

280/2003

Raport Badawczy

RB/10/2003

Research Report

**Analiza finansowania
przedsięwzięć innowacyjnych**

L. Kruś

**Instytut Badań Systemowych
Polska Akademia Nauk**

**Systems Research Institute
Polish Academy of Sciences**



POLSKA AKADEMIA NAUK

Instytut Badań Systemowych

ul. Newelska 6

01-447 Warszawa

tel.: (+48) (22) 8373578

fax: (+48) (22) 8372772

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

Warszawa 2003

ANALIZA FINANSOWANIA PRZEDSIĘWZIĘĆ INNOWACYJNYCH

WSTĘP

Przedmiotem referatu są metody wspomagające analizę finansową przedsięwzięć innowacyjnych z uwzględnieniem ryzyka. Analiza rozpatrywana jest z punktu widzenia inwestora, oczekującego odpowiednio dużego zwrotu na zainwestowanym kapitale i starającego się jednocześnie minimalizować ryzyko niepowodzenia.

Charakterystyczną cechą inwestowania w przedsięwzięcia innowacyjne jest duża stopa zwrotu na kapitale, w przypadku gdy przedsięwzięcie się powiedzie, ale jednocześnie duże ryzyko niepowodzenia, w porównaniu z innymi formami inwestowania. W przypadku przedsięwzięć innowacyjnych zwykle nie dysponujemy danymi historycznymi, które umożliwiają budowę typowych modeli analizy finansowej, tak jak jest to przykładowo możliwe w przypadku inwestowania w akcje firm notowanych na giełdzie.

W referacie rozwija się ideę dwustanowego modelu sukces – porażka zaproponowanego przez R. Kulikowskiego. Przyjmuje się, że przedsięwzięcie innowacyjne (przykładem może być projekt badawczy) składa się z pewnej liczby etapów. Powodzenie każdego z etapów zależy od czasu trwania i nakładów. W przedstawianym modelu zakłada się wykorzystanie ocen ekspertów. Na podstawie tych ocen wyznaczane są prawdopodobieństwa powodzenia wykonania etapów w określonym czasie i prawdopodobieństwa powodzenia całego projektu. Formuluje się problemy decyzyjne, jakie stoją przed decydentem zanim projekt się rozpocznie, gdy rozpatruje kwestię czy w ogóle warto inwestować w dane przedsięwzięcie, a także w trakcie realizacji, gdy na przykład pewien etap się opóźnia i powstaje problem czy warto projekt kontynuować

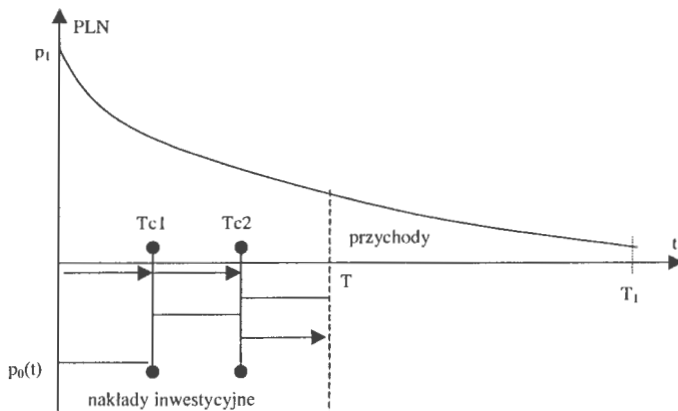
Praca związana jest z budową systemu komputerowego wspomagającego analizę decyzyjną dotyczącą projektów innowacyjnych. Pierwsza wersja takiego systemu powstała w 2001 r. [4]. W niniejszej pracy

omawiana jest budowa nowej wersji systemu, zawierającego model opisujący przedsięwzięcie innowacyjne oraz uwzględniającego dwa podejścia wspomaganie analizy decyzyjnej: podejście wielokryterialne, wykorzystujące idee funkcji osiągnięcia (punktu referencyjnego) [15] (Wierzbiński, 1986), [16] (Wierzbiński, Makowski, Wessels, 2001), [3] Krus (1996), oraz podejście funkcji użyteczności [17] (Von Neuman J., Morgenstern O., 1947), [11] (Savage, 1954), [14] (Tversky, 1967), [6], [7] (Kulikowski, 2000, 2002), [8] (Kulikowski, Krus 2002), [5] (Krus, 2002). Dla porównania, podstawy klasycznej analizy finansowej można znaleźć w monografiach: [2] (Francis, 1991), [12] (Sharpe i inni, 1995). W pracy przedstawia się również propozycje rozwiązań i wyniki obliczeniowe uzyskane dla wybranego projektu celowego.

1. MODEL

1.1. Ogólny opis

Projekt badawczy oceniany jest w określonym horyzoncie czasowym $[0, T_1]$. W ramach tego horyzontu czasu rozpatrujemy okres realizacji projektu $[0, T]$, w którym wymagane są określone nakłady inwestycyjne, oraz okres $(T, T_1]$, w którym już zrealizowany projekt przynosi efekty (Rys. 1.).



Rys. 1. Okres inwestowania i przychodów projektu innowacyjnego.

W celu przeprowadzenia analizy finansowej projektu, podobnie jak w modelu zaproponowanym przez R. Kulikowskiego [7], porównujemy koszty inwestycji w okresie $[0, T]$ z przewidywanymi przychodami w okresie $(T, T_1]$. Zakładając, że strumień inwestycji ma wartość $p_0(t)$ PLN/rok, przy założonej, stałej stopie dyskonta r , wartość nakładów inwestycyjnych sprowadzoną do chwili początkowej (ang. *present value*), zależną od czasu trwania realizacji projektu, można wyznaczyć z zależności:

$$P_0(T) = \int_0^T p_0(t) e^{-rt} dt.$$

Przewidywane efekty projektu sprowadzone do chwili początkowej przyjmą wartość:

$$P_1(T, T_1) = \int_T^{T_1} p_1 e^{-r_a t} dt,$$

gdzie: p_1 oznacza obecnie szacowane roczne efekty, a parametr r_a uwzględnia stopę dyskonta oraz efekt starzenia się projektu w czasie.

Projekt może być zrealizowany w zakładanym czasie T . W takim przypadku można wyznaczyć stopę zwrotu na zainwestowanym kapitale i zysk. Istnieje jednak ryzyko, że w tym czasie projekt nie zakończy się sukcesem.

Zakładamy, że rozpatrywany projekt podzielony jest na pewne etapy, zaznaczone na rysunku strzałkami. Każdy etap wymaga realizacji pewnego kompleksu operacji. W planowanym czasie realizacji projektu wybrane są „punkty kontrolne”. Punkt kontrolny określa moment czasu, w którym inwestor porównuje rzeczywisty stan projektu ze stanem planowanym. W przypadku opóźnienia realizacji projektu, inwestor może zrezygnować z jego dalszego finansowania i realizacji.

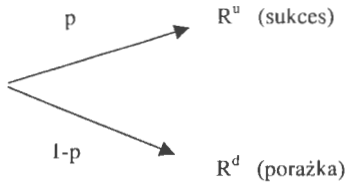
1.2. Problemy decyzyjne

a. Przed rozpoczęciem projektu

Analiza przed rozpoczęciem realizacji projektu ma na celu ułatwienie podjęcia decyzji, czy w ogóle warto inwestować w ten projekt. Powstają pytania: Jaki powinien być czas realizacji projektu? Jakie są wymagane nakłady? Jaka przewidywana jest stopa zwrotu? Jaki jest poziom ryzyka, że projekt może się zakończyć porażką?

Przyjęto dwuscenariuszowy model realizacji projektu, zilustrowany na Rys. 2. Projekt może się zakończyć sukcesem z prawdopodobieństwem p . Stopa

zwrotu wyniesie wówczas R^u . Alternatywą jest porażka, która może wystąpić z prawdopodobieństwem $(1-p)$. Stopa zwrotu wyniesie wówczas R^d .



Rys. 2. Alternatywne scenariusze realizacji projektu.

W rozpatrywanym przypadku, dla założonego strumienia nakładów inwestycyjnych, prawdopodobieństwo sukcesu będzie zależało od czasu realizacji projektu, oznaczymy je $p(T)$. Stopa zwrotu w przypadku sukcesu wyniesie: $R(T)=R^u(T)= [P_u(T, T_1)-P_d(T)]/P_0(T)$.

Prawdopodobieństwo porażki wyniesie odpowiednio $(1-p(T))$, natomiast stopa zwrotu: $R(T)=R^d(T)= -1$, co oznacza stratę włożonego kapitału.

Można wyznaczyć oczekiwaną stopę zwrotu:

$$R(T) = p(T) R^u(T) + [1-p(T)] R^d(T),$$

oraz wariancję:

$$\sigma^2(T) = p(T) [1-p(T)] [R^u(T) - R^d(T)]^2.$$

Prawdopodobieństwa sukcesu i porażki, w zależności od czasu realizacji, będą wyznaczone przy wykorzystaniu ocen ekspertów, dotyczących prawdopodobieństw wykonania poszczególnych operacji składających się na cały kompleks, jaki stanowi rozpatrywany projekt.

b. Analiza w czasie określonym przez "punkt kontrolny".

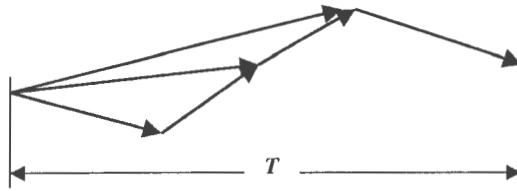
Projekt jest w trakcie realizacji. Określone nakłady zostały już wydane. W "punkcie kontrolnym" sprawdzany jest rzeczywisty stan zaangażowania projektu i porównywany ze stanem, który powinien być osiągnięty według planu. Problem decyzyjny dotyczy kwestii, czy warto kontynuować projekt w przypadku stwierdzenia istotnego opóźnienia. Czy zatrzymać dalsze finansowanie i pogodzić się ze stratą już zainwestowanego kapitału, czy też kontynuować projekt modyfikując plan?

Przyjmując model "sukces - porażka", oznaczymy przez $p_{c1}(T_m)$ prawdopodobieństwo zakończenia projektu z sukcesem w czasie T_m , po osiągnięciu przykładowo punktu kontrolnego $c1$. Czas realizacji projektu jest ponownie przedmiotem analizy i decyzji. Czas T_m może być w ogólnym

przypadku różny od przyjętego w pierwotnym planie czasu realizacji T . Stopę zwrotu na zainwestowanym kapitale dla scenariusza sukcesu i dla scenariusza porażki można wyznaczyć analogicznie jak poprzednio. Prawdopodobieństwo $p_{s,i}(T_m)$ należy znów oszacować wykorzystując oceny ekspertów. Dla danych prawdopodobieństw i stóp zwrotu scenariuszy sukcesu i porażki, można również wyznaczyć oczekiwaną stopę zwrotu i wariancję. Dotyczy to oczywiście przypadku kontynuacji projektu. Alternatywna decyzja rezygnacji z dalszego prowadzenia projektu oznacza, że nakłady poniesione w okresie $[0, T_{c1}]$ są stracone.

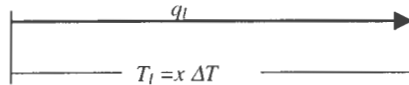
2.3. Oszacowanie prawdopodobieństw sukcesu projektu na podstawie ocen ekspertów.

Typowy projekt składa się z pewnej liczby etapów. Każdy etap można rozpatrywać jako pewien kompleks operacji składowych, które muszą zakończyć się sukcesem, aby zrealizować dany etap. Operacje składowe są wykonywane szeregowo, t.j. w pewnej kolejności jedna po drugiej, lub równoległe, w zależności od struktury projektu.



Rys. 3. Kompleks operacji składających się na cały projekt.

Zakłada się, że pojedyncza operacja, ozn. l jest realizowana w wyniku pewnej liczby niezależnych prób, z których każda zajmuje pewien podstawowy okres czasu ΔT i jest charakteryzowana przez prawdopodobieństwo „bazowe” osiągnięcia sukcesu w tym czasie q_l . Prawdopodobieństwo uzyskania sukcesu wykonania operacji l po z nieudanych próbach można wyznaczyć z zależności Bernoulliego: $q_l(z) = q_l (1 - q_l)^z$, $z = 0, 1, 2, \dots$, $0 < q_l < 1$, a wartość oczekiwana wyniesie $E_l(z) = (1 - q_l) / q_l$.



Rys. 4. Pojęciowa operacja.

Wartość ΔT przyjmowana jest dla uproszczenia wspólnie dla całego projektu, a wartości q_l są szacowane niezależnie dla każdej operacji przez ekspertów, przy ustalonym strumieniu nakładów. Oznaczmy przez $p_l(T_l)$ prawdopodobieństwo sukcesu realizacji operacji l w czasie T_l , gdzie $T_l = \Delta T x$, $x = 1, 2, \dots$, przyjmuje wartości dyskretne. Prawdopodobieństwo sukcesu realizacji operacji l w czasie $[0, T_l]$ wynosi:

$$p_l(\Delta T x) = \sum_{i=1}^x q_l (1 - q_l)^{i-1}$$

W eksperymentalnym systemie komputerowym [4] (Kruś, 2001) zaimplementowano algorytm umożliwiający wyznaczenie prawdopodobieństw sukcesu złożonych kompleksów operacji, składających się z wielu etapów wykonywanych szeregowo lub równoległe. Rozpatrzmy w szczególności dwie kolejne operacje podstawowe l i k , z których każda jest scharakteryzowana odpowiednio przez prawdopodobieństwo sukcesu q_l i q_k , przy tym samym podstawowym okresie ΔT . Prawdopodobieństwo sukcesu wykonania szeregowo obu operacji w danym czasie $T_{lk} = x \Delta T$, gdzie $x = 1, 2, \dots$, wyniesie:

$$p_{lk}(T_{lk}) = p_{lk}(\Delta T x) = \sum_{i=1}^x (q_l (1 - q_l)^{i-1}) \sum_{j=1}^{x-i} q_k (1 - q_k)^{j-1}.$$

Rozpatrzmy dwa szeregowo wykonywane etapy złożone l i k (składające się z kilku operacji podstawowych, wykonywanych szeregowo lub równoległe), dla których są dane prawdopodobieństwa sukcesu $p_l(\Delta T x)$ i $p_k(\Delta T x)$. Można pokazać, że prawdopodobieństwo sukcesu wykonania obu etapów w okresie $T_{lk} = x \Delta T$, gdzie $x = 2, 3, \dots$, wyniesie:

$$p_{lk}(T_{lk}) = p_{lk}(\Delta T x) = \sum_{i=1}^{x-1} (p_l(\Delta T i) - p_l(\Delta T(i-1))) (p_k(\Delta T(x-i))),$$

gdzie $p_l(\Delta T i) = 1$ dla $i=0$.

W przypadku równoległego wykonywania operacji l i k , prawdopodobieństwo sukcesu ich łącznego wykonania w danym czasie $T_{llk} = x \Delta T$ można wyznaczyć z zależności:

$$p_{llk}(T_{llk}) = p_{llk}(\Delta T x) = (p_l(T_{llk})) (p_k(T_{llk})).$$

Korzystając z powyższych zależności, można wyznaczyć, w sposób algorytmiczny, prawdopodobieństwo sukcesu realizacji w założonym czasie T

całego projektu, składającego się z wielu etapów, w których skład wchodzi operacje wykonywane równolegle lub szeregowo.

2. SYSTEM KOMPUTEROWY WSPOMAGAJĄCY ANALIZĘ DECYZYJNĄ

Analiza przedsięwzięcia innowacyjnego możliwa jest przy użyciu systemu komputerowego. System zawiera implementację modelu, moduły wspomagające analizę z zastosowaniem dwóch podejść: analizy wielokryterialnej i podejścia funkcji użyteczności, a także odpowiedni interfejs graficzny.

3.1 Uwagi dotyczące implementacji modelu

Zakładamy, że dana jest struktura modelu w postaci grafu opisującego kompleks operacji i etapy projektu. Dane są również, na podstawie ocen ekspertów, bazy prawdopodobieństwa sukcesu wykonania poszczególnych operacji w założonym czasie, przy założonym strumieniu nakładów.

Zmienne decyzyjne obejmują łączny strumień nakładów na realizację projektu, a także ich alokacje na wykonanie poszczególnych operacji, oraz planowany czas realizacji.

Wielkości wyjściowe dotyczą oceny finansowej projektu, (przykładowo: oczekiwana stopa zwrotu, oczekiwany przychód, zysk), a także oceny ryzyka, to jest wielkości takie, jak prawdopodobieństwo sukcesu i porażki wykonania całego projektu w założonym czasie, wariancja, semi-wariancja (odchylenie standardowe, semi-odchylenie standardowe), oraz zaproponowany przez R. Kulikowskiego [6] indeks bezpieczeństwa i funkcja użyteczności. Rozpatrywane wielkości wyjściowe analizowane są ze względu na zmienne wejściowe.

W systemie zaimplementowano algorytm wyznaczania prawdopodobieństwa sukcesu całego projektu w zależności od czasu jego realizacji, przy zakładanych wariantowo strumieniach nakładów.

3.2. Analiza wielokryterialna

Stosuje się podejście funkcji aspiracji – punktu referencyjnego rozwijane w szkole A. P. Wierzbickiego [14], [15]. Podstawą tego podejścia jest teoria Simon'a (theory of satisficing behaviour), zgodnie z którą decydent

dokonując analizy decyzyjnej, w adaptacyjny sposób, w wyniku procesu uczenia, formułuje swoje poziomy aspiracji odnośnie kryteriów i jest usatysfakcjonowany, jeśli może te poziomy osiągnąć. W podejściu tym model opisujący sytuację decyzyjną nie zawiera reprezentacji preferencji decydenta. Stosuje się wielokryterialną optymalizację, jako narzędzie ułatwiające proces uczenia dotyczący możliwych wartości kryteriów i innych wielkości wyjściowych, oraz wspomagając wybór decyzji. Analiza wykonywana jest z pomocą systemu komputerowego w sposób interakcyjny, w formie iteracyjnej procedury. Decydent formułuje instrukcje dla systemu komputerowego określając poziomy aspiracji w przestrzeni kryteriów (punkty referencyjne). System rozwiązuje odpowiednie zadanie optymalizacji tzw. funkcji osiągnięcia, wyznacza rozwiązanie Pareto optymalne leżące najbliżej punktu referencyjnego (jeśli jest nieosiągalny), lub poprawiając go (w przeciwnym przypadku). Wyniki (kryteria i inne wielkości wyjściowe, wyznaczone decyzje) prezentowane są decydentowi, który może modyfikować swoje poziomy aspiracji i analizować następne rozwiązania niezdominowane. Zastosowanie odpowiedniej funkcji osiągnięcia w procesie optymalizacji, umożliwia efektywne przeglądanie brzegu Pareto zbioru osiągalnych wartości kryteriów, także w przypadku, gdy zbiór ten jest niwypukły. Wspomagany jest proces uczenia decydenta. Decydent zachowuje przy tym prawo do modyfikowania swoich preferencji w trakcie analizy.

W rozpatrywanym zagadnieniu decydent może oceniać projekt innowacyjny ze względu na dwa kryteria: stopę zwrotu na kapitale (maksymalizowane) i ryzyko (minimalizowane). Tradycyjnie, jako miarę ryzyka przyjmuje się odchylenie standardowe. W tym systemie przyjęto jako miarę ryzyka: semi-odchylenie standardowe. W pracy [10] (Ogryczak, Ruszczyński, 1998) pokazano, że zastosowanie semi-odchylenia jako miary ryzyka w zagadnieniach optymalizacji, zapewnia zgodność z zasadą dominacji stochastycznej 2-go rzędu.

3.3. Podejście funkcji użyteczności

Realizacja projektu innowacyjnego interpretowana jest jako pewna loteria w której sukces, wygrana ozn. $x_1 > 0$ zachodzi z pewnym prawdopodobieństwem p a przegrana z wypłatą x_2 może się zdarzyć z prawdopodobieństwem $1-p$. Zgodnie z aksjomatyczną teorią von Neumana Morgensterna [17] istnieje funkcja użyteczności $U(x, p) = x_1 p + x_2 (1-p)$, która zachowuje porządek preferencyjny i zasadę wartości oczekiwanej Bernoulliego.

L. Savage [11] rozszerzył tą teorię wprowadzając prawdopodobieństwo subiektywne, ozn. $s(p)$ i tzw. model SEU z funkcją użyteczności:

$U(x,p)=s(p)u(x)$. Model ten był następnie przedmiotem badań eksperymentalnych [15] (Tversky, 1967), przy czym pokazano, że $u(x)$ może być aproksymowane przez funkcję potęgową: $u(x)=const x^\beta$, $\beta \in [0,1]$ dla $x \geq 0$; i $\beta \geq 1$ dla $x < 0$, a $s(p) \leq p$. R. Kulikowski [6-8] rozwijając te idee pokazał, że funkcje użyteczności mogą być wyrażone ze względu na dwie zmienne: oczekiwany zysk Z i zysk "najgorszego przypadku" Y . Przy założeniach wypukłości i homogeniczności proponowana jest postać:

$$U = Z^\beta Y^{1-\beta}, \text{ gdzie}$$

oczekiwany zysk: $Z = P_0 R$, gdzie P_0 : kapitał zainwestowany w projekt, R : wartość oczekiwana zmiennej losowej, jaką jest stopa zwrotu na kapitale $R_i = (P_{it} - P_0) / P_0$, o wartości oczekiwanej $R = E\{R_i\}$ i wariancji σ^2 , P_{it} : przychody, **zysk najgorszego przypadku:** $Y = P_0 R - VaR$, przy czym value at risk: $VaR = P_0 \kappa(p_i) \sigma$, $\kappa(p_i)$ jest kwantylem funkcji rozkładu prawdopodobieństwa zmiennej R_i , spełniającym warunek $(Pr\{R_i \leq R - \kappa \sigma\} = p_i)$, gdzie p_i jest prawdopodobieństwem najgorszego przypadku.

W pracach [6-7] wprowadzono i przedyskutowano pojęcie indeksu (poziomu) bezpieczeństwa, jako miary ryzyka powodzenia projektu. Indeks bezpieczeństwa jest określony zależnością: $S = 1 - \kappa \sigma / R$, $S \in (0,1]$. Funkcję użyteczności można wówczas wyrazić w postaci $U = Z S^{1-\beta}$.

W rozpatrywanym przypadku projektu innowacyjnego, dla zakładanego czasu realizacji T , funkcja użyteczności przyjmie postać

$$U(T) = (P_0(T)R(T))^\beta VaS(T)^{1-\beta} = P_0(T)R(T) S(T)^{1-\beta}.$$

Parametry κ i β mają charakter subiektywny. Są zależne od preferencji decydenta. Wartość $Y(T) = P_0(T)[R(T) - \kappa \sigma(T)]$ określa zwrot nakładów finansowych w najgorszym przypadku, analizowanym przez decydenta, która to wartość może być porównywana z wartością oczekiwanego zwrotu określonego przez $Z(T) = P_0(T)R(T)$. Parametrowi κ można nadać interpretację "ceny strachu" konsekwencji wystąpienia rozpatrywanego najgorszego przypadku. Parametr β określa stopień wytlumienia strachu w sytuacji decyzyjnej, w jakiej znalazł się decydent (por. [8] Kulikowski, Kruś 2002). Wartość użyteczności decydenta i wielkości pozwalające ją wyznaczyć rozpatrywane są jako funkcje czasu T realizacji projektu.

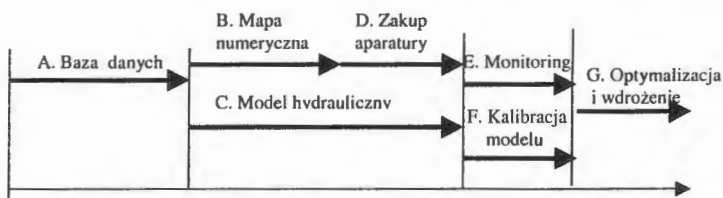
Analiza decyzyjna w sytuacji ryzyka, dotyczy oczekiwanego zwrotu finansowego oraz miary ryzyka reprezentowanej przez "wartość bezpieczną". Stosując podejście funkcji użyteczności zakłada się, że użyteczność decydenta

może być oszacowana przez pewną funkcję zależną od tych wielkości. W szczególności, jako to oszacowanie przyjęto postać podaną wyżej.

4. PRZYKŁAD ANALIZY

Przedmiotem analizy był projekt celowy dotyczący opracowania komputerowego systemu modelowania, projektowania i sterowania siecią wodociągową w Rzeszowie. Informacje dotyczące projektu można znaleźć w pracy [13] (Studziński 2001). Projekt ten był również przedmiotem analizy w pracy [9] (Kulikowski, Kruś Studziński 2001). Realizatorem projektu był Instytut Badań Systemowych PAN, odbiorcą wyników było Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji w Rzeszowie, prace badawczo-rozwojowe były finansowane częściowo przez KBN i przez MPWiK. Opracowanie, a następnie implementacja projektu w MPWiK miały na celu wprowadzenie ciągłego monitoringu sieci, usprawnienie wykrywania i lokalizowania awarii, wspomaganie sterowania operacyjnego i uzyskanie informacji o infrastrukturze w miejscu awarii. Był to pierwszy w kraju komputerowy system wspomagania decyzji operatora sieci wodociągowej. System obejmuje trzy współpracujące bazowe moduły: mapę numeryczną, monitoring i model hydrauliczny sieci. Realizacja projektu wymagała wykonania w określonej kolejności pewnej liczby zadań (etapów) o planowanych okresach trwania przedstawionych na Rys.5. Niektóre etapy miały charakter rutynowy. Przyjęto, że ich wykonanie nie jest obciążone ryzykiem (Tab. 1.). Pozostałe etapy, obejmujące opracowanie mapy sieci przy wykorzystaniu systemu GIS, budowy modelu hydraulicznego sieci, kalibracji modelu, optymalizacji i wdrożenia systemu miały charakter nowatorski i ich wykonanie wiązało się z ryzykiem. Na podstawie ocen eksperckich przyjęto trzy warianty realizacji, różniące się strumieniem nakładów finansowych, dla których oszacowano podstawowe prawdopodobieństwa wykonania tych etapów w ciągu jednego kwartału. Okres jednego kwartału przyjęto jako czas bazowy, tzn. $\Delta T=0,25$ roku. Wyniki tych oszacowań podaje Tab. 1. W tabeli tej wymieniono także etapy nie obciążone ryzykiem, dla których określony jest czas ich realizacji liczony w liczbie kwartałów.

Dokonano oszacowania spodziewanych rocznych efektów finansowych w wyniku realizacji projektu zakończonej sukcesem. Efekty obejmują przychody z tytułu sprzedaży wykonanego oprogramowania, zmniejszenia strat wody, oraz skrócenia czasu awarii i zmniejszenia kosztów napraw.



Rys. 5. Diagram etapowy projektu.

Tab. 1.

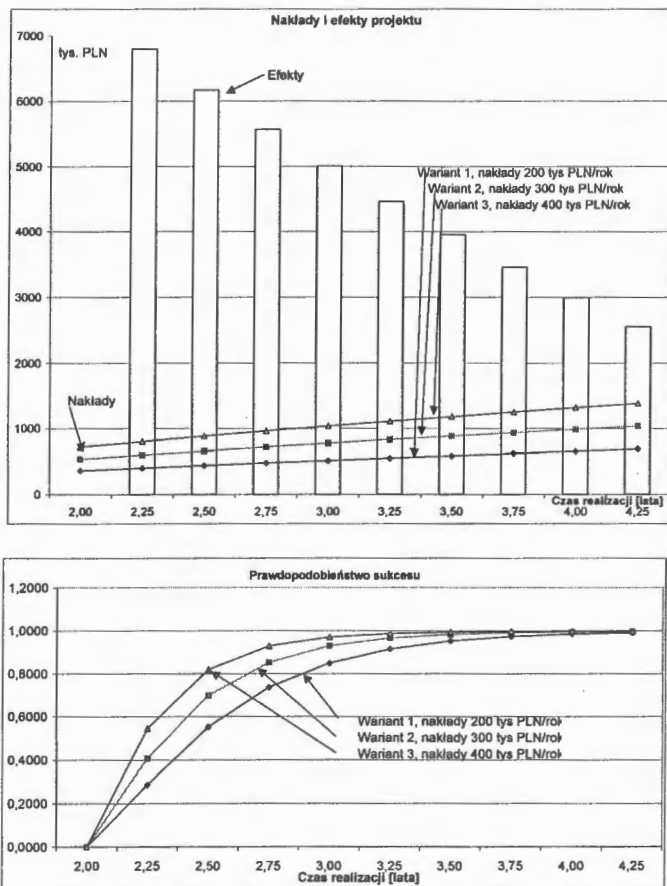
Oszacowania prawdopodobieństw bazowych wykonania etapów w zależności od strumienia nakładów finansowych.

Etap	Ryzyko realizacji	Czas realizacji [l. kwart.]	Prawdopodobieństwo sukcesu realizacji etapu w czasie 1 kwartału		
			wariant 1	wariant 2	wariant 3
A Baza danych	nie	3			
B Mapa numeryczna	tak		0,5	0,6	0,7
C Model hydrauliczny sieci	tak		0,4	0,45	0,5
D Zakup aparatury	nie	2			
E Monitoring	nie	2			
F Kalibracja modelu	tak		0,7	0,8	0,9
G Optymalizacja i wdrożenie.	tak		0,8	0,85	0,9
Nakłady tys. [PLN/kwart.]			50	75	100

W modelu opisującym nakłady finansowe w okresie realizacji projektu $[0, T]$ przyjęto stopę dyskonta $r = 0,1$ rocznie, a parametr $r_a = 0,2$. Ten ostatni parametr uwzględnia jednocześnie stopę dyskonta oraz efekt starzenia się rezultatów projektu w czasie (T, T_1) . Horyzont oceny efektów projektu przyjęto $T_1 = 6$ lat. Czas realizacji projektu T jest traktowany jako wielkość zmienna, stanowiąca przedmiot analizy. Wykorzystując opracowane algorytmy i eksperymentalny system komputerowy wykonano obliczenia dla trzech wariantów realizacji finansowej projektu, różniących się strumieniem nakładów finansowych. Wybrane wyniki umożliwiające analizę decyzyjną przedstawiono na kolejnych rysunkach (Rys. 6 - 10).

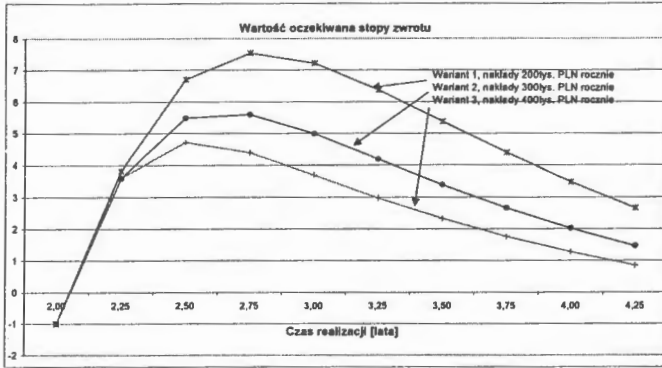
Na Rys. 6. pokazano, jak zależą wymagane nakłady na realizację projektu oraz potencjalne efekty (przychody i oszczędności uzyskiwane w wyniku wdrożenia) w przypadku jego realizacji zakończonej sukcesem, w zależności od czasu realizacji dla trzech wymienionych wariantów. Wielkości te należy analizować łącznie z przedstawionym na dolnym wykresie prawdopodobieństwem sukcesu realizacji. Ze względu na swoją strukturę, projekt nie może być zrealizowany w okresie do 2 lat. Niskie nakłady i wysokie

potencjalne efekty wiążą się z krótkimi okresami realizacji (2,25 – 2,5 roku), natomiast prawdopodobieństwo sukcesu jest wtedy stosunkowo niewielkie. Przy długich okresach (4 lata) prawdopodobieństwo sukcesu jest bliskie 1, ale wiąże się z wyższymi nakładami i niskimi efektami finansowymi.

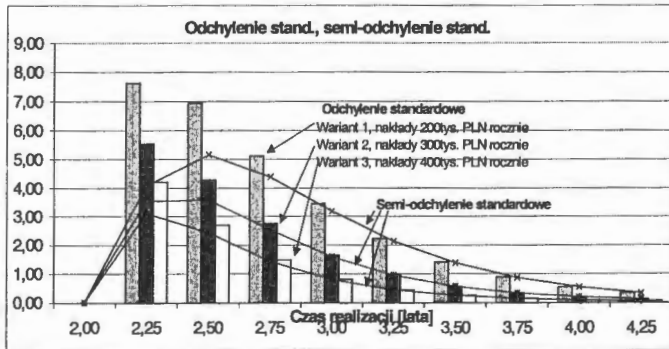


Rys. 6. Nakłady, efekty, prawdopodobieństwo sukcesu

Wykresy zamieszczone na Rys. 7, 8 i 9 związane są z analizą wielokryterialną. Rys. 7 i 8 przedstawiają kryteria rozpatrywane w tej analizie: wartość oczekiwanej stopy zwrotu, która jest maksymalizowana, oraz reprezentującego ryzyko – semi-odchylenia standardowego. Wartości tych kryteriów pokazano w



Rys. 7. Wartość oczekiwana stopy zwrotu

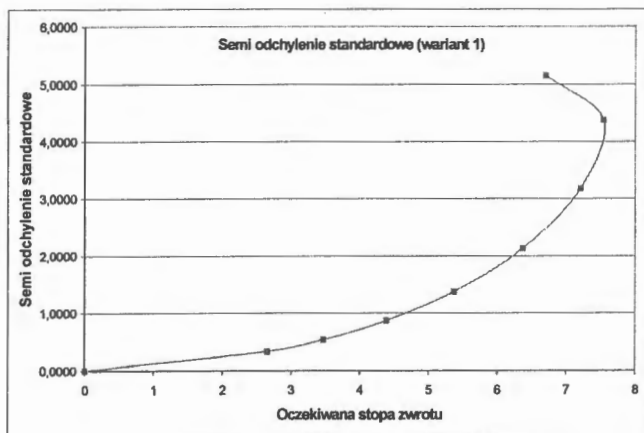


Rys. 8. Odchylenie standardowe i semi-odchylenie

zależności od czasu trwania realizacji projektu, dla trzech wariantów strumienia nakładów. Zauważmy, że istnieje optimum wartości oczekiwanej ze względu na czas realizacji (2,5 do 2,75 roku w zależności od wariantu), przy czym odchylenie standardowe maleje w przybliżeniu wykładniczo do zera ze

wzrostem czasu T . Próba realizacji projektu w czasie 2 lat jest z góry skazana na porażkę ($R = -1$).

Na Rys. 8. semi-odchylenie standardowe jest porównane z klasycznie przyjmowanym odchyleniem standardowym. Dla dłuższych okresów realizacji projektu, wartości obu tych wielkości są bliskie sobie i maleją, gdy prawdopodobieństwo sukcesu dąży do 1, a stopa zwrotu maleje do 0. Zdarzenie, że projekt nie powiedzie się w czasie 2 lat (i krótszym) jest pewne, stąd zerowa wartość odchylenia w tym przypadku, przy ujemnej (-1) stopie zwrotu.

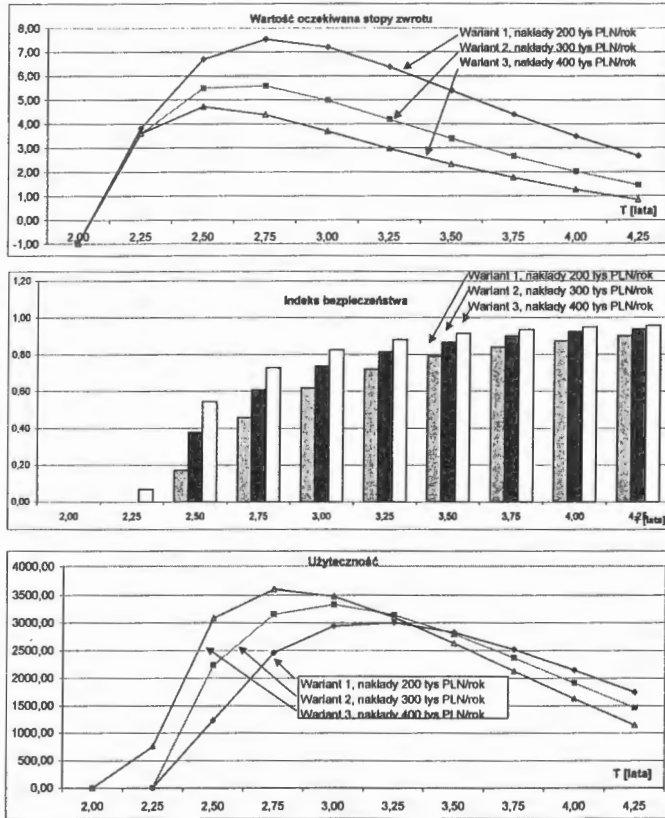


Rys. 9. Semi-odchylenie standardowe w relacji do oczekiwanej stopy zwrotu.

Na Rys. 9 przedstawiono fragment przestrzeni kryteriów, w której pokazano oszacowanie brzegu zbioru osiągalnych wartości oczekiwanej stopy zwrotu i semi-odchylenia standardowego. Południowo-wschodnia część tego zbioru reprezentuje rozwiązania Pareto optymalne. Elementy tego zbioru paretońskiego mogą być efektywnie wyznaczone i analizowane w sposób interakcyjny przy wykorzystaniu omawianego wcześniej podejścia punktu referencyjnego.

Rys. 10 ilustruje podejście funkcji użyteczności. Wyniki podane na tym rysunku umożliwiają analizę realizacji projektu, uwzględniającą oczekiwaną wartość stopy zwrotu, indeks bezpieczeństwa związany z realizacją projektu, oraz osiąganą użyteczność rozwiązania. Użyteczność wyznaczano przyjmując

parametry $\kappa = 0,8$, $\beta = 0,5$. Jak wspomniano, wartość oczekiwana stopy zwrotu finansowego ma swoje maksimum i maleje dla czasów realizacji powyżej 2,75



Rys. 10. Wartość oczekiwana stopy zwrotu, indeks bezpieczeństwa, użyteczność.

roku. Poziom bezpieczeństwa przyjmuje wartości 0 dla $T=2$ i rośnie asymptotycznie do wartości 1 dla długich okresów realizacji. Wykresy przedstawiające użyteczność mają swoje maksima. Zauważmy, że przy nakładach rzędu 200 tys. PLN rocznie, optymalny, planowany czas realizacji

projektu wynosi 3,25 roku. Zwiększenie nakładów do 400 tys. PLN rocznie wiąże się ze skróceniem optymalnego planowanego czasu realizacji do 2.75 roku i zwiększa użyteczność z 3 mln. PLN do ponad 3,6 mln. PLN.

PODSUMOWANIE

W pracy rozpatrzono problem analizy finansowej przedsięwzięć innowacyjnych. Przedstawiono rozwinięcie modelu uwzględniającego ryzyko niepowodzenia projektu. Dotyczy ono w szczególności algorytmicznego wyznaczania prawdopodobieństwa sukcesu realizacji projektu składającego się z wielu operacji, przy wykorzystaniu ocen ekspertów. Model stanowi element systemu komputerowego wspomagającego analizę decyzyjną. Uwzględniono dwa stosowane podejścia: podejście wielokryterialne oraz podejście funkcji użyteczności. Przedstawiono wybrane wyniki systemu uzyskane w trakcie analizy konkretnego projektu celowego.

Aktualne prace obejmują: 1. analizę przedsięwzięć innowacyjnych, jako składowych w szerszym portfelu inwestycji rozpatrywanym przez inwestora, 2. analizę tych przedsięwzięć z uwzględnieniem kilku stron zaangażowanych w ich realizację, wyznaczenie i analizę rozwiązań kooperacyjnych, przy wykorzystaniu metod teorii gier.

LITERATURA

1. Coombs, C.H., Daves R.M., Tversky A. (1970) *Mathematical Psychology*, Prentice Hall, Inc.
2. Francis J. C., (1991) *Investment Analysis and Management*. McGraw Hill Inc., 5-th Edition.
3. Krus, L. (1996) *Multicriteria Decision Support in Negotiations*. *Control and Cybernetics* Vol. (1996) No. 6, 1245-1260.
4. Krus L. (2001) *Eksperymentalny system wspomagający analizę finansową projektów innowacyjnych*. System komputerowy, IBS PAN, Warszawa.
5. Krus L. (2002) *A System Supporting Financial Analysis of an Innovation Project in the Case of Two Negotiating Parties*, *Bulletin of Polish Academy of Sciences, Ser. Technical Sciences*, Vol. 50, No. 1, 93-108.

6. Kulikowski R. (2000), *Optimum Safety/return Principle and Applications*. Bulletin of Polish Academy of Sciences, Ser. Technical Sciences, Vol. 48, No 2, Warsaw.
7. Kulikowski R. (2002); URS Methodology - a tool for simulation of economic growth by innovations. Bulletin of Polish Academy of Sciences, Ser. Technical Sciences, Vol. 50, No. 1, 80-92.
8. R.Kulikowski, L.Kruś (2002): "Optymalizacja inwestowania w projekty innowacyjne z uwzględnieniem ryzyka", w Modelowanie preferencji a ryzyko 2001 (red. T. Trzaskalik), Akademia Ekonomiczna im. K. Adamieckiego, Prace naukowe. Katowice.
9. R.Kulikowski, L.Kruś, J.Studziński (2001), Metodologia oceny projektów innowacyjnych na przykładzie projektu celowego realizowanego w MPWiK w Rzeszowie. W : Rozwój i zastosowania technologii i systemów informatycznych. Red.: J.Studziński, L.Drelichowski i O.Hryniewicz, IBS PAN, Seria: Badania Systemowe, tom 28, ss. 336-346.
10. Ogryczak W., A. Ruszczyński (1998) From Stochastic Dominance to Mean Risk Models: Semideviations as Risk Measures. Technical Report. Institute of Informatics, Warsaw University. Poland, No. 242.
11. Savage L.J. (1954) The foundations of statistics. Wiley, New York.
12. Sharpe W., G. Alexander, J. Bailey (1995) Investments. 5th edition. Englewood Cliffs: Prentice Hall.
13. Studziński J. (2001) Raport końcowy z realizacji projektu celowego Nr 8 T11C 017 97 C/3703. IBS PAN, Warszawa.
14. Tversky A. (1967) Utility theory and additivity analysis of risky choices. Journal of Experimental Psychology, 75, 27-37.
15. Wierzbicki, A.P. (1986). On the Completeness and Constructiveness of Parametric Characterization to Vector Optimization Problems OR-Spectrum, 8, 73-87.
16. Wierzbicki A., Makowski M., Wessels J., (2001) Model Based Decision Support Methodology with Environmental Applications. Kluwer Acad. Publ.
17. Von Neuman J., Morgenstern O. (1947) Theory of games and economic behaviour. Princeton Univ. Press.

