

Lech Krus*, Jan Skorupiński**, Eugeniusz Toczyłowski**

Analiza motywacyjnie zgodnych decyzji w wielokryterialnym przetargu

1. Wprowadzenie

Prezentowana praca wykonywana jest w ramach szerszego kierunku badań mającego na celu konstrukcje efektywnych i motywacyjnie zgodnych modeli i mechanizmów decyzyjnych w systemach wieloagentowych. Problemy dotyczące zgodności motywacji w modelach systemów rynkowych były wcześniej rozpatrywane w pracach [7, 8]. Analiza wielokryterialnych decyzji motywacyjnie zgodnych była prowadzona w pracy [4] na przykładzie rynkowego problemu producenta i jego klientów. Wykorzystano tym celu specjalnie zbudowany, wieloagentowy system komputerowy [6]. Niniejsza praca dotyczy analogicznej analizy dla różnych realizacji wielokryterialnego przetargu zamkniętego.

W rozważanym modelu przetargu badane formy i realizacje przetargu nie ograniczają się do aktualnie obowiązujących zasad przetargów publicznych. Decyzje organizatora przetargu i uczestników składających oferty mają charakter wielokryterialny, a każdy z nich ma swoje niezależne preferencje. Proces składania i oceny ofert może odbywać się w jednej lub wielu rundach. Każdy uczestnik przystępuje do przetargu, mając wiedzę o własnych możliwościach i granicach opłacalności przedsięwzięcia. Zakłada się, że wiedzę tę pozyskuje, dokonując odpowiedniej analizy wielokryterialnej. Zakłada się również, że organizator przetargu nie ujawnia swoich preferencji przed złożeniem ofert, jak to często jest przyjęte w przetargach publicznych, ale dokonuje analizy wielokryterialnej po złożeniu ofert. Podejmuje decyzję o kontynuacji i ogłoszeniu kolejnej rundy, w której oferenci mogą składać poprawione oferty, ewentualnie o zakończeniu i ogłoszeniu wyniku przetargu. W pracy analizujemy przykład przetargu na wykonanie pewnego obiektu, przy czym organizator przetargu uwzględnia dwa minimalizowane kryteria: czas wykonania i koszt realizacji obiektu. W specyfikacji zamówienia określa pewien zestaw interesujących go terminów wykonania, a uczestnicy przetargu w swojej ofercie podają propozycje kosztów dla każdego z terminów realizacji.

* Instytut Badań Systemowych PAN, Warszawa

** Politechnika Warszawska, Instytut Automatyki i Informatyki Stosowanej

Został zbudowany specjalny wieloagentowy system komputerowy umożliwiający symulację różnych wariantów realizacji procesu przetargowego. System działa w środowisku AIMMS [1, 2]. Użytkownicy systemu odgrywają odpowiednio role organizatora przetargu oraz oferentów. System uruchamiany jest przez operatora, który uruchamia agenta dla organizatora przetargu oraz odpowiednią liczbę agentów dla oferentów. System zapewnia poufność wprowadzanych informacji.

W kolejnych punktach pracy podaje się sformułowanie problemu, w tym zadanie optymalizacji rozwiązywane przez system w trakcie wielokryterialnej analizy dokonywanej przez organizatora przetargu. Przedstawia się analizę wybranych wyników symulowanego przetargu realizowanego w czterech rundach. Uwagi końcowe zawierają podsumowanie i kierunki dalszych prac.

2. Sformułowanie problemu

Przyjmijmy, że pewien podmiot organizuje przetarg na budowę obiektu użyteczności publicznej, np. mostu. Jest zainteresowany możliwie niskim kosztem inwestycji i jednocześnie krótkim czasem realizacji. Podmiot ten, zwany dalej w pracy decydentem, określa dyskretny zbiór T rozważanych terminów realizacji obiektu, z czasami realizacji d_t dla $t \in T$. Zakładamy, że dla każdego czasu realizacji decydent ma określony maksymalny dopuszczalny koszt, powyżej którego nie jest zainteresowany realizacją obiektu. Wektor tych wartości nazwiemy granicą opłacalności decydentą.

Dany jest zbiór uczestników przetargu O , zwanych dalej oferentami. Oferta oferenta $o \in O$ zawiera wektor kosztów o składowych p_{ot} dla wskazanych przez decydentą czasów realizacji d_t dla $t \in T$. Zakładamy, że każdy oferent dokonał wcześniej analizy wielokryterialnej możliwych realizacji obiektu i określił na tej podstawie granicę opłacalności, tj. wektor minimalnych wartości zapłaty za realizację obiektu dla tych terminów. Poniżej tych wartości realizacja obiektu jest dla niego nieopłacalna. Oferent nie wie, który termin realizacji zostanie ostatecznie wybrany przez decydentą. Zapewniona jest poufność informacji. Żaden z oferentów nie zna ani granic opłacalności konkurentów, ani ich ofert. Nie zna również granicy opłacalności decydentą. Analogicznie decydent nie zna granic opłacalności oferentów. Mechanizm przetargu ma umożliwić wyłonienie wykonawcy oraz wariantu realizacji obiektu, zapewniających jak największe korzyści z realizacji obiektu.

Proces przetargowy może być prowadzony w jednej lub w wielu rundach. Runda zaczyna się od zaproszenia oferentów do składania ofert. Decydent po otrzymaniu ofert od wszystkich oferentów otwiera je i dokonuje wielokryterialnej analizy ze względu na dwa kryteria: koszt oraz czas realizacji. Analiza ta wykonywana jest w sposób interakcyjny z wykorzystaniem przedziałowej metody punktu referencyjnego A.P. Wierzbickiego [9–11]. Zgodnie z tą metodą decydent może przeglądać i analizować niezdominowane warianty ofert w przestrzeni swoich kryteriów, przyjmując odpowiednio punkty rezerwacji r i aspirac-

cji a w tej przestrzeni. Wskaźniki i -tych składowych tych wektorów r_i, a_i dotyczą odpowiednio kosztu i czasu realizacji. Zbiór tych indeksów oznaczmy przez Y . Rozwiązywane są zadania postaci:

$$\max z + \varepsilon \sum_{i \in Y} z_i$$

przy ograniczeniach wynikających z przedziałowej metody punktu referencyjnego:

$$z \leq z_i, \forall i \in Y,$$

$$z_i \leq \gamma(x_i - r_i)/(a_i - r_i), \forall i \in Y,$$

$$z_i \leq (x_i - r_i)/(a_i - r_i), \forall i \in Y,$$

$$z_i \leq \beta(x_i - a_i)/(a_i - r_i) + 1, \forall i \in Y,$$

ograniczeniach wartości minimalizowanych wartości czasu realizacji i kosztu:

$$x_{koszt} \geq p_{ot} - (p_{\max} - p_{\min})(1 - w_{ot}), \forall o \in O, t \in T,$$

$$x_{czas} \geq d_t - (d_{\max} - d_{\min})(1 - q_t), \forall t \in T,$$

oraz ograniczeniach wynikających z dyskretnych wartości czasów realizacji:

$$\sum_{o \in O, t \in T} w_{ot} = 1,$$

$$\sum_{o \in O} w_{ot} = q_t \forall t \in T.$$

Zadanie to jest rozwiązywane przez system dla zadanych przez decydenta punktów r, a . Rozwiązaniem jest punkt x w przestrzeni kryteriów: koszt i czas realizacji, który jest niezdominowany w zbiorze wariantów przedstawionych przez oferentów w ich ofertach. W powyższym sformułowaniu przyjęto następujące oznaczenia: $z, z_{koszt}, z_{czas} \in \mathbf{R}^1$ – zmienne pomocnicze; $\varepsilon, \beta, \gamma$ – współczynniki przedziałowej metody punktu referencyjnego, ε – odpowiednio mała liczba, $0 < \beta < 1 < \gamma$; p_{\max} i p_{\min} są to odpowiednio najdroższa i najtańsza oferta złożona dla wszystkich terminów realizacji; d_{\max} i d_{\min} oznaczają odpowiednio najdłuższy i najkrótszy termin realizacji przedsięwzięcia; w_{ot} dla $o \in O$ i $t \in T$, q_t dla $t \in T$ są uzupełniającymi zmiennymi binarnymi.

Decydent kończy analizę wielokryterialną, gdy uzna, że ocenił i porównał wszystkie interesujące go rozwiązania niezdominowane, wybierając rozwiązanie najlepsze według jego preferencji. Podejmuje wówczas decyzję, czy kontynuować postępowanie przetargowe w następnej rundzie, czy je zakończyć.

W przypadku kontynuacji, oferenci uzyskują informacje o najtańszych ofertach dla wskazanych czasów realizacji. Nie są jednak informowani, który oferent daną ofertę złożył.

Nie znają również preferencji decydenta. Każdy z oferentów może swoją ofertę poprawić obniżając ceny ofertowe. Nie może się jednak wycofać z oferty podanej wcześniej. Nie ma przy tym pewności, że odbędzie się następna runda. Decydent otwiera nowozłożone oferty i powtarza analizę wielokryterialną dla nowego zbioru ofert. Decydent w dowolnej rundzie może zakończyć postępowanie i unieważnić przetarg, jeśli uzna, że składane oferty nie są zadowalające lub ogłosić zakończenie wskazując wybraną ofertę.

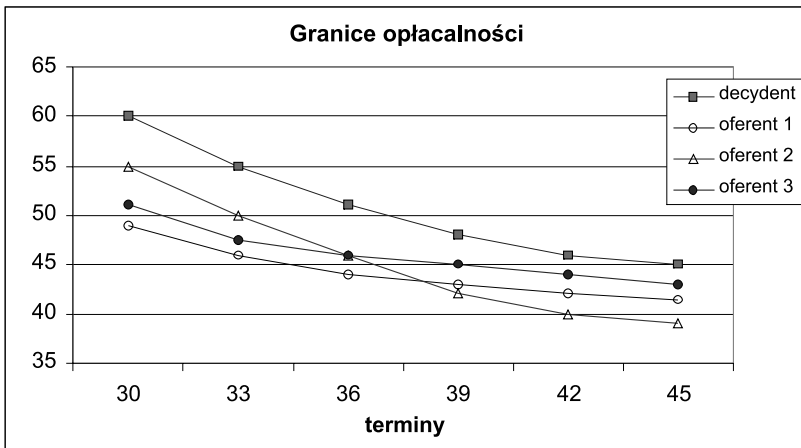
3. Analiza wybranych wyników

Przeprowadzono szereg sesji symulowanych przetargów. Początkowo ich celem było testowanie systemu, a następnie analiza interaktywnych sesji prowadzonych z udziałem osób występujących w roli organizatora przetargu – decydenta i oferentów. Interesujące było badanie różnych możliwych zachowań oferentów i decydenta i ich wzajemne relacje. Jedną z podstawowych jest kwestia, czy (ewentualnie w jakim stopniu) wielorundowy mechanizm przetargu może zachęcać oferentów do ujawniania ich prywatnych informacji dotyczących rzeczywistych kosztów realizacji obiektu, sprzyjając uzyskaniu efektywnej alokacji i wyborowi najlepszego rozwiązania.

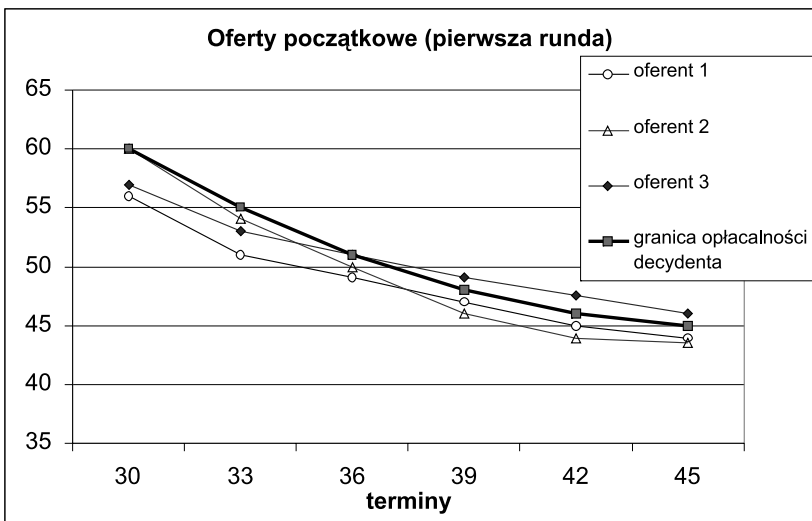
Niżej przedstawia się wybrane wyniki jednej z sesji. Sesja dotyczy przetargu na realizację obiektu użyteczności publicznej, w którym bierze udział trzech oferentów. Decydent podał w specyfikacji zamówienia 6 terminów możliwych wariantów realizacji obiektu: 30, 33, 36, 39, 42, 45 miesięcy. Przed ogłoszeniem przetargu określił swoje granice opłacalności – maksymalne koszty realizacji, które może ponieść przy tych wariantach terminu. Zakładamy, że każdy oferent przed przystąpieniem do przetargu określa swoje granice opłacalności – minimalne wartości zapłaty, przy których realizacja obiektu we wskazanych terminach jest dla niego opłacalna. Granice opłacalności decydenta i oferentów są przedstawione na rysunku 1. Zauważmy, że granice opłacalności oferentów są poniżej granicy opłacalności decydenta. Istnieje więc przedział wartości kosztów, w którym potencjalny wynik przetargu może być korzystny dla decydenta i każdego z oferentów. Porównanie granic opłacalności na rysunku 1 przedstawione jest tylko dla celów analizy. Granica opłacalności decydenta i każdego z oferentów stanowi jego poufną informację, niedostępną innym. Decydent jest zainteresowany realizacją obiektu w możliwie krótkim czasie, ale jednocześnie chce zminimalizować koszt przedsięwzięcia. Zdaje sobie sprawę z tego, że realizacja w krótszym terminie wymaga większych nakładów.

Na rysunku 2 przedstawiono oferty początkowe w porównaniu z granicą opłacalności decydenta. Każdy oferent, nie znając granicy opłacalności konkurentów ani decydenta, przedstawiał ofertę, w której starał się uzyskać znacząco nadwyżkę w porównaniu ze swoją granicą opłacalności. Zauważmy, że w przypadku oferenta 3, dla dłuższych terminów realizacji, oferta ta jest powyżej granicy opłacalności decydenta. Pozostałe oferty są blisko tej granicy i byłyby niezadowalające dla decydenta. Decydent zdecydował

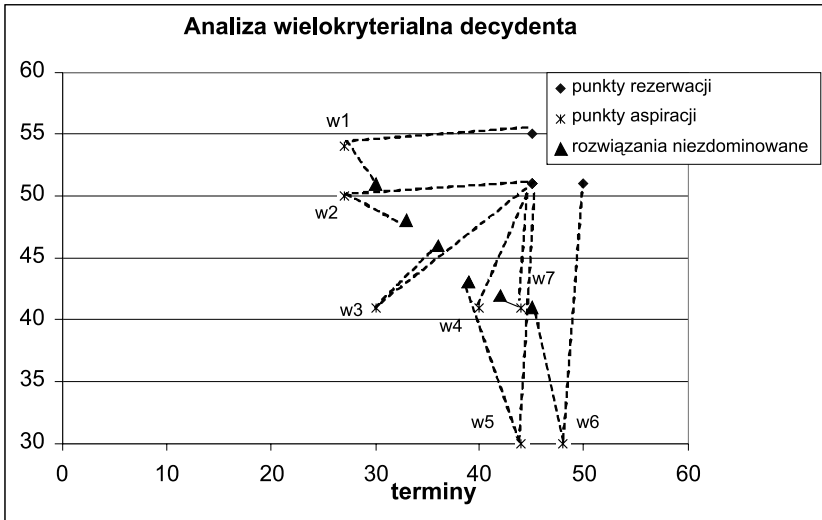
o kontynuacji przetargu w kolejnych rundach. W kolejnej rundzie, każdy oferent uzyskuje informacje o najniższych poprzednich ofertach dla każdego terminu. Nie wie jednak, kto daną ofertę złożył. W każdej rundzie, po otrzymaniu ofert, decydent dokonuje ich wielokryterialnej analizy w przestrzeni swoich kryteriów: kosztu i czasu określonego terminem realizacji. Analiza ta, wykonywana z wykorzystaniem przedziałowej metody punktu referencyjnego, jest zilustrowana na rysunku 3.



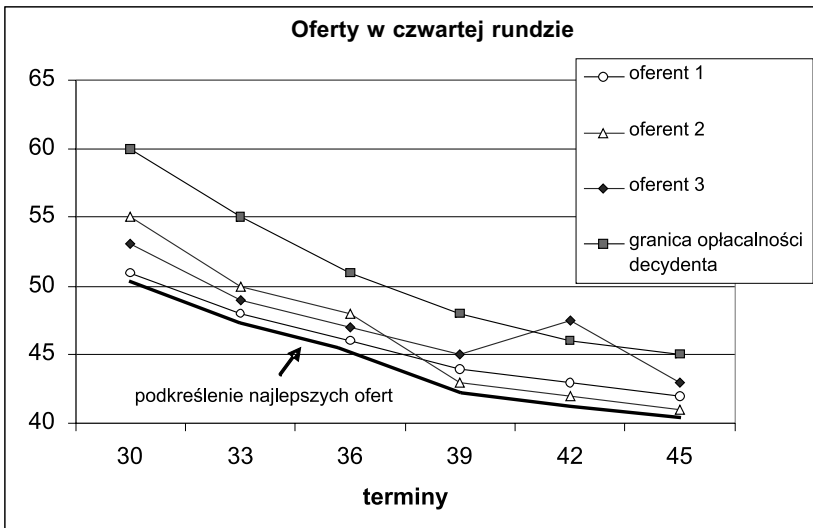
Rys. 1. Granice opłacalności decydenta i oferentów



Rys. 2. Oferty w pierwszej rundzie w porównaniu z granicą opłacalności decydenta



Rys. 3. Wyniki analizy wielokryterialnej decydenta w pierwszej rundzie



Rys. 4. Oferty w czwartej rundzie

Analiza prowadzona jest w pewnej liczbie iteracji. W każdej iteracji decydent przyjmuje wartości punktu rezerwacji oraz punktu aspiracji. System komputerowy wyznacza odpowiednie rozwiązanie niezdominowane. Rysunek 3 przedstawia kilka wariantów punktów rezerwacji, aspiracji i wyznaczonych dla nich punktów niezdominowanych, połączo-

nych linią przerywaną. Zauważmy, że dla wariantów punktów aspiracji w4 i w5 wyznaczony został ten sam punkt niezdominowany. Decydent odpowiedni, dobierając punkty rezerwacji i aspiracji, może uzyskać reprezentację zbioru rozwiązań niezdominowanych i dokonać wyboru oferty zgodnie ze swoimi preferencjami. Zbiór wyznaczonych punktów niezdominowanych przedstawiają na rysunku 3 czarne trójkąty. O swoim wyborze informuje oferentów dopiero wtedy, gdy zdecyduje się zakończyć procedurę przetargową. Oczywiście w danej rundzie może on uznać, że oferty nie są zadawalające i kontynuować przetarg. Rysunek 4 przedstawia zestawienie ofert w czwartej rundzie. Najlepsze oferty zaznaczone są podkreśleniem pogrubioną linią. Dla terminów 30, 33, 36 miesięcy zostały złożone przez oferenta 1, a dla terminów 39, 42 i 45 miesięcy przez oferenta 2. Decydent uzyskał istotną poprawę ofert w porównaniu z najlepszymi ofertami z pierwszej rundy. Mechanizm przetargu pozwolił na wyłonienie najbardziej efektywnych oferentów dla każdego z wariantów realizacyjnych.

Tabela 1
Oferty składane przez oferentów w kolejnych rundach

Runda	Oferenci	Terminy					
		30	33	36	39	42	45
1	oferent 1	56	51	49	47	45	44
	oferent 2	60	54	50	46	44	43,5
	oferent 3	57	53	51	49	47,5	46
2	oferent 1	56	51	49	45	43	42
	oferent 2	55	50	48	46	44	43,5
	oferent 3	55	49	48,5	45	47,5	43
3	oferent 1	54	48	47	44	43	42
	oferent 2	55	50	48	44	42	41
	oferent 3	53	49	47	45	47,5	43
4	oferent 1	51	48	46	44	43	42
	oferent 2	55	50	48	43	42	41
	oferent 3	53	49	47	45	47,5	43

Interesujące mogą być obserwacje zachowań i strategii oferentów przedstawione w tabeli 1. Przykładem jest znacznie odbiegająca od innych, oferta oferenta 3 w czwartej rundzie dla terminu 42 miesiące, przedstawiona na rysunku 4. Oferent ten nie poprawił oferty złożonej jeszcze w rundzie pierwszej, ponieważ już wtedy najbardziej konkurencyjna oferta była na jego granicy opłacalności i nie mógł jej przebić. Nie widział więc powodu do poprawy swojej pierwotnej oferty, chociaż mógł ją obniżyć, gdyż znacznie przewyższała jego granicę opłacalności. Niektórzy oferenci w kolejnych rundach poprawiali swoją ofertę, minimalnie obniżając koszt najtańszej oferty z poprzedniej rundy. Jeden z oferentów w pewnej sytuacji decydował się na dokonanie istotnej zmiany, znacznie przebijając konkurentów. W tej i w innych przeprowadzonych sesjach zaobserwowano, że wynik końcowy złożonych ofert dążył do poziomu drugiej w kolejności granicy opłacalności oferentów. Zrozumiałe jest, że oferentowi, który dla danego terminu ma najniższą granicę

opłacalności, nie opłaca się już takiej oferty obniżyć, gdyż żaden z konkurentów nie może jej przebić. Uzyskanie tego wyniku może jednak wymagać dużej liczby rund, zwłaszcza gdy wszyscy oferenci dokonują tylko minimalnej poprawy ofert w kolejnych rundach.

4. Uwagi końcowe

W pracy zaproponowano wielokryterialny przetarg zamknięty, realizowany w wielorundowej procedurze składania i oceny ofert. Opracowano odpowiedni model matematyczny, zawierający w szczególności sformułowanie zadania optymalizacji rozwiązywanego w trakcie analizy wielokryterialnej dokonywanej przez organizatora przetargu – decydenta. Został skonstruowany wieloagentowy system komputerowy. Wykorzystując ten system przeprowadzono szereg sesji przykładowych realizacji przetargu, w celu analizy decyzji motywacyjnie zgodnych. Analizowano w szczególności różne możliwe zachowania oferentów i decydenta, ich decyzje i wzajemne relacje. Przy wielorundowym prowadzeniu przetargu i zachowaniu pełnej poufności indywidualnych informacji, uzyskuje się rozwiązanie najlepsze z punktu widzenia decydenta, przy kosztach na poziomie drugiej z najniższych granic opłacalności oferentów.

Planowane prace obejmują rozwinięcie modelu i odpowiednią rozbudowę systemu wieloagentowego. Dotyczy to w szczególności rozważenia różnych zasad prowadzenia przetargu i analizy różnych strategii postępowania oferentów. W opracowanym modelu przyjęto pełną poufność informacji dotyczącą granic opłacalności, jak i preferencji decydenta oraz oferentów. Interesujące może być zbadanie jak dostęp do niektórych informacji, np. o preferencjach decydenta w poszczególnych rundach, wpłynie na strategię postępowania oferentów. Rozważana jest rozbudowa modelu w celu wprowadzenia możliwości dokonywania analizy wielokryterialnej przez oferentów w kolejnych rundach procedury przetargowej. W obecnym modelu zakłada się, że oferenci wprowadzają swoje informacje wynikowe: granice opłacalności i oferty, a analiza wielokryterialna dokonywana jest na zewnątrz systemu. Granice opłacalności decydenta i oferentów stanowią naturalne określenie punktów rezerwacji w analizie wielokryterialnej. Mogą być określane z użyciem pojęcia BATNA (*Best Alternative to Negotiation Agreement*), podobnie jak w pracach [3, 4].

Przeprowadzone analizy dotyczyły dwóch kryteriów decydenta: czasu realizacji oraz kosztu inwestycji. Celowe jest rozważenie większej liczby kryteriów. Przykładem może być przetarg na realizację kolejnych bloków energetycznych elektrowni w określonych terminach. Analiza dokonywana przez decydenta może dotyczyć wektora kryteriów, którego składowymi są koszty realizacji kolejnych bloków. Interesujące jest wówczas zastosowanie podejścia prezentowanego w pracach [5, 6].

Praca jest częściowo finansowana ze środków na naukę w latach 2010–2012 w ramach projektu badawczego nr N N514 044438 „Rozwój efektywnych i motywacyjnie zgodnych modeli i mechanizmów decyzyjnych w systemach wieloagentowych”.

Literatura

- [1] AIMMS – Optimization Software for Operations Research Applications. www.aimms.com.
- [2] Bisschop J., Roelofs M., *The AIMMS Language Reference*. Paragon Decision Technology, 2009.
- [3] Kruś L., *A Multicriteria Approach to Cooperation in the Case of Innovative Activity*. Control and Cybernetics, 33, (3), 2004, 449.
- [4] Kruś L., Skorupiński J., Toczyłowski E., *Analiza motywacyjnie zgodnych decyzji wielokryterialnych na przykładzie problemu producenta i klientów*. Studia i materiały Polskiego Stowarzyszenia Zarządzania Wiedzą, 31, 2010, 108.
- [5] Ogryczak W., Wierzbicki A., *On Multi-criteria Approaches to Bandwidth Allocation*. Control and Cybernetics, 33, (3), 2004, 427.
- [6] Ogryczak W., Kozłowski B., *Ordered Weighted Reference Point Model for Multi-attribute Auctions*. Referat na 4th International Workshop on Multiple Criteria Decision Making'11, April 3–5, 2011, Ustroń, Poland.
- [7] Skorupiński J., *Wieloagentowy system komputerowy wspomagający wielokryterialną analizę w problemie producenta i klientów*. IAIIS PW, Warszawa, 2010 (praca dyplomowa inżynierska).
- [8] Toczyłowski E., *Optymalizacja procesów rynkowych przy ograniczeniach*. AOW EXIT, Warszawa 2003.
- [9] Toczyłowski E., *Zgodność motywacji w mechanizmach rynku energii*. Rynek Energii, II(IV), 2009, 88.
- [10] Wierzbicki A.P., *On the Completeness and Constructiveness of Parametric Characterizations to Vector Optimization Problems*. OR Spectrum, 8, 73, 1986, Springer Verlag.
- [11] Wierzbicki A.P., Kruś L., Makowski M., *The Role of Multi-Objective Optimization in Negotiation and Mediation Support*. Theory and Decision, special issue on “International Negotiation Support Systems: Theory, Methods, and Practice”, 34, (2), 1993, 201.
- [12] Wierzbicki A.P., Makowski M., Wessels J., *Model-Based Decision Support Methodology with Environmental Applications*. Kluwer Academic Press, Dordrecht, Boston, 2000.