

KRZYSZTOF BEDNARZ

OCENA OPŁACALNOŚCI PROJEKTU INWESTYCYJNEGO Z UŻYCIEM OPCJI REALNEJ

WPROWADZENIE

Tradycyjne podejście do oceny opłacalności projektów inwestycyjnych charakteryzuje się statycznym ujęciem. Polega ono na tym, że raz przyjęte założenia już na etapie obliczeń i wszelkich kalkulacji związanych z inwestycją przyjmuje się za stałe i nie poddają się zmianom. Takie podejście wydaje się niczym nieuzasadnione z punktu widzenia czasu. Statyczne ujęcie oceny opłacalności projektów inwestycyjnych trzeba przyjąć za dopuszczalne tylko wtedy, gdy uzna się, że niemożliwe jest wiarygodne oszacowanie na przykład, jak zachowa się rynek w perspektywie najbliższych 5 lat, co ma bezpośrednie konsekwencje w generowaniu przyszłych strumieni pieniężnych, będących podstawą obliczeń wszystkich metod opłacalności przedsięwzięć inwestycyjnych. W związku z tym zarówno w literaturze, jak i w praktyce przyjęło się stosowanie tzw. opcji realnej (*real option valuation*, ROV), która charakteryzuje się względną elastycznością w podejściu do przyjętych pierwotnie założeń. Spowodowało to konieczność jej wyceny w większości projektów inwestycyjnych. Dzięki takiemu podejściu możliwe jest opracowanie nowych scenariuszy związanych z realizacją wybranego przedsięwzięcia inwestycyjnego w związku z pojawieniem się nowych informacji zarówno z otoczenia wewnętrznego, jak i zewnętrznego danego przedsiębiorstwa. Przedstawione przesłanki zdecydowały o wyborze tematu i problematyki opracowania oraz jej struktury.

Celem artykułu jest zaprezentowanie alternatywnego (dynamicznego) spojrzenia na metody oceny opłacalności inwestycji, jakimi są tradycyjne (statyczne) metody dyskontowe. Zaprezentowane podejście opcyjne (opcje realne) daje menedżerom więcej możliwości w podejmowaniu decyzji, ponieważ eliminuje podstawowe wady tradycyjnych obliczeń, w których raz przyjęte założenia nie mogą być zmieniane. Jako sposób realizacji celu przyjęto praktyczne zastosowanie wybranej opcji realnej w odniesieniu do konkretnej inwestycji (projektu inwestycyjnego). Dlatego tezą postawioną w artykule jest: „użycie opcji realnych pozwala menedżerom na bardziej elastyczne podejście do projektów inwestycyjnych”. Tak określono celowi artykułu i sformułowanej dzięki niemu tezie podporządkowano układ opracowania.

W celu szczegółowego zaprezentowania istotnych kwestii związanych z opcjami realnymi autor w trzech częściach opisuje to, co stanowi o ich istocie. W **części pierwszej** przedstawiono wybrane metody wyznaczania bezwzględnej opłacalności oraz ich ograniczenia, skupiając się na tych, które są związane z dyskontowaniem, zwłaszcza na NPV. Metoda ta, chociaż najczęściej stosowana, charakteryzuje się pewną niejednoznacznością, np. w kwestii, jakie informacje należy zawierać w przepływach finansowych (NCF).

W **części drugiej** omówiono terminologię związaną z opcjami finansowymi. Przybliżono również model dwumianowy, dzięki któremu dochodzi się do wartości opcji, czyli ceny, którą warto zapłacić. Ciekawą koncepcją wyceny jest model Blacka-Scholesa, który jednak w odniesieniu do opcji realnych ma ograniczony zakres stosowania ze względu na to, że dotyczy opcji europejskich, co w praktyce oznacza wykonanie opcji wyłącznie w dniu jej wygaśnięcia, podczas gdy zdecydowana większość opcji realnych stanowią opcje amerykańskie.

W **części trzeciej** artykułu przedstawiono praktyczne zastosowanie opcji opóźnienia. W tym celu pokazano obliczenia (obejmujące trzy etapy wyceny), by ostatecznie przedstawić je w formie drzewa dwumianowego, które zawiera: wycenę korzyści, wycenę wartości wewnętrznej opcji oraz wycenę całkowitej wartości opcji.

Aby zrealizować cel założony w artykule, zdecydowano się zastosować metodę przeglądu literatury. Dzięki niemu udało się przedstawić najważniejsze – zdaniem autora – wady i zalety opisywanych podejść do oceny opłacalności inwestycji.

1. OPCJE REALNE W RACHUNKU EFEKTYWNOŚCI INWESTYCJI

1.1. NPV JAKO DYSKONTOWA METODA WYZNACZANIA BEZWZGLĘDNEJ OPŁACALNOŚCI PROJEKTÓW INWESTYCYJNYCH ORAZ JEJ OGRANICZENIA

1.1.1. PODZIAŁ METOD

Działalność inwestycyjna jest wpisana w każdy rodzaj biznesu. Już podjęcie pierwszych działań mających na celu uzyskanie przyszłych dochodów wymaga poniesienia nakładów. Te natomiast należy przeanalizować, zanim zostaną wydatkowane jakiegokolwiek środki, np. na budowę nowej fabryki, rozbudowę linii technologicznej czy też zastąpienie maszyny starej przez nową. Wymienione działania zalicza się do typowych projektów inwestycyjnych, chociaż istnieją też mniej typowe, takie jak: utworzenie własnego działu marketingu, kupno papierów wartościowych czy decyzja o zleceniu usług księgowych na zewnątrz oraz projekty specjalne, np. kupno całego przedsiębiorstwa, zrestrukturyzowanie go, by następnie sprzedać je z zyskiem¹.

W literaturze przedmiotu istnieje wiele metod oceny opłacalności inwestycji. Najczęstszym kryterium ich rozróżniania jest zmienna wartość pieniądza w czasie. Z tego względu przyjęty jest podział na²: metody proste (ROI, ROE, PP, ARR) i metody dyskontowe (NPV, IRR, PI, DPP).

1.1.2. NPV JAKO PODSTAWOWA METODA OCENY OPŁACALNOŚCI PROJEKTÓW INWESTYCYJNYCH

Śród wymienionych metod dyskontowych na uwagę zasługuje NPV m.in. dlatego, że zwykle jest ona punktem odniesienia przy stosowaniu opcji realnych w ocenie projektów inwestycyjnych (np. realna opcja opóźnienia³, opisana dalej). W związku z tym jedynie ta metoda zostanie dokładniej przedstawiona, a związane z nią ograniczenia tym bardziej będą wskazywać na zasadność rozszerzania analizy opłacalności projektów inwestycyjnych o opcje realne. Aby jednak przejść do bardziej szczegółowego opisu, należy wymienić założenia teoretyczne prezentowanej metody⁴: długość ekonomicznego cyklu życia inwestycji (okres

¹ R. MACHAŁA, *Praktyczne zarządzanie finansami firmy*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2004, s. 104.

² W. ROGOWSKI, *Rachunek efektywności inwestycji. Wyzwania teorii i potrzeby praktyki*, Wydawnictwo Nieoczywiste, Warszawa 2018, s. 230-232, 237, 257.

³ A. DAMODARAN, *Finanse korporacyjne. Teoria i praktyka*, Wydawnictwo Helion, Gliwice 2007, s. 1351-1352.

⁴ W. ROGOWSKI, *Rachunek efektywności inwestycji*, s. 262-263.

obliczeniowy) jest określona; znana jest oczekiwana struktura przepływów pieniężnych netto (korzyści) w trakcie całego cyklu życia inwestycji; inwestycja ma konwencjonalny (typowy), rozłożony w czasie przepływ środków pieniężnych netto; poniesione nakłady inwestycyjne są nieodwracalne (brak elastyczności); inwestycja na rynku kapitałowym (inwestycja kapitałowa) jest alternatywą dla projektu inwestycyjnego; krzywa rentowności jest płaska w całym cyklu życia inwestycji; dodatnie przepływy pieniężne netto projektu są reinwestowane stopą reinwestycji równą stopie dyskontowej; przepływy pieniężne netto projektu występują z końcem roku; kumulacja korzyści netto jest miarą opłacalności.

1.1.3. OGRANICZENIA METODY NPV

Metoda NPV jest uznawana za najbardziej poprawną teoretycznie metodę oceny opłacalności projektów inwestycyjnych. Zauważalny jest także stały wzrost zainteresowania nią w praktyce gospodarczej. Mimo to dostrzega się w niej istotne ograniczenia metodyczne. Do najważniejszych z nich zalicza się⁵:

Brak elastyczności. Metoda NPV nie dopuszcza opóźnienia działań związanych z realizacją inwestycji lub z jej wcześniejszym zakończeniem, pomija zmianę zakresu skali, nie uwzględnia zmiany decyzji podjętej przez decydenta, a ponoszone nakłady inwestycyjne traktowane są jako nieodwracalne. Ponadto z góry zakłada znajomość wszystkich parametrów decydujących o opłacalności inwestycji. Metoda NPV przyjmuje tylko dwie możliwości przy podejmowaniu decyzji: zrealizować lub odrzucić projekt, a tym samym jako metoda statyczna ogranicza aktywne zarządzanie projektem. Wyklucza zatem przyszłe zmiany i możliwe modyfikacje.

Częściowe finansowanie długiem. Metoda NPV (uwzględniająca formułę FCFF⁶) konsekwencje decyzji operacyjnych oraz inwestycyjnych odzwierciedla w wielkości wolnych przepływów pieniężnych netto (FCFF⁷), a konsekwencje decyzji finansowych uwzględnia w stopie dyskontowej. To natomiast niejako wymusza przyjęcie założenia o stałej relacji długu do całości kapitału zaangażowanego w projekt, co jednocześnie determinuje stałą wartość WACC^{AT}, który to koszt jest wyznaczany według wartości rynkowych na dzień jego wyceny. Wraz z upływem czasu zmieniają się warunki rynkowe, zmienia się też ryzyko bankructwa, mimo to raz obliczona stopa dyskontowa nie podlega zmianom.

⁵ W. ROGOWSKI, *Rachunek efektywności inwestycji*, s. 291-295, 318-319, 322, 326.

⁶ FCFF (free cash flow to firm); korzyść netto z inwestycji, której adresatami są wszystkie strony, które finansują inwestycję (wierzyciele, właściciele, firma).

⁷ FCFE (free cash flow to equity); korzyść netto z inwestycji, której adresatami są właściciele i firma.

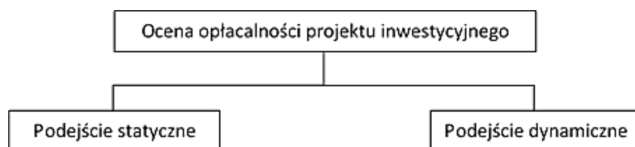
Pomijanie przyszłych możliwości. Metoda NPV całkowicie wyklucza przyszłe możliwości, jakie mogą zaistnieć w związku z realizacją pierwotnego projektu. W przyszłości zwykle pojawiają się dodatkowe nowe okoliczności, które w znaczący sposób zwiększają NPV. W takim znaczeniu ten pierwotny projekt może stanowić opcję inwestycyjną w realizacji innych, zupełnie nowych projektów. Pierwotne ujemne NPV wskazuje na odrzucenie inwestycji, jednak akceptując taki projekt i zdobywając dzięki niemu możliwość wejścia na nowe rynki lub zakończenie długotrwałego okresu badań może okazać się, że warto zrealizować „wstępnie nieopłacalny projekt”, aby zyskać nowe możliwości. Takiemu ograniczeniu NPV służą opcje realne, przedstawione dalej.

Wycena ryzyka. Metoda NPV w swoim algorytmie odnosi się jedynie do ryzyka systematycznego, a całkowicie pomija ryzyko specyficzne, które można uwzględnić, stosując dodatkowe analizy (np. analizę wrażliwości, scenariuszy lub Monte Carlo).

1.2. OPCJE REALNE (ROV) JAKO ODMIENNE SPOJRZENIE NA PROCESY INWESTYCYJNE

1.2.1. ISTOTA OPCJI REALNYCH

Przedsiębiorstwa zawsze funkcjonują w otoczeniu, które charakteryzuje się wysokim tempem zmian warunków gospodarczych. To natomiast ma bezpośredni wpływ na realizowane projekty inwestycyjne. Wiele z nich składa się z etapów czy też sekwencji działań, co wprost wynika z ich złożonego charakteru, stosowanej technologii, wysokiego stopnia niepewności oraz rozłożenia w czasie. Nie dziwi więc, że przy projektach złożonych zaczęto zwracać uwagę na „elastyczność decyzyjną”, rozumianą jako „tkwiącą w samej inwestycji możliwość aktywnego oddziaływania przez decydentów na tę inwestycję np. poprzez odłożenie jej realizacji w czasie, zmianę zakresu (rozszerzenie lub ograniczenie) bądź zaniechanie kontynuowania”⁸. W związku z tym w całości działań związanych z projektami inwestycyjnymi można wyodrębnić dwa odmienne podejścia: statyczne i dynamiczne (zob. Rysunek 1).



Źródło: opracowanie własne na podstawie: W. ROGOWSKI, *Rachunek efektywności inwestycji*, s. 317.

Rysunek 1. Alternatywne podejścia do projektów inwestycyjnych

⁸ W. ROGOWSKI, *Rachunek efektywności inwestycji*, s. 316.

Podejście statyczne (w tym metoda NPV) nie uwzględnia elastyczności, a nawet ją eliminuje. Przyjęte założenia, jako niezmiennie, obowiązują w trakcie całego okresu realizacji zamierzenia inwestycyjnego, co jest oczywistym uproszczeniem. Zaletą jest jednak nieskomplikowana arytmetyka służąca uzasadnieniu podejmowanych decyzji. Podejście dynamiczne wykorzystuje natomiast potencjał „elastyczności decyzyjnej”, a wartość opcji ma bezpośrednie przełożenie na wartość projektu inwestycyjnego. Stąd za ważną uznaje się konieczność wyceny tej elastyczności związanej z inwestycją, która w znaczący sposób może wpłynąć na opłacalność, a tym samym na podjęcie decyzji o realizacji zamierzeń⁹.

1.2.2. PODSTAWOWA KLASYFIKACJA OPCJI REALNYCH

W literaturze przedmiotu można spotkać klasyfikacje, które grupują opcje realne np. ze względu na: termin realizacji, poziom złożoności, rodzaj elastyczności. Ostatnie kryterium jest podstawą wydzielenia aż jedenastu różnych opcji realnych według L. Trigeorgisa¹⁰. Syntetyczny podział zaproponował A. Damodaran, który wymienia jedynie trzy rodzaje opcji realnych:

Opcja opóźnienia realizacji projektu. Ta opcja zakłada, że firma ma wyłączone prawo do realizacji projektu przez n lat, a wartość bieżąca oczekiwanych przyszłych korzyści może w przyszłości się zmienić (zmiana stopy dyskontowej i oczekiwanych przepływów). Obliczona NPV dla projektu może być wprawdzie ujemna, ale sam projekt może okazać się atrakcyjnym przedsięwzięciem w sytuacji powstrzymania się z jego realizacją.

Opcja poszerzenia (ekspansji) zakresu projektu. Niekiedy powodem realizacji jednego projektu jest możliwość wejścia w przyszłości w inne przedsięwzięcie lub na zupełnie nowy rynek. W takiej sytuacji pierwotny projekt może stanowić opcję umożliwiającą inwestowanie w odrębne projekty. Za taką możliwość przedsiębiorstwo może zatem zapłacić określoną cenę, nawet jeżeli początkowa NPV jest ujemna. To podejście ma umożliwić zrealizowanie w przyszłości innych projektów, których NPV będzie dodatnia i wysoka.

Opcja porzucenia projektu. Z podejmowaniem decyzji odnośnie do przyszłości wprost powiązana jest niepewność. Dotyczy to również projektów inwestycyjnych, gdyż menedżerowie odpowiedzialni za ich wdrożenie nigdy nie mają pełnej gwaran-

⁹ W. ROGOWSKI, *Rachunek efektywności inwestycji*, s. 317.

¹⁰ Opcje realne: opóźnienia realizacji, wzrostu/inwestowania, etapowej realizacji, rozszerzenia produkcji, zmniejszenia produkcji, wstrzymania produkcji, wznowienia produkcji, rezygnacji, przełączania wejść, przełączania wyjść, współzależne; W. ROGOWSKI, *Rachunek efektywności inwestycji*, s. 333.

cji, że poniesione nakłady zwrócą się, generując przy tym oczekiwane przyszłe przepływy pieniężne. W związku z tym opcja porzucenia ma wysoką wartość w sytuacji potencjalnie wysokiej straty związanej z wdrożeniem projektu. W przeciwieństwie do poprzednich opcji opcja porzucenia projektu przyjmuje właściwości opcji *long put*.

2. WYCENA OPCJI REALNYCH

2.1. OPCJE FINANSOWE

2.1.1. RODZAJE OPCJI (*CALL*, *PUT*) ORAZ STRONY RYNKU (*LONG*, *SHORT*)

Opcje są niesymetrycznymi instrumentami pochodnymi, co oznacza, że kupujący opcję ma prawo do jej zrealizowania, natomiast wystawiający opcję musi ją wykonać, jeżeli kupujący zechce zrealizować swoje prawo. W związku z tym wyróżnia się opcje kupna (*call*) oraz opcje sprzedaży (*put*). Pierwsza z nich daje właścicielowi prawo do zakupu aktywów w określonym dniu wygaśnięcia (lub przed określoną datą) po określonej cenie. Natomiast opcja sprzedaży uprawnia właściciela do sprzedaży aktywów w określonym dniu wygaśnięcia (lub przed określoną datą) po określonej cenie¹¹. Kupujący opcję zajmuje na rynku tzw. pozycję długą (*long*). W związku z tym może on:

- kupić opcję kupna (*long call*) – zajmując tę pozycję spodziewa się wzrostu ceny;
- kupić opcję sprzedaży (*long put*) – zajmując tę pozycję spodziewa się spadku ceny.

Aby jednak mogło dojść do zawarcia transakcji, konieczne jest złożenie oferty przeciwnej do kupna. Składa ją wystawca opcji, który zajmuje na rynku tzw. pozycję krótką (*short*). W związku z tym może on wystawić, czyli „sprzedać krótko”¹²:

- opcję kupna (*short call*) – zajmując tę pozycję spodziewa się spadku lub braku zmiany ceny;
- opcję sprzedaży (*short put*) – zajmując tę pozycję spodziewa się wzrostu lub braku zmiany ceny.

Zajmowanie pozycji na rynku jest obarczone ryzykiem. Kupujący opcję (*long call*, *long put*) ogranicza je tylko do wartości tzw. premii opcyjnej, będącej najwyższą możliwą stratą do poniesienia. Natomiast wystawiający opcję (*short call*, *short put*) ponosi ryzyko niczym nieograniczone. Premia opcyjna zawsze jest pobierana przez wystawcę, chociaż kupujący nie musi być zainteresowany zrealizowaniem posiadanego przez siebie prawa do wykonania opcji.

¹¹ J. HULL, *Kontrakty terminowe i opcje. Wprowadzenie*, WIG-Press, Warszawa 1998, s. 4, 194; R. HAUGEN, *Teoria nowoczesnego inwestowania*, WIG-Press, Warszawa 1996, s. 527.

¹² „Sprzedaż krótką” ma związek z otwarciem pozycji i jest zupełnie czymś innym niż sprzedaż opcji będąca zamknięciem pozycji długiej.

Podstawowym elementem wyceny omawianego instrumentu finansowego jest cena wykonania opcji¹³ (*exercise price, strike price*). To kurs, powyżej którego pojawia się zysk (opcje: *long call* i *short put*) lub poniżej którego pojawia się zysk (opcje: *long put* i *short call*)¹⁴.

2.1.2. DWUMIANOWY MODEL WYCENY OPCJI (DRZEWO DWUMIANOWE)

Często używaną techniką wyceny opcji jest konstruowanie tzw. drzewa dwumianowego (*binomial tree*), przedstawiającego możliwe do osiągnięcia poziomy cenowe przez instrument bazowy w okresie ważności opcji. W tym celu stosuje się szereg wzorów, które zostaną zamieszczone poniżej i wyjaśnione na wybranym przykładzie opcji sprzedaży.

Opcja sprzedaży

PRZYKŁAD: Do dyspozycji jest 5-miesięczna amerykańska opcja sprzedaży akcji spółki nie wypłacającej dywidendy o następujących parametrach:

$S = 45$	cena instrumentu bazowego (akcji)
$X = 50$	cena wykonania opcji
$r = 0,1$	wolna od ryzyka stopa procentowa (w skali roku)
$\sigma = 0,4$	zmiennosc instrumentu bazowego (w skali roku)
$T = 0,4167$	czas życia opcji (tu: 5/12 roku)
$t = 0,0833$	długość jednego przedziału czasowego (tu: 1/12 roku), przyjmując założenie, że konstruowane drzewo dwumianowe będzie liczyć pięć okresów jednomiesięcznych

Aby wycenić taką opcję, należy posłużyć się wzorami:

$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}} \quad \text{procentowy wzrost ceny} \quad (1)$$

$$d = e^{-\sigma\sqrt{\Delta t}} \quad \text{procentowy spadek ceny} \quad (2)$$

$$a = e^{r\Delta t} \quad (3)$$

$$p = \frac{a - d}{u - d} \quad \text{prawdopodobieństwo wzrostu} \quad (4)$$

Po podstawieniu danych:

$$u = 1,1224$$

$$d = 0,8909$$

$$a = 1,0084$$

$$p = 0,5073$$

¹³ Inne nazwy to: cena realizacji, cena bazowa. Zob. R.W. KOLB, *Wszystko o instrumentach pochodnych*, WIG-Press, Warszawa 1997, s. 62

¹⁴ W obliczeniach należy uwzględnić zapłaconą premię opcyjną (opcje: *long call, long put*) lub otrzymaną premię opcyjną (opcje: *short call, short put*).

Stosując przekształcenia, można dojść do ogólnego wzoru umożliwiającego policzenie ceny instrumentu bazowego w dowolnym węźle:

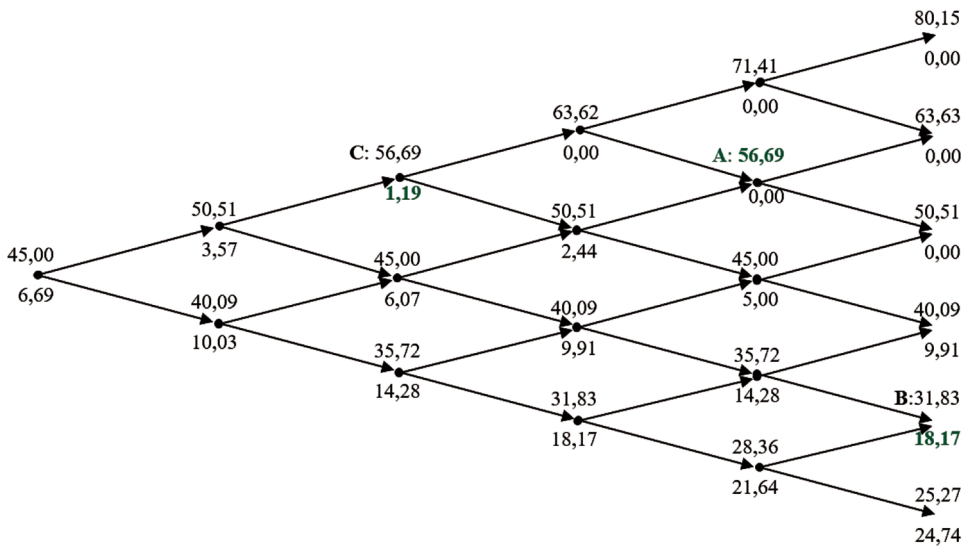
$$A_{(x,y)} = S \cdot u^y \cdot d^{x-y} \tag{5}$$

Zgodnie z tym wzorem (5) cena akcji w węźle $A_{(4,3)} = 45 \cdot 1,1224^3 \cdot 0,8909^{4-3} = 56,69$.

Ceny opcji oblicza się, rozpoczynając od ostatnich węzłów (w chwili T, czyli na końcu życia opcji), cofając się do węzła pierwszego, pamiętając jednocześnie, że przy opcji sprzedaży należy wybrać większą z dwóch wielkości: $c_{put} = \max(X - S_t; 0)$ ¹⁵, podobnie przy opcji kupna $c_{call} = \max(S_t - X; 0)$ ¹⁶. W związku z tym, że wyceniana jest opcja sprzedaży, dlatego w węźle $B_{(5,1)}$ jej cena wynosi $c_{put(5,1)} = \max(50 - 31,83; 0) = 18,17$. Cena opcji w przedostatnim węźle jest obliczana jako wartość bieżąca ceny opcji z ostatniego węzła. W związku z tym cena opcji w węźle $C_{(4,1)}$ to:

$$c_{put(2,2)} = (0,5073 \cdot 0 + 0,4927 \cdot 2,44) \cdot e^{-0,1 \cdot 0,0833} = 1,19$$

Wartości dla cen instrumentu bazowego (górne) i wartości dla opcji (dolne) ukazuje Rysunek 2.



Źródło: opracowanie własne.

Rysunek 2. Drzewo dwumianowe dla amerykańskiej opcji sprzedaży.

¹⁵ Opcję sprzedaży (*put*) opłaca się zrealizować tylko w takiej sytuacji, gdy cena instrumentu bazowego jest niższa od ceny wykonania opcji.

¹⁶ Opcję kupna (*call*) opłaca się zrealizować tylko w takiej sytuacji, gdy cena instrumentu bazowego jest wyższa od ceny wykonania opcji.

2.1.3. MODEL BLACKA-SCHOLESA

Model Blacka-Scholesa wyznacza cenę opcji w taki sposób, aby uzyskać wolną od ryzyka stopę zwrotu, jeżeli za pomocą takiej opcji ma być zabezpieczona inwestycja. Dokonując zabezpieczenia, należy stale korygować względne pozycje w opcjach oraz instrumentach bazowych (np. w akcjach). Uwzględniając zmiany kwartalne, względną pozycję określa się poprzez porównanie względnych różnic między wysoką i niską wartością kursów aktywa bazowego (np. akcji) oraz opcji¹⁷. Przy takich założeniach wartość europejskiej opcji kupna (*call*) dla akcji (z dywidendą) jest określona następującą formułą:

$$call = S \cdot e^{-\delta \cdot T} \cdot N(d_1) - X \cdot e^{-r_F \cdot T} \cdot N(d_2) \quad (6)$$

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S}{X}\right) + (r_F - \delta + \frac{\sigma^2}{2}) \cdot T}{\sigma \cdot \sqrt{T}} \quad (7)$$

$$d_2 = d_1 - \sigma \cdot \sqrt{T} \quad (8)$$

gdzie: *call* – wartość europejskiej opcji kupna dla akcji (bez dywidendy)

S – cena instrumentu bazowego (akcji)

X – cena wykonania opcji

r_F – wolna od ryzyka stopa procentowa (w skali roku) z kapitalizacją ciągłą

N(d) – operator prawdopodobieństwa

d₁, *d₂* – odchylenia od wartości oczekiwanej standaryzowanego rozkładu normalnego

T – czas życia opcji (w latach)

σ² – wariancja stopy zwrotu

σ – odchylenie standardowe stopy zwrotu

δ – koszt utraconych korzyści (wyrażony procentowo)

Równanie na wartość opcji sprzedaży (*put*) przedstawia się następująco:

$$put = \frac{X}{e^{r_F T}} \cdot N(-d_2) - S \cdot N(-d_1) \quad (9)$$

Pomimo dużego znaczenia prezentowanego modelu w zakresie wyceny opcji finansowych, użycie go w odniesieniu do opcji realnych ma ograniczony zakres, ponieważ¹⁸:

– dotyczy opcji europejskich, co w praktyce oznacza zlikwidowanie opcji jedynie w dniu wygaśnięcia, podczas gdy większość opcji realnych to opcje amerykańskie;

¹⁷ R. HAUGEN, *Teoria nowoczesnego inwestowania*, s. 551-552.

¹⁸ W. ROGOWSKI (red.), *Opcje realne w przedsięwzięciach inwestycyjnych*, Szkoła Główna Handlowa w Warszawie – Oficyna Wydawnicza, Warszawa 2008, s. 58.

- zakłada istnienie tylko jednego źródła niepewności wywierającego wpływ na kurs aktywa bazowego, co w odniesieniu do rzeczywistych inwestycji rzeczowych jest zbyt daleko idącym uproszczeniem;
- zakłada znajomość oraz stałość ceny wykonania opcji X (wartość nakładów inwestycyjnych), co zwykle nie jest prawdą przy realizowaniu złożonych inwestycji, w których kolejne etapy są uzależnione od wykonania etapów wcześniejszych;
- zakłada logarytmiczno-normalny rozkład wartości aktywa bazowego ze stałym poziomem zmienności, co w odniesieniu do rzeczywistej inwestycji jej zmienność może nie być stała, np. wpływ gospodarki lub gospodarek światowych;
- nie nadaje się do oceny inwestycji z użyciem opcji złożonych lub zawierających opcje wykluczające się.

2.2. WYCENA PROSTYCH OPCJI REALNYCH

Dane niezbędne do obliczenia opcji realnej są takie same, jak w przypadku wyceny opcji finansowej: wartość aktywów bazowych, wariancja tej wartości, czas pozostający do wygaśnięcia opcji, cena wykonania opcji. Natomiast wartość aktywów bazowych to projekt, na którego realizację firma ma wyłączność¹⁹. Opcje takie wycenia się, zaczynając od węzłów końcowych, przechodząc stopniowo do początku. Przy wycenie przyjmuje się założenie o powszechnej obojętności względem ryzyka, a wartość opcji w poszczególnych węzłach można obliczyć jako wartość oczekiwaną, zdyskontowaną stopą wolną od ryzyka. W przypadku opcji amerykańskich w każdym węźle należy sprawdzić, co jest korzystniejsze: wcześniejsze wykonanie opcji czy też posiadanie opcji przez kolejny okres Δt . Cenę opcji oblicza się, zaczynając od węzłów końcowych, kierując się w stronę węzła początkowego.

Algorytm wyceny prostych opcji składa się z trzech etapów²⁰:

Etap 1: Szacowanie prawdopodobieństw arbitrażowych

Obliczenie prawdopodobieństwa arbitrażowego zakłada wystąpienie równości pomiędzy oczekiwaną stopą zwrotu z aktywów (na które opiewa opcja) oraz stopy wolnej od ryzyka (r_f). W tym celu stosuje się wzór na prawdopodobieństwo arbitrażowego wzrostu:

$$q = \frac{e^{(r_f - \delta)} - d}{u - d} \quad (10)$$

oraz wzór na prawdopodobieństwo arbitrażowego spadku:

¹⁹ A. DAMODARAN, *Finanse korporacyjne*, s. 1351.

²⁰ W. ROGOWSKI (red.), *Opcje realne w przedsięwzięciach inwestycyjnych*, s. 64.

$$1 - q = \frac{u - e^{(r_f - \delta)}}{u - d} \quad (11)$$

gdzie: q – prawdopodobieństwo arbitrażowe wzrostu

$1 - q$ – prawdopodobieństwo arbitrażowe spadku

u – procentowy wzrost ceny

d – procentowy spadek ceny

δ – koszt utraconych korzyści (wyrażony procentowo)

Etap 2: Szacowanie wartości wewnętrznej opcji (WWO).

Wartość wewnętrzna opcji to wyższa z dwóch wielkości: zera oraz wartości, która pojawi się w przypadku natychmiastowego wykonania opcji²¹: dla opcji kupna: $\max(S - X; 0)$; dla opcji sprzedaży: $\max(X - S; 0)$.

Dla opcji kupna sprowadza się to do obliczenia różnicy pomiędzy wartością korzyści (S) generowanych przez analizowane przedsięwzięcie w danym węźle drzewa a wartością nakładów inwestycyjnych (X).

Etap 3: Szacowanie całkowitej wartości opcji (CWO).

Wartość całkowita opcji jest obliczana dla każdego z węzłów przy użyciu wartości wewnętrznej. W przypadku węzłów końcowych wartość całkowita opcji jest równa wartości wewnętrznej. Natomiast w węzłach poprzedzających wyznacza się ją jako maksymalną z dwóch wartości: zdyskontowanej średniej ważonej wartości opcji w kolejnym okresie (wagami są prawdopodobieństwa arbitrażowe wzrostu oraz spadku wartości opcji); wewnętrznej wartości opcji.

Należy pamiętać, że dopóki zachodzi nierówność $CWO > WWO$, należy wstrzymać się z wykonaniem opcji.

3. PRAKTYCZNE UŻYCIE WYBRANEJ OPCJI REALNEJ

3.1. PODSTAWOWE INFORMACJE O ZAKRESIE DZIAŁANIA BADANEGO PRZEDSIĘBIORSTWA

Analizowane przedsiębiorstwo działa na rynku laboratoryjnych analiz surowców. Dzięki wieloletnim pracom badawczym ma wiele zarejestrowanych patentów, a jego działania na bieżąco są obserwowane przez konkurencję. Wiele z dotych-

²¹ J. HULL, *Kontrakty terminowe i opcje*, s. 4, 194; R. HAUGEN, *Teoria nowoczesnego inwestowania*, s. 204.

czasowych pomysłów zakończyło się udanym wdrożeniem głównie w przemyśle samochodowym. Z tego powodu wszelkie działania B+R+I są objęte najwyższą klauzulą poufności, a pracownicy w swoich umowach o pracę mają zapis o zakazie konkurencji, obowiązujący w niektórych przypadkach nawet przez trzy lata po ustaniu stosunku pracy.

Najważniejszym zasobem spółki są ludzie. Zdecydowana większość pracowników ma stopnie naukowe z zakresu chemii przemysłowej. Wiele osób jest w trakcie tzw. doktoratu wdrożeniowego, czego efektem ma być rozwiązanie konkretnego, rzeczywistego problemu. W tym celu prowadzi się odpowiednie badania, testy oraz próby zniszczeniowe, by ostatecznie zakończyć je wdrożeniem na skalę przemysłową. Do tego wykorzystywane są „mini instalacje”, będące niejako pomniejszeniem końcowego rozwiązania techniczno-technologicznego, na którym docelowo będzie prowadzona rzeczywista produkcja w skali makro. Efekt takiego połączenia myśli doktorantów (jak i innych pracowników) oraz innowacyjnych rozwiązań technologicznych owocuje powstawaniem nowoczesnych technologii, którymi firma handluje na otwartym rynku.

3.2. ANALIZA DANYCH

Przedsiębiorstwo posiada rozbudowaną infrastrukturę badawczą. W wyniku szeroko rozwiniętych działań B+R dostrzegło nowe właściwości surowca (A), który w połączeniu z inną substancją (na którą firma ma patent) wykazuje zupełnie odmienne działanie od dotychczasowych. Tę własność można wykorzystać do zastąpienia drogich rozwiązań w przemyśle motoryzacyjnym. W związku z tym, aby uniezależnić się od cen oferowanych przez kilku dostawców tego surowca, firma chce rozpocząć eksploatację złoża surowca (A) przez okres kolejnych 10 lat, szacując roczne wydobycie na poziomie około 360 ton. Obecna cena sprzedaży tego surowca średnio wynosi 5230 zł za jedną tonę. W kalkulacji przepływów pieniężnych przyjęto wzrost ceny wynoszący 27% rocznie. Natomiast zmienność ceny w ciągu roku oszacowano na 51%. W celu zrealizowania tego projektu inwestycyjnego zaplanowano kupno maszyny za około 46 000 dolarów, co po przeliczeniu (kurs z 9.11.2018: 3816 PLN za USD) daje około 176 000 PLN. Średni koszt wydobycia jednej tony oszacowano na 3100 PLN oraz roczny jego wzrost o 2%. Średni ważony koszt kapitału wynosi 11%, a wolna od ryzyka stopa procentowa 3,4%. Akcjonariusze spółki oczekują stałego poziomu wzrostu dywidendy na poziomie 10% rocznie. Zestawienie danych koniecznych do obliczeń zawiera Tabela 1.

Tabela 1. Zestawienie danych do obliczeń

Dzierżawa (lata)	10
Roczna zdolność produkcyjna (tony)	360
Cena obecna sprzedaży (za 1 tonę)	5230
Wzrost ceny (rocznie)	27,0%
Zmienność cen	51,0%
Nakłady inwestycyjne	176 000
Średni koszt wydobycia jednej tony	3100
Wzrost kosztu wydobycia (rocznie)	2,0%
WACC	11,0%
Wolna od ryzyka stopa procentowa	3,4%
Dywidenda jako opóźnienie o 10 lat ($1/10 = 0,1$)	10,0%

Źródło: opracowanie własne.

W Tabeli 2 zamieszczono wyniki obliczeń przepływów pieniężnych w ciągu kolejnych 10 lat, uwzględniających wzrost cen oraz kosztów.

Tabela 2. Wyniki obliczeń wartości obecnej przyszłych przepływów pieniężnych

Lata	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Cena	5230	6642	8435	10 713	13 606	17 279	21 944	27 869	35 394	44 951
Koszty	3100	3162	3225	3290	3356	3423	3491	3561	3632	3705
RÓŻNICA	2130	3480	5210	7423	10 250	13 856	18 453	24 308	31 762	41 246
PV	2130	3135	4229	5428	6752	8223	9866	11 708	13 782	16 124

SUMA PV = 81 378

NPV = -94 622

Źródło: opracowanie własne.

W wierszu PV podano wartości obecne przepływów pieniężnych każdego analizowanego okresu. Suma zdyskontowanych przepływów (SUMA PV) daje wartość 81 378 PLN. Dla takiego projektu NPV = -94 622 PLN, co oznacza, że należy go odrzucić. Dalej zostanie użyty algorytm wyceny prostych opcji, przedstawiony wcześniej (opcja opóźnienia, etapy obliczeń):

Etap 1: Szacowanie prawdopodobieństw arbitrażowych

a) procentowy wzrost ceny **u** zgodnie ze wzorem (1)

$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}} = 2,7183^{0,51\sqrt{1}} = 1,6653$$

b) procentowy spadek ceny **d** zgodnie ze wzorem (2)

$$d = e^{-\sigma\sqrt{\Delta t}} = 2,7183^{-0,51\sqrt{1}} = 0,6005$$

c) prawdopodobieństwo arbitrażowe wzrostu **q** zgodnie ze wzorem (10):

$$q = \frac{e^{(r_f - \delta) - d} - d}{u - d} = \frac{2,7183^{(0,034 - 0,5)} - 0,6005}{1,6653 - 0,6005} = 0,0254$$

d) prawdopodobieństwo arbitrażowe spadku (**1-q**) zgodnie ze wzorem (11):

$$1 - q = 1 - 0,0254 = 0,9746$$

Dzięki prawdopodobieństwom arbitrażowym możliwe jest obliczenie korzyści. Na przykład dla jednego roku eksploatacji projektu (wzrost): $81,38 \cdot 1,6653 = 135,52$. Natomiast korzyść dla spadku w tym samym roku: $81,38 \cdot 0,6005 = 48,87$. Pozostałe wyniki zawiera Tabela 3.

Tabela 3. Wycena korzyści (kalkulacja węzłów końcowych w tysiącach PLN)

WYCENA KORZYŚCI		[tysiące]									
Lata	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
										13347,71	
									8015,24	4813,12	
								2890,25	2890,25	1735,59	
					1042,21	1735,59	1042,21	1735,59	1042,21	1735,59	
			375,82	625,84	375,82	625,84	375,82	625,84	375,82	625,84	
		225,68	225,68	225,68	225,68	225,68	225,68	225,68	225,68	225,68	
81,38	135,52	81,38	135,52	81,38	135,52	81,38	135,52	81,38	135,52	81,38	
	48,87	48,87	48,87	48,87	48,87	48,87	48,87	48,87	48,87	48,87	
		29,34	29,34	29,34	29,34	29,34	29,34	29,34	29,34	29,34	
			17,62	17,62	17,62	17,62	17,62	17,62	17,62	17,62	
				10,58	10,58	10,58	10,58	10,58	10,58	10,58	
					6,35	6,35	6,35	6,35	6,35	6,35	
						3,82	3,82	3,82	3,82	3,82	
							2,29	2,29	2,29	2,29	
								1,38	1,38	1,38	
									0,83	0,83	
										0,50	

Źródło: obliczenia własne.

Etap 2: Szacowanie wartości wewnętrznej opcji (WWO)

Dla opcji kupna wartość wewnętrzną stanowi wyższy wynik z: $\max(S-X; 0)$, czyli jest to różnica między obliczoną korzyścią (S ; Tabela 3) oraz poniesionym kosztem (nakładem inwestycyjnym: $X = 176$). W związku z tym dla drugiego roku (wzrost) wynosi ona: $\max(225,68 - 176; 0) = 49,68$.

Pozostałe wyniki zawiera Tabela 4.

Tabela 4. Wycena wartości wewnętrznej opcji w tysiącach PLN, gdzie dla opcji kupna: $WWO = \max(S-X; 0)$

Wartość Wewnętrzna Opcji (WWO)		[tysiące]									
Lata	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
									7 839,24	13 171,71	
								4 637,12	2 714,25	4 637,12	
						1 559,59		1 559,59		1 559,59	
				449,84	866,21	449,84	866,21	449,84	866,21	449,84	
			199,82	49,68	199,82	49,68	199,82	49,68	199,82	49,68	
	0,00	49,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
					0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
						0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
							0,00	0,00	0,00	0,00	
								0,00	0,00	0,00	
									0,00	0,00	
										0,00	

Źródło: obliczenia własne.

Etap 3: Szacowanie całkowitej wartości opcji (CWO)

Zgodnie z podanym wcześniej zapisem, w węzłach końcowych wartość całkowita opcji jest równa wartości wewnętrznej. Natomiast w poprzedzających węzłach wyznacza się ją jako maksymalną z dwóch wartości:

- zdyskontowanej średniej ważonej wartości opcji w kolejnym okresie (wagami są prawdopodobieństwa arbitrażowe wzrostu oraz spadku wartości opcji),
- wewnętrznej wartości opcji (WWO).

W związku z tym w 9 okresie (wzrost):

$$CWO = \max[(13.171,71 \cdot 0,0254 + 4.637,12 \cdot 0,9746) \cdot 2,7183^{-0,034}; 7.839,24] = 7.839,24.$$

Pozostałe wyniki zawiera Tabela 5.

3.3. WNIOSKI

Z przedstawionych wyników w Tabeli 6 wynika, że realizacja projektu powinna nastąpić nie wcześniej niż za trzy lata. Wtedy dopiero wartość wewnętrzna opcji (WWO) będzie większa lub równa cenie wykonania opcji (CWO), co jest warunkiem koniecznym, aby opcję zrealizować. Do tego czasu wykonanie opcji jest nieopłacalne.

W kolejnym roku (4) wykonanie opcji jest opłacalne jedynie w przypadku wzrostu korzyści (625,84). Wówczas:

- wartość wewnętrzna opcji:

$$WWO = \max(625,84 - 176; 0) = 449,84$$

- całkowita wartość opcji:

$$CWO = \max(866,21 \cdot 0,3152 + 199,82 \cdot 0,6848) \cdot e^{-0,034}; 449,84) = 449,84.$$

Natomiast w tym samym (4) roku w sytuacji spadku korzyści (225,68) wykonanie opcji nie jest opłacalne, ponieważ:

- wartość wewnętrzna opcji:

$$WWO = \max(225,68 - 176; 0) = 49,68$$

- całkowita wartość opcji:

$$CWO = \max(199,82 \cdot 0,3152 + 29,11 \cdot 0,6848) \cdot e^{-0,034}; 49,68) = 80,14,$$

co oznacza, że z wykonaniem opcji należy się wstrzymać, ponieważ: $CWO > WWO$.

Porównując pierwotną wartość NPV (-94 622 PLN) z podejściem opcyjnym (dynamicznym) należy zauważyć, że zastosowanie opcji opóźnienia pozwala jednak podjąć decyzję, że analizowany projekt powinien być zrealizowany, ale nie wcześniej niż za trzy lata. Przy tradycyjnym podejściu (statycznym) inwestycję taką należałoby odrzucić. Dlatego dzięki opcjom realnym można ograniczyć ryzyko błędnych decyzji w zakresie realizacji działań związanych z rozwojem przedsiębiorstwa.

PODSUMOWANIE

„Opcje realne można rozumieć jako zintegrowane, systemowe, sformalizowane podejście, które korzysta z dorobku teorii finansów, nauk zarządzania, teorii podejmowania decyzji, statystyki i modelowania ekonometrycznego pozwalającego na

wycenę elastyczności”²². Dzięki nim można wyeliminować wady metod dyskontowych, które stanowią ograniczenie dla decydentów zdających sobie sprawę z tego, że w dłuższym okresie plany inwestycyjne są obciążone znacznym ryzykiem. Zastosowanie opcji realnych wychodzi niejako naprzeciw tym rodzajom ryzyka, które wprost wiążą się z bezwzględną oceną opłacalności inwestycji. Takie podejście stanowi alternatywę dla tradycyjnego podejścia, w którym wszystkie zmienne przyjmowane są za *constans*.

Mimo zalet, jakie niosą ze sobą opcje realne, w odniesieniu do przedstawionej w pracy opcji opóźnienia należy wspomnieć także o jej wadach²³:

- trudność w oszacowaniu wartości oraz zmienności; ponieważ aktywa takiej opcji stanowi projekt i nie jest on notowany na giełdzie;
- możliwość zmian cen w inny sposób niż zakładane w modelu, np. cena może ulegać zmianie w sposób ciągły przy stałej jej wariancji;
- niesprecyzowanie okresu na wyłączność realizacji projektu, wyłączność na nowe produkty nie jest pewna, a w dłuższym okresie mniej prawdopodobna.

Efektom zakończenia procesu bezwzględnej oceny opłacalności inwestycji jest informacja o opłacalności (decyzja bezwzględna), dzięki której decydent mógłby podjąć racjonalną decyzję. Jednak warto zauważyć, że „obecnie odchodzi się od deterministycznego podejścia do inwestycji [...] zaczyna dominować podejście probabilistyczne, zgodnie z którym decyzja inwestycyjna powinna być podejmowana nie tylko na podstawie pomiaru opłacalności, lecz powinna uwzględniać także ryzyko związane z daną inwestycją”²⁴.

Celem artykułu było zaprezentowanie alternatywnego (dynamicznego) spojrzenia na statyczne metody oceny opłacalności inwestycji, do których należą metody dyskontowe. Użyte w związku z tym opcje realne dają menedżerom większy zakres swobody w podejmowanych decyzjach, gdyż eliminują główne wady tradycyjnych obliczeń, zgodnie z którymi raz przyjętych założeń nie można zmieniać. Wyrazem postawionego celu było praktyczne użycie wybranej opcji realnej w odniesieniu do konkretnej inwestycji (projektu inwestycyjnego). W związku z tym teza postawiona w artykule: „użycie opcji realnych pozwala menedżerom na bardziej elastyczne podejście do projektów inwestycyjnych” okazała się prawdziwa.

²² W. ROGOWSKI, *Rachunek efektywności inwestycji*, s. 325.

²³ A. DAMODARAN, *Finanse korporacyjne*, s. 1355.

²⁴ W. ROGOWSKI, *Rachunek efektywności inwestycji*, s. 229.

BIBLIOGRAFIA

- DAMODARAN A., *Finanse korporacyjne. Teoria i praktyka*, Wydawnictwo Helion, Gliwice 2007.
- HAUGEN R., *Teoria nowoczesnego inwestowania*, WIG-Press, Warszawa 1996.
- HULL J., *Kontrakty terminowe i opcje. Wprowadzenie*, WIG-Press, Warszawa 1998.
- KOLB R.W., *Wszystko o instrumentach pochodnych*, WIG-Press, Warszawa 1997.
- MACHAŁA R., *Praktyczne zarządzanie finansami firmy*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2004.
- ROGOWSKI W. (red.), *Opcje realne w przedsięwzięciach inwestycyjnych*, Szkoła Główna Handlowa w Warszawie – Oficyna Wydawnicza, Warszawa 2008.
- ROGOWSKI W., *Rachunek efektywności inwestycji. Wyzwania teorii i potrzeby praktyki*, Wydawnictwo Nieoczywiste, Warszawa 2018.

OCENA OPŁACALNOŚCI PROJEKTU INWESTYCYJNEGO
Z UŻYCIEM OPCJI REALNEJ

Streszczenie

Tradycyjne podejście do oceny rentowności projektu inwestycyjnego charakteryzuje się statyczną formułą. Polega na tym, że raz przyjęte założenia i obliczenia związane z inwestycją są stałe i pozostają niezmiennie. Dlatego zarówno literatura, jak i praktyka wykorzystują tzw. realną wycenę opcji (ROV), która charakteryzuje się pewną elastycznością w podejściu do pierwotnych założeń. Zaistniała więc potrzeba wyceny takiej elastyczności, która pojawia się w większości projektów inwestycyjnych. Podejście opcyjne przedstawione w artykule (opcje rzeczywiste) daje menedżerom większe możliwości podejmowania decyzji, ponieważ eliminuje podstawowe wady tradycyjnych obliczeń, w których po przyjęciu określonych założeń już nic nie można zmienić. W artykule przedstawiono praktyczne zastosowanie wybranej wyceny rzeczywistej opcji w odniesieniu do konkretnego projektu inwestycyjnego.

Słowa kluczowe: NPV; dyskontowanie; opcja realna.

EVALUATION OF THE INVESTMENT PROJECT CAPACITY
USING THE REAL OPTION

Summary

The traditional approach to assessing the profitability of investment Project is characterized by a static formulation. It consists in the fact that once adopted assumptions yet at the stage of calculation and all calculations related to the investment are fixed and remain unchanged. Therefore, both the literature and practice use the so-called real option valuation (ROV), which is characterized by a certain flexibility in the approach to original assumptions. Thus, there was a need to value such flexibility that appears in most investment projects. Optional approach presented in the article (real option) gives managers more possibilities in making decisions because it eliminates the basic disadvantages of traditional calculations in which once adopted assumptions can not be changed. The article presents the practical application of the selected real option valuation for specific investment project.

Key words: NPV; discounting; real option valuation.