XV Krajowa Konferencja Automatyki

Tom III

KKA 2005

Redaktorzy:
Zdzisław Bubnicki
Roman Kulikowski
Janusz Kacprzyk

XV Krajowa Konferencja Automatyki
Tom III

Redaktorzy:
Zdzisław BUBNICKI
Roman KULIKOWSKI
Janusz KACPRZYK

ORGANIZATOR
Komitet Automatyki i Robotyki Polskiej Akademii Nauk
Instytut Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk
WSPÓŁORGANIZATORZY
Politechnika Warszawska
Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów
Polskie Stowarzyszenie Pomiarów, Automatyki i Robotyki

ORGANIZATOR

Komitet Automatyki i Robotyki Polskiej Akademii Nauk
Instytut Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk

WSPÓŁORGANIZATORZY

Politechnika Warszawska
Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów
Polskie Stowarzyszenie Pomiarów, Automatyki i Robotyki

KOMITET PROGRAMOWY

Przewodniczący	Zdzisław BUBNICKI
Zastępca Przewodniczącego	Roman KULIKOWSKI

CZŁONKOWIE

Stanisław BAŃKA	Michał BIAŁKO
Mikołaj BUSŁOWICZ	Władysław FINDEISEN
Ryszard GESSING	Henryk GÓRECKI
Jakub GUTENBAUM	Jerzy JÓZEFCZYK
Stanisław KACZANOWSKI	Tadeusz KACZOREK
Janusz KACPRZYK	Jerzy KLAMKA
Józef KORBICZ	Zbigniew KOWALSKI
Krzysztof KOZŁOWSKI	Juliusz L. KULIKOWSKI
Krzysztof KUŹMIŃSKI	Kazimierz MALANOWSKI
Krzysztof MALINOWSKI	Wojciech MITKOWSKI
Antoni NIEDERLIŃSKI	Władysław PEŁCZEWSKI
Tadeusz PUCHAŁKA	Leszek RUTKOWSKI
Stanisław SKOCZOWSKI	Roman SŁOWIŃSKI
Jerzy ŚWIĄTEK	Andrzej ŚWIERNIAK
Ryszard TADEUSIEWICZ	Piotr TATJEWSKI
Krzysztof TCHOŃ	Leszek TRYBUS
Jan WĘGLARZ	Andrzej P. WIERZBICKI

KOMITET ORGANIZACYJNY

Przewodniczący	Roman KULIKOWSKI
Zastępcy Przewodniczącego	Janusz KACPRZYK
	Stanisław KACZANOWSKI
	Tadeusz KACZOREK
	Krzysztof MALINOWSKI
Członkowie	Roman OSTROWSKI
	Tadeusz PUCHAŁKA
	Dariusz WAGNER
Sekretarze naukowi	Jan STUDZIŃSKI
	Jan W. OWSIŃSKI

ISBN 83-89475-02-2

Copyright © Instytut Badań Systemowych Polskiej Akademii Nauk
All rights reserved

Druk: ARGRAF, Warszawa

ZASTOSOWANIA NIETECHNICZNE

PROBLEMY KONSTRUKCJI KOMPUTEROWYCH SYSTEMÓW WSPOMAGAJĄCYCH ZARZĄDZANIE KAPITAŁAMI Z UWZGLĘDNIENIEM RYZYKA

Lech KRUŚ

Instytut Badań Systemowych PAN
ul. Newelska 6, 01-447 Warszawa, e-mail:ibs@ibspan.waw.pl

Streszczenie: Przedstawia się ogólną strukturę proponowanego systemu komputerowego wspomagającego analizę decyzyjną związaną z zarządzaniem różnymi formami kapitału z uwzględnieniem ryzyka. Wykorzystuje się podejście funkcji użyteczności, metody modelowania matematycznego, metody optymalizacji i elementy teorii gier. Wybrane elementy systemu omawiane są na przykładzie systemu edukacyjnego, którego celem jest wspomaganie decyzji kandydatów na studia oraz decyzji podejmowanych przez uczelnię. Wybrane wyniki obliczeniowe ilustrują proponowane podejście.

Słowa kluczowe: Systemy komputerowe wspomagania decyzji, metody funkcji użyteczności, ryzyko, problemy kooperacji.

1. WSTĘP

Referat dotyczy zastosowania metod teorii sterowania i optymalizacji do wspomagania zarządzania kapitałami w warunkach ryzyka. Praca związana jest z referatem plenarnym R. Kulikowskiego [8], w którym rozpatruje się zarządzanie różnymi rodzajami kapitału z uwzględnieniem różnych form ryzyka (rynkowego, kredytowego operacyjnego, badawczego) i rozwijana jest metodologia funkcji użyteczności. Problemy zarządzania dotyczą optymalizacji podziału kapitału na różne opcje inwestycyjne z ryzykiem (opcje produkcyjne i innowacje), minimalizacji strat powodowanych przez możliwe zagrożenia, optymalizacji wydatków na działania prewencyjne.

W tej pracy proponuje się konstrukcję odpowiednich systemów komputerowych wspomagających analizę decyzyjną związaną z tymi zagadnieniami zarządzania. Po przedstawieniu ogólnej struktury systemu, elementów składowych i ich funkcji, omawia się idee wspomagania decyzji z wykorzystaniem podejścia funkcji użyteczności, rozwijanego w pracach (Kulikowski [3-9], Kruś [15-17,19]), na przykładzie problemu dotyczącego decyzji edukacyjnych podejmowanych przez kandydatów na studia i uczelnię w warunkach ryzyka.

Przedstawiane propozycje budowy systemu komputerowego nawiązują do konstrukcji systemów wspomagania analizy wielokryterialnej z wykorzystaniem podejścia funkcji osiągnięcia (Wierzbicki i inni [25]). Podejście funkcji osiągnięcia w zastosowaniu do wspomagania negocjacji w sytuacjach przetargowych rozwijane było między innymi w pracach (Kruś, Bronisz [10,12], Kruś [11,14,18]). Zagadnienia optymalizacji wielokryterialnej i podejmowania decyzji w warunkach ryzyka są przedmiotem pracy (Ogryczak [22]). Praca [2] zawiera podstawy analizy finansowej.

2. KOMPUTEROWE WSPOMAGANIE DECYZJI

Ogólny schemat struktury przykładowego systemu przedstawiony jest na rys. 1. Podstawą analizy jest właściwy model matematyczny (Model 1.) opisujący sytuację decyzyjną, zbudowany zgodnie z zasadami teorii sterowania i nauk systemowych. Model ten zaimplementowany w formie procedury obliczeniowej pozwoli wyznaczać wartości wielkości wejściowych dla zadanych wartości zmiennych decyzyjnych (sterujących) i założonych scenariuszy zmiennych egzogenicznych. Do budowy modelu niezbędne są informacje zewnętrzne (informacje historyczne, oceny ekspertów, informacje ankietowe itp.) składowane w odpowiedniej bazie danych i wykorzystywane w procesie estymacji parametrów modelu i jego weryfikacji. System komputerowy powinien zawierać w związku z tym edytor modelu i procedury estymacji parametrów i jego weryfikacji wykorzystywane w procesie budowy przez analityka systemowego.

Model 2. zawiera opis preferencji decydenta (decydentów) w formie funkcji użyteczności zgodnie z metodologią rozwijaną w pracach Kulikowskiego [3-9], umożliwiającą analizę decyzyjną z uwzględnieniem ryzyka. W niniejszej pracy zakłada się, że funkcja użyteczności stanowi tylko pewien przybliżony opis relacji preferencji decydenta. Zakłada się również, że preferencje decydenta mogą się zmieniać w trakcie analizy decyzyjnej. W praktyce analizy decyzyjnej zauważono, że mamy do czynienia z procesem uczenia, polegającym na tym, że decydent uzyskując kolejne informacje o możliwych efektach decyzji, lepiej poznaje problem decyzyjny i często koryguje swoje wcześniejsze preferencje. Pro-

ponuje się iteracyjną procedurę wyznaczania subiektywnych parametrów funkcji użyteczności. W kolejnych iteracjach wyznaczane są i poprawiane wartości tych parametrów na podstawie informacji uzyskiwanych od decydenta w interakcji z systemem komputerowym. Rozwiązywane są w tym celu odpowiednie problemy optymalizacji.

Moduł wspomagania decyzji indywidualnych obejmuje generowanie wielkości wyjściowych maksymalizujących użyteczność decydenta zgodnie z jego preferencjami, dla zadanych scenariuszy zmiennych decyzyjnych. Wspomaganie to jest realizowane w formie interakcyjnej procedury. Niezbędne jest wyposażenie systemu w odpowiednie oprogramowanie obsługi interakcyjnej sesji z decydentem i interfejs graficzny.

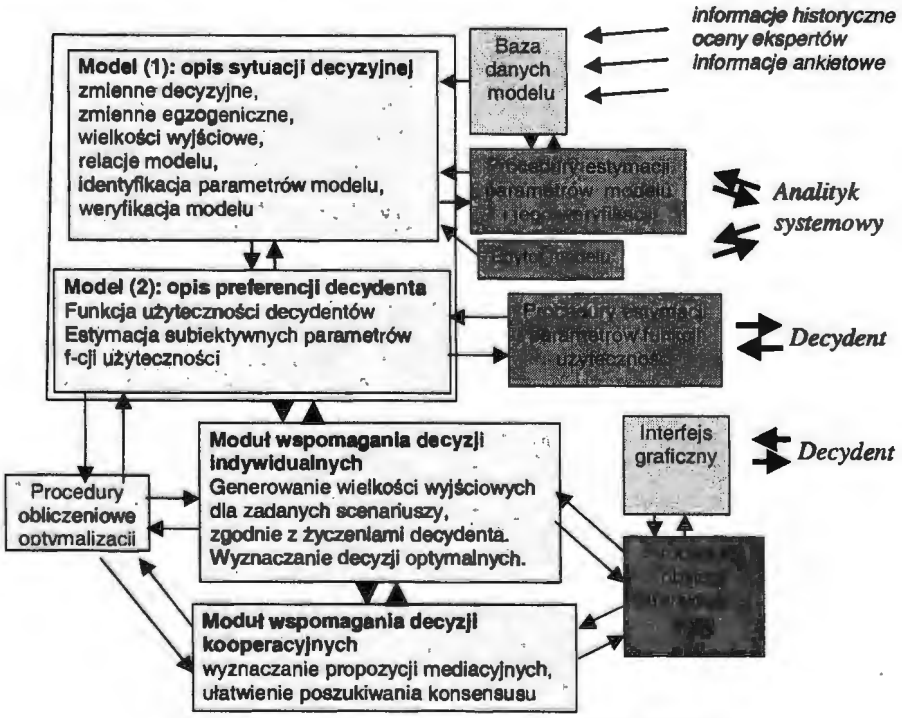
W pracach (Kruś, [10-18]) rozwijane są idee wspomagania decyzji kooperacyjnych. Problem dotyczy np. realizacji wspólnych przedsięwzięć przez kilka podmiotów decyzyjnych, ich udziału w nakładach kapitałowych we wspólne przedsięwzięcie, oraz podziału spodziewanych korzyści z uwzględnieniem ryzyka niepowodzenia przedsięwzięcia. Decydenci mogą się charakteryzować różną postawą wobec tego ryzyka i mieć różne preferencje. Proponuje się wyposażenie systemu komputerowego w moduł wspomagania decyzji kooperacyjnych. Celem modułu jest pokazanie decydentom, jakie korzyści mogą uzyskać w wyniku współpracy w zależności od wybranych zmiennych decyzyjnych, takich jak udział w nakładach i podział zysków z uwzględnieniem ryzyka, w porównaniu z realizacją alternatywnych przedsięwzięć niezależnie (bez współpracy). Proponuje się iteracyjną procedurę wyznaczanie propozycji mediacyjnych z wykorzystaniem koncepcji rozwiązań kooperacyjnych Nasha sformułowanych dla gier przetargowych. Celem procedury jest wspomaganie procesu negocjacji i ułatwienie znalezienia konsensusu.

Zakłada się, że moduły wspomagania decyzji zawierają wewnętrzna bazę danych, w której przechowywane są różne, generowane, analizowane i porównywane warianty decyzyjne.

W tej pracy wybrane zagadnienia związane z konstrukcją rozważanego systemu komputerowego zostaną przedstawione na przykładzie systemu edukacyjnego, którego celem jest wspomaganie decyzji edukacyjnych podejmowanych przez kandydatów na studia z jednej strony i decyzji podejmowanych przez uczelnię.

3. MODEL SYSTEMU EDUKACYJNEGO

Model opisuje relacje między kandydatem na studia po szkole średniej a uczelnia prywatną. Kandydat na studia porównuje wariant podjęcia studiów, z czym wiąże się dodatkowy okres inwestowania w naukę, ale też większa szansa na uzyskanie po studiach lepiej płatnej pracy, z wariantem podjęcia zatrudnienia bezpośrednio po szkole średniej. Zgodnie z metodologią funkcji użyteczności, model opisuje zdyskontowane strumienie nakładów i przychodów, a także uwzględnia prawdopodobieństwa uzyskania tych przychodów, w celu porównania użyteczności odpowiadających tym wariantom decyzji.



Rys. 1. Schemat struktury systemu wspomagania decyzji

Decyzja o kontynuacji nauki w prywatnej szkole wyższej oznacza konieczność ponoszenia nakładów w okresie studiów $[1, T_0]$ lat. Oznaczmy przez $m(t)$ koszty utrzymania w roku t, i przez c roczną wysokość czesnego. Zdyskontowane nakłady $I_e(c)$ na kształcenie w okresie studiów w zależności od czesnego wyniosą wów-

czas: $I_e(c) = \sum_{t=1}^{T_e} [m(t)+c](1+k_e)^{-t}$, gdzie k_e jest stopą dyskonta w okresie studiów.

Wartość wiedzy może być określona jako przyrost przyszłego wynagrodzenia wynikający z wyższych kwalifikacji. Przyjmijmy, że przyrost wynagrodzenia wyniesie $w_e(t)$ zł. rocznie. Łączny, zdyskontowany przyrost wynagrodzenia po ukończeniu studiów okresie czasu $[T_0+1, T]$ wyniesie $W_e = \sum_{t=T_0+1}^{T} w_e(t)(1+k_n)^{-t}$, gdzie k_n – oznacza stopę dyskonta w okresie zatrudnienia do emerytury w roku T. Zdyskontowana wartość przyrostu dochodów po pomniejszeniu o nakłady wyniesie P_e-I_e, pod warunkiem zdania egzaminu i przyjęcia do szkoły wyższej, ukończenia tej szkoły, uzyskania i utrzymaniu zatrudnienia. Uzyskanie tych przychodów związane jest z ryzykiem.

W celu uwzględnienia tego ryzyka proponuje się zastosowanie metodologii funkcji użyteczności R. Kulikowskiego [3-9]. Metodologia ta zawiera rozwinięcie teorii użyteczności [21] z uwzględnieniem wyników matematycznej psychologii [1,23,24]. Zgodnie z tą metodologią użyteczność z zainwestowania części x dysponowanego kapitału P w ryzykowne przedsięwzięcie może być aproksymowana przy pomocy funkcji $U=(Zx)^{\beta}(Y)^{1-\beta}$, gdzie $Z=PR$ oznacza oczekiwany zysk, Y zysk w najgorszym przypadku, a parametr $\beta\in[0,1]$. Zakłada się przy tym, że stopa zwrotu jest zmienną losową o wartości oczekiwanej R i wariancji σ^2. Funkcję użyteczności można również wyrazić w postaci: $U=PRS^{1-\beta}x^{\beta}$, gdzie $S=1-\kappa\sigma/R$ oznacza indeks (współczynnik) bezpieczeństwa. Parametry κ i β mają charakter subiektywny. Ich wartości zależą od preferencji decydenta dotyczących relacji między oczekiwaną stopą zwrotu, którą decydent chciałby maksymalizować a obawą przed ryzykiem. W referacie [8] podano sposób wyznaczania tych parametrów zgodnie z preferencjami i oceną ryzyka decydenta, przy założeniu prostego modelu dwustanowego: sukces-porażka, w którym sukces ze stopą R^u zachodzi z prawdopodobieństwem p, a porażka ze stopą $R^d=0$, z prawdopodobieństwem $1-p$.

Stosując to podejście można wyznaczyć funkcje użyteczności studenta a także uczelni w zależności od wysokości czesnego c. Użyteczność studenta podejmującego edukację w szkole wyższej wyniesie: $U_{se}(c) = P_s R_{se}(c) p_e S_s^{1-\beta_s} x_s^{\beta_s}$, gdzie $x_s(c)=I_e(c)/P_s$, P_s oznacza kapitał posiadany przez studenta w czasie podejmowania studiów, $R_{se}(c) = (W_e-I_e(c))/I_e(c)$. Stopa zwrotu R_{se} z poniesionych nakładów na edukację osiągana jest z prawdopodobieństwem p_e w przypadku sukcesu tj. w przypadku ukończenia studiów i uzyskania zatrudnienia. S_s jest indeksem bezpieczeństwa związanym z ryzykiem ukończenia studiów i uzyskania pracy. Indeks ten może być wyznaczony z zależności $S_s=1-\kappa_s(1/p_e-1)^{0,5}$. Wysokość czesnego c, wpływa bezpośrednio na koszty kształcenia I_e, na stopę zwrotu R_{se}. Pośrednio może także wpływać na subiektywny parametr κ_s i na indeks bezpieczeństwa S_s.

W przypadku uczelni rozpatrzmy roczną wysokość czesnego c, oraz koszty operacyjne c_o przypadające na jedno miejsce. Oznaczmy przez n liczbę przygotowanych miejsc, a przez k liczbę oczekiwanych studentów. Wtedy stopa zwrotu wyniesie $R_u=c/c_o-1$ z prawdopodobieństwem $p_u=k/n$ (przy założeniu dwumianowego rozkładu prawdopodobieństwa sukcesu uczelni w pozyskiwaniu studentów, [8]). Przyjmujemy, że uczelnia dysponuje kapitałem P_u, z którego część $I_u=nc_o$ została przeznaczona na przygotowanie miejsc dla n studentów. Użyteczność uczelni liczona w skali jednego roku w zależności od czesnego c wyniesie wówczas:

$$U_u(c) = P_u R_u p S^{1-\beta_u} x^{\beta_u} = P_u \bullet (c/c_o - 1) \bullet p \bullet S^{1-\beta_u} \bullet x^{\beta_u},$$

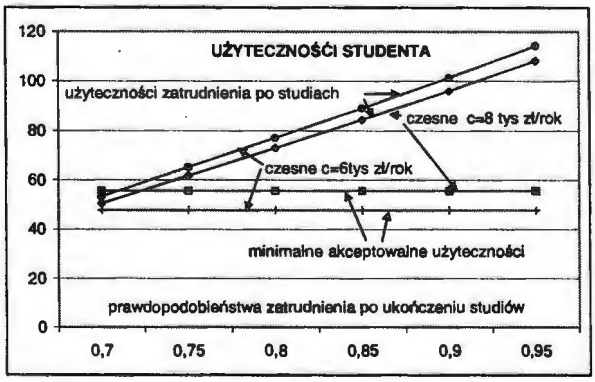
gdzie $x=I_u/P_u$.

Kandydat na studia nie ma pewności, w jakim czasie ukończy studia i czy po ich zakończenia uzyska pracę z oczekiwanym przyrostem wynagrodzenia. Władze uczelni nie mają pewności czy zwrócą się nakłady na infrastrukturę (koszty stałe) przewidziane na określoną liczbę studentów, czy zwrócą się nakłady związane np. z uruchomieniem nowego kierunku studiów. Decyzje podejmowane są w warunkach ryzyka. Rozpatrywane wyżej funkcje użyteczności pozwalają uwzględnić to ryzyko w analizowanych wariantach decyzyjnych za pośrednictwem indeksu bezpieczeństwa S. W funkcjach tych występują subiektywne parametry β_s, κ_s, β_u, κ_u, które muszą być oszacowane na podstawie interakcji z danym decydentem, odpowiednio z kandydatem na studia lub reprezentantem uczelni. Sposoby wyznaczania tych parametrów zawierają m.in. prace [5-8]. Na tej podstawie w pracy [19] zaproponowano interakcyjne procedury komputerowe oraz przedstawiono przykłady obliczeniowe ilustrujące ich działanie. Pokazano np., że w ogólnym przypadku szacowany parametr κ zależy od sytuacji finansowej decydenta, a szczególności od wielkości kapitału rezerwowego.

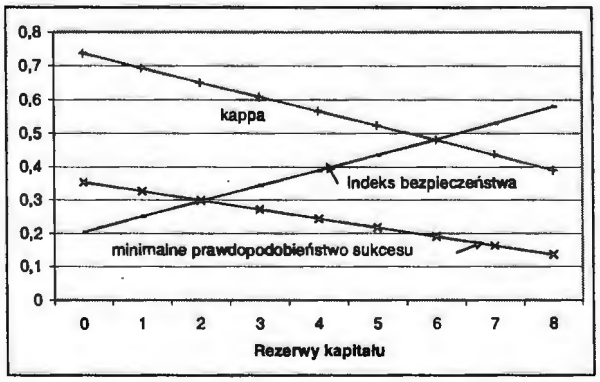
4. WSPOMAGANIE ANALIZY DECYZYJNEJ, ZAGADNIENIE KOOPERACJI

Rozpatrywany model pozwala analizować różne warianty decyzji. Kandydat na studia może np. porównywać użyteczność podjęcia studiów na różnych kierunkach, czy na różnych uczelniach uwzględniając swoje predyspozycje, zdolności oraz możliwości uzyskania pracy po danej specjalności. Należy w tym celu oszacować prawdopodobieństwa uzyskania pracy po ukończeniu studiów na określonym kierunku i specjalności, oraz możliwe wynagrodzenia na podstawie danych statystycznych i ocen ekspertów. Prawdopodobieństwa zdania egzaminu oraz ukończenia studiów zależą bezpośrednio od predyspozycji kandydata jego wiedzy, zainteresowań, talentu. Mogą być wstępnie szacowane na podstawie danych uczelni z poprzednich lat. Interesujący jest wpływ rozważanych prawdopodobieństw na użyteczność i bezpieczeństwo studenta. Przykład wyników obliczeniowych umożliwiających taką analizę przedstawia rys. 2. Przedstawiono jak zależy użytecz-

ność z zatrudnienia po ukończeniu studiów od prawdopodobieństwa uzyskania tego zatrudnienia dla dwóch wariantów różniących się wysokością czesnego. Uzyskiwane użyteczności z zatrudnienia po ukończeniu studiów porównywane są z minimalnymi użytecznościami akceptowalnymi przez studenta. Te minimalne użyteczności odpowiadają sytuacji zainwestowania środków, przeznaczonych na edukację i utrzymanie w czasie studiów, np. w długoterminowe obligacje państwowe. Model pozwala porównać np. dwie specjalności studiów, z których pierwsza charakteryzuje się większym prawdopodobieństwem znalezienia lepiej płatnego zatrudnienia po studiach, ale wymaga opłaty wyższego czesnego. Specjalnościom takim odpowiadałyby dwa punkty na tym wykresie. Od decyzji i możliwości kandydata zależy czy zachce zainwestować w droższy kierunek studiów, ale gwarantujący większe szanse znalezienia pracy.



Rys. 2. Zależności użyteczności studenta od prawdopodobieństwa zatrudnienia.



Rys. 3. Zależności parametru κ, indeksu bezpieczeństwa S i minimalnego prawdopodobieństwa sukcesu studenta od rezerw kapitału (tys. zł. rocznie) w czasie studiów.

Na rys. 3. przedstawiono wyniki ilustrujące, jaki wpływ na decyzje edukacyjne ma wielkość zasobów kapitału rodziny kandydata na studia. Zakłada się, że kapitał umożliwiający edukacje pochodzi z środków rodziny. Rodzice starają się zapewnić dzieciom jak najlepsze wykształcenie. Można założyć, że dzieci z kolei zapewnią rodzicom opiekę na starość i zadbają o wykształcenie następnego pokolenia. Posiadanie większych rezerw kapitału oznacza, że dolna granica prawdopodobieństwa sukcesu, przy którym nie grozi bankructwo, jest mniejsza. Mniejszą wartość przyjmuje parametr κ, interpretowany jako cena „strachu" przed sytuacją zagrożenia, oraz zwiększa się poczucie bezpieczeństwa reprezentowane przez indeks bezpieczeństwa S_s.

Uczelnia może analizować potrzebę uruchomienia nowego kierunku studiów. Interesujący jest przy tym problem określenia wysokości czesnego, ze względu na uzyskiwane użyteczności studentów oraz szkoły. Problem ten można rozpatrywać jako zagadnienie kooperacyjne, w którym poszukuje się wysokości czesnego korzystnego zarówno dla uczelni jak i dla studentów. Uczelnię i studentów rozpatrujemy wówczas jako partnerów (strony) biorących udział we wspólnym przedsięwzięciu. Zakładamy, że każdy z partnerów stara się maksymalizować swoją użyteczność ze względu na zmienną decyzyjną c, określającą wielkość czesnego. Dopuszczalne wartości zmiennej c, oraz relacje opisujące model określają osiągalne wartości użyteczności każdego z partnerów. Niech $A \in R^2$ oznacza zbiór tych wartości w przestrzeni użyteczności obu partnerów. Problem decyzyjny polega na określeniu punktu w przestrzeni użyteczności, należącego do zbioru A, akceptowalnego przez każdego partnerów.

Istnieją pewne minimalne wartości użyteczności, które może zaakceptować każda ze stron podejmując współpracę. Przykładowo student nie zdecyduje się na wydatek czesnego i podjęcie nauki, jeśli przyrost użyteczności, związany z uzyskanym wykształceniem i możliwością otrzymania lepiej płatnej pracy, nie będzie większy, niż użyteczność uzyskana z zainwestowania kapitału, równego kosztom kształcenia, w obligacje państwowe obciążone minimalnym ryzykiem. Analogicznie, istnieje minimalna, akceptowalna użyteczność uczelni. Te minimalne, akceptowalne poziomy użyteczności, określają tzw. punkt braku porozumienia lub punkt status-quo. Warunkiem przystąpienia obu stron do wspólnego przedsięwzięcia jest uzyskanie przez każdą stronę pewnej nadwyżki użyteczności, w porównaniu z wartościami określonymi przez status quo.

Użyteczność uczelni $U_u(c)$ zależy od zmiennej decyzyjnej c określającej czesne płacone przez studenta, z uwzględnieniem ryzyka wyrażonego przez prawdopodobieństwo p oraz indeks bezpieczeństwa S_{ui}. Minimalna wartość U_{ud} użyteczności, przyjmowana przez uczelnię, może być wyznaczona z następującego warunku akceptowalności: $U_u(c) \geq U_{ud} = n\, c_0\, R_F$, gdzie R_F oznacza stopę zwrotu nie obciążoną ryzykiem. Odpowiada to sytuacji, w której uczelnia zamiast przeznaczać nakłady (nc_0) na bazę lokalową, wyposażenie i prowadzenie zajęć, inwestuje je bez ryzyka np. w obligacje skarbu państwa.

Student inwestuje w swoją wiedzę opłacając czesne i koszty utrzymania w czasie studiów. Zdyskontowana wartość kosztów nauki sprowadzona do chwili początkowej wynosi $I_e(c)$. Minimalna, akceptowalna przez studenta wartość użyteczności odpowiada sytuacji, w której kapitał przeznaczony na pokrycie kosztów kształcenia zostałby zainwestowany bez ryzyka np. w obligacje państwowe na ten sam okres czasu, w którym określone zostały korzyści wynikające ze

wzrostu wynagrodzenia. Stopa zwrotu za okres *[1, T]* wyniesie: $R_{sFT} = \sum_{t=1}^{T} \frac{(1+R_F)^t - 1}{(1+k_e)^t}$, gdzie R_F oznacza roczną stopę zwrotu bez ryzyka, a k_e roczną stopę dyskonta.

Powstaje problem sprawiedliwego podziału korzyści między strony współpracy, oraz wyznaczenia uczciwej wysokości rocznego czesnego *c*. Do rozwiązania tego problemu można zastosować koncepcje rozwiązań gier kooperacyjnych, formułowanych jako tzw. problem przetargowy, a w szczególności koncepcje Nash'a, [20]. Rozwiązanie, określające wypłaty stron, wyznaczone na podstawie tej koncepcji, ma szereg własności zapewniających uczciwy podział korzyści, co powoduje, że nie może być łatwo odrzucone przez rozsądnego decydenta. Jest w szczególności Pareto optymalne w zbiorze *A*, spełnia warunek symetrii, co oznacza, że jeśli obie strony mają takie same pozycje przetargowe, to ich wypłaty będą równe. Ponadto rozwiązanie nie zależy od afinicznych przekształceń użyteczności oraz nie zależy od nieistotnych alternatyw. Oznacza to między innymi, że zmiana skali jednostek, w jakich liczone są wypłaty, nie ma wpływu na podział korzyści ze współpracy między partnerów.

Zgodnie z koncepcją Nash'a rozwiązanie kooperacyjne jest określone przez punkt:

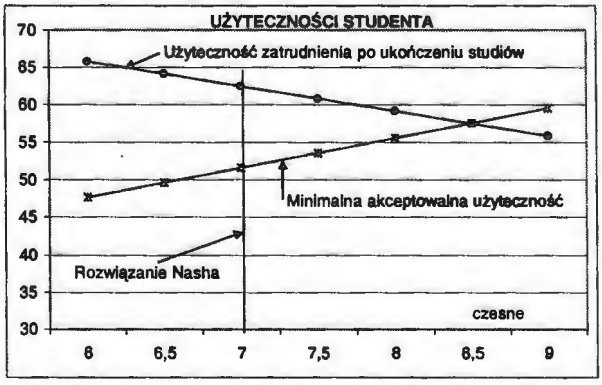
$(U_s^N, U_u^N) = arg\ max\ ((U_s - U_{sd})(U_u - U_{ud}))$, dla $(U_s, U_u) \in A$.

W rozpatrywanym problemie należy rozwiązać następujące zadanie optymalizacji:

$$max_c[(U_s(c) - U_{sd})(U_u(c) - U_{ud})],$$

przy ograniczeniach: $(U^s(y), U^u(y)) \in A$.

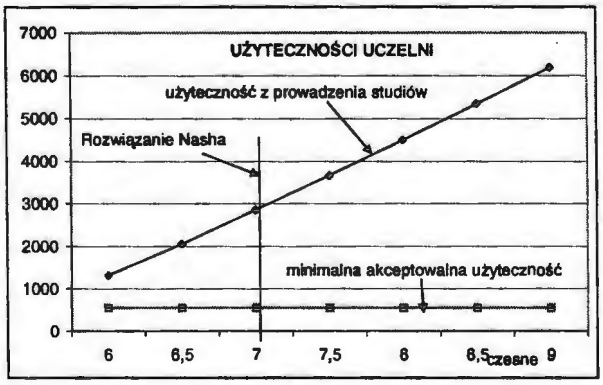
Przykłady wyników obliczeniowych ilustrujących wpływ wysokości czesnego na użyteczności stron przedstawione są na rys. 4 i 5. Wyznaczono również rozwiązanie kooperacyjne Nasha i przedstawiono wypłaty odpowiadające temu rozwiązaniu.



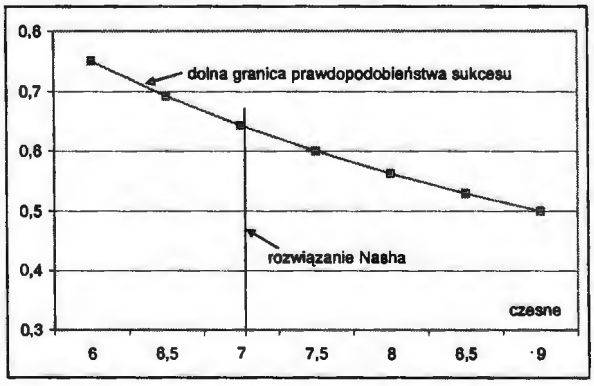
Rys. 4. Użyteczności studenta w zależności od czesnego

Obliczenia przeprowadzono przyjmując następujące dane: koszt jednego miejsca na uczelni: $c_0=5$ tys. zł., przygotowana liczba miejsc: $n=2000$, prawdopodobieństwo pozyskania studentów: $p=0,9$, stopa wzrostu bez ryzyka $R_F=0,05$,
koszty utrzymania studenta $m=6$ tys. zł. rocznie, przewidywany wzrost wynagrodzenia po ukończeniu studiów $w_e=24$ tys. zł. rocznie, stopy dyskonta: w okresie studiów $k_e=0,03$, w okresie zatrudnienia $k_n=0,1$, parametr $\beta=0,5$ (uczelni i studenta).

Różnice między użytecznością wyznaczoną z modelu a minimalną akceptowalną użytecznością określają korzyści, jakie odpowiednio student i uczelnia odnoszą w przypadku decyzji o współpracy. Wyznaczona na podstawie koncepcji Nash'a wartość czesnego rzędu 7 tys. zł. rocznie odnosi się do konkretnej grupy studentów, zgodnie z założonymi danymi wejściowymi. Szkoła może oczywiście zaproponować mniejsze czesne chcąc zwiększyć swoją konkurencyjność. Użyteczna może być przy tym ocena (rys. 6) jak zmienia się dolna granica prawdopodobieństwa sukcesu (uzyskania studentów), poniżej której uczelni grozi bankructwo.



Rys. 5. Użyteczności uczelni w zależności od czesnego



Rys. 6. Dolna granica prawdopodobieństwa sukcesu uczelni w zależności od wysokości czesnego.

Analiza modelu i rozwiązań kooperacyjnych w zależności od nakładów uczelni związanych z prowadzeniem studiów, sytuacji na rynku pracy i możliwości finansowych studentów, może wspomóc proces określania wielkości czesnego, zapewniającego odpowiednie korzyści obu stronom.

5. UWAGI KOŃCOWE

Konstrukcja systemów wspomagających analizę decyzyjną z uwzględnieniem ryzyka przedstawiona została na przykładzie systemu edukacyjnego. Celem tego systemu jest wspomaganie decyzji kandydatów dotyczących wyboru specjalizacji i kierunku studiów, a także decyzji uczelni organizującej studia i ustalającej wyso-

kość czesnego. Decyzje te podejmowane są w warunkach ryzyka. Prace nad tym systemem rozpoczęto w 2003 r. [9, 15]. Niniejsza praca zawiera nową, rozszerzoną wersję modelu uwzględniającą między innymi nowe wyniki metodologiczne dotyczące funkcji użyteczności i komputerowego wspomagania decyzji oraz nowe wyniki obliczeniowe. Przewiduje się kontynuację badań we współpracy z Wyższą Szkołą Informatyki Stosowanej i Zarządzania w Warszawie.

Abstract: The paper is concerned with construction of computer-based systems supporting decisions in management of different forms of capital and risk involved. A general structure of the system is discussed on an example of educations system devoted to support decisions made by students and by a university. The students' decisions including selection of specializations, as well as the decisions of university organizing studies and defining the tuition level are made in the presence of risk. The proposed system, utilizing mathematical modeling techniques, utility function approach, optimization procedures and elements of game theory, can facilitate cost–benefit-risk analysis made by the students and the university.

Literatura

[1] Coombs, C.H., Daves, R.M. and A. Tversky (1970) Mathematical Psychology, An Elementary Introduction. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J.

[2] Francis J.C. (1991) Investments – analysis and management. McGraw-Hill, New York.

[3] Kulikowski R. (1998) Portfolio optimization: two factors-utility approach, *Control and Cybernetics*, **27**, 2.

[4] Kulikowski R. (2002) URS methodology – a tool for stimulation of economic growth by innovations. *Bulletin of Polish Academy of Sciences*, Sci. Tech. **50**, 1.

[5] Kulikowski R. (2002) On general theory of risk management and decision support systems (ibid).

[6] Kulikowski R. (2004) *Management support by knowledge using the concept of utility of sustainable development.* In: Proceedings of the 15th International Conference on Systems Science, Wrocław.

[7] Kulikowski R. (2004) Wspomaganie zarządzania kapitałami z uwzględnieniem Ryzyka. *Raport badawczy RB/7/2004*, IBS PAN, Warszawa.

[8] Kulikowski R. (2005) Wspomaganie zarządzania gospodarką opartą na wiedzy systemowej i teorii sterowania z uwzględnieniem ryzyka. *XV Krajowa Konferencja Automatyki*, Referat plenarny, 27-30, czerwca 2005, Warszawa.

[9] Kulikowski R., Kruś L. (2003) *Support of Education Decisions.* In: Group Decisions and Voting. (J. Kacprzyk, D. Wagner, Eds), AOW EXIT, Warszawa, 154-168.

[10] Kruś L., Bronisz P. (1993) *Some New Results in Interactive Approach to Multicriteria Bargaining.* In "User-Oriented Methodology and Techniques of Decision Analysis and Support" (J. Wessels, A.P. Wierzbicki, Eds), Springer Verlag.

[11] Kruś L. (1996) Multicriteria Decision Support in Negotiations. *Control and Cybernetics*, **25**, 6, 1245-1260.

[12] Kruś L., Bronisz P. (2000) Cooperative game solution concepts to a cost allocation problem. *EJOR*. **122**, 2, 258-271.

[13] Kruś L. (2002) A system Supporting Financial Analysis of an Innovation Project in the case of Two Negotiating Parties. *Bull. of Polish Academy of Sci., Ser. Techn.*, **50**, 1, 93-108.

[14] Kruś L. (2002) *Multicriteria Decision Support in Bargaining, a Problem of Players Manipulations.* In: Multiple Objective and Goal Programming, (T. Trzaskalik, J. Michnik, Eds), Physica Verlag, Springer.

[15] Kruś L. (2003) *Rozwiązania kooperacyjne w systemie edukacyjnym.* W: Inżynieria wiedzy i systemy ekspertowe (Z. Bubnicki, A. Grzech, Red.), O.W. Politechniki Wrocławskiej. Wrocław.

[16] Kruś L. (2004) *Analiza współpracy we wspólnych przedsięwzięciach innowacyjnych,* w: Badania operacyjne i systemowe, 2004. Podejmowanie decyzji. Podstawy metodyczne i zastosowania. EXIT, Warszawa.

[17] Kruś L. (2004) *A Computer Based System Supporting Analysis of Cooperative Strategies.* W: Artificial Intelligence and Soft Computing – ICAISC 2004, (L. Rutkowski, J. Siekmann, R. Tadeusiewicz, L. Zadeh, Eds), Lecture Notes in Computer Science, Springer.

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

[19] Kruś L. (2005) Problemy skalowania funkcji użyteczności w zagadnieniach wspomagania zarządzania kapitałami z uwzględnieniem ryzyka. *Raport badawczy*, IBS PAN, Warszawa.

[20] Nash J. (1950) The Bargaining Problem. *Econometrica*, **18**, 155-162.

[21] Von Neumann J., Morgenstern O. (1953). *Theory of games and economic behaviour.* Princeton Univ. Press.

[22] Ogryczak W. (2002) Multiple criteria optimization and decisions under risk. *Control and Cybernetics*, **31**, 4.

[23] Savage L.J. (1954) *The foundations of statistics.* New York, Wiley.

[24] Tversky A., Kahneman O. (1981) The framing of decisions and the psychology of choice. *Science* **211**, 453-480.

[25] Wierzbicki A., Makowski M., Wessels J. (2001) *Model Based Decision Support Methodology with Environmental Applications.* Kluwer.

Instytut Badań Systemowych
Polskiej Akademii Nauk

ISBN 83-89475-00-6