



PIOTR W. SAŁUGA*

Dobór stopy dyskontowej dla długoterminowych projektów sekwencyjnych z branży surowców mineralnych

Wprowadzenie

Inwestycje w aktywa geologiczno-górnictwa charakteryzują się szeregiem wyjątkowych cech wyróżniających je na tle alternatywnych przedsięwzięć podejmowanych w innych branżach. Wśród tych cech wymienia się zwykle unikatowe atrybuty złoża jako przedmiotu pracy (niepowtarzalność zalegania, budowy geologicznej i lokalizacji, wielkość, nieodnawialność i szczyptywalność bazy zasobowej), długi okres inwestycyjny i produkcyjny, wysoką kapitałochłonność, zmienność cen surowców mineralnych, nieelastyczność i zróżnicowane warunki procesu produkcyjnego i in. Wyjątkowość ta skutkuje występowaniem wysokiego ryzyka towarzyszącego podejmowaniu tych przedsięwzięć. Jest ono wynikiem oddziaływania różnorodnych czynników technicznych, ekonomicznych i politycznych.

Ze względu na angażowanie ogromnych nakładów kapitałowych i troskę inwestorów o uzyskanie zwrotu tych środków występowanie dużego zakresu ryzyka w projektach geologiczno-górnictwa musi znaleźć wyraz w ocenie ekonomicznej tych przedsięwzięć. W najczęściej stosowanej w tych procesach analizie zdyskontowanych przepływów pieniężnych (*discounted cash flow analysis*, DCF) ryzyko to odzwierciedlone jest w poziomie przyjmowanej stopy dyskontowej, stanowiącej dolną granicę kosztu zaangażowanego kapitału.

* Dr hab. inż., prof. AGH, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Zarządzania, Kraków;
e-mail: psaluga@zarz.agh.edu.pl

Przedsiębiorstwo górnicze – w zależności od poziomu występującego ryzyka – stosuje różne stopy dyskontowe. Stanowią one kluczowy czynnik oddziałujący na wartość zaktualizowaną netto (*net present value*, NPV), a tym samym na ekonomikę przedsięwzięcia i kryterium decyzyjne. Dlatego określenie realistycznego poziomu stopy dyskontowej odpowiadającej ryzyku danego projektu, jest jednocześnie najważniejszym i najtrudniejszym wyzwaniem stojącym przed analitykiem dokonującym oceny przedsięwzięcia (Duffin 1992; Saługa 2006).

Dobór poziomu czynnika dyskontowego musi być realizowany z właściwym rozeznaniem wszystkich technicznych, ekonomicznych i politycznych czynników ryzyka projektu. Aktualnie jako najbardziej uzasadniony merytorycznie i najbardziej obiektywny sposób szacowania stopy dyskontowej w postaci kosztu kapitału własnego uznawany jest model wyceny aktywów kapitałowych (*capital asset pricing model*, CAPM). Drugim sposobem jest model wzrostu dywidendy Gordona (*dividend growth model*, DGM) (Nhleko i Musin-gwini 2016). Wśród innych, mniej popularnych sposobów, wymienić można trójczynnikowy model Famy i Frencha (*Fama & French three factor model*), model wyceny arbitrażowej (*arbitrage pricing model*, APT) oraz wieloczynnikowy model wyceny aktywów (*multi-factor asset pricing model*) (Taheri 2009). Niemniej jednak, dobór stóp dyskontowych w praktyce realizowany jest często z dużym udziałem czynnika subiektywnego i innych czynników związanych raczej z doświadczeniem analityków i menadżerów niż z podejściem obiektywnym. Dzieje się tak dlatego, że podejście obiektywne stosowane jest do szacowania stóp dyskontowych dla spółek i nie odnosi się do kwestii doboru tych wskaźników dla projektów. Stopy te są zwykle różne od stawek skalkulowanych według modelu CAPM z uwagi na fakt, że projekty charakteryzują się zwykle cechami specyficznymi, odróżniającymi je (czasami istotnie) od atrybutów typowych dla aktywów spółki. W przypadku przedsiębiorstw górniczych poszczególne projekty w ich portfelach mogą być znacznie zróżnicowane – w zależności od stopnia rozpoznania i zagospodarowania złoża spółka może posiadać projekty na etapie poszukiwań, rozpoznawania, udostępnienia, produkcji lub likwidacji. Mając na uwadze zakres występującego ryzyka przedsięwzięcia te często różnią się diametralnie – przyjmowanie więc dla każdego z nich pojedynczej stopy dyskontowej na poziomie stopy uzyskanej z CAPM jest niewłaściwe.

Artykuł przedstawia propozycję doboru stopy dyskontowej dla projektów geologiczno-górniczych jako stawki degresywnej w relacji do zakresu występującego ryzyka. W pierwszej części przedstawione zostanie ogólnie akceptowane podejście do określania stóp dyskontowych, z koncepcjami szacowania tych wskaźników dla projektów inwestycyjnych. W kolejnych akapitach zaprezentowana zostanie bieżąca praktyka w zakresie doboru czynników dyskontowych dla projektów geologiczno-górniczych, a następnie przedstawiona zostanie propozycja modyfikacji tego podejścia z zastosowaniem stopy degresywnej; na końcu opracowania przedkładana koncepcja zweryfikowana zostanie na konkretnym przykładzie z branży. Pracę zamykają podsumowanie wyników i wnioski.

1. Powszechnie praktykowany dobór stopy dyskontowej

Najbardziej uzasadniony paradygmat w kontekście określania stopy dyskontowej „dostosowanej do ryzyka” (*risk-adjusted discount rate*, RADR) stanowi wciąż opracowany w latach sześćdziesiątych ub. wieku model wyceny aktywów kapitałowych (*capital asset pricing model*, CAPM). Pomimo wielu głosów krytycznych, model ten stosowany jest aktualnie przez duże i wielkie przedsiębiorstwa, banki i instytucje publiczne do szacowania kosztów kapitału własnego. Formuła modelu CAPM jest ogólnie znana – mówi ona, że na spodziewaną stopę zwrotu z aktywów składa się wolna od ryzyka stawka procentowa plus premia za systematyczne ryzyko związane z tymi aktywami. Odzwierciedlenie ryzyka przedsiębiorstwa stanowi tzw. współczynnik beta.

Zgodnie z regułą, w celu obliczenia współczynnika β przeprowadza się analizę regresji linowej pomiędzy korespondującymi ze sobą notowaniami akcji spółki i indeksu giełdowego w danym okresie; beta stanowi tangens kąta nachylenia linii regresji do osi odciętych.

Należy jednak podkreślić, że w celu określenia kosztu kapitału własnego spółka musi być notowana na giełdzie. Warto zwrócić uwagę, że obliczona w ten sposób stopa dyskontowa nie posiada atrybutu stałości, gdyż jej stawka fluktuuje wraz ze zmianami rynku oraz okresami szacowania. Często też krytykuje się fakt estymacji RADR na podstawie danych historycznych uzasadniając, że stopa dyskontowa powinna odnosić się do przyszłości. To bardzo ważny argument.

Kalkulowane stopy dyskontowe mogą być wyrażane w wartościach nominalnych lub realnych – zależność pomiędzy tymi wielkościami wyraża znana powszechnie formuła Fishera:

$$r = \frac{1+R}{1+i} - 1 \quad (1)$$

↳ r – stopa dyskontowa realna,
 R – stopa dyskontowa nominalna,
 i – stopa inflacji.

To istotny wzór, o którym nie sposób nie wspomnieć w kontekście tego artykułu.

Należy podkreślić, że wartości oczekiwanych przyszłych przepływów pieniężnych aktualizuje się stopą RADR wyłącznie w sytuacjach, gdy przedsięwzięcie finansowane jest w całości kapitałem własnym. W większości przypadków projekty inwestycyjne zasilane są również kapitałem obcym. Wówczas przepływy pieniężne – mając na uwadze interesy wszystkich stron finansujących – dyskontuje się średnim ważonym kosztem kapitału (*weighted average cost of capital*, WACC). W odniesieniu do powyższego warto raz jeszcze przywołać uproszczoną formułę wyrażającą stopę WACC:

$$WACC = V_E R_E + V_D R_D (1 - tax) \quad (2)$$

- ✎ V_E, V_D – odpowiednio udziały: kapitału własnego i obcego w obrębie całości nakładów kapitałowych,
 R_E, R_D – odpowiednio koszt: kapitału własnego i obcego
(dla wartości realnych przedstawiane w postaci małych liter: r_E, r_D),
 $(1 - tax)$ – tarcza podatkowa (' tax ' – stawka podatku dochodowego od przedsiębiorstw).

Jak już wspomniano, przedstawione powyżej fundamentalne zasady pozwalające na obiektywną kalkulację stopy dyskontowej dla przedsiębiorstw nie mogą być generalnie – co intuicyjne i oczywiste – zastosowane do estymacji tego współczynnika dla poszczególnych przedsięwzięć inwestycyjnych. Koszt kapitału projektu stanowi bowiem minimalną oczekiwaną stopę zwrotu – wymaganą do pozyskania niezbędnych środków – zwykle odmienną od stopy RADR. Ten pierwszy zależy od konkretnego wykorzystania pozyskiwanego kapitału, a więc od ryzyka projektu, a nie ryzyka przedsiębiorstwa.

W odniesieniu do powyższego, niektórzy autorzy (Brealey i in. 2001; Damodaran 2004) proponują pewne metody i wskazówki w zakresie szacowania kosztu kapitału projektu, ale metody te nie mają zastosowania w praktyce. W bieżącej działalności przedsiębiorstw stopę dyskontową dla projektów dobiera się więc częściowo na sposób subiektywny z dopuszczeniem pewnego zakresu błędu: współczynnik ten określany jest zwykle na podstawie stopy wolnej od ryzyka zwiększanej o poziom rynkowej premii za ryzyko wynikającej z analizy zmienności danego projektu w stosunku do zmian rynku (Park i Matunhire 2011). Należy mieć jednak na uwadze, że wysokość tak estymowanego wskaźnika dyskontowego jest uzależniona od różnych czynników, wynikających z doświadczeń przedsiębiorstwa (najczęściej zarządu) i poszczególnych analityków.

2. Stopy dyskontowe w działalności geologiczno-górnictwej

Zagadnienie doboru stopy dyskontowej stanowi typowy problem w procesach oceny przedsięwzięć geologiczno-górnictwowych. Podobnie, jak w przypadku innych branż, znakomita większość tekstów literaturowych (wyjątkiem są prace Smitha z 1994 i 2000 roku) odnosi się tu do kalkulacji kosztu kapitału przedsiębiorstwa – od lat osiemdziesiątych ub. wieku wielu badaczy i praktyków usiłuje rozwiązać przedmiotową kwestię poprzez opracowywanie różnych procedur, pochodnych zarówno od modelu CAPM, jak i modeli wzrostu dywidendy, metod wskaźnikowych E/P lub poprzez sumowanie składników stopy dyskontowej. Skuteczne stosowanie tych podejść jest wciąż przedmiotem dyskusji ze względu na szereg istotnych ograniczeń. W tym miejscu warto również wspomnieć stosunkowo duży w tym zakresie dorobek polskich autorów – wystarczy wspomnieć m. in. prace Wirtha (2011), Byrskiej-Rapały (2011) czy Ubermanów (2008).

Jednym z istotnych wyróżników przedsięwzięć geologiczno-górnictwowych jest ich sekwencyjność, przejawiająca się w długoterminowości i różnorodności następujących po sobie

specyficznych działań gospodarczych – od etapu poszukiwań geologicznych po likwidację kopalni. Podjęcie kolejnej fazy w tym cyklu determinowane jest wynikami uzyskiwanymi wskutek realizacji poprzedniej. Poszczególne etapy trwają od kilku do kilkunastu lat; istotnym atrybutem tych procesów jest rozwiązywanie się z czasem towarzyszącej im niepewności w wyniku napływającej systematycznie informacji.

W odniesieniu do powyższego, oceny projektów geologiczno-górnich realizowane są – w zależności od stanu zagospodarowania złoża – na różnych poziomach ufności. Dopuszczalny stopień dokładności oceny efektywności ekonomicznej poszczególnych faz rozwojowych projektów (*technical studies*) podawany w zależności od kraju, branży, autora oraz skali przedsięwzięcia:

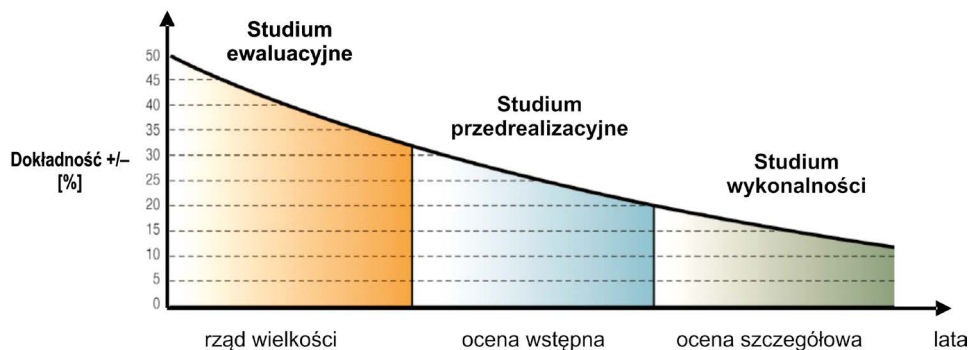
- ◆ studium ewaluacyjne (*scoping study*):
 - ◆ $\pm 30\text{--}50\%$ (Ruprecht 2004),
 - ◆ $\pm 50\%$ (Pincok i in. 2012; AusIMM 2012),
 - ◆ $\pm 45\%$ (Alch 2013),
 - ◆ $-30\text{--}+50\%$ (Mohutsiwa 2015),
 - ◆ $\pm 35\%$ – w odniesieniu do kosztów operacyjnych, $\pm 50\%$ – w odniesieniu do kosztów kapitałowych (RPM 2015);
- ◆ studium przedrealizacyjne (*pre-feasibility study*):
 - ◆ $\pm 15\text{--}30\%$ (Ruprecht 2004),
 - ◆ $\pm 35\%$ (Pincok i in. 2012),
 - ◆ $\pm 20\%$ (AusIMM 2012),
 - ◆ $\pm 30\%$ (Alch 2013),
 - ◆ $-15\text{--}+30\%$ (Mohutsiwa 2015),
 - ◆ $\pm 25\%$ (RPM 2015);
- ◆ studium wykonalności (*feasibility study*):
 - ◆ $\pm 10\text{--}15\%$ (Ruprecht 2004),
 - ◆ $\pm 25\%$ (Pincok i in. 2012),
 - ◆ $\pm 10\%$ (AusIMM 2012),
 - ◆ $\pm 15\%$ (Alch 2013; RPM 2015),
 - ◆ $-5\text{--}+15\%$ (Mohutsiwa 2015).

Pomimo, że ww. wielkości różnią się od siebie – czasami istotnie – warto jednak zwrócić uwagę na ich związek z zakresem ryzyka występującym w kolejnych fazach zagospodarowania projektu, które dla poszczególnych studiów technicznych określane jest jako:

- ◆ skrajnie wysokie bądź wysokie (studium ewaluacyjne),
- ◆ średnie (studium przedrealizacyjne),
- ◆ niskie (studium wykonalności).

Zmienność dokładności oszacowania podstawowych parametrów przedsięwzięcia surowcowego w czasie przedstawia rysunek 1.

Ryzyko projektów geologiczno-górnich maleje więc wraz ze stopniem zagospodarowania złoża. Powinno to znaleźć odzwierciedlenie w poziomie stopy dyskontowej wykorzystywanej w analizach oceny efektywności ekonomicznej realizowanych z użyciem analizy



Rys. 1. Zmiany dokładności oszacowania podstawowych parametrów projektu górniczego w czasie (RPM 2015)

Fig. 1. Evolution of estimate accuracy of basic project parameters (RPM 2015)

zdyskontowanych przepływów pieniężnych. Oznacza to tym samym, że stosowanie do oceny tych projektów pojedynczej stopy dyskontowej, przyjmowanej na bazie kosztu kapitału przedsiębiorstwa, jest nieuzasadnione.

Jak wspomniano, problem doboru stóp dyskontowych dla projektów geologicznych i górniczych w zależności od etapu zagospodarowania złoża przedstawiony został szczegółowo w pracy Smitha (1994). Autor ten, badając związek pomiędzy zakresem ryzyka poszczególnych projektów z północnoamerykańskiego górnictwa metali nieszlachetnych (*base metals*) a wysokością stosowanych stóp dyskontowych, opracował następujące zestawienie poziomów kosztu kapitału własnego (w wartościach realnych, po uwzględnieniu opodatkowania) (rys. 2):

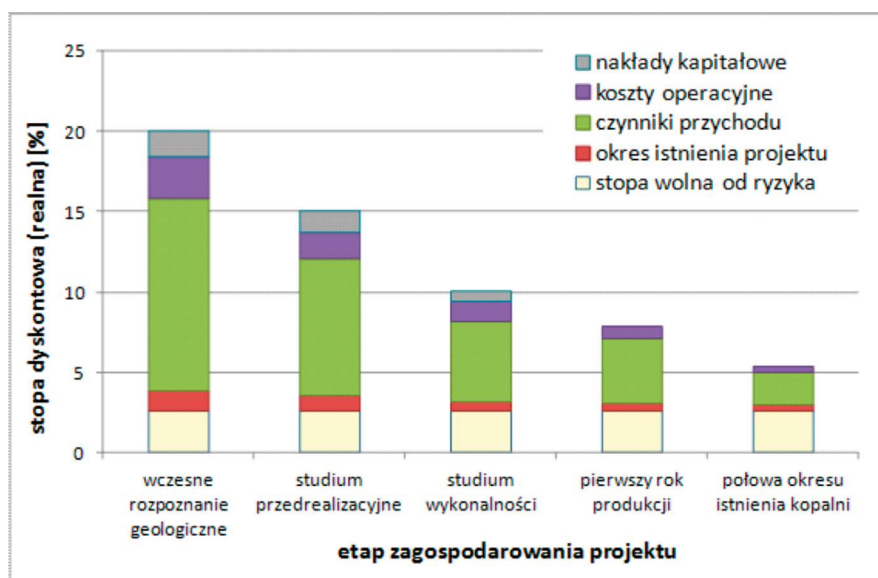
- ◆ na etapie prac geologicznych – poszukiwawczych – 20%,
- ◆ w fazie studium przedrealizacyjnego – 15%,
- ◆ na etapie studium wykonalności – 10%,
- ◆ w fazie eksploatacji i przeróbki – 5–8%.

Powyższe liczby uzyskane zostały poprzez sumowanie składników stopy dyskontowej przy założeniu że porcja ryzyka specyficznego zmienia się w zależności od stopnia zaawansowania projektu:

$$r_E = r_f + r_p + r_c \quad (3)$$

- ↳ r_E – koszt kapitału własnego (realny),
 r_f – długoterminowa realna stopa wolna od ryzyka,
 r_p – procent wyrażający ryzyko specyficzne projektu,
 r_c – procent związany z krajowym ryzykiem inwestycyjnym (*country risk*).

W przedłożonej metodologii przyjęto, że na ryzyko specyficzne projektu składa się, według skali ważności, ryzyko związane z:



Rys. 2. Stopy dyskontowe „dostosowane do ryzyka” (koszt kapitału własnego) stosowane na różnych etapach zagospodarowania projektów geologiczno-górnictwa w górnictwie rud metali nieszlachetnych Ameryki Północnej (Smith 1994)

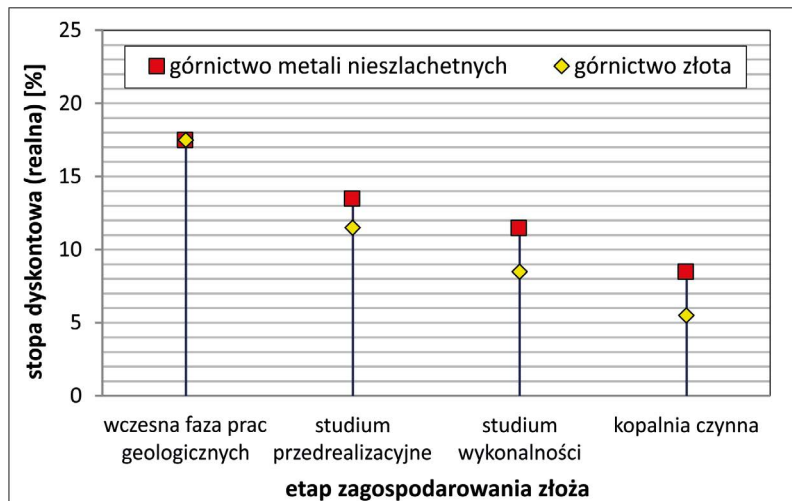
Fig. 2. Risk-adjusted discount rates (cost of equity) used at different stages of the North-American base metals projects (Smith 1994)

- ◆ przychodami (w tym głównie ryzyko realizacji zakładanego wydobycia i uzyskania odpowiedniej ceny),
- ◆ kosztami operacyjnymi,
- ◆ kosztami kapitałowymi,
- ◆ okresem istnienia.

Udziały poszczególnych rodzajów ryzyka – za wyjątkiem stopy wolnej od ryzyka – zmniejszają się wraz z postępem zagospodarowania. Premia za ryzyko specyficzne waha się i uzależniona jest od stanu zagospodarowania przedsięwzięcia.

Wyniki Smitha potwierdzone zostały badaniami przeprowadzonymi przez członków Towarzystwa Ekonomiki Surowców Mineralnych (*Mineral Economics Society*, MES) Kanadyjskiego Instytutu Górnictwa, Hutnictwa i Ropy Naftowej (*Canadian Institute of Mining Metallurgy and Petroleum*, CIM). Podobnie, jak powyżej dotyczyły one przyjmowanych w praktyce przemysłowej wielkości stóp dyskontowych relacji do stopnia zaawansowania projektu (rys. 3).

Prezentowane wielkości odnoszą się do kosztu kapitału własnego projektów realizowanych w USA i Kanadzie przy założeniu kalkulacji przepływów pieniężnych w pieniądzu stałym, po uwzględnieniu opodatkowania. Należy przy tym podkreślić, że w swojej pracy autorzy ograniczyli się wyłącznie do podania konkretnych liczb, bez przedstawienia proce-



Rys. 3. Stopy dyskontowe „dostosowane do ryzyka” przyjmowane w różnych fazach rozwoju projektów geologiczno-górnictwowych realizowanych w północnoamerykańskich branżach wydobywczych rud metali nieszlachetnych i złota – według badań CIM MES (Smith 2000)

Fig. 3. CIM MES survey – risk-adjusted discount at subsequent development stages of the mineral projects (base metals and gold) in North America (Smith 2000)

dury ich kalkulacji. Za wiarygodnością przedstawionych wyników przytaczali natomiast następujące argumenty:

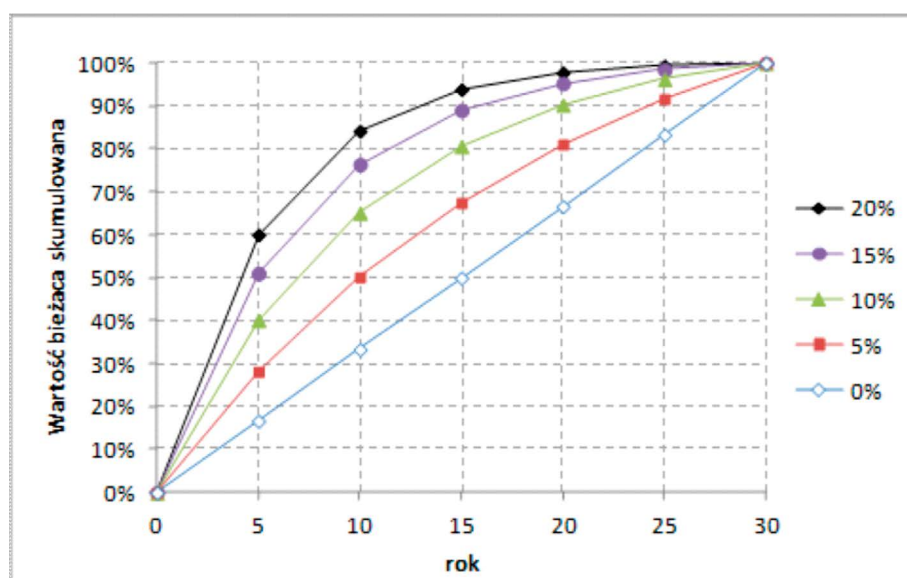
- ◆ doświadczenie własne, nabyte w wyniku zrealizowanych studiów technicznych,
- ◆ potwierdzenie uzyskanych stawek rezultatami dyskusji z zarządami przedsiębiorstw geologiczno-górnictwowych,
- ◆ wsparcie literaturowe dla przedstawionych wielkości,
- ◆ stosowanie ich w praktyce przez członków CIM MES oraz wielkie przedsiębiorstwa angażujące w działalność górnictwą duże środki finansowe.

Warto zauważyć, że linie trendów dla obu branż – górnictwa metali nieszlachetnych i złota – wychodzą z tego samego punktu (faza poszukiwań geologicznych), po czym w miarę zagospodarowywania aktywów oddalają się od siebie: ryzyko realizacji wydobywania rud metali nieszlachetnych na etapie kopalni czynnej jest istotnie wyższe niż prowadzenie eksploatacji rud złota – nawet pomimo tych samych lub podobnych uwarunkowań geologicznych i technicznych. Wynika to z faktu, że metale nieszlachetne postrzegane są powszechnie przez inwestorów jako mniej bezpieczne niż złoto.

3. Degresywna stopa dyskontowa i metodyka jej doboru

Przedsięwzięcia geologiczno-górnictwa są długoterminowe i sekwencyjne, a ponadto charakteryzują się one zwykle większym ryzykiem od przeciętnej dla gospodarki. Biorąc pod uwagę wyniki analizy DCF przedsiębiorcy: inwestują, jeśli $NPV > 0$ lub rezygnują z przedsięwzięcia w sytuacji przeciwnej. O wielkości wartości zaktualizowanej decyduje m.in. poziom stopy dyskontowej – im jest on większy tym niższa NPV. W konsekwencji, przyjmowanie wysokich stawek dyskonta skutkuje więc często zarzuceniem przedsięwzięcia. Jest jednak jeszcze jeden istotny aspekt tej sytuacji – w przypadku oceny projektów długoterminowych stosowanie wysokich stóp dyskontowych powoduje, że *gros* całkowitej wartości bieżącej przedsięwzięcia generowane jest przez przepływy pieniężne narastające w początkowych latach funkcjonowania inwestycji, natomiast wartość pozostałych przepływów – ocenianych z perspektywy dnia dzisiejszego – jest niewielka. Sytuację tę ilustruje rysunek 4, przedstawiający wpływ poziomu stopy dyskontowej na bieżącą wartość (*present value*, PV) 30-letniego projektu inwestycyjnego (wykres skonstruowano przy założeniu uzyskiwania w latach 1–30 przepływów pieniężnych w wysokości 100 mln zł rocznie).

Zgodnie z formułą DCF, wartość ww. projektu wraz ze wzrostem stopy dyskontowej istotnie spada: od 3 000 tys. zł dla stopy 0-procentowej, przez 1 537,3 i 942,7 tys. zł – odpowiednio – dla stóp 5- i 10-procentowej do 656,6 i 497,9 tys. zł dla stopy 15- i 20-procentowej. Dla inwestorów interesująca może być jednakowoż informacja, że dla wysokich stóp



Rys. 4. Wpływ poziomu stopy dyskontowej na skumulowaną wartość bieżącą przedsięwzięcia (na podst. [Torriesa 1998](#))

Fig. 4. Influence of the level of the discount rate on the cumulative present value (based on [Torries 1998](#))

dyskontowych większość skumulowanej wartości PV osiągnięta jest już w połowie istnienia projektu (dla stopy 10-procentowej w wysokości 80,7%, 15-procentowej – 89,1% a 20-procentowej – 93,9%). Oznacza to, że przy wysokich stopach dyskontowych wartości przepływów pieniężnych narastających od 21 do 40 roku mają w kontekście dnia oceny znikome znaczenie.

W odniesieniu do powyższego pojawia się koncepcja alternatywnego podejścia do wyceny podobnych przedsięwzięć. Jest ona związana z pytaniem, czy przyjmowanie pojedynczej stopy dyskontowej dla projektów sekwencyjnych, długoterminowych, jakimi są projekty geologiczno-górnictwa, jest w takim razie na pewno właściwe? Projekty te charakteryzują się zmiennym ryzykiem, które wraz z napływem informacji rozwiązuje się w czasie – na początku okresu istnienia jest bardzo wysokie (etap poszukiwań i rozpoznania), po czym systematycznie spada do poziomu stopy wolnej od ryzyka w okresie likwidacji. Stosowanie dla oceny takich przedsięwzięć pojedynczej stawki dyskontowej – zwykle silnie związanej z poziomem kosztu kapitału własnego przedsiębiorstwa, kalkulowanym na podstawie modelu CAPM – wydaje się nieracjonalne (Hodder i Riggs 1995). Przepływy pieniężne szacowane na etapie przygotowywania studiów technicznych projektu charakteryzują się większym ryzykiem, niż generowane w początkowej fazie eksploatacji; niepewność związana z tymi ostatnimi jest z kolei większa od niepewności towarzyszącej przepływom kopalni czynnej w połowie okresu istnienia itd.

Zasadę definitywnego stosowania pojedynczej stopy dyskontowej w trakcie oceny projektów wprowadził Samuelson w 1937 roku, choć problem dyskontowania przyszłych przepływów pieniężnych dyskutowany był już wcześniej (Hoover 1909; Hotelling 1931). Aktualnie wiele artykułów naukowych odchodzi od tego poglądu koncentrując uwagę na tzw. degresywnej stopie dyskontowej (*declining discount rate*, DRR). Jej koncepcja, postrzegająca ryzyko w kontekście „preferencji czasu” (*time preference*), „deprecjacji przyszłości” (*pervasive devaluation of future*) oraz „użyteczności dyskontowania” (*discounting utility*) wykształcała się stopniowo (Heal 1996; Weitzman 1998; Cropper i Laibson 1999; Frederic i in. 2002; Price 2011; Arrow i in. 2013; Cropper i in. 2014). Ostatnio w literaturze da się zauważyć konsensus co do faktu, że stopa dyskonta stanowi funkcję czasu – jako standard oceny akceptowane jest tzw. dyskontowanie hiperboliczne (*hyperbolic discounting*), które daje obraz, w jaki sposób ludzie wagi aktualnie przyszłe wyniki ekonomiczne (Anagnostopoulos 2007); prace te odnoszą się do teorii użyteczności i tzw. społecznej stopy dyskonta. Oprócz określenia *declining discount rate* w literaturze funkcjonuje też często pojęcie „zmieniającej się z czasem stopy dyskontowej” (*varying discount rate over time* lub *time-varying discount rate*). Idea DRR bierze się z obserwacji, że przyjmujący wysoką stopę dyskontową inwestorzy skoncentrowani są bardziej na teraźniejszości niż przyszłości, natomiast niską – odwrotnie: przywiązują większą wagę do tego, co się wydarzy za jakiś czas. Po uwzględnieniu niepewności co do przyszłości oraz faktu, że ścieżka korzyści zidentyfikowanych w przyszłości z roku na rok będzie rozwijać się bardziej według schematu skorelowanego niż losowego, koncepcja ta zdaje się mieć sens (Arrow i in. 2014).

W przypadku długoterminowych projektów sekwencyjnych, takich jak przedsięwzięcia

geologiczno-górnictwa, stosowanie degresywnej stopy dyskontowej można uzasadnić obserwacją, że oceny tych projektów na wczesnych etapach rozwojowych zwykle przeszacowują zakres ryzyka. Przyjmowanie takiej stopy (Torries 1998; Swapan 2013) racjonalne jest w szczególności, gdy projekt górniczy oceniany jest na etapie studium przedrealizacyjnego opracowywanego wówczas, gdy wiedza o złożu i otoczeniu inwestycji jest już wystarczająco bogata i ugruntowana. Tu jednak powstaje pytanie, jakie poziomy stóp przyjmować i dla jakich okresów? Jedną z propozycji jest ‘przejście’ na pierwszą niższą stawkę w momencie, gdy uzyska się spłatę poniesionych nakładów inwestycyjnych plus minimalną akceptowalną stopę zwrotu (*minimum acceptable rate of return*, MARR) (Torries 1998). Realizuje się to poprzez kalkulację – na końcu każdego roku – wskaźnika wewnętrznej stopy zwrotu IRR i porównywanie go z MARR.

W celu określenia ścieżki zmian stopy dyskontowej dla przeciętnego projektu z branży górnictwa metali nieszlachetnych w niniejszym artykule opracowano prostą i praktyczną metodykę postępowania.

W pierwszym podejściu opracowano harmonogram typowego projektu geologiczno-górnictwa realizowanego w górnictwie metali nieszlachetnych, biorąc pod uwagę punkty zwrotne rozgraniczające poszczególne fazy rozwojowe (o istotnie różnych zakresach ryzyka). Za punkty te uznano (tab. 1):

- ◆ wczesne rozpoznanie geologiczne (*early exploration*),
- ◆ studium przedrealizacyjne,
- ◆ studium wykonalności,
- ◆ pierwszy rok produkcji,
- ◆ dojrzały czas istnienia kopalni (zwykle w okolicy połowy okresu produkcyjnego),
- ◆ końcowy rok istnienia zakładu górniczego (początek likwidacji).

Wymienione punkty określono dla projektu 30-letniego na podstawie prac Hartmana i Mutmanský’ego (2002), Alcha (2013), Sykesa (2013), Ontario Mining Association (2016), Mining Association of British Columbia (2017). Oczywiście trzeba być świadomym, że dla poszczególnych projektów górniczych – w zależności od ich specyfiki – rzeczywiste liczby mogą się nawet istotnie różnić od przedstawionych w kalkulacji, niemniej jednak te ostatnie pozwalają dobrze zilustrować i zrozumieć dyskutowane zagadnienie.

Tabela 1. Orientacyjny czas trwania poszczególnych faz rozwojowych przeciętnego projektu geologiczno-górnictwa*

Table 1. Approximate timelines of the development stages of a typical mineral project

	Wczesne rozpoznanie geologiczne	Studium przedre- alizacyjne	Studium wykonalności	Pierwszy rok produkcji	Dojrzały okres istnienia kopalni	Końcowy rok istnienia kopalni
Rok zakończenia	3	5,5	8,5	12,5	20	30

* Dane szacunkowe: podane, jako orientacyjna średnia różnie pojawiających się w literaturze wartości.

Do wyznaczonych punktów zwrotnych przypisano następnie poziomy kosztu kapitału własnego – stopy dyskontowej „dostosowanej do ryzyka” – stosowane w praktyce przez przedsiębiorstwa z branży metali nieszlachetnych (średnie wartości występujących w literaturze – bazowano na pracach Smitha i CIM MES (Smith 1994, 2000) oraz spółki Pincock, Allen & Holt (2012)). Wartości, uzyskane dla poszczególnych punktów zwrotnych, przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Stopy dyskontowe „dostosowane do ryzyka” stosowane w różnych fazach rozwoju projektów w branży górnictwa metali nieszlachetnych – *benchmark* zrealizowany na podstawie prac Smitha (1994, 2000) oraz spółki Pincock, Allen & Holt (2012)

Table 2. Risk-adjusted discount rates used at various stages of base metals projects – a benchmark based on Smith (1994, 2000) and Pincock, Allen & Holt (2012)

Etap zagospodarowania	Stopa r_E
Wczesne rozpoznanie geologiczne	18,75%
Studium przedrealizacyjne	14,25%
Studium wykonalności	10,75%
Pierwszy rok produkcji	8,15%
Połowa okresu produkcyjnego	5,3%

Uznano, że w końcowym roku istnienia zakładu górniczego, czyli na początku likwidacji, stopa dyskontowa kształtować się będzie na poziomie stopy wolnej od ryzyka, którą przyjęto w wysokości 2,5%.

Mając wyznaczone kluczowe wielkości w kolejnym kroku skonstruowano punktowy wykres przedstawiający zależność stopy dyskontowej od okresu istnienia projektu, a następnie – wykorzystując dopasowanie nieliniowe (MyCurveFit) – określono na podstawie metody najmniejszych kwadratów wykładniczą linię trendu według równania:

$$y = a + be^{-cx} \quad (4)$$

uzyskując wzór:

$$y = 2,511735 + 22,22871e^{-0,1221638x} = r_E^d \quad (5)$$

wyrażający degresywną stopę dyskontową i jej zachowanie w czasie (rys. 5). Parametry jakości dopasowania przedstawiają się następująco (MyCurveFit):

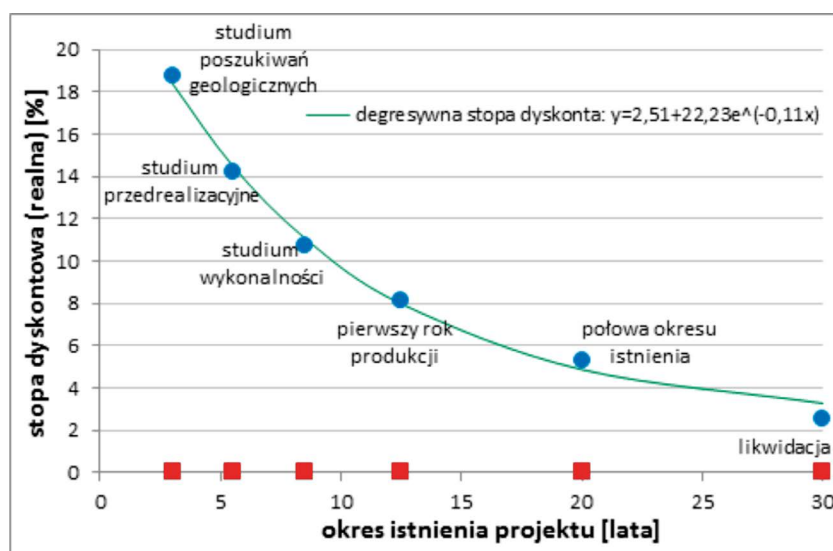
- ◆ R^2 (współczynnik determinacji) = 0,9985;
- ◆ aR^2 (skorygowany współczynnik determinacji) = 0,9979;
- ◆ P (istotność statystyczna testu, *pi-value*) = $3,016 \times 10^{-10}$;

- ◆ SE (błąd standardowy) = 0,316;
- ◆ F (statystyka F) = 1557.

Linia trendu jest najbardziej wiarygodna wówczas, gdy współczynnik determinacji R^2 jest równy 1 lub zbliżony do 1. W przedmiotowym przypadku wiarygodność linii trendu nie jest jednak szczególnie istotna, jako że linia ta powstaje na podstawie przybliżonych poziomów stóp dyskontowych, zdeterminowanych z dużą dozą czynnika subiektywnego – celem artykułu jest wyłącznie przedstawienie problemu i koncepcji. Dla zilustrowania różnic proponowanego podejścia w stosunku do klasycznego, oddziaływanie degresywnej stopy dyskontowej na wartość projektu przedstawiono na przykładzie liczbowym.

4. Weryfikacja zaproponowanej metodyki na przykładzie kalkulacji efektywności ekonomicznej

W celu zobrazowania wpływu zastosowania degresywnej stopy dyskontowej (r_E^d) na przepływy pieniężne i wartość przedsięwzięcia opracowano arkusz kalkulacyjny 25-letniego górniczego projektu inwestycyjnego z branży górnictwa rud miedzi. Przykład przedstawiono dla aktywów geologiczno-górnich w fazie studium przedrealizacyjnego stojąc na stanowisku, że kalkulacje DCF projektu na etapach wcześniejszych (poszukiwań i rozpoznania geologicznego) są nieuzasadnione – z uwagi na występowanie zbyt wysokiego ryzyka zasobowego (Saługa 2009).



Rys. 5. Aproksymacja graficzna degresywnej stopy dyskontowej dla przeciętnego projektu górniczego z branży metali nieszlachetnych

Fig. 5. Graphical approximation of the time-varying discount rate for a typical base metal project

Przedsiębiorstwo X rozważa udostępnienie nowego, stosunkowo dobrze rozpoznane-go złoża o zasobach wydobywalnych rudy na poziomie 117,9 mln Mg. W celu uzyskania argumentów przemawiających za podjęciem dalszych kroków w kierunku zagospodarowania posiadanych aktywów bądź odrzuceniem projektu zarząd przedsiębiorstwa zlecił spółce konsultingowej zatrudniającej taksatorów złóż kopalin i kompetentnych geologów opracowanie studium przedrealizacyjnego. Najważniejsze założenia techniczno-finansowe przyjęte przez analityków i ekspertów spółki doradczej – we współpracy z pracownikami przedsiębiorstwa – przedstawiono poniżej.

Zgodnie z harmonogramem projektu przedstawionym w tabeli 1 przyjęto, że od połowy roku „0”, czyli momentu wyceny, przez trzy lata prowadzone będą prace uszczegółowujące rozpoznanie i dalsze czynności projektowe, umożliwiające wykonanie w roku 2 studium wykonalności. Pozytywne wyniki tego studium pozwolą na rozpoczęcie w roku 3 udostępnienia złoża, które zakończone zostanie w roku 6. Rok 7 przedsięwzięcia będzie pierwszym rokiem wydobywania z przodków wydobywczych, rok 14 będzie rokiem dojrzałej produkcji, a 24 – rokiem likwidacji przedsięwzięcia.

Summaryczne nakłady inwestycyjne oszacowano na 600 mln zł. Przyjęto, że w latach „0”–2 wydane zostanie 30 mln zł (10 mln zł rocznie); w okresie rok 3–rok 6 – 420 mln zł (nakłady w tym okresie będą zwiększane rokrocznie o 10 mln zł – od 90 mln w roku 3 do 120 mln zł w roku 6). W latach 7–13 ponoszone będą nakłady w wysokości 20 mln zł rocznie – w roku 14 wydatkowana zostanie natomiast ostatnia transza w wysokości 10 mln zł. Założono, że nakłady zamortyzowane zostaną liniowo do końca istnienia projektu. Przyjęto, że kapitał obrotowy – w wysokości 50 mln zł – wydany zostanie w pierwszym roku produkcji, a odzyskany w ostatnim.

W okresie rok „0”–rok 2 wydobywanie rudy – na poziomie 0,1 mln Mg wagi suchej (w.s.) rocznie – realizowane będzie wyłącznie z dodatkowych wyrobisk rozpoznawczych. W latach 3–7 prowadzone będzie udostępnienie; oszacowano, że w roku 3 z wyrobisk korytarzowych wydobyte zostanie 1 mln Mg rudy w.s. i że z każdym następnym będzie się ono zwiększać o 100 tys. Mg rudy w.s. do wartości 1,3 mln Mg w roku 6. Uruchomienie produkcji z pierwszych przodków (3 mln Mg) nastąpi w roku 7; założono, że do osiągnięcia docelowego wydobywania (9 mln Mg w.s./rok) w roku 13 produkcja urobku będzie sukcesywnie zwiększana o 1 mln Mg rudy w.s. rocznie. Z pełną zdolnością wydobywczą zakład funkcjonować będzie do roku 17, po czym wielkość wydobywania będzie z roku na rok spadać o 1 mln Mg w.s. – do 2 mln Mg w roku likwidacji przedsięwzięcia (rok 24). Przyjęto założenie, że produkcja koncentratu stanowić będzie przeciętnie 6,75% wagi urobku, co oznacza, że w okresie pełnej zdolności wydobywczej (lata 13–17) zakład produkował będzie 0,59 mln Mg koncentratu rocznie; średnią cenę (*flat price*) koncentratu skalkulowano na 5 700 zł/Mg w.s., stąd kulminacyjne przychody w latach 13–17 kształtować się będą na poziomie 3 346,3 mln zł rocznie.

Jednostkowe koszty operacyjne eksploatacji i wydobywania urobku (uwzględniające opłatę eksploatacyjną) oszacowano na 290 zł/Mg rudy w.s. Dodatkowo przyjęto, że koszty składowania odpadów wynosić będą 20 zł/Mg.

Założono, że spółka X odprowadzać będzie corocznie składkę na Fundusz Likwidacji Zakładu Górniczego (FLZG) na poziomie 10% wartości amortyzacji. Fundusz deponowany będzie na bezpiecznej lokacie bankowej oprocentowanej stopą nominalną w wysokości 4,04% w skali roku, co przy przyjętej 1,5-procentowej inflacji oznaczać będzie 2,5% realnie (poziom stopy wolnej od ryzyka). Założony sposób budowy FLZG umożliwi zgromadzenie w ostatnim roku istnienia kopalni kwoty 74,86 mln zł, co nie wystarczy jednak na pokrycie całości kosztów likwidacji szacowanych na 80 mln zł. FLZG będzie musiał być uzupełniony środkami z przychodów.

Oprócz podatku dochodowego w wysokości 19% rocznie spółka odprowadzać będzie od przychodów brutto podatek od wydobycia niektórych kopalin według stawki 544 zł/Mg wytwarzanego koncentratu.

Założono, że projekt kalkulowany będzie w pieniądzu stałym – wszystkie przyjęte wartości potraktowano jako oczekiwane. W celu odzwierciedlenia ryzyka związanego z przedsięwzięciem przyjęto – zgodnie z podejściem tradycyjnym i *benchmarkiem* przedstawionym w tabeli 2 – stopę dyskontową „dostosowaną do ryzyka” (RADR) typową dla projektów miedziowych znajdujących się na etapie studium przedrealizacyjnego – w wysokości 14,25% (realnie).

Wartość zaktualizowaną netto obliczano jako różnicę wartości bieżącej brutto (PV) oraz sumy nakładów inwestycyjnych, kapitału obrotowego i funduszu likwidacji. Te ostatnie dyskontowane były – jako nie związane bezpośrednio z ryzykiem projektu – stopą wolną od ryzyka. Zatem

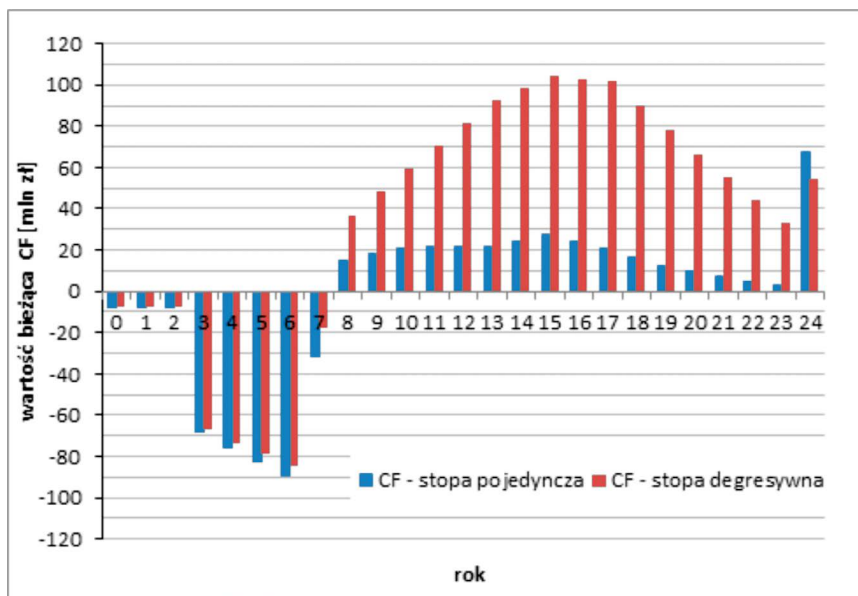
$$NPV = \left\{ \left[\sum_{t=0}^T \frac{NOPAT_t + D_t}{(1+r_E)^t} \right] - \frac{L_T}{(1+r_E)^T} \right\} - \left\{ \left[\sum_{t=0}^T \frac{CAPEX_t + WC_t}{(1+r_f)^t} \right] - \frac{FLZG_T}{(1+r_f)^T} \right\} \quad (6)$$

- ↳ $NOPAT_t$ – zysk operacyjny po opodatkowaniu,
 D_t – amortyzacja,
 L_T – koszty likwidacji w ostatnim roku istnienia projektu,
 $CAPEX_t$ – nakłady inwestycyjne w roku t ,
 WC_t – kapitał obrotowy (tu: w pierwszym i ostatnim roku eksploatacji),
 $FLZG_T$ – fundusz likwidacji zakładu górniczego w ostatnim roku istnienia projektu,
 r_E – koszt kapitału własnego (stopa dyskontowa „dostosowana do ryzyka”) (realny),
 r_f – stopa wolna od ryzyka (realna; tu: 2,5%).

Pierwszy człon powyższego równania w nawiasie klamrowym stanowi wartość bieżącą brutto. Tak kalkulowana wartość PV wynosi 462,39 mln zł; stąd NPV równa jest –31,32 mln zł. Bazując więc na kryterium decyzyjnym analizy DCF spółka X powinna zarzucić rozważany projekt.

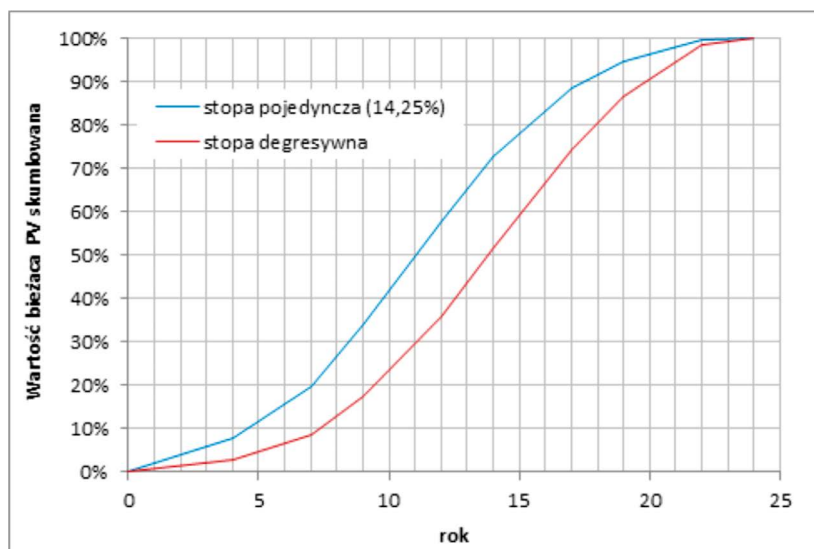
Analizując ryzyko projektu z uwzględnieniem doświadczenia uzyskanego w trakcie rozważania podobnych przedsięwzięć w przeszłości zarząd przedsiębiorstwa X przyjął założenie, że w trakcie postępu prac rozpoznawczych, a następnie udostępniających i eksploatacyjnych, ryzyko projektu będzie sukcesywnie spadać; nabyte doświadczenia pokazują, że ryzyko przepływów generowanych przez projekt w fazie eksploatacji jest znacząco odmienne od ryzyka przepływów powstających na etapach studiów technicznych. W związku z powyższym poproszono analityków spółki doradczej o ponowne przeliczenie przepływów pieniężnych i NPV z zastosowaniem degresywnej stopy dyskontowej – zgodnie z rysunkiem 5. Rezultatem obliczeń jest oczywiście znacznie wyższa PV, a w konsekwencji NPV – pierwsza z nich wynosi 1367,13, a druga 873,42 mln zł; takie wyniki powinny skłaniać teraz zarząd do podjęcia inwestycji.

Przepływy pieniężne projektu kalkulowane w wersjach z pojedynczą i degresywną stopą dyskontową „dostosowaną do ryzyka” przedstawiono na rysunku 6, a ścieżki skumulowanej wartości bieżącej brutto – na rysunku 7. Istotne różnice w wartościach przepływów pomiędzy obiema kalkulacjami pojawiają się w pierwszym roku eksploatacji (rok 7 projektu) w związku pojawieniem się przepływów pieniężnych narastających wskutek sprzedaży surowca i dyskontowaniem ich stopą „dostosowaną do ryzyka” – w latach „0”–6 o wielkości przepływów decydują głównie nakłady inwestycyjne aktualizowane stopą wolną od ryzyka – taką samą w przypadku obu podejść. Z kolei na rysunku 7 widać wyraźnie różnice w wycenie poszczególnych przepływów wyrażonych pierwszym członem (w nawiasie



Rys. 6. Przepływy pieniężne projektu zagospodarowania złoża rud miedzi spółki X kalkulowane przy pojedynczej i degresywnej stopie dyskontowej

Fig. 6. Cash flows of the copper project of the X company calculated at an individual and time-varying discount rate



Rys. 7. Ścieżki skumulowanej wartości bieżącej (PV) projektu spółki X dla pojedynczej i degresywnej stopy dyskontowej

Fig. 7. Paths of cumulative present value of the copper project of the X company calculated at an individual and time-varying discount rate

klamrowym) równania (6) – podejście ze stopą degresywną ocenia je znacznie wyżej niż tradycyjne. Skutkuje to sytuacją, w której w przypadku tego ostatniego połowa całkowitej wartości PV uzyskiwana jest w roku 11, a podejścia z zastosowaniem stopy degresywnej – końcem roku 14. Oznacza to, że wykorzystanie takiej stopy pozwala właściwiej „doceniać” wartość przepływów projektów długoterminowych narastających w dojrzałej i późniejszych fazach realizacji projektu.

Posumowanie i wnioski

Jednym podstawowych mierników efektywności ekonomicznej przedsięwzięć inwestycyjnych jest kategoria wartości. W modelu DCF wartość otrzymuje się w wyniku sumowania generowanych przez projekt rocznych przepływów pieniężnych. Wartości tych przepływów muszą być zaktualizowane (na moment dokonywania oceny) z wykorzystaniem stopy dyskontowej, która odzwierciedla ryzyko związane z możliwością ich niezrealizowania w zakładanej wysokości. Generalnie więc jest to dobry wskaźnik ryzyka i dlatego znakomita większość przedsiębiorstw stosuje w procesach oceny inwestycji właśnie metody dyskontowe. Podobnie czynią też spółki przemysłu wydobywczego.

W procesie oceny ekonomicznej projektów inwestycyjnych kluczowa kwestia, jaką jest dobór stopy dyskontowej, rozstrzygana jest zwykle z wykorzystaniem modelu wyceny ak-

tywów kapitałowych (CAPM). Model ten, pomimo wielu głosów krytycznych, stanowi podstawę określania kosztu kapitału własnego również przez duże przedsiębiorstwa górnicze. Dzieje się tak głównie z uwagi na jego stosunkową prostotę i przejrzystość oraz dlatego, że jak dotąd nie udało się wypracować lepszej metody analitycznej.

Jedną z podstawowych wad modelu CAPM jest fakt, że służy on do określania poziomu kosztu kapitału własnego wyłącznie dla spółek giełdowych, wykorzystujących następnie te stopy w procesach oceny efektywności ekonomicznej różnych projektów w swych portfelach – obejmujących często złoża różnych kopalin i o różnym stopniu zaawansowania. Ryzyko tych przedsięwzięć często znacznie odbiega od ryzyka przedsiębiorstwa. W przypadku inwestycji geologiczno-górnich największa niepewność co do generowania przyszłych przepływów pieniężnych na oczekiwanym poziomie charakteryzuje projekty eksploracyjne; wraz z postępem zagospodarowania złoża – od studium ewaluacyjnego poprzez studium przedrealizacyjne, wykonalności, a następnie udostępnienie złoża, wczesną, dojrzałą i późną fazę produkcyjną – ryzyko projektu górniczego systematycznie spada, by na końcu procesu likwidacji ulec zupełnemu rozwiązaniu.

Z uwagi na powyższe, w praktyce oceny projektów surowcowych stosuje się często uwzględniające to zróżnicowanie modyfikacje stopy dyskontowej – przedsiębiorstwa wychodzą od kosztu kapitału oszacowanego w modelu CAPM, a następnie korygują tę stawkę biorąc pod uwagę stan zaawansowania i kategorię przedsięwzięcia. Proces ten obejmuje każdorazowo (Heldman 2005):

- ◆ identyfikację czynników ryzyka,
- ◆ opracowanie skal szacowania,
- ◆ określenie wartości ryzyka,
- ◆ kalkulację wymiaru istotności poszczególnych rodzajów ryzyka,
- ◆ określenie stopy dyskontowej.

Powyższy proces odbywa się z dużym zaangażowaniem czynnika subiektywnego. Ponieważ jednak oceny projektów górniczych realizowane są zwykle przez analityków i menadżerów dysponujących długoletnią praktyką i doświadczeniem ich oszacowania można uznać za miarodajne.

W przypadku projektów geologiczno-górnich pojawia się jednak dodatkowo problem wynikający z relacji pomiędzy typową dla wielu długoterminowością a oddziaływaniem poziomemu kosztu kapitału na wartość bieżącą. Wysokie stopy dyskontowe, stosowane w początkowych fazach rozwojowych projektów, powodują, że wartość przepływów pieniężnych narastających w dojrzałej i późnych fazach ich realizacji jest z punktu widzenia dnia dzisiejszego znikoma. Naturalnie więc nasuwa się wniosek, że analiza zdyskontowanych przepływów pieniężnych nie do końca jest adekwatna dla przeprowadzania wycen projektów długoterminowych o dużym zakresie ryzyka.

W związku z powyższym w niniejszej pracy zaproponowano modyfikację tej metodyki poprzez zastosowanie w procesie ewaluacji konkretnego projektu geologiczno-górnich degresywnej stopy dyskontowej. Jako uzasadnienie jej przyjęcia posłużyła obserwacja, że z przepływami pieniężnymi, generowanymi przez przedsięwzięcie na różnych etapach jego

realizacji, związane jest różne ryzyko, dlatego przyjmowanie w celu ich aktualizacji tej samej, pojedynczej stopy dyskontowej jest nieracjonalne. Linię stopy degresywnej skalibrowano na podstawie *benchmarku* bazującego na pracach Smitha i CIM MES (1994, 2000) oraz Pincock, Allen i Holt (2012). Uzyskane rezultaty – zweryfikowane na konkretnym przykładzie – wskazują, że podejście z zastosowaniem stopy degresywnej bardziej „docenia” przepływy pieniężne pojawiające się w późniejszych fazach rozwojowych projektów długoterminowych, co skutkuje naturalnie wyższą wartością zaktualizowaną netto. Oczywiście, w dalszym ciągu aktualny pozostaje problem doboru punktów *benchmarku* i kształt linii stopy degresywnej, lecz praca ta może stanowić przyczynek do dalszych badań w tym zakresie.

LITERATURA

- Alch, T. 2013. *Challenges, Risks & Opportunities for the Mining Industry in the Americas*, Behre Dolbear founded 1911 Minerals Industry Advisors (October 7). [Online] Dostępne w: <https://www.slideshare.net/TimAlch/alch-tim-presentation-behre-dolbear-15-august-2013-final> [Dostęp: 15.05.2017].
- Anagnostopoulos, K.P. 2007 – Declining Discount Rates and the Evaluation of Public Investments. *Management and Economics. Biannual Scientific Journal* No. 4. [Online] Dostępne w: <http://ejournals.teiath.gr/index.php/DO/issue/view/32/showToc> [Dostęp: 15.05.2017].
- Arrow i in. 2013 – Arrow, K.J., Cropper, M.L., Gollier, Ch., Groom, B., Heal, G., Newell, R., Nordhaus, W.D., Pindyck, R., Pizer, W., Portney, P., Sterner, T., Tol, R. i Weitzman, M.L. 2013. *Should a Declining Discount Rate be Used in Project Analysis?* Toulouse School of Economics, Mimeo 12 (September). [Online] Dostępne w: http://idei.fr/sites/default/files/medias/doc/by/gollier/reep_sept_13.pdf [Dostęp: 15.05.2017].
- Arrow i in. 2014 – Arrow, K.J., Cropper, M.L., Gollier, Ch., Groom, B., Heal, G., Newell, R., Nordhaus, W.D., Pindyck, R., Pizer, W., Portney, P., Sterner, T., Tol, R. i Weitzman, M.L. 2014. Should Governments Use a Declining Discount Rate in Project Analysis? *Review of Environmental Economics and Policy* 8, 2, s. 145–63
- AusIMM 2012. *Guidelines for Technical Economic Evaluation of Minerals Industry Projects – Final draft for publication in the AusIMM Mine Managers' Handbook* (due for release in November 2012). [Online] Dostępne w: http://www.ausimm.com.au/content/docs/guidelines_tech_economic_evaluation2012.pdf [Dostęp: 15.05.2017].
- Brealey i in. 2001 – Brealey, R.A., Myers, S.C. i Marcus, A. 2001. *Fundamentals of Corporate Finance*, Irwin/McGraw-Hill, 3rd ed., Boston, s. 436.
- Byrska-Rapala, A. 2011. Metodyka szacowania wartości godziwej złoża węglowodorów. *Rozprawy, Monografie* Kraków: Wyd. AGH, s. 185.
- Cropper, M.L. i Laibson, D. 1999. *The Implications of Hyperbolic Discounting for Project Evaluation* [W:] Pomiey P.R., Weyant J.P. eds. – *Discounting and Intergenerational Equity*, Washington, DC, Resources for the Future, s. 163–172.
- Cropper i in. 2014 – Cropper, M.L., Freeman, M. C., Groom, B. i Pizer, W.A. 2014. Declining Discount Rates. *American Economic Review: Papers & Proceedings* 104(5), s. 538–543.
- Damodaran, A. 2004. *Estimating Discount Rates. DCF Valuation*. [Online] Dostępne w: <http://people.stern.nyu.edu/adamodar/pdfiles/ovhds/dam2ed/discountrates.pdf> [Dostęp: 15.05.2017].
- Duffin, R. 1992. *A Crystal Ball for Cashflow Valuations, Resource Valuations*, Jassa (September). [Online] Dostępne w: http://www.finsia.com/docs/default-source/jassa-new/jassa-1992/a-crystal-ball-for-cashflow-valuations.pdf?sfvrsn=ef52b293_2 [Dostęp: 15.05.2017].
- Frederic i in. 2002 – Frederic, S., Loewenstein, G. i O'Donoghue, T. 2002. Time Discounting and Time Preference: A Critical Review. *J. Econ. Literature* 40 (June), s. 351–401.
- Geltner, D. i Jiangpin, M. 1995. The Present Value Model with Time-Varying Discount Rates: Implications for Commercial Property Valuation and Investment Decisions. *Journal of Real Estate Finance and Economics* 11, s. 119–135.

- Hartman, H.L. i Mutmanský, J.M. 2002. *Introductory Mining Engineering*, John Wiley & Sons.
- Heal, G. 1996. *Valuing Our Future: Cost-Benefit Analysis and Sustainability*, Working Paper Series in Money, Economics And Finance, Columbia Business Press.
- Heldman, K. 2005. *Project manager's spotlight on risk management*. San Francisco: Harbor Light Press.
- Hodder, J.E. i Riggs, H.E. 1985. *Pitfalls in Evaluating Risky Projects*. Harvard Business Review (January-February), s. 128–135.
- Hoover, H. 1909. *Principles of Mining. Valuation, Organization & Administration*,. Oxford City Press; reprint of the original edition by Hill Publishing New York.
- Hotelling, H. 1931. The Economics of Exhaustible Resources. *Journal of Political Economy* vol. 39.
- Mining Association of British Columbia, 2017. *Life Cycle of the Mine*, Mining 101 Brochure. [Online] Dostępne w: <https://pl.scribd.com/document/271571549/BC-Mining-101-Brochure> [Dostęp: 15.05.2017].
- Mohutsiwa, M. 2015. *Estimation of Capital Costs for Establishing Coal Mines in South Africa*, a research report, Faculty of Engineering and the Built Environment, University of the Witwatersrand, Johannesburg. [Online] Dostępne w: http://wiredspace.wits.ac.za/jspui/bitstream/10539/18378/2/Moshe_Mohutsiwa_Estimation%20of%20Capital%20Costs%20for%20Establishing%20Coal%20Mines%20in%20South%20Africa.pdf [Dostęp: 15.05.2017].
- MyCurveFit – *Online Curve Fitting*. [Online] Dostępne w: <https://mycurvefit.com/> [Dostęp: 15.05.2017].
- Nhleko, A.S. i Musingwini, C. 2016. Estimating Cost of Equity in Project Discount Rates: Comparison of the Capital Asset Pricing Model and Gordon's Wealth Growth Model. *The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy* vol. 116.
- Ontario Mining Association, 2016. *The Mining Sequence: Estimated Timeline of a Major Mining Development Project*, Ontario's Ministry of Northern Development and Mines. [Online] Dostępne w: <http://www.oma.on.ca/en/ontariominning/Mining101.asp> [Dostęp: 15.05.2017].
- Park, S.J. i Matunhire, I.I. 2011. Investigation of Factors Influencing the Determination of Discount Rate in the Economic Evaluation of Mineral Development Projects. *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy* vol. 111.
- Pincock, Allen & Holt, 2012. Mineral Project Evaluation. *Pincock Perspectives* no. 115.
- Price, C. 2011. Optimal Rotation with Declining Discount Rate. *Journal of Forest Economics* volume 17, issue 3, s. 307–318.
- RPM – RungePincockMinarco, 2015. Minimum Engineering Study Requirements Update. *RPM Perspectives* No. 128.
- Rupprecht, S. 2004. Establishing the Feasibility of Your Proposed Mining Venture, *International Platinum Conference 'Platinum Adding Value', The South African Institute of Mining and Metallurgy*.
- Saługa, P. 2006. *Wycena górniczych projektów inwestycyjnych w aspekcie doboru stopy dyskontowej*. Seria wydawnicza: Od oceny wartości zasobów złoża do likwidacji kopalni. Kraków: Wyd. IGSMiE PAN, s. 131.
- Saługa, P. 2009. Ocena ekonomiczna projektów i analiza ryzyka w górnictwie. *Studia, Rozprawy, Monografie* nr 152, Kraków: Wyd. IGSMiE PAN, s. 278.
- Samuelson, P.A. 1937. *A Note on Measurement of Utility*, Rev. Econ. Studies 4 (February), p. 155–161.
- Smith, L.D. 1994. Discount Rates and Risk Assessment in Mineral Project Evaluations. *Transactions Institution of Mining & Metallurgy* (Sect. A: Mineral Industry).
- Smith, L.D. 2000. Discounted Cash Flow Analysis and Discount Rates. *Special Session on Valuation of Mineral Properties Mining Millennium 2000*, March 8, 2000, Toronto, Ontario, 2000. [Online] Dostępne w: www.cim.org/mes/pdf/VALDAYLarrySmith.pdf [Dostęp: 15.05.2017].
- Swapan, K.H. 2013. *Mineral Exploration: Principles and Applications*, Elsevier.
- Sykes, J.P. 2013. *Why is Developing a New Mine so Difficult?*, Centre for Exploration Targeting, Curtin University, University of Western Australia.
- Taheri, M. 2009. Risk-adjusted Discount Rate Estimation for Evaluating Mining Projects, JASSA. *The Finsia Journal Of Applied Finance* issue 4.
- Torries, T.F. 1998. *Evaluating Mineral Projects : Applications and Misconceptions*, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., Littleton, Co.
- Uberman, R. i Uberman, R. 2008. *Podstawy wyceny wartości złóż kopalni. Teoria i praktyka*. Kraków: Wyd. IGSMiE PAN.

- Weitzman, M.L. 1998. Why the Far-distant Future Should be Discounted at its Lowest Possible Rate. *Journal of Environmental Economics and Management* 36, s. 201–208.
- Wirth, H. 2011. Wieloczynnikowa wycena złóż i ich zasobów na przykładzie przemysłu metali nieżelaznych. *Studia, Rozprawy, Monografie* nr 171. Kraków: Wyd. IGSMiE PAN.

DOBÓR STOPY DYSKONTOWEJ DLA DŁUGOTERMINOWYCH PROJEKTÓW SEKWENCYJNYCH Z BRANŻY SUROWCÓW MINERALNYCH

Słowa kluczowe

wycena projektów górniczych, stopa dyskontowa „dostosowana do ryzyka”,
degresywna stopa dyskontowa

Streszczenie

Skala ryzyka przedsięwzięć inwestycyjnych realizowanych w górnictwie jest znacznie większa niż w przypadku innych branż. Wynika to ze specyfiki tej działalności, a tym samym wyjątkowej niepewności związanej z gospodarowaniem w tym sektorze. Niesie to ze sobą istotne skutki w zakresie prognozowania wiarygodnych przychodów i kosztów na etapie oceny efektywności ekonomicznej projektów inwestycyjnych. Główne czynniki ryzyka – występujące w szczególności na początkowych etapach zagospodarowania złoża – związane są z wielkością i jakością jego zasobów; ryzyku zasobowemu towarzyszy nieustannie niepewność wynikająca z dużej zmienności cen surowców mineralnych, popytu oraz czynników geologiczno-technicznych związanych z eksploatacją. W trakcie udostępnienia złoża, a następnie eksploatacji, oszacowane wstępnie wielkości zasobów i ich jakość są systematycznie weryfikowane, co bezpośrednio oddziałuje na wielkość przyszłej produkcji i przychodów.

Ryzyko projektów surowcowych musi być odpowiednio oszacowane i uwzględnione w trakcie oceny ich efektywności ekonomicznej, gdyż wyniki tej oceny determinują decyzje inwestycyjne. W powszechnie stosowanej dla tych celów analizie zdyskontowanych przepływów pieniężnych (*discounted cash flow analysis*, DCF) ryzyko to wyrażone jest wielkością stopy dyskontowej wykorzystywanej dla aktualizacji przyszłych przepływów pieniężnych – im ryzyko jest większe tym wyższą stopę dyskontową należy zastosować.

Projekty geologiczno-górniczne poza wyjątkowym na tle innych branż ryzykiem wyróżniają się również sekwencyjnością i długoterminowością. Pierwsza cecha oznacza, że skala ryzyka tych przedsięwzięć zmienia się diametralnie w miarę upływu czasu, druga – że do ich oceny należy podchodzić w szczególny sposób, gdyż przepływy pieniężne narastające w późnych latach istnienia tych projektów mają – z perspektywy bieżącej – niewielkie znaczenie.

Artykuł przedstawia problem doboru poziomu kosztu kapitału własnego w procesie oceny ekonomicznej górniczych projektów inwestycyjnych, z zaproponowaniem wykorzystania w procedurze tej ewaluacji tzw. degresywnej stopy dyskontowej. Podejście to znajduje uzasadnienie w literaturze. W rozdziale pierwszym przedstawiono powszechnie praktykowany proces doboru stopy dyskontowej, w drugim – stopy dyskontowe stosowane w działalności geologiczno-górnicznej, a następnie w trzecim – degresywną stopę dyskontową i metodykę jej doboru. W zakończeniu zaprezentowano weryfikację zaproponowanej metodyki na przykładzie kalkulacji efektywności ekonomicznej przykładowego projektu z branży górnictwa rud miedzi.

DISCOUNT RATE SELECTION FOR LONG-TERM SEQUENTIAL MINERAL PROJECTS**Keywords**

mineral project valuation, risk-adjusted discount rate, time-varying discount rate

Abstract

Mineral projects depict various specific features that differentiate them from alternative investments in other industries. Among these features, one can specify unique characteristics of mineral deposits such as scarcity, geological setting and structure, resource/reserve uncertainty and depletability. Resource uncertainty results in the sequential nature of operations (exploration, development and production stages). Other specific features of mineral projects include long investment – and production periods, high capital intensity, varying production conditions, unpredictability and high volatility of mineral prices, etc. Specific features of mineral projects are sources of exceptionally high risks.

To ensure the payback of high capital costs these significant risks must be addressed in the economic evaluation of a mineral project. In the discounted cash flow analysis, DCF, which is the most commonly used in evaluations of such ventures, all project uncertainties are reflected in a level of the discount rate used for the actualization of future cash flow values. The riskier project has a higher discount rate.

Apart from being extremely high risk, mineral projects are both sequential and long-term – the first feature means that the extent of a project risk decreases dramatically over time, and second – that care should be taken when evaluating these projects because cash flows arising in later years of the project lifetime have little value.

The paper delivers a proposal to apply the time-varying discount rate to the economic evaluation of a mineral project. The first part introduces a commonly accepted approach to evaluating discount rates along with conceptions of adjusting them to risks of individual projects. In the following sections, the article presents the current practice in the setting of discount rates for mineral projects and then a proposed modification of this approach by introducing the time-varying discount rate. In the end, a verification of the proposed suggestion based on a copper project example has been delivered.