

Adam Sojda

Politechnika Śląska

Rozmyte metody oceny projektów inwestycyjnych w przedsiębiorstwie górniczym*

Streszczenie. Podczas kryzysu gospodarczego przedsiębiorstwa poszukują nowych metod wyceny i oceny projektów inwestycyjnych. Nowe metody powinny uwzględniać zarówno ryzyko, jak i elastyczność w podejmowaniu decyzji. W artykule przedstawiono metody wykorzystujące liczby rozmyte bazujące na trzech scenariuszach przepływów finansowych. Metody zobrazowano przykładem związanym z górnictwem węgla kamiennego.

Słowa kluczowe: metody rozmyte, NPV, metoda pay-off, projekt inwestycyjny, przedsiębiorstwo górnicze

Wstęp

Koniec pierwszej dekady XXI w., to czas kryzysu finansowego i gospodarczego odejmującego swoim zasięgiem cały świat. Szczególnie w sytuacji, gdy atmosfera kryzysu i niepewnej przyszłości jest wszechobecna, pojawia się klimat sprzyjający dyskusji o sposobach uwzględnienia ryzyka oraz elastyczności decyzyjnej w ocenie prowadzonej przez przedsiębiorstwa działalności.

* Praca powstała w ramach realizacji projektu badawczego nr N N524 341640 „Metoda wyznaczania wartości kopalni węgla kamiennego” finansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki.

W przypadku kryzysu racjonalne staje się formułowanie ocen, prognozowanie przyszłości za pomocą metod scenariuszowych. Konstruowane scenariusze przy zróżnicowanych założeniach pozwalają na lepsze „zrozumienie” przyszłości. Sprzyja to zwiększeniu trafności podejmowanych decyzji, pozwala na generowanie nowych idei, pobudza procesy zmian, które są niezbędne do osiągnięcia sukcesu. Pomimo niewątpliwych zalet rozwijanych metod istnieje poważna bariera związana z ich zastosowaniem w rzeczywistych procesach decyzyjnych. Zastosowanie nowej metody, do momentu kiedy nie stanie się ona obowiązującym standardem, związane jest z pokonaniem oporu zarówno wśród zarządzających, jak i osób sporządzających dotychczasowe analizy. Dlatego też na szczególną uwagę zasługują te metody, które można łatwo zaimplementować i wykorzystać, bez konieczności ponoszenia przez przedsiębiorstwo dodatkowych nakładów.

1. Ocena projektów inwestycyjnych

Projekty inwestycyjne mogą być oceniane za pomocą różnych metod. Jednakże w przypadku projektów charakteryzujących się różnym czasem trwania i rozciągniętych w czasie najczęściej stosowanymi są metody dynamiczne, które uwzględniają zmianę wartości pieniądza w czasie. Zastosowanie tych metod pozwala porównać projekty poprzez zdyskontowanie wydatków z różnych okresów do okresu bazowego. Najpopularniejszym dynamicznym wskaźnikiem w ocenie projektów inwestycyjnych jest wskaźnik NPV (ang. *Net Present Value* – wartość bieżąca netto). Wskaźnik ten to suma zdyskontowanych przepływów finansowych netto przy określonym poziomie stopy procentowej. W przypadku oceny projektów inwestycyjnych w przedsiębiorstwie zamiast stopy procentowej stosuje się średni ważony koszt kapitału¹. Koszt kapitału określony jest przez minimalną stopę zwrotu z kapitału dla inwestora, który przeznaczają własne bądź pożyczone środki pieniężne na dane przedsięwzięcie. Wartość NPV wyznacza się na podstawie wzoru:

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+i)^t} = \sum_{t=0}^n PV_t, \quad (1)$$

gdzie:

NPV – wartość bieżąca netto,

CF_t – przepływy gotówkowe w okresie $t = 0, 1, 2, \dots, n$,

¹ M. Turek, *Modele finansowania działalności operacyjnej przedsiębiorstw górniczych*, GIG, Katowice 2011.

i – stopa dyskontowa, w przypadku inwestycji przedsiębiorstwa średni ważony koszt kapitału,

PV_t – zaktualizowany przepływ z okresu $t = 0, 1, 2, \dots, n$.

Zastosowanie do oceny projektów inwestycyjnych wskaźnika NPV bazuje na prognozach przepływów w poszczególnych okresach.

2. Ryzyko

Ryzyko jest zjawiskiem o charakterze obiektywnym i jednocześnie powszechnym w działalności gospodarczej, choć nie dotyczy ono każdej z dziedzin gospodarki w takim samym stopniu. U źródeł ryzyka znajduje się konieczność podejmowania decyzji dotyczących przyszłości w warunkach teraźniejszości. Złożoność otaczającej rzeczywistości, nie tylko gospodarczej, powoduje, że wynik działań jest funkcją zależną nie tylko od tego, jaka zostanie podjęta decyzja.

Ryzyko można rozpatrywać w aspekcie obiektywnym i subiektywnym. Poprzez ryzyko obiektywne rozumiemy względne odchylenie rzeczywistej realizacji od wartości oczekiwanej. Ta definicja ryzyka pozwala określić miary ryzyka jako miary rozproszenia, np. odchylenie standardowe, współczynnik zmienności. Za miarę można również przyjąć maksymalne prawdopodobne odchylenie rezultatu rzeczywistego od wielkości zakładanej. Te miary ryzyka można stosować przy założeniu o znajomości rozkładu straty rzeczywistej bądź też w sytuacji, kiedy obowiązuje prawo wielkich liczb (posiadamy odpowiednio dużą liczbę danych statystycznych). Ryzyko subiektywne odnosi się do niepewności opartej na osobistych uwarunkowaniach. „Ryzyko subiektywne jest indywidualną oceną szansy wystąpienia określonego rezultatu”².

3. Ryzyko w działalności górniczej

Działalność górnicza jest działalnością niepowtarzalną i wyjątkową w zakresie pozyskania surowca mineralnego. Przedsiębiorstwa górnicze inwestują w poszukiwania geologiczne, mając nadzieję na odkrycie złóż kopalin i jednocześnie zajmują się eksploatacją odkrytych złóż. Złóż kopaliny charakteryzuje się przede wszystkim: rzadkością występowania, specyficznym umiejscowieniem, nieodnawialnością, niepowtarzalnością w wielu aspektach: wielkość i jakość zasobów,

² *Ubezpieczenia. Rynek i ryzyko*, red. W. Ronka-Chmielowiec, PWE, Warszawa 2002, s. 135.

sposób zalegania, dostępność, warunków górniczo-geologicznych. Natomiast przedsięwzięcia geologiczno-górnice cechują się kapitałochłonnością – wysokie nakłady inwestycyjne związane z działalnością poszukiwawczą, pracami udostępniającymi oraz przygotowawczymi, relatywnie długimi cyklami inwestycyjnymi i okresami istnienia, brakiem elastyczności procesu produkcyjnego, zróżnicowaniem odnośnie do warunków prowadzenia eksploatacji. Występowanie niepewności odnośnie do wielkości i jakości zasobów, warunków geologiczno-górnice, zagrożeń naturalnych jest jednym z najistotniejszych źródeł ryzyka w górnictwie.

Jednym z ważniejszych elementów decydujących o niepewności w górnictwie jest stopień zbadania złoża, będący czynnikiem ryzyka, który jest jednocześnie ujęty w odpowiednie kategorie³. Planując proces produkcji, należy brać pod uwagę, że w najlepszym z opisanych warunków maksymalny błąd nie przekracza 10% w stosunku do panujących w złożu warunków geologiczno-górnice (kategoria A rozpoznania złoża). Na wynik ekonomiczny podejmowanych działań inwestycyjnych mają wpływ nie tylko koszty, ale również cena zbytu węgla oraz możliwa wielkość sprzedaży, na którą z kolei mają wpływ parametry złoża, np. wielkość i jakość węgla. Wielkości te na etapie wstępnej oceny opłacalności projektu są szacowane, zatem nie są znane ich rzeczywiste realizacje. Niepewność charakteryzująca projekty inwestycyjne w górnictwie powinna znaleźć swoje odzwierciedlenie w metodach oceny tych projektów.

4. Opcje rzeczowe

Od zaprezentowania prac F. Blacka, M. Scholesa⁴ oraz R.C. Mertona⁵ na rynkach finansowych trwa rozwój instrumentów pochodnych. Teoria wyceny opcji bazuje na obserwacji, iż wraz z napływem nowych informacji ulegać mogą zmianie zarówno warunki funkcjonowania inwestora, jak i warunki na rynku. Inwestor ma możliwość powstrzymania się od wykonania inwestycji. Z czasem zauważono oczywiste analogie pomiędzy opcjami finansowymi a możliwościami działania operacyjnego w przypadku zarządzania projektami inwestycyjnymi.

³ Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 6 lipca 2005 r. w sprawie szczegółowych wymagań, jakim powinny odpowiadać dokumentacje geologiczne złóż kopalin, Dz.U. nr 136, poz. 1151.

⁴ F. Black, M. Scholes, *The Valuation of Option Contracts and a Test of Market Efficiency*, „The Journal of Finance” 1972, No. 27, s. 399-417.

⁵ R.C. Merton Jr., *Theory of Rational Option Pricing*, „Bell Journal of Economics and Management Science” 1973, No. 4, s. 141-183.

Uznano, że postrzeganie możliwości podejmowania decyzji inwestycyjnych to pewien zestaw opcji na aktywach rzeczowych⁶. Ten paradygmat stanowił nowe podejście do wyceny i jednocześnie oceny ekonomicznej projektów inwestycyjnych. Zauważmy, że przedsiębiorstwo decydując się na realizację projektu inwestycyjnego w danej chwili decyduje się na poniesienie nieodwracalnych nakładów inwestycyjnych, realizując przy tym opcję inwestycyjną, ponieważ wyrzeka się możliwości oczekiwania na nowe informacje, które mogłyby zaważyć na podjęciu decyzji o wyborze momentu rozpoczęcia inwestycji. Ta utrata możliwości podjęcia decyzji jest swoistym kosztem, który powinien być uwzględniony podczas oceny inwestycji. Do najczęstszych rodzajów opcji rzeczowych należą:

- opcja opóźnienia – możliwość odroczenia w czasie realizacji inwestycji,
- opcja rezygnacji – możliwość zaprzestania realizacji projektu inwestycyjnego,
- opcja zamiany skali działania – zmniejszenie, zwiększenie pierwotnie zakładanej skali projektu, np. czasowe zwiększenie bądź ograniczenie wielkości produkcji⁷.

Ocena projektu jako opcji rzeczowej jest zatem oceną uwzględniającą elastyczność decyzyjną.

5. Liczby rozmyte

Bardzo często próba uchwycenia i opisu fragmentu otaczającej nas rzeczywistości tylko za pomocą jednej wartości jest niewystarczająca. Mnogość wariantów powoduje, że poszukujemy możliwości prostego i nieskomplikowanego przedstawienia spraw skomplikowanych. Jedną z takich form opisu są liczby rozmyte i zbiory rozmyte. Ta próba matematycznego ujęcia nieostrości pojęć powala zamiast kategorii „dokładnie” posłużyć się kategorią „w przybliżeniu”. Zastosowanie liczb rozmytych pozwala na wprowadzenie dyspersji jako dodatkowego elementu składającego się na liczbę rozmytą.

Definicja 1. Zbiorem rozmytym \mathbf{A} w pewnej niepustej przestrzeni \mathbf{X} nazywamy zbiór par $\mathbf{A} = \{(x, A(x); x \in \mathbf{X})\}$, w którym $A(x): \mathbf{X} \rightarrow [0;1]$ jest funkcją przynależności do zbioru rozmytego \mathbf{A} . Funkcja ta dla każdego $x \in \mathbf{X}$ określa stopień jego przynależności do zbioru rozmytego \mathbf{A} . Rozróżnia się trzy zasadnicze przypadki:

⁶ S. Mayers, *Determinations of Corporate Borrowing*, „Journal of Financial Economics” 1977, Vol. 5, No. 2, s. 147-175.

⁷ W. Rudny, *Opcje rzeczowe w procesie tworzenia wartości przedsiębiorstwa*, Wyd. Akademii Ekonomicznej w Katowicach, Katowice 2009, s. 106-110.

- pełna przynależność elementu x do zbioru rozmytego, wtedy $A(x) = 1$,
- brak przynależności elementu do zbioru rozmytego, wtedy $A(x) = 0$,
- częściowa przynależność elementu do zbioru rozmytego, wtedy $0 < A(x) < 1$.

Liczbę rozmytą można również zdefiniować poprzez podanie funkcji przynależności.

Definicja 2. Liczbą rozmytą A nazywamy dowolny zbiór rozmyty określony w przestrzeni liczb rzeczywistych \mathbf{R} za pomocą funkcji przynależności:

$$A(x) = \begin{cases} 0 & \text{dla } x \leq a, \\ f_A(x) & \text{dla } a \leq x \leq b, \\ 1 & \text{dla } b \leq x \leq c, \\ g_A(z) & \text{dla } c \leq x \leq d, \\ 0 & \text{dla } d \leq x, \end{cases} \quad (2)$$

gdzie $f_A(x)$, $g_A(x)$ są funkcjami ciągłymi, przy czym $f_A(x)$ jest rosnąca w przedziale $[a, b]$ a $g_A(x)$ jest malejąca w przedziale $[c, d]$. Dopuszcza się również przyjmowanie przez wartości a , d nieskończoności.

Definicja 3. Funkcja przynależności klasy t trójkątnej jest definiowana w sposób następujący:

$$A(x) = \begin{cases} 1 - \frac{a-x}{\alpha} & \text{dla } a - \alpha \leq x \leq a, \\ 1 - \frac{x-a}{\beta} & \text{dla } a \leq x \leq a + \beta, \\ 0 & \text{poza tym.} \end{cases} \quad (3)$$

Liczba rozmyta o klasie przynależności t może być zapisana jako $A = (a, \alpha, \beta)$.

Zamiana liczby rozmytej na liczbę rzeczywistą odbywa się na podstawie operacji wyostrzania.

Definicja 4. Wyostrzeniem liczby rozmytej $A = (a, \alpha, \beta)$ nazywany wartość rzeczywistą wyznaczoną za pomocą wzoru:

$$V = a + \frac{\beta - \alpha}{6}. \quad (4)$$

Przedstawiony sposób wyostrzania dla liczby rozmytej trójkątnej nie jest jedyny.

Definicja 5. Metoda *pay-off* wyznacza wartość rzeczywistą ROV (ang. *Real Option Valuation*) za pomocą wzoru:

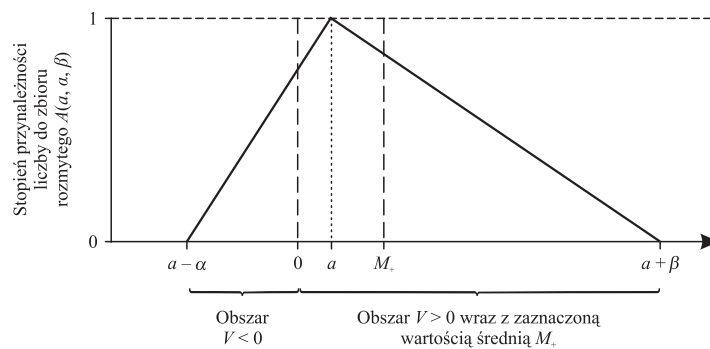
$$ROV = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} A(x)dx}{\int_{-\infty}^{+\infty} A(x)dx} E(A_+), \tag{5}$$

gdzie $\int_{-\infty}^{+\infty} A(x)dx$ pole pod funkcją przynależności, $\int_0^{+\infty} A(x)dx$ pole pod funkcją przynależności dla wartości nieujemnych. Wartość $E(A_+)$ wyznaczana jest ze wzoru:

$$E(A_+) = \begin{cases} a + \frac{\beta - \alpha}{6} & \text{dla } a - \alpha > 0, \\ \frac{(\alpha - a)^3}{6\alpha^2} + a + \frac{\beta - \alpha}{6} & \text{dla } a - \alpha \leq 0 < a, \\ \frac{(a + \beta)^3}{6\beta^2} & \text{dla } a \leq 0 < a + \beta, \\ 0 & \text{dla } a + \beta \leq 0. \end{cases} \tag{6}$$

Wprowadzenie liczb rozmytych pozwala na uwzględnienie w postaci jednej „liczby” bardziej złożonych struktur. Dodatkową zaletą jest również możliwość przekształcenia liczby rozmytej na konkretną wartość liczbową. Zaproponowana metoda *pay-off* przypisuje wartość rzeczywistą liczbie rozmytej, uwzględniając dodatkowo położenie liczby w stosunku do wartości równej 0. Ta dodatkowa modyfikacja ma szczególne znaczenie dla zastosowania tej metody wyceny projektu inwestycyjnego jako opcji rzeczowej.

Na rysunku 1 przedstawiono trójkątną liczbę rozmytą.



Rys. 1. Trójkątna liczba rozmyta A z zaznaczoną wartością średnią M_+

Źródło: opracowanie własne.

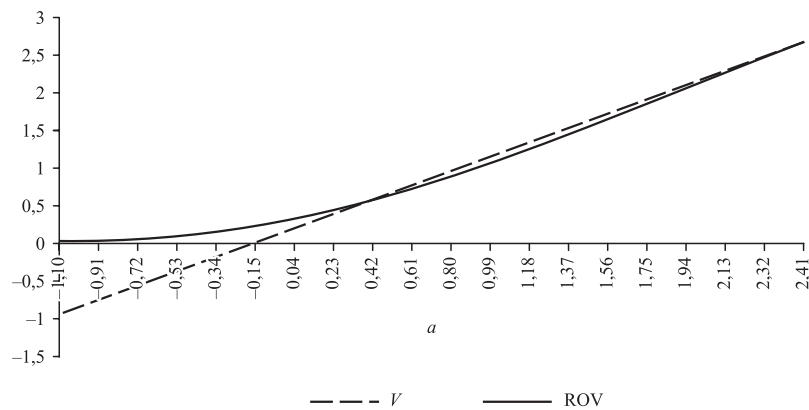
Przedstawiona koncepcja wykorzystania liczb rozmytych jako narzędzia w opisie przepływów oraz ocenie samego projektu inwestycyjnego była przedmiotem konsultacji z ekspertami – osobami odpowiedzialnymi za ocenę poszczególnych projektów inwestycyjnych w wybranej kopalni węgla kamiennego. Z praktycznego punktu widzenia kluczowymi aspektami metody są:

- budowa tylko trzech scenariuszy – w praktyce buduje się tylko dodatkowe dwa scenariusze – optymistyczny i pesymistyczny,
- zastosowanie znanej metody wyceny – metoda bazuje na wartości NPV,
- do wyznaczenia wartości można wykorzystać proste narzędzie informacyjne – proste formuły w arkuszu kalkulacyjnym.

Przyjęcie założenia o trójkątnej funkcji przynależności jest oczywiście pewnym uproszczeniem. Jednakże pozwala na kształtowanie asymetrii pomiędzy scenariuszami i zapewnia możliwość efektywnego oszacowania wartości za pomocą podstawowych formuł arkusza kalkulacyjnego. Zastosowanie trzech scenariuszy pozwala na dualną ocenę projektu inwestycyjnego.

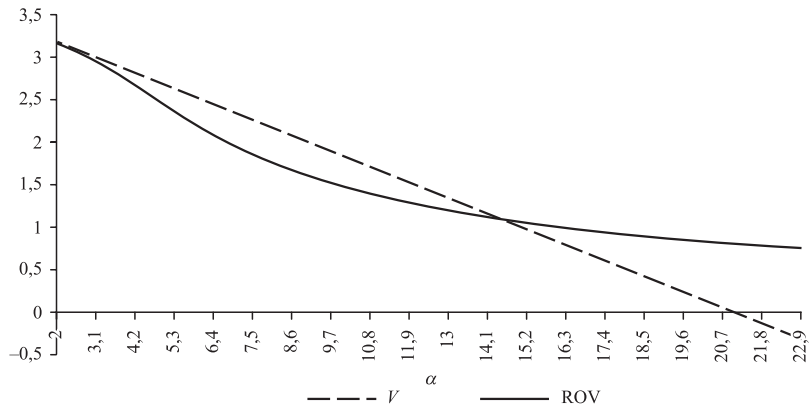
6. Przykład 1

Załóżmy, że projekt inwestycyjny będzie realizowany przez ustalony okres, przy założonej stopie średniego ważonego kosztu kapitału. Rozważane są trzy scenariusze rozwoju:



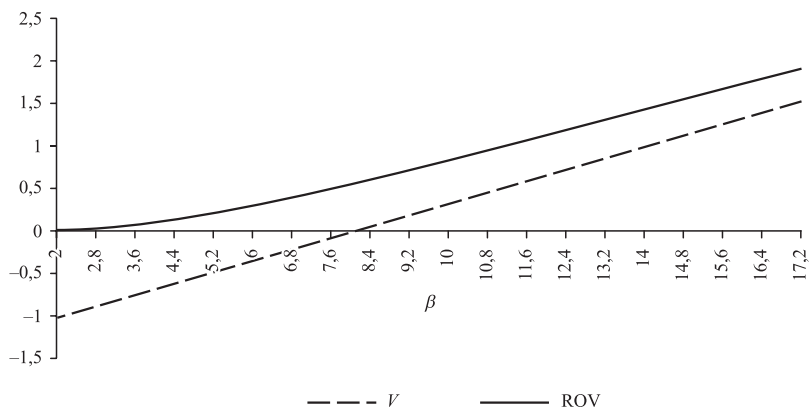
Rys. 2. Wykres $V(a)$, $ROV(a)$ dla zmieniających się wartości a w zakresie od $-1,1$ do $2,4$ dla liczby trójkątnej $A(a, 2, 3)$

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 3. Wykres $V(\alpha)$, $ROV(\alpha)$ dla zmieniających się wartości α w zakresie od 2 do 23 dla liczby trójkątnej $A(2, \alpha, 2)$

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 4. Wykres $V(\beta)$, $ROV(\beta)$ dla zmieniających się wartości β w zakresie od 2 do 17,4 dla liczby trójkątnej $A(-1,5, 2, \beta)$

Źródło: opracowanie własne.

- scenariusz bazowy – zakłada najbardziej prawdopodobny rozwój sytuacji,
- scenariusz pesymistyczny – zakłada najgorszy ze scenariuszy, który można uznać za realny,
- scenariusz optymistyczny – zakłada najlepszy ze scenariuszy, który można uznać za realny.

Dla każdego scenariusza wyznaczone są przepływy finansowe oraz wyznaczona zostaje wartość NPV, zgodnie ze wzorem (1). Z otrzymanych wartości

tworzy się liczbę rozmytą trójkątną, a następnie wyznacza wartość V na podstawie wzoru (4) oraz ROV na podstawie wzorów (5) i (6).

Na rysunkach 2-4 przedstawiono, jak kształtuje się wartość V oraz ROV w zależności od zmieniających się wartości wyznaczających liczbę rozmytą trójkątną.

Wykresem funkcji $V(a)$ jest linia prosta, natomiast wykres funkcji $ROV(a)$ składa się z połączenia funkcji liniowej i dwóch wielomianów stopnia 3. Dla wartości a mniejszych od -3 funkcja $ROV(a)$ przyjmuje wartość 0. Dla wartości a większych od 2 oceny projektu tymi metodami są tożsame.

Podczas oceny projektu za pomocą wartości V uzyskanej z wyostrzenia liczby rozmytej oraz za pomocą wartości ROV otrzymujemy tożsame oceny, jeśli ocena NPV dla pesymistycznego scenariusza jest dodatnia. W pozostałych przypadkach oceny te różnią się – poza jednym punktem. Należy pamiętać, posługując się tymi ocenami, że w jednym przypadku ocena uwzględnia ryzyko, a w drugim również elastyczność decyzyjną.

7. Przykład 2

Zakładamy, że podczas wydobycia węgla z pewnej ściany (projekt inwestycyjny) otrzymamy następujące przepływy pieniężne dla trzech możliwych scenariuszy przy założonej stopie ważnego kosztu kapitału 10%. Na podstawie zaktualizowanych przepływów wyznaczona została wartość NPV dla każdego

Tabela 1. Analiza trzech scenariuszy dla wydobycia węgla z pewnej ściany

Warianty	Okres								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Cf_t_{min}	-110,00	-70,00	-30,00	-10,00	10,00	30,00	50,00	70,00	80,00
Cf_t_{baza}	-100,00	-60,00	-10,00	10,00	30,00	40,00	60,00	80,00	80,00
Cf_t_{max}	-100,00	-50,00	-10,00	30,00	40,00	50,00	70,00	90,00	100,00
PV_t_{min}	-110,00	-63,64	-24,79	-7,51	6,83	18,63	28,22	35,92	37,32
PV_t_{baza}	-100,00	-54,55	-8,26	7,51	20,49	24,84	33,87	41,05	37,32
PV_t_{max}	-100,00	-45,45	-8,26	22,54	27,32	31,05	39,51	46,18	46,65
NPV_{min}	-79,02								
NPV_{baza}	2,27	NPV	2,27	V		-1,73	ROV		4,77
NPV_{max}	59,54								

Źródło: opracowanie własne – dane umowne.

z możliwych scenariuszy. Wartości te służą do wyznaczenia wartości V oraz ROV. Wyliczenia przedstawia tabela 1.

Scenariusz bazowy jest scenariuszem obecnie budowanym dla oceny projektu inwestycyjnego. Wyznaczona dla niego wartość NPV jest tą, która służy obecnie ocenie projektu. Wyznaczenie dodatkowych dwóch scenariuszy pozwala uwzględnić specyfikę prowadzenia działalności produkcyjnej w środowisku, które samo z siebie jest źródłem ryzyka. Ocena tego projektu w oparciu o wartość V uwzględniającą ryzyko i rozmytość nie daje rekomendacji do realizacji projektu, jako obciążonego sporym ryzykiem. Wyznaczona wartość opcji rzeczowej dla tego projektu jest stosunkowo niska w porównaniu z wartością dla scenariusza najkorzystniejszego i również nie rekomenduje tego projektu do realizacji.

Podsumowanie

Nowoczesne zarządzanie wymaga stosowania metod, które nie będą pomijały niepewności towarzyszącej działalności gospodarczej oraz będą uwzględniały niepewność w podejmowaniu decyzji. Przedstawienie przepływów jako liczby rozmytej pozwala na uwzględnienie tej niepewności. Zastosowanie tych metod wymaga dodatkowego nakładu w postaci wygenerowania dodatkowych dwóch scenariuszy. Metoda *pay-off* oceny projektu inwestycyjnego jest jedną z wielu metod rozmytych. Uwzględnia jednak w większym stopniu wpływ ujemnej wartości NPV na wycenę całego projektu. O przydatności metody oceny projektu świadczy częstość jej stosowania. Potencjał tej metody to przede wszystkim bazowanie na uznanej metodzie NPV, prostota implementacji i stosunkowo mały koszt zastosowania w postaci dodatkowych dwóch scenariuszy.

Zastosowanie dodatkowych dwóch scenariuszy pozwala na dualną ocenę projektu inwestycyjnego. Z jednej strony otrzymujemy ocenę, która uwzględnia ryzyko, w tym przypadku ocena to wyznaczona wartość V . Z drugiej można oceniać projekt jako pewną opcję rzeczową, wykorzystując metodę *pay-off* poprzez wartość ROV. Warto zwrócić uwagę, że podczas stosowania tych metod nie jest konieczne czynienie dodatkowych założeń w odniesieniu do rozkładów dla poszczególnych parametrów wyznaczających wartości przepływów w poszczególnych okresach. Przedstawione przykłady pokazują, że zastosowanie metod rozmytych w ocenie projektów inwestycyjnych odnośnie do wartościowej oceny projektu, jak i jego wyceny za pomocą opcji rzeczowej jest bardzo proste.

Literatura

- Black F., Scholes M., *The Valuation of Option Contracts and a Test of Market Efficiency*, „The Journal of Finance” 1972, No. 27, s. 399-417.
- Carlson C., Fuller R., *A fuzzy approach to real option valuation*, „Fuzzy set and Systems” 2003, No. 139, s. 297-312.
- Collan M., Fuller R., Mezei J., *A fuzzy pay-off method for real option valuation*, „Journal of Applied Mathematics and Decision Sciences”, Vol, 2009, Article ID 2238196, 14 pages, doi: 10.1155/2055/238196.
- Collan M., Kinnunen J., *A procedure for the rapid pre-acquisition screening of target companies using the pay-off method for real option valuation*, „Journal of Real Option Strategies” 2011, Vol. 4, No. 1, s. 117 -141.
- Keswani J., Shackleton M., *How real option disinvestment flexibility augments project NPV*, „European Journal of Research” 2006, No. 168, s. 240-252.
- Mayers S., *Determinations of Corporate Borrowing*, „Journal of Financial Economics” 1977, Vol. 5, No. 2, s. 147-175.
- Merton R.C. Jr., *Theory of Rational Option Pricing*, „Bell Journal of Economics and Management Science” 1973, No. 4, s. 141-183.
- Przybycin Z., *Zastosowanie logiki rozmytej w finansach – metody oceny projektów inwestycyjnych*, „Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Organizacja i Zarządzanie”, z. 49, Gliwice 2009.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 6 lipca 2005 r. w sprawie szczegółowych wymagań, jakim powinny odpowiadać dokumentacje geologiczne złóż kopalin, Dz.U. nr 136, poz. 1151.
- Rudny W., *Opcje rzeczowe w procesie tworzenia wartości przedsiębiorstwa*, Wyd. Akademii Ekonomicznej w Katowicach, Katowice 2009.
- Tarczyński W., *Rynki kapitałowe. Metody ilościowe*, Agencja Wydawnicza Placet, Warszawa 1997, s. 35-39.
- Turek M., *Modele finansowania działalności operacyjnej przedsiębiorstw górniczych*, GIG, Katowice 2011.
- Ubezpieczenia. Rynek i ryzyko*, red. W. Ronka-Chmielowiec, PWE, Warszawa 2002.
- Zadeh L., *Fuzzy sets*, „Information and Control” 1965, Vol. 8., s. 338-353.

Fuzzy method of evaluation of investment projects in the coal mining

Summary. During the economic crisis, companies look for new methods of valuation and evaluation of investment projects. New methods should take into account both risk and flexibility in decision making. The study shows the method which uses fuzzy numbers based on three scenarios of financial flows. The method is outlined in the example associated with mining coal.

Key words: fuzzy methods, NPV, pay-off method, the investment project, coal mining company