Zeszyty Naukowe
Wyższej Szkoły Bankowej we Wrocławiu
Nr 20/2011

Zygmunt Przybycin

Wyższa Szkoła Bankowa we Wrocławiu

Zarządzanie ryzykiem projektów inwestycyjnych

Streszczenie. Inwestycje to główny czynnik kreowania pozycji konkurencyjnej przedsiębiorstwa na rynku. Każda inwestycja, w tym inwestycja rzeczowa, obarczona jest ryzykiem. Racjonalne zarządzanie ryzykiem inwestycji przesądza o jej efektywności ekonomicznej. Zarządzanie ryzykiem inwestycyjnym może odbywać się już na etapie projektowania inwestycji. Możliwości takie stwarzają modele oceny efektywności projektów inwestycyjnych. W artykule zaproponowane zostały modele oceny projektów inwestycyjnych w aspekcie zarządzania ryzykiem.

Słowa kluczowe: projekt inwestycyjny, ryzyko projektu, ryzyko rozmyte, NPV probabilistyczny, NPV rozmyty, zarządzanie ryzykiem

Wstęp

Podstawowym celem działalności przedsiębiorstwa w gospodarce rynkowej jest utrzymanie pozycji konkurencyjnej na rynku, a nawet osiągnięcie przewagi. Warunkiem koniecznym utrzymania pozycji konkurencyjnej jest szybkie, skuteczne reagowanie na sygnały rynkowe. Elastyczne reagowanie przedsiębiorstwa na sygnały rynkowe uwarunkowane jest prowadzeniem racjonalnej polityki

inwestycyjnej. Inwestycja według W. Rogowskiego to długookresowa obarczona ryzykiem alokacja środków finansowych w celu osiągnięcia korzyści w przyszłości.

W przytoczonej definicji inwestycji oprócz elementu czasu oraz elementu psychologicznego (wyrzeczenie się wyniku pewnego na rzecz przyszłych korzyści) występuje niepewność osiągnięcia założonego celu.

Niepewność, a w szczególności ryzyko przedsięwzięcia inwestycyjnego, ma istotny wpływ na wynik finansowy przedsiębiorstwa, a w konsekwencji na jego wartość, stąd bierze się coraz większe zainteresowanie metodami zarządzania ryzykiem procesu inwestowania. Do skutecznych metod zarządzana ryzykiem inwestowania zalicza się modele oceny efektywności ekonomicznej projektów inwestycyjnych.

Projekt inwestycyjny jest wzorem, według którego inwestycja ma być wykonana. Zawiera szereg istotnych założeń technicznych oraz finansowo-ekonomicznych związanych z zamierzoną inwestycją rzeczową, a w szczególności:

- cel inwestowania,
- niezbędne nakłady do realizacji przedsięwzięcia inwestycyjnego,
- wielkość i strukturę finansowania przedsięwzięcia inwestycyjnego,
- harmonogram przebiegu prac,
- kryteria i metody oceny efektywności ekonomicznej inwestycji.

Wymierne kryteria oceny efektywności ekonomicznej inwestycji mają istotne znaczenie w decyzjach inwestycyjnych przedsiębiorstwa, fakt ten wręcz wymusza rozwój metodyki badania efektywności inwestycji. Rozwój teorii podejmowania decyzji oraz technik obliczeniowych pozwala na budowę coraz lepszych modeli oceny efektywności projektów inwestycyjnych. Modele te są z natury rzeczy coraz bardziej skomplikowane, gdyż uwzględniają coraz większą liczbę zmiennych oraz w coraz większym stopniu złożone warunki gospodarowania. Oznacza to z jednej strony lepsze dopasowanie modelu do rzeczywistości, a z drugiej – ograniczony zakres zastosowań wyznaczony dostępnością danych opisujących zdarzenia występujące w przedsiębiorstwie i jego otoczeniu. Należy w tym miejscu zaznaczyć, że wybór modelu powinien być podyktowany względami merytorycznymi i praktycznymi, gdyż nieuzasadnione zastosowanie modelu na ogół prowadzi do błędnych decyzji.

Podstawą rachunku opłacalności inwestycji jest strumień przepływów pieniężnych netto generowany przez inwestycję. Wartość strumienia pieniężnego generowanego przez inwestycję jest funkcją czasu. Modele oceny efektywności ekonomicznej inwestycji, które przyjmują w obliczeniach stałą wartość strumienia pieniężnego, to modele statyczne, natomiast te, które uwzględniają zmienną wartość strumienia pieniężnego, to modele dynamiczne. Różnica pomiędzy sposobami traktowania strumienia przepływów pieniężnych skutkuje tym, że w modelach statycznych nie uwzględnia się dynamiki zjawisk występujących

w otoczeniu przedsiębiorstwa (inflacja, zmiana stóp procentowych, kursy walut…) oraz czynnika czasu i ryzyka Zarówno nakłady inwestycyjne, jak i przychody z inwestycji nie są jednakowo cenne, ponieważ nie występują w tym samym czasie. Czynnik czasu różnicuje więc znacznie opłacalność projektów posiadających tę samą masę zysków, ale różniących się strukturą czasową. Z tego względu modele statyczne są rzadko stosowane, nadają się tylko do oceny przedsięwzięć inwestycyjnych stosunkowo prostych i krótkookresowych. Modele dynamiczne, chociaż wymagają dodatkowej wiedzy ekonomicznej i finansowej o projekcie inwestycyjnym i często skomplikowanych obliczeń, są bardziej przydatne w ocenie przedsięwzięcia inwestycyjnego aniżeli modele statyczne. Istotą modeli dynamicznych jest zastosowanie w nich dyskonta. Podstawy dyskonta wynikają z dynamiki zjawisk i procesów ekonomiczno-finansowych zachodzących w gospodarce rynkowo-kapitałowej, a więc procesów wzrostu i akumulacji kapitału oraz funkcjonowania rynków finansowych. Dyskonto daje możliwość porównywalności wyrazów strumienia pieniężnego generowanego przez inwestycję, co skutkuje lepszym dopasowaniem modelu do procesów i zjawisk występujących w procesie inwestowania. Każde przedsięwzięcie inwestycyjne obarczone jest ryzykiem, co wynika z faktu, że teraźniejszość jest dobrze określona, natomiast przyszłość jest zawsze niewiadoma. Jeżeli nakłady inwestycyjne można w miarę precyzyjnie oszacować (dotyczą teraźniejszości), to przychody z inwestycji są trudne do precyzyjnego oszacowania (ich realizacja wystąpi dopiero w przyszłości), stąd strumień przepływów pieniężnych może być nieprecyzyjnie oszacowany. Modele oceny efektywności ekonomicznej projektów inwestycyjnych, w których zakłada się, że strumień przepływów pieniężnych jest procesem ściśle określonym (zakłada się pewność oceny nakładów i przychodów), nazywane są modelami zdeterminowanymi. Założenie to jest w praktyce trudne do utrzymania, z uwagi na złożoność i zmienność procesów gospodarczych. Alternatywą dla modeli zdeterminowanych są modele niezdeterminowane, w których dopuszcza się, że strumień przepływów pieniężnych nie jest precyzyjnie określony. Modele, w których strumień przepływów pieniężnych jest procesem stochastycznym, nazywać będziemy modelami probabilistycznymi, natomiast modele, w których strumień przepływów pieniężnych traktowany jest w kategoriach rozmytych, nazywać będziemy modelami rozmytymi. Modele niezdeterminowane teoretycznie bardziej poprawne aniżeli modele zdeterminowane są trudne w zastosowaniach. Trudność ta powstaje na etapie oszacowania strumienia przepływów pieniężnych generowanych przez inwestycję. Proces inwestowania jest procesem niepowtarzalnym, stąd metody statystyczne (brak danych statystycznych) są w zasadzie bezużyteczne. Strumień przepływów pieniężnych szacowany na podstawie wiedzy eksperckiej to szacunek subiektywny. Z uwagi na fakt, że modele oceny efektywności ekonomicznej projektów inwestycyjnych są wrażliwe na dane, wydaje się, że wrażliwość ta jest znacznie większa w klasie modeli

niezdeterminowanych, co oznacza, że ich stosowanie w praktyce powinno być bardzo ostrożne.

Niezdeterminowane modele oceny efektywności ekonomicznej projektów inwestycyjnych

Rachunek efektywności ekonomicznej przedsięwzięcia inwestycyjnego opiera się na znajomości strumienia przepływów pieniężnych netto generowanego przez inwestycję, strumień ten określamy następująco:

$$CF_t = W_t^P - W_t^D, \quad t = 0, 1, 2, \ldots n, \tag{1}$$

gdzie:

W_t^D – wydatki (nakłady) generowane przez inwestycję w okresie t,
W_t^P – przychody generowane przez inwestycję w okresie t,
n – okres życia inwestycji.

Strumień przepływów pieniężnych netto $\{CF_t\}$ będziemy nazywali konwencjonalnym wtedy, gdy zmiana znaku srtrumienia (z ujemnego na dodatni) występuje tylko raz. Drugim parametrem mającym wpływ na proces decyzyjny inwestycji jest koszt kapitału. Koszt kapitału to taka stopa zysku, którą przedsiębiorstwo musi uzyskać w wyniku realizacji inwestycji, aby jego wartość rynkowa nie zmniejszyła się. Inaczej mówiąc to cena płacona za wykorzystanie kapitału, który zwiększa wartość rynkową przedsiębiorstwa.

W literaturze przedmiotu wymienia się kilka modeli oceny efektywności projektów inwestycyjnych. W opracowaniu ograniczymy się tylko do modelu, który w praktyce występuje najczęściej, a mianowicie: wartości zaktualizowanej netto (*Net Prezent Value – NPV*), mając nadzieję, że zaproponowaną koncepcję zarządzania ryzykiem projektu inwestycyjnego można przenieść na inne modele.

Wartość zaktualizowana netto to aktualna (obecna) wartość strumienia pieniężnego generowanego przez inwestycję, wyznaczona łącznie dla całego okresu trwania inwestycji przy zadanej stopie dyskontowej. Formalnie wartość zaktualizowaną netto zapisujemy:

$$NPV = \sum_{t=0}^{n} CF_t df_t, \tag{2}$$

gdzie:

$\{CF_t\}$ – strumień przepływów pieniężnych netto generowany przez inwestycję,
n – okres życia inwestycji,
$df_t = (1+r)^{-t}$ – czynnik dyskontujący,
r – stopa dyskontowa.

W wzorze (2) przyjmuje się, że stopa dyskontowa jest stała w całym okresie trwania inwestycji. Założenie to w praktyce jest mało realne z uwagi na zmieniające się warunki rynkowe. Jeżeli dopuścimy zmienność stopy procentowej w podokresach trwania inwestycji, to wzór (2) przyjmie postać:

$$NPV = \sum_{t=0}^{n} CF_t df_t \,, \tag{3}$$

gdzie czynnik dyskontujący jest postaci: $df_t = \prod_{i=0}^{t} (1 + r_i)^{-i}$, r_i – stopa dyskontowa w i-tym podokresie.

Stopę dyskontową w każdym podokresie wyznaczamy na poziomie prognozy, uwzględniając dane statystyczne oraz opinie ekspertów.

Projekt inwestycyjny przyjmujemy do realizacji, jeżeli *NPV* jest większe od zera. Dodatnia wartość *NPV* oznacza, że stopa rentowności ocenianego przedsięwzięcia inwestycyjnego jest wyższa od stopy granicznej (stopa ta odzwierciedla graniczną, wymaganą przez inwestora rentowność przedsięwzięcia rozwojowego). Ujemna wartość *NPV* świadczy o niższej stopie rentowności inwestycji aniżeli stopa graniczna, z punktu widzenia interesów przedsiębiorstwa taka inwestycja jest więc nieopłacalna. Zastosowanie modelu *NPV* do oceny inwestycji wymaga oszacowania kosztu kapitału, który stanowi jednocześnie przesłankę do oceny stopy dyskontowej przyjętej w rachunkach opłacalności. Stopa ta nigdy nie może być niższa niż koszt kapitału.

Rozpatrując niezdeterminowane projekty inwestycyjne przyjmuje się, że nakłady są zdeterminowane lub nie, natomiast wpływy z inwestycji są niezdeterminowane (losowe lub rozmyte). Konsekwencją takiego traktowania nakładów i wpływów generowanych przez inwestycje jest to, że strumień przepływów pieniężnych netto jest niezdeterminowany. Modele oceny projektów inwestycyjnych, w których strumień przepływów pieniężnych jest losowy lub rozmyty, stwarzają możliwość kwantyfikowania ryzyka projektu inwestycyjnego, w konsekwencji zarządzanie nim. Przyjmuje się bowiem, że stopa zwrotu z inwestycji jest zależna od ryzyka projektu – jest funkcją ryzyka.

1. *NPV* probabilistyczny – *PNPV*

Wartość zaktualizowana netto jest skutecznym modelem oceny efektywności projektu inwestycyjnego pod warunkiem, że wszystkie wyrazy szeregu $\{CF_t\}$ są precyzyjnie określone. Praktyka pokazuje, że przyjęty warunek jest rzadko spełniony. Można natomiast spotkać sytuację, gdy wyrazy strumienia przepływów pieniężnych są zmiennymi losowymi o znanym rozkładzie prawdopodobieństwa, skończoną wartością oczekiwaną i skończoną wariancją. Z uwagi na specyfikę projektów inwestycyjnych rozkład ten jest subiektywny, gdyż wyznaczany jest

w decydującej liczbie przypadków przez ekspertów. Model, w którym strumień przepływów pieniężnych jest losowy, nazywać będziemy modelem probabilistycznym i oznaczać symbolem *PNPV*.

NPV probabilistyczny określa się następująco:

$$PNPV = \sum_{t=0}^{n} CF_t df_t \,, \tag{4}$$

gdzie:

CF_t – losowy strumień przepływów pieniężnych,
$df_t = (1+r)^{-t}$ – czynnik dyskontujący,
r – stopa dyskontowa,
n – czas życia projektu.

PNPV jest oczywiście zmienną losową.

Ocenę wartości zaktualizowanej netto projektu przyjmujemy na poziomie wartości oczekiwanej, to jest:

$$E(PNPV) = \sum_{t=0}^{n} E(CF_t) df_t \,, \tag{5}$$

gdzie:

$E(PNPV)$ – wartość oczekiwana zmiennej losowej *PNPV*,
$E(CF_t)$ – wartość oczekiwana zmiennej losowej CF_t, $t = 0, 1, 2, \ldots, n$,
df_t – czynnik dyskontujący,
n – czas życia projektu.

W przypadku *NPV* probabilistycznego istnieje możliwość kwantyfikacji ryzyka projektu inwestycyjnego. Miarą tą może być np. odchylenie standardowe *PNPV*, które wyznaczamy zgodnie z wzorem:

$$S(PNPV) = \sqrt{S^2(PNPV)}, \tag{6}$$

przy czym:

$$S^2(PNPV) = \sum_{t=0}^{n} d^2 f_t S^2(CF_t) + \sum_{t=0}^{n-1} \left(\sum_{i=t+1}^{n} r_{t,i} df_t df_i S(CF_t) S(CF_i) \right),$$

gdzie:

$S^2(.)$ – wariacja zmiennej losowej,
$r_{i,j}$ – współczynnik korelacji zmiennych losowych CF_i oraz CF_j,
pozostałe symbole jak we wzorze (5).

W przypadku gdy zmienne losowe CF_t tworzą układ niezależnych zmiennych losowych, wówczas wzór (6) przyjmuje postać:

$$S^2(PNPV) = \sum_{t=0}^{n} d^2 f_t S^2(CF_t). \tag{7}$$

Syntetyczną miarą ryzyka projektu inwestycyjnego jest współczynnik zmienności określany następująco:

$$V_{PNPV} = S(PNPV)/E(PNPV). \tag{8}$$

Współczynnik zmienności określa wielkość ryzyka projektu inwestycyjnego przypadającą na jednostkę wartości średniej zmiennej losowej *PNPV*. Znajomość współczynnika zmienności V_{PNPV} umożliwia zarządzanie ryzykiem projektu inwestycyjnego, które polega na korekcie stopy dyskontowej. Korekta stopy dyskontowej wyraża premię za ponoszone ryzyko przez inwestora. Ostatecznie stopa dyskontowa jest funkcją współczynnika zmienności – funkcją ryzyka (tab. 1).

Zarządzanie ryzykiem projektu inwestycyjnego jest dwuetapowe.

W pierwszym etapie wyznaczamy współczynnik zmienności *PNPV* przy stopie dyskontowej przyjętej przez inwestora bez uwzględnienia ryzyka.

W drugim etapie wyznaczamy ponownie *PNPV*, ale przy skorygowanej stopie dyskontowej zgodnie z tabelą 1.

Skorygowana stopa dyskontowa w zasadzie jest wyższa od stopy dyskontowej przyjętej przez inwestora, co skutkuje zaostrzeniem kryterium oceny projektu inwestycyjnego.

Tabela 1. Funkcja ryzyka

V_{PNPV}	**Stopa dyskontowa**
0,0–0,1	8
0,1–0,3	9
0,3–0,5	11
0,5–0,7	14
0,7–0,9	18
0,9–1,1	23
1,1–1,4	30

Ź r ó d ł o: M. Dobija, *Rachunkowość zarządcza i kontroling*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1997.

Zarządzanie ryzykiem projektu inwestycyjnego ilustruje poniższy przykład.

Przykład

Rozważmy dwuletnią inwestycję, która generuje nakład inwestycyjny w wysokości 3000, stopę zwrotu z tej inwestycji inwestor ustalił na poziomie 7%. Wpływy z inwestycji są losowe, ich rozkład prawdopodobieństwa zawiera tabela 2.

Tabela 2. Rozkład prawdopodobieństwa wpływów

Rok	Wpływy W_t^p	Prawdopodobieństwo
1	2000	0,2
	2500	0,6
	3000	0,2
2	2500	0,1
	3000	0,2
	3500	0,4
	4000	0,2
	4500	0,1

Na podstawie danych z tabeli 2 wyznaczymy wartość oczekiwaną i odchylenie standardowe strumienia $\{CF_t\}$, $t = 1, 2$.

Wartość oczekiwana wpływów z inwestycji w poszczególnych latach wynosi: $E(CF_1) = 2300$, $E(CF_2) = 3500$, ($E(CF_0) = -3000$). Odchylenia standardowe wynoszą odpowiednio: $S(CF_1) = 374{,}2$, $S(CF_2) = 547{,}7$. Zgodnie z (5) wartość oczekiwana bieżącej wartości projektu inwestycyjnego równa jest 2219,8 i jest większa od zera. Ostateczną decyzję o realizacji projektu inwestycyjnego można podjąć po uwzględnieniu ryzyka. W tym celu wyznaczymy współczynnik zmienności zmiennej losowej *PNPV*, który dla rozważanego przykładu wynosi $V_{PNPV} = 0{,}28$. Ryzyko projektu inwestycyjnego można uznać jako średnie. W celach ostrożnościowych należy zaostrzyć kryterium *PNPV* przez korektę stopy dyskontowej. Zgodnie z tabelą 1 stopę dyskontową przyjmujemy na poziomie 9% i ponownie wyznaczamy $E(PNPV)$. Ostatecznie wartość oczekiwana zaktualizowanej wartości netto projektu wynosi 1151,7 i ponieważ jest większa od zera, więc projekt można przyjąć do realizacji. Premią za ryzyko podjęte przez inwestora jest większa stopa dyskontowa (jest o jeden punkt procentowy wyższa od stopy dyskontowej wymaganej przez inwestora).

2. *NPV* rozmyty – *FNPV*

Jeżeli informacje o przychodach generowanych są nieostre (są liczbami rozmytymi), to strumień pieniężny generowany przez inwestycję jest szeregiem rozmytym. Szereg ten będziemy oznaczali następująco: $\{\widetilde{CF}_t\}$, $t = 0, 1, \ldots, n$ (wężyk nad symbolem oznacza jego rozmytą wersję). Model *NPV*, w którym strumień przepływów pieniężnych generowanych przez inwestycję jest rozmyty, będziemy nazywali rozmytym modelem wartości zaktualizowanej netto i oznaczali symbolem *FNPV*.

Wartość zaktualizowana netto jako suma zdyskontowanych przepływów rozmytych jest liczbą rozmytą, wyznaczamy ją zgodnie z wzorem:

$$\widetilde{NPV} = \sum_{t=0}^{n} \widetilde{df}_t \widetilde{CF}_t, \tag{9}$$

gdzie:

$\widetilde{NPV}$ – rozmyta wartość zaktualizowana netto,
$\{\widetilde{CF}_t\}$ – rozmyty strumień przepływów pieniężnych,
$\{\widetilde{df}_t\} = (1+\tilde{r})^{-t}$ – rozmyty czynnik dyskontujący,
$\tilde{r}$ – rozmyta stopa dyskontowa,
n – czas życia projektu.

We wzorze (9) określającym rozmyty *NPV* stopa dyskontowa jest liczbą rozmytą, dopuszczamy więc sytuację, gdzie stopa dyskontowa nie jest precyzyjnie określona. Liczbę rozmytą w sposób jednoznaczny wyznacza funkcja przynależności.

Do wyznaczenia funkcji przynależności *FNPV* ma zastosowanie zasada rozszerzenia[1] oraz zasada dekompozycji[2].

Niech $f(.)$ będzie funkcją n zmiennych rozmytych. Jeżeli $f(.)$ jest funkcją ciągłą, to:

$$\tilde{y} = f(\tilde{r}_1,...,\tilde{r}_n) \text{ jest zmienną rozmytą.}$$

Funkcję przynależności rozmytej zmiennej $\tilde{y} = f(\tilde{r}_1,...,\tilde{r}_n)$ zgodnie z zasadą rozszerzania wyznaczamy według wzoru:

$$u_{\tilde{y}} = \sup\min[u_{\tilde{r}_{1(x)}},...,u_{\tilde{r}_{n(x)}}], \text{ sup min przeprowadzane jest po } x \in R, y \in R, \tag{10}$$

gdzie $u_{\tilde{r}_{i(x)}}$ są funkcjami przynależności rozmytych zmiennych $\tilde{r}_i$.

Funkcję przynależności rozmytej zmiennej będącą funkcją zmiennych rozmytych według zasady rozszerzania wyznacza się poprzez funkcje rozmyte zmiennych objaśniających. Wyznaczenie analitycznej postaci funkcji przynależności według (10) w ogólnym przypadku nie zawsze jest możliwe. Możliwość taka istnieje dla wybranych klas zmiennych rozmytych, w szczególności dla rozmytych liczb trójkątnych.

Będziemy dalej zakładali, że wszystkie wyrazy szeregu rozmytego $\{\widetilde{CF}_t\}$ oraz stopa dyskontowa są rozmytymi liczbami trójkątnymi typu L – R.

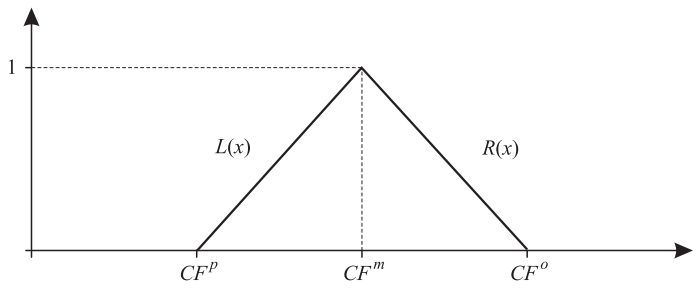
W szczególności jeżeli $\widetilde{CF}$ jest trójkątną liczbą rozmytą L – R, to zapisujemy ją w postaci:

$$\widetilde{CF} = (CF^p, CF^m, CF^o), \tag{11}$$

gdzie: CF^p, CF^m, CF^o oznaczają odpowiednio pesymistyczną, najbardziej możliwą oraz optymistyczną wartość liczby rozmytej. Jeżeli ponadto funkcje $L(.)$ oraz $R(.)$ są liniowe, to graficzną postać rozmytej liczby trójkątnej ilustruje rysunek 1.

[1] L. Zadech, *Fuzzy sets*, „Information Control" 1965, no. 8.

[2] Z. Zmeskal, *Value at Risk methodology of international index port folio under soft conditions*, „International Review of Financial Analysis" 2005, no. 14.



Rys. 1. Trójkątna liczba rozmyta

Do wyznaczenia analitycznej postaci funkcji przynależności w klasie liczb rozmytych trójkątnych ma zastosowanie zasada dekompozycji.

Zgodnie z nią, funkcja przynależności rozmytej zmiennej $\tilde{y}$ wyraża się wzorem:

$$u_{\tilde{y}} = \sup\{\alpha I_{\tilde{r}\alpha}; \tilde{y} \in \tilde{r}^{\alpha}\} \text{ dla dowolnych } y \in R^n \text{ oraz } \alpha \in \langle 0,1 \rangle, \tag{12}$$

gdzie $I_{\tilde{r}\alpha}$ jest funkcją charakterystyczną przekroju $\tilde{r}^{\alpha}$.

Przekrój poziomu α zbioru rozmytego o funkcji przynależności $u_{\tilde{r}}$ określamy następująco: $\tilde{r}^{\alpha} = \{x \in R; u_{\tilde{r}}(x) \geq \alpha\}$.

Jest to więc zbiór ostry, który dla liczb trójkątnych jest przedziałem postaci:

$$\tilde{r}^{\alpha} = \langle -r^{\alpha}; +r^{\alpha} \rangle,$$

gdzie: $-r^{\alpha} = \inf\{x \in R; u_{\tilde{r}}(x) \geq \alpha\}$, $+r^{\alpha} = \sup\{x \in R; u_{\tilde{r}}(x) \geq \alpha\}$.

Wobec przyjętych założeń oraz własności algebraicznych trójkątnych liczb rozmytych, $\widetilde{NPV}$ jest również trójkątną liczbą rozmytą o funkcji przynależności wyznaczonej zgodnie z zasadą rozszerzania i zasadą dekompozycji. Ostatecznie *NPV* rozmyty zapisujemy następująco:

$$\widetilde{NPV} = (NPV^p, NPV^m, NPV^o). \tag{13}$$

W przypadku *NPV* rozmytego występuje niepewność osiągnięcia celu inwestycji – niepewność tę będziemy nazywali ryzykiem rozmytym.

Miarę ryzyka rozmytego definiujemy następująco:

$$S(\widetilde{NPV}) = ½(NPV^o - NPV^p). \tag{14}$$

Dodatkowo określamy współczynnik zmienności wzorem:

$$V_{NPV} = S(\widetilde{NPV})/\widetilde{NPV} \quad (\text{np. } \widetilde{NPV} = NPV^m). \tag{15}$$

Analogicznie do przypadku *NPV* probabilistycznego można zarządzać ryzykiem rozmytym projektu inwestycyjnego korygując stopę dyskontową, która

również jest funkcją współczynnika zmienności. Należy tutaj wyraźnie zaznaczyć, że wielkości rozmyte występujące w modelu rozmytym są subiektywne, gdyż szacowane są przez ekspertów. Fakt ten z jednej strony stwarza niebezpieczeństwo błędnej oceny projektu inwestycyjnego, z drugiej jednak jest szansą poprawnej prognozy wpływów generowanych przez inwestycję w przypadku, gdy modele ekonometryczne są bezradne, co ma miejsce w warunkach niestabilnej gospodarki.

Podsumowanie

Jeżeli zgodzimy się z definicją inwestycji podaną przez W. Rogowskiego, to musimy zaakceptować niepewność osiągnięcia celu inwestycji. Ryzyko – niepewność mierzalna – jest zjawiskiem, którym można, a nawet trzeba zarządzać. Warunkiem koniecznym zarządzania ryzykiem inwestycji rzeczowych jest jego kwantyfikacja. Dlatego też zasadne wydaje się poszukiwanie takich metod, które umożliwiają pomiar ryzyka, a w dalszej konsekwencji zarządzanie nim. Zaproponowane modele: *NPV* probabilistyczny oraz *NPV* rozmyty są niewątpliwie modelami, za pomocą których można na etapie projektowania inwestycji uwzględnić ryzyko. Model *NPV* rozmyty wymaga jeszcze weryfikacji empirycznej, w szczególności należy w drodze badań empirycznych określić funkcję ryzyka.

Literatura

Dobija M., *Rachunkowość zarządcza i kontroling*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1997.

Marcinek K., *Ryzyko projektów inwestycyjnych*, AE, Katowice 2001.

Matematyka i statystyka finansowa, red. E. Nowak, Fundacja Rozwoju Rachunkowości w Polsce, Warszawa 1997.

Ostrowska E., *Ryzyko projektów inwestycyjnych*, PWE, Warszawa 2002.

Rogowski W., *Rachunek efektywności przedsięwzięć inwestycyjnych*, Oficyna Ekonomiczna, Kraków 2004.

Zadech L., *Fuzzy sets*, „Information Control" 1965, no. 8.

Zmeskal Z., *Value at Risk methodology of international index port folio under soft conditions*, „International Review of Financial Analysis" 2005, no. 14.