninteractive Approaches. In: Multiobjective Optimization, J. Branke, K. Deb, K. Miettinen, R. Słowiński (Eds.), Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Moulin H. (1988) Axioms of Cooperative Decision Making. Cambridge University Press, Cambridge.

- Nakayama H. (1985) Aspiration Level Approach to Interactive Multi-objective Programming and its Applications. W: *Advances in Multicriteria Analysis* (Pardalos P. M., Siskos Y., Zopounidis C. red.), KluwerAcademic Publishers, Dodrecht, 147-174.
- Narula S.C., Kirilov L., Vassilev V. (1994) Reference Direction Approach for Solving Multiple Objective Nonlinear Programming Problems. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 24, 804-806.
- Nash J.F., (1950) The Bargaining Problem, *Econometrica*, Vol. 18, 155-162.
- Nash J.F., (1953) Two-Person Cooperative Games, *Econometrica*, Vol. 21, 129-140.
- von Neumann, J., O. Morgenstern (1953) *Theory of Games and Economic Behaviour*, Princeton, New Jersey, Princeton Univ. Press.
- Nunamaker J., F., Applegate L., M., Konsynsky B., R. (1988) Computer-aided deliberation: Model Management and Group Decision Support. *Operations Research*, Vol. 36., 826-848.
- Nyhart J., Samarasan D. (1989) The Elements of Negotiation Management: Using Computers to Help Resolve Conflict. *Negotiation Journal*, 43-62.
- Nykowski I., Żółkiewski Z.(1985) A compromise procedure for the multiple objective linear fractional programming problem. *European J. Oper. Res.* 19, 91-97.

- Ogryczak W., (1997) Wielokryterialna optymalizacja liniowa i dyskretna. Modele preferencji i zastosowania do wspomaganie decyzji. Warszawa, Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego.
- Ogryczak W., (2002) Multiple criteria optimization and decisions under risk, *Control and Cybernetics*, Vol. 31 , No. 4.
- Ogryczak W., Śliwiński T. (2007) On Optimization of the Importance Weighted OWA Aggregation of Multiple Criteria. LNCS **4705**, 804-817.
- Ogryczak W., (2008) Reference Point Method with Lexicographic Min-ordering of Individual Achievements. W: Multiple Criteria Decision Making 07, T. Trzaskalik red.. Publisher of The Karol Adamiecki University of Economics in Katowice, Katowice, 155-174.
- Pawlak Z.(1982) Rough sets. *International Journal of Computer and Information Sciences*, 11, 341-356.
- Pawlak Z.(1991) Rough Sets. Kluwer, Dordrecht.
- Peleg, B. (1963) Solutions to Cooperative Games without Side Payments. *Trans. Amer. Math. Soc.* Vol. 106, 280-292.
- Piasecki, St., J. Hołubiec, A. Ameliańczyk (1982). Międzynarodowa kooperacja gospodarcza, modelowanie i optymalizacja. PWN, Warszawa.
- Raiffa H., (1953) Arbitration Schemes for Generalized Two-Person Games, *Annals of Mathematics Studies*, No. 28 361-387, Princeton.
- Raiffa H. (1982) The Art and Science of Negotiations. Harvard Univ. Press, Cambridge.

- Ransmeier J. S. (1942) The Tennessee Valley Authority: A Case Study in the Economics of Multiple Purpose Stream Planning, The Vanderbilt University Press, Nashvill.
- Rogowski, J. Sobczyk, A. P. Wierzbicki (1988) IAC-DIDAS-L A Dynamic Interactive Decision Analysis and Support System, Linear Version. WP-88-110, IIASA, Laxenburg, Austria.
- Roth A.E., (1979a) An Impossibility Result Concerning n-Person Bargaining Games, *International Journal of Game Theory*, Vol. 8, 129-132.
- Roth A.E., (1979b) Axiomatic Model of Bargaining, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Vol. 170, Springer-Verlag, Berlin.
- Roth A.E. , M.W.K. Malouf , (1979) Game-Theoretical Models and the Role of Information in Bargaining, *Psychological Review*, Vol. 86, 1163-1170.
- Roy B. (1990) Wielokryterialne wspomaganie decyzji. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne. Warszawa.
- Savage L. J., The foundations of statistics. New York, Wiley, 1954
- Sawaragi Y., Nakayama H., Tanino T. (1985) Theory of Multiobjective Optimization. Academic Press, New York.
- DeSanctis G., Gallupe R., B. (1987) A Foundation for the Study of Group Decision Support Systems. *Management Science*, Vol. 33, No. 5., 589-609.
- Schmeidler D. (1969) The Nucleolus of a Characteristic Function Game, *SIAM Journal of Applied Mathematics*, Vol. 17, No. 3, 1163-1169.

- Sebenius J. K. (1992) Negotiation Analysis: A Characterization and Review *Management Science*, Vol. 38, No. 1, 18-38.
- Sebenius J. K. (2007) Negotiation Analysis: Between Decisions and Games. W: W. Edwards, R. Miles, D. von Winterfeldt (eds.), *Advances in Decision Analysis*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Seo F. (1988) Utilization of Mathematical Programming in Group Decision Making: An Application to Effective Formation of Integrated Regional Information Networks. Discussion Paper No. 254, Kyoto Institute of Economic Research, Kyoto University.
- Seo F. Sakawa M. (1987) Multiple Criteria Decision Analysis in Regional Planning, D. Reidel Publishing Co.
- Shakun M. (1988) Evolutionary Systems Design. HoldenDay, Oakland, CA.
- Shapley L. S. (1953) A Value for n-Person Game, *Annals of Mathematics Studies*, Vol. 28,
- Shapley L. S., Schubik M. (1966) Quasi-cores in Monetary Economy with Nonconvex Preferences, *Econometrica*, Vol. 34, 805-827.
- Skulimowski A. (1996) Decision Support Systems Based on Reference Sets Theory Multiobjective Optimization. AGH-Press, Kraków.
- Skwarczyło M. (1988) Opis użytkowy programu SCONVEX. Opracowanie ZTSW-24-17/88, IBS PAN, Warszawa.
- Stam A., H. Cesar, M. Kuula (1989) Transboundary Air Pollution in Europe: An Interactive Multicriteria Tradeoff Analysis, WP-89-61, IIASA, Laxenburg, Austria.

- Stearns R. (1964) On the Axioms for a Cooperative Game without Side Payments. *Proc. Amer. Math. Soc.* Vol. 15, 82-86.
- Steuer R.E.(1986) Multiple Criteria Optimization: Theory, Computation, and Application. Wiley, New York.
- Szapiro T. (1991) Podejście interaktywne we wspomaganii podejmowania decyzji. SGH. Warszawa.
- Szapiro T. (1993) Co decyduje o decyzji. PWN, Warszawa.
- Szapiro T.(red.) (2000) Decyzje menadżerskie z Excelem. PWE, Warszawa.
- Szapiro T., Wojewnik P. (2007) Negotiating an Investment Strategy with Fuzzy Redescriptions. W: G. Kersten, j. Rios, E. Chen (red.) *Proc. Group Decisions and Negotiations 2007*, Vol. II, Concordia Univ., Montreal, Canada.
- Szapiro T., Wojewnik P. (2008) Universal Software Platform for Construction of Web-based Negotiation Support Systems. W: J. Climaco, G. Kersten, J. P. Costa (red.) *Group Decisions and Negotiation, Proceedings*, 203-204.
- Teich J. E., Wallenius H., Kuula M., Zionts S. (1995) A Decision Support Approach for Negotiation with an Application to Agricultural Income Policy Negotiations. *European Journal of Operational Research*, Vol. 81, 76-87.
- Thomson W., (1980) Two Characterization of the Raiffa Solution, *Economic Letters*, Vol. 6, 225-231.
- Thrall, R.M., Lucas W.F. (1963) n-Person Games in Partition Function Form, *Naval Research Logistics Quarterly*, 10, 281-298.

- Toczyłowski E.(2003) Optymalizacja procesów rynkowych przy ograniczeniach. AOW EXIT, Warszawa.
- Toczyłowski E. (2009) Zgodność motywacji w mechanizmach rynku energii. Rynek Energii, II(IV) , 88-95.
- Trzaskalik T. (1990) Wielokryterialne dyskretne programowanie dynamiczne. Teoria i zastosowania w praktyce gospodarczej. Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Katowicach.
- Trzaskalik T. (1997) Multiple Criteria Discrete Dynamic Programming. W: Multiple Criteria Decision Making. Fandel G., Gal T. (eds), LNEMS 448, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 202-211.
- Trzaskalik T. (1998) Multiobjective analysis in dynamic environment. Karol Adamiecki University of Economics in Katowice (Katowice).
- Trzaskalik T., Michnik J. (red.) (2002) Multiple objective and goal programming : Recent developments. Physica-Verlag, Springer.
- Trzaskalik T., Sitarz S. (2007) Discrete dynamic programming with outcomes in random variable structures. *European Journal of Operational Research*, 177, (3), 1535-1548.
- Trzaskalik T. (red.) (2006) Metody wielokryterialne na polskim rynku finansowym. PWE, Warszawa.
- Tversky A., Kahneman O., (1981) The framing of decisions and the psychology of choice, *Science*, Vol. 211, 453-480.
- Tversky A. (1967) Utility theory and additivity analysis of risky choices, *Experimental Psychology*, Vol. 75, 27-37.

- Vetschera, R.(1990) Group Decisions and Negotiation Support - a Methodological Survey. *OR Spectrum*, Vol. 17, 67-77.
- Vetschera R., Kersten G., Köszegi S. (2006) User Assessment of Internet-Based Negotiation Support Systems: An Exploratory Study. *Journal of Organizational Computing and Electronic Commerce* Vol. 16 (2), 123-148.
- Vetschera, R.(2007) Preference structures and negotiator behavior in electronic negotiations. *Decision Support Systems* Vol. 44 (1), 135-146.
- Wachowicz T. (2006) Application of Multiple Attribute Stochastic Dominance to Selection of Negotiation Strategies in E-negotiations. W: Multiple Decision Making 05, T. Trzaskalik (red). The Karol Adamiecki University of Economic Press, Katowice.
- Wachowicz T. (2008) Negotiation and Arbitration Support with Analytic Hierarchical Process. W: Multiple Decision Making 07, T. Trzaskalik (red). The Karol Adamiecki University of Economic Press, Katowice.
- Wierzbicki A. (2010) Trust and Fairness in Open, Distributed Systems. Springer
- Wierzbicki A.P., (1982) A Mathematical Basis for Satisficing Decision Making, *Mathematical Modelling*, 3, 391-405.
- Wierzbicki A.P., (1983) Negotiation and Mediation in Conflicts I: The Role of Mathematical Approaches and Methods, Working Paper WP-83-106, IIASA, Laxenburg; także w: H. Chestnat i inni, (ed): Supplemental Ways to Increase International Stability, Pergamon Press, Oxford, 1983.

- Wierzbicki A.P., (1985) Negotiation and Mediation in Conflicts II: Plural Rationality and Interactive Decision Processes, W: M.Grauer, M.Thompson, A.P.Wierzbicki (ed): Plural Rationality and Interactive Decision Processes, Proceedings Sopron 1984, Springer-Verlag, Heidelberg.
- Wierzbicki A.P.,(1986) On the Completeness and Constructiveness of Parametric Characterizations to Vector Optimization Problems, *OR Spectrum* 8:73-87, Springer Verlag.
- Wierzbicki A.P., (1990) Multiple Criteria Solutions in Noncooperative Game Theory, Part III. Discussion Paper 288, Kyoto Institute of Economic Research, Kyoto University, Kyoto.
- Wierzbicki A.P., (1987) Towards Interactive Procedures in Simulation and Gaming: Implications for Multiperson Decision Support, W: Methodology and Software for Interactive Decision Support, Proceedings of International Workshop, Albena, Springer Verlag.
- Wierzbicki, A. P., L. Krus, M. Makowski (1993) The Role of Multi-Objective Optimization in Negotiation and Mediation Support” in: Theory and Decision, special issue on “International Negotiation Support Systems: Theory, Methods, and Practice, Vol. 34 (3), 201-214.
- Wierzbicki A. P., M. Makowski, J. Wessels, (2000) Model-based Decision Support Methodology with Environmental Applications, Kluwer Academic Press, Dordrecht, Boston.
- Wierzbicki A. P. (2005) A Reference Point Approach to Coalition Games. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis* Vol. 13 (2-3), 81-89.

- Young H. P., Okada N., Hashimoto T. (1980) Cost Allocation in Water Resources Development - A Case Study of Sweden. RR 80-32, IIASA, Laxenburg, Austria.
- Young P. (1982) Cost allocation. Prentice Hall. New York.
- Young P. (1985) Monotonic solutions of cooperative games. *International Journal of Game Theory*, Vol. 14 (2),65-72.
- Young P. (1992) Negotiation Analysis. The University of Michigan Press.
- Zeleny, M.(1973) Compromise programming. In: Cochrane, J.L., Zeleny,M. (eds.) Multiple Criteria Decision Making, 262-301. University of South Carolina, Columbia, SC.
- Zionts S., Wallenius J. (1976) An Interactive Programming Method for Solving the Multiple Criteria Problem. *Management Science* 22, 652-663.
- Zionts S., Wallenius J. (1983) An Interactive Multiple Objective Linear Programming Method for a Class of Underlying Utility Functions. *Management Science* 29, 519-529.

Rozpatruje się sytuacje decyzyjne, w których występuje kilku decydentów, negocjujących warunki współpracy. Problem dotyczy podziału efektów współpracy, przy czym każdy decydent ma swój odrębny, wielokryterialny zestaw celów, które chciałby osiągnąć i kieruje się swoimi preferencjami.

W pracy przedstawia się podstawy teoretyczne i metody wspomaganie procesu decyzyjnego w takich sytuacjach z wykorzystaniem odpowiednio zbudowanego systemu komputerowego. Rozpatrywane sytuacje opisywane są formalnie jako modele wielokryterialnego problemu targu i wielokryterialnych gier koalicyjnych. Proponowane są koncepcje rozwiązań w tych grach uwzględniające preferencje decydentów, a następnie wielorundowe procedury negocjacyjne wspomagające proces znajdowania zgodnego rozwiązania. W poszczególnych rundach takiej procedury stosowana jest jednostronna i wielostronna analiza wielokryterialna możliwych wypłat, przy czym system komputerowy generuje propozycje mediacyjne. Przedstawia się konstrukcję zbudowanego systemu komputerowego MCBARG, w którym taka procedura została zaimplementowana oraz przykłady problemów kooperacji.

ISSN 0208-8029
ISBN 9788389475381

SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE
POLISH ACADEMY OF SCIENCES
Phone: (+48) 22 3810246 / 22 3810277 / 22 3810241 / 22 3810273
email: biblioteka@ibspan.waw.pl