

Piotr Saługa

**Ocena górniczych projektów
inwestycyjnych
w aspekcie doboru stopy dyskontowej**

Rozprawa doktorska

inż. dr hab. Jan Butwa, Prof. PWr.

11111111

Kraków 2005

Spis treści

Słownik niektórych pojęć stosowanych w tekście pracy	3
1. Wstęp	7
2. Teza, cele, metodyka i zakres pracy.....	9
3. Górnicze projekty inwestycyjne.....	12
3.1. Definicja górniczego projektu inwestycyjnego	12
3.2. Specyfika inwestycji górniczych.....	12
4. Ryzyko w górniczych projektach inwestycyjnych	15
4.1. Pojęcie ryzyka.....	15
4.2. Źródła niepewności i czynniki ryzyka w inwestycjach górniczych	15
4.3. Ranga czynników ryzyka w górnictwie	17
5. Ogólna charakterystyka oceny ekonomicznej górniczych projektów inwestycyjnych	20
5.1. Pojęcie i cel oceny ekonomicznej	20
5.2. Metody oceny ekonomicznej przedsięwzięć inwestycyjnych	21
6. Analiza zdyskontowanych przepływów pieniężnych.....	24
6.1. Zalety i wady analizy zdyskontowanych przepływów pieniężnych.....	28
6.2. Mierniki efektywności ekonomicznej projektów inwestycyjnych w analizie zdyskontowanych przepływów pieniężnych	30
6.2.1. Wartość zaktualizowana netto (NPV).....	30
6.2.2. Wewnętrzna stopa zwrotu (IRR)	31
6.2.3. Zastosowanie NPV i IRR w przemyśle górnictwa.....	32
6.2.4. Inne dyskontowe mierniki efektywności ekonomicznej	33
6.3. Dane do analizy zdyskontowanych przepływów pieniężnych górniczych projektów inwestycyjnych	34
6.3.1. Dane występujące po stronie przychodów	35
6.3.2. Dane występujące po stronie kosztów	35
6.4. Kalkulacja projektu w arkuszu zdyskontowanych przepływów pieniężnych.....	35
7. Stopa dyskontowa „dostosowana do ryzyka” w modelu zdyskontowanych przepływów pieniężnych	38
7.1. Rodzaje stóp dyskontowych.....	41
7.2. Sposoby określania stopy dyskontowej.....	43
7.2.1. Model wyceny aktywów kapitałowych	44
7.2.2. Powszechnie praktykowany sposób doboru stopy dyskontowej	49
8. Metody analizy ryzyka w analizie zdyskontowanych przepływów pieniężnych	54
8.1. Analiza wrażliwości projektu w rachunku deterministycznym.....	55
8.2. Analiza scenariuszowa.....	58
8.3. Metoda symulacyjna Monte Carlo	61
8.3.1. Procedura symulacji.....	62
8.3.2. Analiza ryzyka projektu realizowana przy wykorzystaniu programu @RISK	65
8.3.3. Zalety, wady i ograniczenia symulacji Monte Carlo.....	66
9. Ocena ekonomiczna i analiza ryzyka: model deterministyczny DCF a symulacja Monte Carlo – przykłady z branży	70
9.1. Przykłady zastosowania analizy wrażliwości w rachunku deterministycznym.....	70
9.1.1. Przeprowadzenie analizy wrażliwości dla projektu wprowadzenia nowego systemu eksploatacji grubych i stromych pokładów węgla KWK Książę Józef S.A.....	70
9.1.2. Przeprowadzenie analizy wrażliwości NPV projektu zagospodarowania złoża cynku i ołowiu Kłuszyń	75
9.2. Przykłady zastosowania analizy scenariuszowej w rachunku deterministycznym.....	79
9.2.1. Przeprowadzenie analizy scenariuszowej dla projektu wprowadzenia nowego systemu eksploatacji grubych i stromych pokładów węgla partii E-7 pokładu 501 KWK Książę Józef S.A.....	79
9.2.2. Przeprowadzenie analizy scenariuszowej NPV projektu zagospodarowania złoża cynku i ołowiu Kłuszyń	81
9.3. Przykłady zastosowania symulacji Monte Carlo w analizie ryzyka inwestycji górniczych.....	82
9.3.1. Analiza ryzyka projektu wprowadzenia nowego systemu eksploatacji grubych i stromych pokładów węgla partii E-7 pokładu 501 KWK Książę Józef S.A.	82
9.3.2. Ocena ekonomiczna i analiza ryzyka projektu zagospodarowania złoża cynku i ołowiu Kłuszyń za pomocą symulacji Monte Carlo	90
10. Dobór stopy dyskontowej w symulacji Monte Carlo	96
10.1. Teoria preferencji	100
11. Podsumowanie i wnioski	104
Literatura.....	111
Spis rysunków	120
Spis tabel	121

Słownik niektórych pojęć stosowanych w tekście pracy

Alternatywny koszt kapitału (*opportunity cost of capital*) – utracone korzyści, które mogłyby być uzyskane poprzez ulokowanie kapitału w najlepszej alternatywnej inwestycji.

Analiza DCF → analiza zdyskontowanych przepływów pieniężnych.

Analiza ekonomiczna → ocena ekonomiczna.

Analiza finansowa (*financial analysis*) – pełna → analiza ekonomiczna obejmująca analizy:

- 1) ryzyka projektu,
- 2) sposobu finansowania,
- 3) struktury operacyjnej i podatkowej,
- 4) efektu, jaki projekt może wywrzeć na zyskowność i stan przepływów pieniężnych spółki.

Analiza ryzyka (*risk analysis*) – każda metoda – ilościowa lub jakościowa – pozwalająca na oszacowanie oddziaływania ryzyka w warunkach konkretnych sytuacji decyzyjnych. W procesach → oceny ekonomicznej projektów inwestycyjnych zasadniczym celem – obok identyfikowania możliwych skutków podejmowanych decyzji – jest przewidzenie prawdopodobieństwa uzyskania planowanego zysku w danym okresie czasu. Analiza ryzyka stawia sobie zatem za zadanie znalezienie odpowiedzi na następujące pytania:

- 1) co może się wydarzyć?
- 2) jakie jest prawdopodobieństwo tego, co się może wydarzyć? oraz
- 3) jakie będą konsekwencje tego, co się wydarzy?

Analiza scenariuszowa (*scenario analysis*) – narzędzie → analizy ryzyka przedsięwzięcia w warunkach sytuacji decyzyjnych. W przeciwieństwie do → analizy wrażliwości, metoda ta zakłada łączenie w ramach jednego scenariusza – rozwoju sytuacji zmian wielu parametrów bazowych. Analiza polega na porównywaniu rezultatów oceny ekonomicznej każdego z konstruowanych scenariuszy.

Zazwyczaj określa się trzy podstawowe scenariusze, czyli możliwe stany wystąpienia wartości parametrów projektu:

- 1) scenariusz optymistyczny (*best case*), konstruowany na podstawie najbardziej optymistycznych szacunków parametrów; przypadek ten stanowi swoiste odzwierciedlenie maksimum informacji o projekcie;
- 2) scenariusz najbardziej prawdopodobny (*base case*), konstruowany na podstawie oczekiwanych wartości parametrów;
- 3) scenariusz pesymistyczny (*worst case*), konstruowany na podstawie wartości skrajnie pesymistycznych.

Analiza wrażliwości (*sensitivity analysis*) – jedna z klasycznych metod → analizy ryzyka przedsięwzięć inwestycyjnych; prosta analityczna metoda oceny ryzyka, polegająca na badaniu wpływu zmian (jakie mogą wystąpić w przyszłości) kluczowych zmiennych uwzględnianych w → ocenie ekonomicznej przedsięwzięcia inwestycyjnego, na jego opłacalność (na poziomie danego miernika efektywności). W najprostszej postaci analizy wrażliwości badany jest w wpływ procentowych odchyleń poszczególnych zmiennych objaśniających na zmienną objaśnianą (np. NPV lub IRR).

Analiza zdyskontowanych przepływów pieniężnych, analiza DCF (*discounted cash flow analysis*, DCF) – metoda oceny ekonomicznej, która opiera się na zasadzie, że uniwersalnym medium wymiany jest pieniądz oraz że inwestycja gotówkowa może być krokiem racjonalnym jedynie wówczas, gdy oczekuje się niej pieniężnego zwrotu. Zasadą analizy zdyskontowanych przepływów pieniężnych jest powiązanie wielkości oczekiwanych przyszłych zysków z wielkością początkowej inwestycji gotówkowej, niezbędnej dla nabycia aktywa lub uruchomienia komercyjnej produkcji. Jej celem jest symulacja wszystkich przepływów pieniężnych antycypowanych na cały okres realizacji projektu.

Całkowita stopa zwrotu (*overall rate of return*, ORR) – jest miernikiem zwrotu z zainwestowanego kapitału. Kryterium decyzyjne mówi, że projekt można zaakceptować, jeśli $ORR > 0$.

CAPM → model wyceny aktywów kapitałowych.

Efektywność ekonomiczna (*economic effectiveness*) – pojęcie oznaczające po pierwsze – miarę efektu uzyskanego w wyniku wydatkowania określonych środków, a po drugie – miarę porównania efektów finansowych z nakładami inwestycyjnymi, niezbędnymi dla ich osiągnięcia. Efektywność ekonomiczna inwestycji jest pomiarem efektywności wydatkowania nakładów inwestycyjnych.

Krajowe ryzyko inwestycyjne (*country risk*) – miara niepewności związanej z możliwościami i bezpieczeństwem inwestowania w konkretnym kraju.

MARR → minimalna akceptowalna stopa zwrotu.

Minimalna akceptowalna stopa zwrotu (*minimal acceptable rate of return, MARR*) – pojęcie ogólne, określające najniższą stopę, która pozwala na taki zwrot zainwestowanych pieniędzy, który jest wciąż aprobowany przez inwestorów. Źródło ustalania tej stopy oraz jej cechy charakterystyczne nie są określone.

Model wyceny aktywów kapitałowych (*capital asset pricing model, CAPM*) – jest modelem równowagi, który wycenia skalę ryzyka systematycznego. Zgodnie z tą teorią, inwestor który ma całkowicie zdywersyfikowany portfel, nie troszczy się o wariancję ani niepewność zwrotu z poszczególnego waloru. Jednym z najszybszych aspektów modelu CAPM jest fakt, że określa on koszt kapitału własnego przedsiębiorstwa oraz – w bardziej prosty sposób – stopę dyskontową, jaką powinny zastosować przedsiębiorstwa w trakcie oceny wartości potencjalnych projektów, zgodnie z interesem akcjonariuszy. Podstawę modelu wyceny aktywów kapitałowych stanowi zasada, że zwrot z indywidualnej akcji powiązany jest z rynkiem według równania, zwanego linią rynku papierów wartościowych: na oczekiwaną stopę zwrotu z aktywa s składa się → stopa zwrotu „wolna od ryzyka” r_f plus premia za specyficzne ryzyko, związane z tym aktywem: $E(r_s) = r_f + (E(r_m) - r_f)\beta_s$. Biorąc pod uwagę powyższe można stwierdzić, że → premia za ryzyko w stopie dyskontowej dla danego projektu w modelu CAPM zależy jedynie od wartości współczynnika beta, projektu.

Premia za ryzyko (*risk premium*) – w → analizie DCF procent związany z czasową wartością pieniądza, czyli z faktem, że pieniądz otrzymany jutro nie jest wart pieniądza dzisiejszego (wynika to z obserwacji, że środki pieniężne, które mają być otrzymane w przyszłości mogą się nie zmaterializować). Im bardziej ryzykowna działalność gospodarcza, w którą angażuje się inwestor tym procent ten (premia za ryzyko) powinien być większy (większe szanse, że oczekiwane pieniądze się nie zmaterializują).

Przepływ pieniężny (*cash flow*) – termin rachunkowości, reprezentujący bilans wszystkich wpływów pieniężnych minus środki obrotowe i bieżące inwestycje kapitałowe, kalkulowany na koniec roku rozliczeniowego. Reprezentuje on wielkość środków pieniężnych w gotówce, po odliczeniu podatku, uzyskanych lub utraconych na przestrzeni roku. Przepływ pieniężny może być zatem liczbą dodatnią lub ujemną. Może być on liczony zarówno przy przyjęciu wartości stałych (bez naliczania inflacji) lub też bieżących (z uwzględnieniem inflacji) jednostek pieniężnych. Zasadniczą przesłanką konstruowania przepływów pieniężnych jest stworzenie podstawy dla podejmowania decyzji.

RADR → stopa dyskontowa „dostosowana do ryzyka”.

Ryzyko (*risk*) – miara niepewności (rozumiana jako prawdopodobieństwo, czyli szanse, że coś się wydarzy), w sytuacji decyzyjnej, którą charakteryzuje pytanie o to, co przyniesie przyszłość, w odpowiedzi na akcję, którą podejmiemy dzisiaj. Niepewność pojmowana jest zasadniczo jako niedostatek informacji lub brak wiedzy i niemożność przewidywania → analiza ryzyka.

Ryzyko specyficzne projektu (*project specific risk*) – jest to ryzyko łączące się z wyjątkowością charakterystyk danego przedsięwzięcia i związaną z nim niepewnością. Stanowi ono istotny udział w obrębie stopy dyskontowej. Dlatego stopa dyskontowa stosowana w danym projekcie musi uwzględniać poziom ryzyka specyficznego projektu. Stopę dyskontową uwzględniającą ryzyko specyficzne projektu nazywa się → stopą dyskontową „dostosowaną do ryzyka”.

Stopa dyskontowa „wolna od ryzyka” (*risk-free discount rate*), czysta stopa procentowa – stopa procentowa papierów „wolnych od ryzyka”. Za takie papiery uważa się w świecie amerykańskie (tzw. T-Bills) i kanadyjskie bony skarbowe oraz obligacje rządów USA i Kanady. W Polsce stopa ta może być szacowana w oparciu o zwrot z bonów skarbowych względnie obligacji Skarbu Państwa (krótko- i długoterminowych). Aktywa „wolne od ryzyka”, w myśl teorii,

charakteryzują się zerową wariancją i zerową kowariancją z jakimkolwiek innym aktywem lub portfelem.

Stopa dyskontowa „dostosowana do ryzyka” (*risk-adjusted discount rate*, RADR) – każda stopa dobrana adekwatnie do poziomu ryzyka projektu (liczona przy przyjęciu pieniądza stałego lub bieżącego); im dostrzega się wyższe ryzyko, tym stopa RADR powinna być wyższa. Do określenia analitycznego tego typu stopy stosuje się najczęściej → model wyceny aktywów kapitałowych (CAPM).

Stopa progowa (*hurdle rate*) – stopa dyskontowa powszechnie stosowana przez przedsiębiorstwa do wyceny wartości bieżącej (zaktualizowanej) projektów. Stopa przyjmowana jest w oparciu o najlepszą prognozę właściwej stopy dyskontowej, która bierze pod uwagę zmienność i niepewny charakter innych stóp, teoretycznie bardziej poprawnych, jak np. koszt kapitału alternatywnego i → średniego ważonego kosztu kapitału (WACC).

Studium możliwości (*opportunity study*) – jest podstawowym instrumentem umożliwiającym prezentację informacji, parametrów ilościowych i danych niezbędnych do zmiany pomysłu w projekt. Studia możliwości mają raczej charakter ogólny i opierają się głównie na danych zagregowanych, a nie na szczegółowych analizach. Wysokość kosztów oparta jest zwykle na porównywalnych danych z istniejących obiektów, a nie na cenach podanych przez dostawców maszyn i urządzeń. W zależności od konkretnych warunków opracowywane są albo ogólne studia możliwości (podejście sektorowe) albo studia konkretnych projektów (podejście mikroekonomiczne) albo też oba rodzaje studiów łącznie.

Studium przedrealizacyjne, studium przedwykonawcze (*pre-feasibility study*) – wstępna ocena pomysłu inwestycji, której zasadniczym celem jest pokazanie, czy: 1) zbadane zostały wszystkie warianty projektu, 2) koncepcja projektu uzasadnia przeprowadzenie analizy szczegółowej w formie studium *feasibility*, 3) któryś aspekt projektu ma decydujące znaczenie dla jego realizacji i wymaga w związku z tym pogłębionej analizy w formie studium funkcjonalnego lub pomocniczego, jak np. badania rynku, testy laboratoryjne, podjęcia produkcji próbnej, 4) na podstawie dostępnych informacji można uznać projekt albo za niemożliwy do realizacji albo za dość atrakcyjny dla określonego inwestora lub grupy inwestorów, 5) projekt nie zagraża środowisku naturalnemu w miejscu lokalizacji, a jego potencjalne oddziaływanie na środowisko nie narusza krajowych norm w tym zakresie.

Studium wykonalności, studium realizacyjne (*feasibility study*) – jest fazą, która powinna dostarczyć wszelkich danych niezbędnych do podjęcia decyzji inwestycyjnej. Podstawą powinna być ocena wariantów, dokonana we wstępnym studium przedrealizacyjnym. W studium wykonalności muszą być określone i krytycznie przeanalizowane wszelkie handlowe, techniczne, finansowe, ekonomiczne i związane ze środowiskiem naturalnym uwarunkowania projektu inwestycyjnego. Wynikiem tych wysiłków jest projekt z jasnym uzasadnieniem celu i możliwych strategii rynkowych, dla którego określony został także możliwy do osiągnięcia udział w rynku i odpowiadające mu zdolności produkcyjne, lokalizacja projektu, istniejące zaopatrzenie materiałowe, odpowiednia technologia i wyposażenie oraz – jeśli to niezbędne – wpływ na środowisko naturalne. Część finansowa studium określa wielkość nakładów inwestycyjnych, łącznie z potrzebnym kapitałem obrotowym, koszty produkcji i sprzedaży oraz dochody ze sprzedaży i stopę zwrotu zainwestowanego kapitału.

Symulacja Monte Carlo (*Monte Carlo simulation*, MC) – rygorystyczna metoda obliczeniowa → oceny ekonomicznej projektu, która uwzględnia w rachunku niepewność parametru wejściowego. Celem stochastycznego modelowania ryzyka jest określenie rozkładu prawdopodobieństwa możliwych wyników. W symulacji stochastycznej każda niepewna zmienna wchodzi do rachunku pod postacią rozkładu prawdopodobieństwa, odzwierciedlającego jej niepewność. Symulacja probabilistyczna pozwala na uzyskanie wartości dla każdej niepewnej zmiennej stochastycznej, poprzez próbkowanie określonego rozkładu prawdopodobieństwa, przy zastosowaniu techniki MC.

Średni ważony koszt kapitału (*weighted average cost of capital*, WACC) – średni ważony koszt funduszy, będących w dyspozycji przedsiębiorstwa, łącznie z kredytem (po odliczeniu podatku), akcjami zwykłymi i uprzywilejowanymi. Inaczej: jest to → stopa „dostosowana do ryzyka”, która waży koszt kapitału własnego oraz koszt kredytu za pomocą wskaźnika dług : kapitał własny.

- Wartość godziwa** (*fair market value*), wartość rynkowa – wartość, na jaką zgadzają się dobrze poinformowani co do obiektu transakcji: mający chęć nabycia kupiec oraz mający chęć zbycia sprzedający, przy czym nie istnieją żadne okoliczności, które w jakiś sposób zmuszałyby bądź nabywcę do kupna, bądź sprzedającego do sprzedaży
- Wartość złoza** (*deposit value*), rynkowa wartość → górniczego projektu inwestycyjnego, inwestycji górniczej, → wartość godziwa – jest to wartość ustalona przez wykwalifikowanego i bezstronnego taksatora, używającego uzasadnionych założeń dla celu, dla którego jest określana wartość złoza”. Taksator ocenia wartość złoza dla określonej prognozy wydobywania, dla pewnego przyjętego scenariusza ekonomicznego z uwzględnieniem ryzyka technicznego, ekonomicznego i politycznego. Podstawą określenia wartości złoza w przypadku złóż o potencjale produkcyjnym jest często NPV.
- Współczynnik beta** (β , *beta*, *beta coefficient*) – w → modelu wyceny aktywów kapitałowych alternatywna miara ryzyka (systematycznego), która mierzy reakcję stopy zwrotu z papieru wartościowego na zmiany stopy zwrotu z całego rynku. Czynniki beta wyraża zmienność akcji s w odniesieniu do zmienności całego rynku. W myśl teorii portfelowej beta rynku, z definicji, równa jest jedności. Gdy beta jest większa od 1 wówczas ryzyko względne, związane z walorem, jest większe od średniej dla rynku (stopę zwrotu z papieru charakteryzuje większa zmienność niż stopę zwrotu z całego rynku), natomiast jeśli jest mniejsza od 1 – względne ryzyko jest mniejsze od średniej rynkowej (stopę zwrotu z waloru cechuje mniejsza zmienność niż stopy zwrotu z rynku). Matematycznie beta stanowi stosunek kowariancji zwrotu z aktywa „wolnego od ryzyka” r_f i zwrotu z rynku r_m oraz wariancji r_m czyli $\beta_s = \sigma_{sm} / \sigma_m^2$ [Moyen i in. 1996]. Innymi słowy, współczynnik beta otrzymywany jest poprzez kalkulację ilorazu odchylenia standardowego stopy zwrotu z akcji s oraz odchylenia standardowego stopy zwrotu z rynku, mnożonego przez współczynnik korelacji pomiędzy stopą zwrotu z akcji s a stopą zwrotu z rynku. Beta jest miarą stopnia kowariancji: wysoka kowariancja z rynkiem implikuje wysoką betę, która z kolei implikuje wysoki koszt kapitału, a ten – niską cenę giełdową aktywów.
- Współczynnik wartości zaktualizowanej** (*present value ratio*, PVR) jest miernikiem, związanym z NPV i określa jej stosunek do nakładów inwestycyjnych. Kryterium decyzyjne mówi, że projekt należy zaakceptować, gdy $PVR > 1$.
- Wzrostowa stopa zwrotu** (*growth rate of return*, GRR) – jest stopą zwrotu, która obejmuje zwrot z dywidend uzyskiwanych z inwestycji początkowych, dyskontowanych stopą i , równą → minimalnej akceptowalnej stopie zwrotu (MARR), plus zwrot z dywidend reinwestowanych przy zewnętrznej stopie i' . Wzrostowa stopa zwrotu jest identyczna z IRR, gdy stopa reinwestycji $i = IRR$. W przypadku porównywania kilku projektów analiza GRR daje taki sam ranking projektów jak IRR, pod warunkiem, że $i' = MARR$, a zewnętrzna stopa i' stosowana jest dla wszystkich projektów.

1. Wstęp

Bez względu na to, czy zdajemy sobie z tego sprawę czy nie, ekonomia jest nierozłącznie związana z naszą egzystencją. Człowiek współczesny, świadomie bądź nieświadomie, podejmuje na co dzień niezliczone decyzje ekonomiczne.

Każdej z tych decyzji nieodłącznie towarzyszy niepewność oraz – co za tym idzie – ryzyko. Każdorazowo zadajemy sobie pytanie o konsekwencje naszych decyzji – czy i w jakim zakresie zostaną osiągnięte spodziewane korzyści? Siłą rzeczy pojawia się tu pytanie o prawdopodobieństwo straty–zysku, z którym z kolei wiąże się konieczność dokonywania kolejnych przeliczeń. Bez tych kalkulacji nawet w pełni racjonalny czyn może okazać się irracjonalnym.

Identyfikacja źródeł niepewności i określenie poziomu ryzyka jest jedną z najistotniejszych kwestii z jaką przyszło borykać się zorientowanemu ekonomicznie współczesnemu człowiekowi. Dlatego nauka od kilkudziesięciu lat stara się znaleźć możliwie doskonałe środki oszacowywania i kwantyfikacji ryzyka.

Górnictwo jest gałęzią przemysłu, gdzie ryzyko ma szczególne znaczenie. Wiąże się to ze specyfiką tej branży. Błąd ma tu dużo poważniejsze konsekwencje, niż w innych sektorach gospodarki. Górnictwo stanowi więc przestrzeń działania ludzi odważnych, skłonnych do działania w warunkach wysokiego ryzyka. Stoi to w zgodzie ze słowami André'go Malraux: „Kto boi się zrobić błąd, ten nigdy nie będzie robić historii”. Można to przełożyć na sentencję, że nagradzani bywają jedynie podejmujący ryzyko. Sama gotowość do jego podejmowania może być wszakże nieracjonalna bez zidentyfikowania źródeł i zakresu niepewności, oceny konsekwencji wydarzeń, a tym samym określenia poziomu ryzyka. Stąd analiza ryzyka ma w tej branży szczególne znaczenie.

Klasycznym modelem oceny ekonomicznej przedsięwzięć jest analiza zdyskontowanych przepływów pieniężnych. W modelu tym zasadniczą rolę pełni stopa dyskontowa „dostosowana do ryzyka” (RADR), której wysokość stanowi odzwierciedlenie poziomu niepewności związanej z danym przedsięwzięciem i ma istotny wpływ na jego wartość. Dobór odpowiedniej stopy RADR nie jest, niestety, wcale zadaniem łatwym. Wymaga ono od analityka dużej wiedzy i doświadczenia; zazwyczaj czynione jest to na zasadzie *ad hoc*, co pociąga za sobą istotne konsekwencje – w świetle powyższego należy stwierdzić, iż ważną rolę w procesie doboru stopy dyskontowej odgrywa występowanie czynnika subiektywnego. Stąd problem doboru poziomu stopy RADR uważany jest za jedną z podstawowych wad analizy zdyskontowanych przepływów pieniężnych.

Analiza ryzyka w arkuszu zdyskontowanych przepływów pieniężnych realizowana jest najczęściej poprzez stosowanie prostych narzędzi tradycyjnych: analizy wrażliwości i analizy scenariuszowej w ujęciu deterministycznym.

W ostatnich latach w gospodarce coraz większe uznanie w dziedzinie analizy ryzyka przedsięwzięć zyskuje zastosowanie metod probabilistycznych. Ich szersze wykorzystanie wiąże się z rozpowszechnieniem w latach 80-tych ub. wieku komputerów osobistych. Szczególnym impulsem dla intensywnego rozwoju nauk statystycznych, w tym – w szczególności – rachunku prawdopodobieństwa, były badania nad broniami masowego rażenia oraz lotami kosmicznymi. W rezultacie dopracowano się nowoczesnych metod symulacyjnych, pozwalających na kompleksową analizę ryzyka przedsięwzięć, z których najbardziej znaną jest metoda Monte Carlo. Termin ten wprowadzony został podczas II wojny światowej jako kryptonim symulacji problemów, związanych z prowadzeniem prac mających na celu skonstruowanie bomby atomowej. Metoda Monte Carlo uwzględnia w rachunku niepewność parametru wejściowego; pozwala na przedstawienie jej wpływu na przepływy pieniężne projektu zarówno w sposób numeryczny jak i graficzny. W stosunkowo prosty sposób pozwala przedsiębiorstwom na włączanie do rachunku zdyskontowanych przepływów

pieniężnych większej ilości danych, probabilistyczne modelowanie niepewności i uzyskiwanie bardziej kompletnej informacji, umożliwiającej podejmowanie odpowiednich decyzji.

Za jedną z najważniejszych zalet symulacji Monte Carlo w procesie oceny ekonomicznej uważa się możliwość włączania do arkusza kalkulacyjnego zdyskontowanych przepływów pieniężnych zmiennych występujących pod postaciami rozkładów prawdopodobieństwa ich możliwych wartości. Zgodnie z zaleceniami teoretycznymi, wyrażenie ryzyka przedsięwzięcia w rozkładach ma eliminować konieczność stosowania tej samej, co przyjmowanej w rachunku deterministycznym, stopy RADR. Powoduje to nieporozumienia w kontekście wartości projektu, gdyż takie postępowanie prowadzi do zawyżenia wartości projektu.

Jednym z głównych zadań niniejszej pracy jest krytyka i zweryfikowanie tego podejścia. Praca stawia tezę, iż w celu uzyskania wiarygodnej wartości projektu, konieczne jest zastosowanie w kalkulacji takiej samej, jak w rachunku deterministycznym, stopy RADR. W przeciwnym przypadku, do wyników symulacji Monte Carlo konieczne jest zaaplikowanie teorii preferencji.

Praca szeroko podejmuje problematykę stopy dyskontowej jako kluczowego elementu rachunku zdyskontowanych pieniężnych, stanowiącego odzwierciedlenie ryzyka i wpływającego przez to na wartość przedsięwzięcia, co dla inwestycji górniczych ma szczególnie istotne znaczenie. W odniesieniu do powyższego podejmuje zagadnienie doboru stopy zarówno w kalkulacji deterministycznej jak i symulacji Monte Carlo.

Na koniec wypada stwierdzić, iż ani metodyka doboru stopy dyskontowej ani wykorzystanie metod analizy ryzyka w procesach oceny ekonomicznej projektów inwestycyjnych w górnictwie polskim nie doczekały się kompleksowego opracowania. Z uwagi na brak wymogów prawnych w tym zakresie oraz niedocenianie wagi ww. problemów przez menadżerów górniczych, stopa RADR dobierana jest w praktycznych działaniach przypadkowo a analiza ryzyka stosowana jest w większości przypadków w bardzo ograniczonym zakresie.

Rozprawa obejmuje 11 rozdziałów. W rozdziale 2 przedstawiono tezę, cele, metodykę i zakres pracy. Rozdział 3 charakteryzuje górnicze projekty inwestycyjne, z uwzględnieniem ich specyfiki, natomiast 4 – ryzyko w górnictwie. W rozdziale 5 dokonano ogólnej charakterystyki inwestycji górniczych. Rozdział 6 w wyczerpujący sposób omawia analizę zdyskontowanych przepływów pieniężnych, a rozdział 7 – problematykę stopy dyskontowej i jej doboru w procesach oceny ekonomicznej górniczych projektów inwestycyjnych. Rozdział 8 komentuje klasyczne metody analizy ryzyka (analizę wrażliwości i analizę scenariuszową) i na ich tle prezentuje symulację Monte Carlo. Rozdział 9 przedstawia przykłady implementacji metod analizy ryzyka do oceny ekonomicznej projektów z górnictwa węgla kamiennego i rud metali nieżelaznych. Rozdział 10 stanowi weryfikację tezy pracy, a 11 – podsumowanie rozprawy i wnioski.

2. Teza, cele, metodyka i zakres pracy

Teza pracy

Działalność górnictwem trudno jest przyrównać do jakiegokolwiek standardu modeli ekonomicznych inwestycji przemysłowych. Górnicze projekty inwestycyjne charakteryzują się całą gamą specyficznych cech, które czynią je wyjątkowymi na tle innych inwestycji.

Ww. cechy są źródłem wyjątkowo wysokiego ryzyka tej branży. Jego ocena stanowi niezwykle istotny problem w zagadnieniach oceny ekonomicznej górniczych przedsięwzięć inwestycyjnych.

Głównym celem analizy ryzyka jest ocena oddziaływania ryzyka w warunkach konkretnych sytuacji decyzyjnych. Realizowane było to zawsze za pomocą różnych – lepszych i gorszych – narzędzi analitycznych. Z czasem nauki ekonomiczne wykształciły tu pewne techniki, które z uwagi na swoją prostotę i przydatność, zdobyły wśród analityków uznanie i szeroką popularność.

Klasycznym modelem stosowanym w procesie oceny ekonomicznej przedsięwzięć inwestycyjnych jest analiza zdyskontowanych przepływów pieniężnych (*discounted cash flow analysis*, DCF). Kluczowym elementem rachunku DCF jest stopa dyskontowa, która – stanowiąc odzwierciedlenie ryzyka, związanego z daną inwestycją, wpływa na jej wartość. Im większe ryzyko dostrzeżone przez inwestora, tym wyższą stopę dyskontową powinien zastosować, tym niższa wartość projektu. Wynika to z czasowej wartości pieniądza – duże ryzyko (prawdopodobieństwo, iż projekt nie zostanie zrealizowany) implikuje mniejsze szanse na uzyskanie zakładanych poziomów przepływów pieniężnych, co wyraża właśnie stopa dyskontowa (nazywana „dostosowaną do ryzyka” – *risk-adjusted discount rate*, RADR). Zagadnienie określenia stopy RADR jest jednym z podstawowych problemów, z którymi borykają się nauki ekonomiczne.

Jedną z stosowanych współcześnie metod analizy ryzyka jest stosowanie w arkuszu przepływów pieniężnych techniki obliczeniowej, zwanej symulacją Monte Carlo (MC). Zastosowanie symulacji MC w procesach oceny ekonomicznej polega na przedstawieniu zmiennych wejściowych projektu w postaci ich rozkładów prawdopodobieństwa i uzyskaniu, w efekcie, rozkładu prawdopodobieństwa parametru wyjściowego. Z uwagi na powyższe, symulacja MC jest narzędziem, które dostarcza w procesach oceny ekonomicznej górniczych przedsięwzięć inwestycyjnych znacznie większej liczby wartościowych informacji w zakresie charakterystyk i pomiaru ryzyka niż stosowane metody tradycyjne (analiza scenariuszowa i analiza wrażliwości w rachunku deterministycznym).

W myśl teorii, z uwagi na fakt, iż w symulacji MC ryzyko przedsięwzięcia odzwierciedlone jest *in extenso* w rozkładach prawdopodobieństwa danych wejściowych, poziom przyjmowanej stopy dyskontowej powinien – w stosunku do stopy RADR przyjmowanej rachunku deterministycznym – zmniejszać się proporcjonalnie do ilości ryzyka projektu, wyrażonej w rozkładach tych zmiennych; zatem w przypadku skrajnym, przedstawienia wszystkich niepewnych zmiennych wejściowych pod postaciami rozkładów prawdopodobieństwa, powinno się zastosować stopę dyskontową „wolną od ryzyka”. Konsekwencja i rygorystyczne stosowanie się do powyższych założeń prowadzić może do nieporozumień i błędnych wniosków co do wartości przedsięwzięcia, stąd w pracy stawia się następującą tezę:

Mając na uwadze wartość projektu w symulacji MC – niezależnie od ilości ryzyka ujętego w rozkładach prawdopodobieństwa danych wejściowych – powinna być użyta ta sama stopa dyskontowa, co stopa „dostosowana do ryzyka” przyjmowana w rachunku deterministycznym,

bądź

konieczna jest aplikacja algorytmów tzw. teorii preferencji.

Cel poznawczy

Rola poznawcza pracy polega na przedstawieniu:

- 1) problematyki ryzyka górniczych projektów inwestycyjnych,
- 2) przedstawieniu zasad doboru stopy RADR dla inwestycji górniczych,
- 3) pokazanie zastosowania metod analizy ryzyka w górnictwie:
 - a) deterministycznych,
 - b) stochastycznych (aplikacja symulacji MC do projektów górniczych),
- 4) przedstawienie uwarunkowań wyboru stopy dyskontowej dla projektów kalkulowanych za pomocą symulacji MC.

Cel utylitarny

Cel utylitarny pracy mieści w sobie:

- 1) opracowanie metodyki doboru stopy RADR w ocenie ekonomicznej górniczych projektów inwestycyjnych,
- 2) ocenę możliwości oraz korzyści zastosowania symulacji MC w procesach oceny ekonomicznej projektów górniczych.

W świetle powyższego rozprawa zwraca szczególną uwagę na kluczowy element w analizie zdyskontowanych przepływów pieniężnych, jakim jest „dostosowana do ryzyka” stopa dyskontowa (RADR). Stopa ta łączy przyszłą wartość przepływów pieniężnych z ich wartością dzisiejszą. Praca przedstawia praktyczne reguły i sposoby jej doboru, w zależności od postrzeganego i rzeczywistego ryzyka górniczych przedsięwzięć inwestycyjnych. Dostarczenie metodologii w zakresie aplikacji symulacji MC do algorytmów oceny ekonomicznej przedsięwzięć inwestycyjnych w bieżącej praktyce górniczej.

Przedstawiona metodologia MC, z uwagi na szersze i bardziej kompleksowe ujęcie problematyki niepewności i ryzyka, może z powodzeniem zastąpić tradycyjne metody deterministyczne stosowane w analizie zdyskontowanych przepływów pieniężnych i stanowić doskonałe narzędzie w pracy analityka – niezależnie od rodzaju złoża i stopnia jego rozpoznania. Symulacja stochastyczna daje dobry pogląd w zakresie powiązania niepewności z wartością oczekiwaną projektu. Dostarcza użytecznej informacji odnośnie podejmowania decyzji w zakresie:

- 1) kupna-sprzedaży złoża/kopalni (aktywów geologiczno-górnictwowych),
- 2) zagospodarowania posiadanych zasobów.

Metodyka

Teoria aplikacji modelu symulacyjnego MC do analizy zdyskontowanych przepływów pieniężnych proponuje stosowanie stopy dyskontowej, której poziom jest redukowany w

stosunku do „deterministycznej” stopy RADR w zależności od ilości ryzyka wyrażonego w rozkładach prawdopodobieństwa niepewnych danych wejściowych. Reguła ta sformułowana została na podstawie wnioskowania dedukcyjnego.

Teza pracy stanowi podważenie tej reguły w odniesieniu do wartości projektu. W celu udowodnienia tezy w pracy przeprowadzono rozumowanie indukcyjne. Wychodząc od definicji ryzyka (jako niekompletnej informacji oraz jako niepewności co do warunków towarzyszących przedsięwzięciu) a następnie dokonując interpretacji ryzyka projektowego i wynikających z tego uwarunkowań w zakresie doboru stopy RADR na zasadzie *ad hoc* pokazano, że wniosek o stosowaniu w symulacji MC niższej niż w ujęciu deterministycznym stopy dyskontowej jest – w sensie wartości inwestycji – błędny.

W pracy zastosowano indukcyjną metodykę badawczą – polegającą tu na przedstawieniu, obserwacji a następnie krytyce funkcji stopy dyskontowej RADR w klasycznym modelu zdyskontowanych przepływów pieniężnych. Kompleksowa analiza poglądów uzyskiwana była w oparciu o realne przykłady oceny przedsięwzięć inwestycyjnych z aktualnej praktyki polskiego górnictwa podziemnego. Na podstawie wyników tych działań oraz rozważań teoretycznych, w oparciu o bieżący stan wiedzy w tym zakresie oraz doświadczenia własne autora, przeprowadzane było wnioskowanie i weryfikacja tezy pracy.

Obliczeń dokonywano posługując się arkuszem kalkulacyjnym MS Excel oraz programami @Risk i BestFit firmy Palisade.

Dla osiągnięcia celu i udowodnienia tezy praca:

- 1) definiuje pojęcie ryzyka,
- 2) charakteryzuje górnicze projekty inwestycyjne z podkreśleniem ich specyfiki,
- 3) w odniesieniu do nich wskazuje źródła niepewności i rodzaje ryzyka,
- 4) prezentuje analizę zdyskontowanych przepływów pieniężnych, jako standardową metodę oceny ekonomicznej przedsięwzięć inwestycyjnych,
- 5) przedstawia i szeroko omawia problematykę stopy dyskontowej „dostosowanej do ryzyka” (RADR) i problem jej doboru,
- 6) opisuje metody analizy ryzyka w rachunku deterministycznym (analizę wrażliwości i scenariuszową) oraz stochastycznym (symulację MC).

Praca prezentuje zalety i wady obydwu podejść do zagadnienia; postrzega symulację MC jako metodę, stanowiącą w zasadzie rozwinięcie klasycznej analizy scenariuszowej w n scenariuszy. Stąd w oparciu o rozważania teoretyczne, jak i zastosowania praktyczne, identyfikuje ją jako wartościowszą metodę oceny ryzyka przedsięwzięć, pozwalającą na skuteczne podejmowanie decyzji. W odniesieniu do kwestii wartości przedsięwzięcia przedstawia problem doboru stopy dyskontowej w modelu symulacyjnym MC, stawiając tezę i udowadniając, iż proste stosowanie niższej stopy niż w rachunku deterministycznym (z uwagi na ryzyko wyrażane w rozkładach prawdopodobieństwa) jest nieuzasadnione.

Wyniki pracy weryfikowane są na konkretnych przykładach zaadaptowanych z bieżącej praktyki polskiego przemysłu wydobywczego węgla kamiennego i rud metali nieżelaznych.

3. Górnicze projekty inwestycyjne

3.1. Definicja górniczego projektu inwestycyjnego

W literaturze przedmiotu panuje dość duża różnorodność w zakresie rozumienia, definiowania i interpretowania pojęcia „inwestycja”. Pomimo tej różnorodności można jednak pokusić się o wyodrębnienie pewnych cech, które decydują o tym, czy dane zdarzenie ekonomiczne można określić mianem inwestycji. W tej pracy jako inwestycje będzie rozumieć się zjawiska gospodarcze, w których będziemy mieli do czynienia z następującymi cechami:

- a) nakład inwestycyjny,
- b) korzyść (jako efekt poniesienia nakładów),
- c) czas, w jakim ta korzyść zostanie osiągnięta,
- d) ryzyko związane z osiągnięciem tej korzyści.

W niniejszej pracy termin „projekt” rozumiany będzie nie tylko jako konkretny, materialny wytwór koncepcji, ale też w sposób bardziej „dynamiczny”: jako działanie lub zespół działań. W skrócie można go scharakteryzować trzema słowami: pomysł, opis, działanie.

Taka interpretacja terminu „projekt” bliska jest pojęciu „przedsięwzięcia”, choć słowo „projekt” ma aspekt nieco bardziej formalny. Z tego względu te dwa terminy stosowane będą w tekście zamiennie. Mówiąc o projekcie (przedsięwzięciu) górnicy czy górnicy projekt (przedsięwzięciu) inwestycyjnym będziemy mieć na myśli to samo.

W pracy pod pojęciem górnicy projekt inwestycyjny rozumiany będzie każdy projekt inwestycyjny realizowany w górnictwie, oznaczający jakąkolwiek działalność poszukiwawczą, udostępniającą lub produkcyjną, której ostatecznym celem jest wydobywanie, przeróbka i sprzedaż danej kopaliny.

3.2. Specyfika inwestycji górniczych

Inwestycje górnicze charakteryzują się całą gamą specyficznych cech, które czynią je wyjątkowymi na tle innych inwestycji.

Jest rzeczą oczywistą, że cała filozofia działalności górniczej konstruowana jest w oparciu o złożę surowca mineralnego. Złożę, według definicji podanej przez Bolewskiego i Gruszczyka [1980], „jest to takie nagromadzenie minerału, czy też skały użytecznej, którego eksploatacja przynosi korzyść gospodarczą”.

Złożę jest w górnictwie podstawowym przedmiotem gospodarowania i zasadniczym źródłem dochodu. Jego istnienie stanowi sens działalności górniczej.

Do specyficznych cech złoża, jako przedmiotu pracy, zalicza się:

- 1) unikalność (szczególną rzadkość jego występowania),
- 2) jego często wyjątkowe położenie, determinujące lokalizację przedsiębiorstwa górnicy,
- 3) nieodnawialność (sčerpywalny charakter jego zasobów),
- 4) niepewność i niepowtarzalność jego budowy, zasobów i charakterystyki geologicznej.

Istotnie – fundamentalny fakt rzadkości jest jednym z zasadniczych czynników ekonomicznych, będących przyczyną działalności górniczej.

Każde złożę surowca mineralnego jest niepowtarzalne pod względem lokalizacji – lokalizacja złoża wymusza z kolei usytuowanie przedsiębiorstwa górnicy – złoża surowców mineralnych mogą być eksploatowane tylko w miejscu ich odkrycia. Ten fakt

ogranicza swobodę działania inwestora górniczego w zakresie wyboru miejsca budowy kopalni. Zmuszony jest on liczyć się z warunkami geograficzno-klimatycznymi miejsca eksploatacji.

Zasoby złóż surowców mineralnych po wyczerpaniu nie mogą być odnowione. Związane jest to z ich ograniczonością oraz wyjątkowością pod względem jakości, budowy oraz warunków geologiczno-górnich. Jedynym wyjściem w tej sytuacji może być odkrycie lub nabycie złoża o podobnych właściwościach i charakterystyce geologicznej.

Czynnikiem, wyróżniającym złożę jako przedmiot pracy, jest niepewność co do jego zasobności, jakości, budowy geologicznej i warunków zalegania. Niepewność ta ulega zmniejszaniu wraz z postępem zagospodarowania złoża, ale towarzyszy górnikowi właściwie aż do końca eksploatacji.

Pozostałe cechy charakterystyczne inwestycji górniczych, wynikające z powyższych uwag, to:

- 1) wyjątkowo długi okres przedprodukcyjny (inwestycyjny),
- 2) długi zazwyczaj okres produkcyjny (eksploatacji),
- 3) zróżnicowane warunki, w jakich jest częstokroć prowadzona produkcja,
- 4) duża kapitałochłonność,
- 5) nieelastyczność procesu produkcyjnego,
- 6) nieprzewidywalność cen surowców mineralnych (związana z ich wyraźnie cyklicznym charakterem).

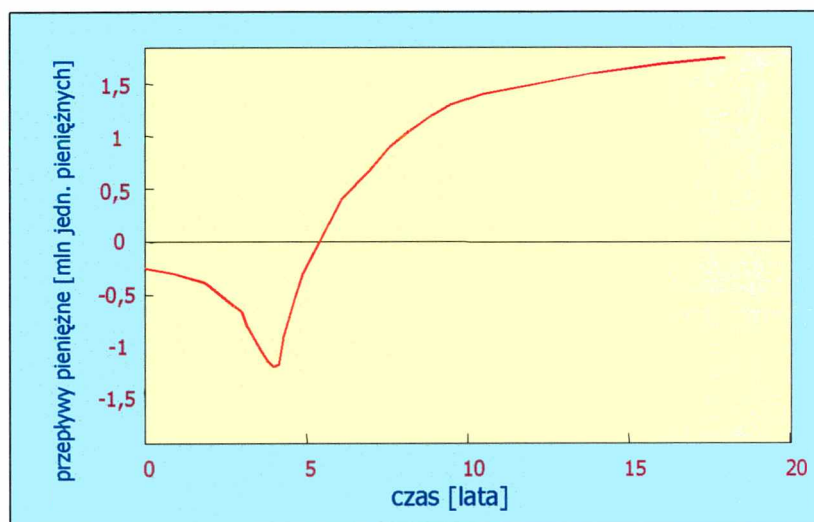
Okres przedprodukcyjny związany jest ze skalą inwestycji górniczych. Jest on szczególnie długi w przypadku budowy nowej kopalni – obejmuje on tu, m. in., budowę infrastruktury na powierzchni, wydrążenie szybów, budowę wyrobisk podstawowych (transportowych, odwadniania i wentylacji), udostępniających, przygotowanie złoża do eksploatacji; w przypadku kopalni czynnej są to również kilku- kilkunastomiesięczne okresy. Długi okres inwestycyjny jest niekorzystny z uwagi na czynnik czasu co łączy się z możliwością niekorzystnych zmian warunków na rynku (głównie w zakresie cen i kosztów). Okres przedprodukcyjny dla typowego górniczego projektu inwestycyjnego waha się w granicach około 3-5 lat [Davis 1996]. Z doświadczeń autora wynika, iż podobny okres występuje dla inwestycji w górnictwie polskim.

Czynnik czasu ma również znaczenie w przypadku długiego okresu produkcyjnego – po pierwsze powoduje on, że przepływy pieniężne z końcowych lat eksploatacji mają znikomą wartość (zgodnie z zasadą, że pieniądze otrzymywane dziś są warte więcej niż pieniądze uzyskiwane jutro), a po drugie – zwiększa się niepewność odnośnie przyszłych warunków funkcjonowania kopalni oraz warunków ekonomicznych na rynku. Inwestorzy górniczy muszą uwzględniać fakt, że decyzje operacyjne podjęte w początkowym okresie eksploatacji będą oddziaływać na długoterminową wartość przedsięwzięcia. Przykładowo, wybieranie w początkowej fazie przedsięwzięcia lepszych jakościowo partii złóż zwiększa poziom wczesnych zysków, ale wpływa na zmniejszenie się poziomu średniej jakości złoża, a przez to na długość okresu istnienia kopalni. Davis [1996, za Mackenzie'm i Doggettem 1993] podaje, iż średni okres eksploatacji w kopalniach północnoamerykańskich wynosi około 11,5 roku.

Na rys. 3.1 przedstawiono schematyczny diagram przepływów pieniężnych typowego górniczego projektu inwestycyjnego. Wykres ten podsumowuje wszystkie powyższe stwierdzenia. Można zaobserwować, iż nawet jeśli zagospodarowanie złoża ma miejsce niezwłocznie po jego odkryciu i udokumentowaniu, to produkcja i osiągnięcie pierwszych przepływów pieniężnych następuje po wspomnianych 3-5 latach. Widać też wyraźnie oddziaływanie czasu – można zauważyć, że krytycznym okresem dla projektu górniczego jest okres pierwszych lat po uruchomieniu produkcji.

Zróznicowane warunki prowadzenia eksploatacji wynikają ze zmienności warunków górnictwo-geologicznych. Wiąże się to z wyjątkowością złoża i niepowtarzalnym charakterem jego budowy.

Górnictwo jest dziedziną, charakteryzującą się szczególnie dużą kapitałochłonnością. Na działalność geologiczno-górnictwo składają się cztery odrębne fazy inwestycyjne (poszukiwania, udostępnienia, eksploatacji i likwidacji), z których każda obejmuje wydatki niezwyklej skali. Składają się na nie wyjątkowo kosztowne przedsięwzięcia inwestycyjne.



Rys. 3.1. Schematyczny diagram przepływów pieniężnych typowego górnictwo projektu inwestycyjnego [Gocht i in. 1988]

Z kapitałochłonnością łączy się nieelastyczność procesu produkcyjnego. Menadżerowie górnictwo rzadko mogą sobie pozwolić na jego wstrzymanie, przerwanie lub likwidację. Jest to, m. in., związane z wysokim poziomem kosztów stałych (w przypadku zmniejszenia wielkości wydobycia wzrasta obciążenie jednostki wydobycia kosztami stałymi – kopalnia może wtedy przynosić straty). Niemożliwe jest również przestawienie procesu na produkcję alternatywną.

Choć nieprzewidywalność cen jest cechą charakterystyczną większości przedsięwzięć inwestycyjnych [Zeliaś 1997, Nowak i in. 1998, Zarzecki 1998, Kuropka i in. 2001, i in.] to czynnikiem wyróżniającym projekty górnictwo spośród innych przedsięwzięć inwestycyjnych jest cykliczny charakter cen surowców mineralnych.

4. Ryzyko w górniczych projektach inwestycyjnych

4.1. Pojęcie ryzyka

„Ryzyko” jest terminem, który ma wiele znaczeń zarówno w życiu gospodarczym, jak i życiu codziennym. Jak pisze Jackowicz [1999], „należy zwrócić uwagę, że wielu autorów, pisząc o ryzyku, nie podejmuje próby wyczerpującego zdefiniowania omawianego zjawiska (...). Ci zaś, którzy to czynią, formułują określenia bardzo różniące się nawzajem”.

Istnieje cała gama poglądów na temat istoty i natury ryzyka oraz definicji je określających. Uzupełniają się one i dopełniają nawzajem. Rzeczywiście: istota ryzyka była i nadal jest w literaturze ekonomicznej przedmiotem szerokiej dyskusji, która nie doprowadziła do przyjęcia ogólnie akceptowalnej jego definicji. Wśród ich rzeszy można jednak zaobserwować pewne elementy wspólne, a mianowicie: występowanie sytuacji decyzyjnej (pytanie co przyniesie przyszłość, w odpowiedzi na akcję, którą podejmiemy dzisiaj) i towarzyszący jej aspekt niepewności, związanej zasadniczo z niedostatkami informacji lub brakiem wiedzy oraz niemożnością przewidywania. Niepewność naturalną kolejną rzeczą implikuje pytanie o prawdopodobieństwo, czyli szanse, że coś się wydarzy.

Ryzyko w niniejszej pracy rozumiane jest jako prawdopodobieństwo powodzenia/niepowodzenia rozważanego przedsięwzięcia. Podobną definicję ryzyka podają – m. in. – PWN [1999], Kral [1993], Mayo [1997], Marcinek [1998], Ostrowska [1999], Jackowicz [1999], Lattanzi [2000], i in.

4.2. Źródła niepewności i czynniki ryzyka w inwestycjach górniczych

Podane w poprzednim rozdziale cechy specyficzne inwestycji górniczych są w głównej części źródłami niepewności generującymi ryzyko w tej branży. Panuje zgodna opinia, że działalność górnicza jest działalnością dużo bardziej ryzykowną niż działalność gospodarcza w innych branżach [np. Torries 1998, Lattanzi 2000, i in.]. I chociaż ryzyko związane z działalnością górniczą zmniejszyło się w ciągu ostatnich dekad [Torries 1998], jest ono w górnictwie wciąż wysokie i stanowi wciąż istotny problem w zagadnieniach oceny ekonomicznej jakiegokolwiek górniczego projektu inwestycyjnego.

Jak napisano powyżej, że aby mówić o ryzyku trzeba mieć do czynienia z konkretną sytuacją decyzyjną. W przypadku inwestycji górniczych można się spotkać z kilkoma zasadniczymi typami decyzji. Oto kilka typowych problemów decyzyjnych:

- 1) nie czynić nic (czekać), czy inwestować?
- 2) czy uruchomić nowy projekt?
- 3) czy utrzymać, zwiększyć czy może zmniejszyć wydobycie z bieżąco realizowanych przedsięwzięć?
- 4) czy zatrzymać czasowo produkcję, czy być może zlikwidować ją w ogóle?
- 5) jeśli produkcja jest wstrzymana, to kiedy ją uruchomić ponownie?

Należy podkreślić, że na każdy rodzaj decyzji oddziałują różne źródła niepewności. Stąd każda z nich wymaga innych zestawów informacji.

Informacja jest kluczową kwestią w problematyce ryzyka i procesie podejmowania decyzji. Jakość podejmowanej decyzji zależy od ilości i jakości posiadanych informacji. Im więcej posiadanych informacji i lepsza ich jakość, tym lepsza decyzja. Niestety, inwestorzy nie są w stanie nigdy uzyskać wszystkich żądanych informacji, zatem muszą podejmować decyzje na podstawie niepełnych danych. Pojawia się więc problem: czy podjąć decyzję w oparciu o posiadane informacje, czy raczej postarać się o zebranie dodatkowych danych? Nie jest to błahy dylemat – po pierwsze z uwagi na fakt, że informacja jest droga, a po drugie ze

względem na czynnik czasu, który powoduje, że opóźnienia związane z realizacją projektu zmniejszają potencjalne zyski. Ekonomia udziela nam w tym względzie jednoznacznej odpowiedzi: dane powinny być gromadzone dopóty, dopóki koszt gromadzonych danych nie równa się z uzyskaną wskutek ich posiadania korzyścią.

Niepewność w górnictwie rozpoczyna się od problemu oszacowania zasobów i parametrów jakościowych złoża; występuje zasadniczo w procesach szacowania każdego czynnika, który może mieć wpływ na przyszłe przychody i koszty.

Większość autorów uważa, że na ryzyko inwestycji górniczych oddziałują czynniki trojakiemu rodzaju [Gocht i in. 1988, Le Bel 1993, Hammond 2000]:

- techniczne,
- rynkowe/ekonomiczne/finansowe,
- polityczne.

Do czynników technicznych poszczególni autorzy zaliczają:

- 1) wielkość zasobów (Gocht i in., Le Bel, Hammond),
- 2) zawartość składników użytecznych (Le Bel, Hammond),
- 3) plan rozcięcia złoża (Hammond),
- 4) niepewność co do terminu realizacji projektu (Gocht i in., Hammond),
- 5) wielkość produkcji (Gocht i in.),
- 6) koszty eksploatacji: kapitałowe, operacyjne, likwidacji kopalni (Le Bel),
- 7) parametry procesu przeróbczego (Le Bel),

Z kolei drugiej grupy czynników kwalifikują:

- 1) cenę surowca (Gocht i in., Le Bel, Hammond),
- 2) popyt (Gocht i in., Hammond),
- 3) stopy procentowe (Le Bel),
- 4) kursy walut (Gocht i in., Hammond),
- 5) poziom inflacji (Le Bel, Hammond),
- 6) nakłady kapitałowe i koszty operacyjne (Hammond),
- 7) parametry procesu przeróbczego (Hammond),
- 8) infrastrukturę transportową (Hammond).

Za najważniejsze czynniki trzeciej grupy ww. autorzy uważają:

- 1) wymienialność waluty (Gocht i in.),
- 2) możliwość transferu zysków za granicę (Hammond)
- 3) czynniki związane z ochroną środowiska (Gocht i in.),
- 4) system podatkowy i prawny, możliwość nacjonalizacji (Gocht i in., Le Bel, Hammond),
- 5) czynniki socjalne (Hammond).

Naturalnie w kwestii identyfikacji i nazewnictwa czynników ryzyka istnieje dużo poglądów z różnych względów modyfikujących bądź podających alternatywne klasyfikacje. Np. Smith [1994] łączy czynniki ryzyka w górnictwie w grupę czynników związanych z przychodami, grupę czynników związanych z zasobami (okres istnienia kopalni), grupę czynników oddziałujących na koszty operacyjne oraz grupę czynników związanych z nakładami kapitałowymi.

Mając na uwadze powyższe oraz opierając się na ww. klasyfikacjach oraz obserwacjach i doświadczeniach własnych w pracy zaproponowano alternatywną kategoryzację ryzyka występującego w górnictwie (tabela 4.1). Czynniki ryzyka pogrupowano w 5 kategorii:

- 1) geologiczne,
- 2) ekonomiczno-finansowe,
- 3) technologiczne,
- 4) związane z ochroną środowiska,
- 5) inne.

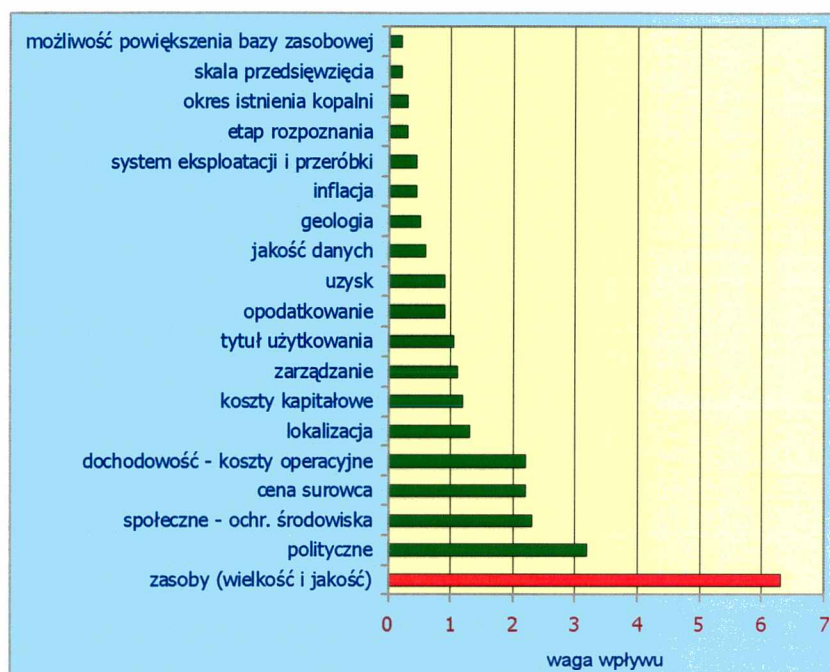
Tabela 4.1. Kategoryzacja ryzyka występującego w górnictwie [opr. własne]

Grupa czynników ryzyka	Czynnik ryzyka
geologiczne	- wielkość zasobów, - jakość kopaliny (zawartość składników użytecznych, parametry jakościowe), - głębokość zalegania, - dostępność zasobów, - budowa złoża (struktura i skład mineralogiczny), - kopaliny towarzyszące, - geometria zalegania, - zagrożenia naturalne
ekonomiczno-finansowe	- zmienność cen surowców mineralnych, - konkurencja ze strony producentów o niskich kosztach własnych, - niepewność popytu, - wchodzenie na rynek konkurencyjnych materiałów, - możliwości otrzymania kredytu na działalność górnictw, - koszty eksploatacji (kapitałowe, operacyjne, likwidacji kopalni), - stopy procentowe, - kursy walut, - poziom inflacji
technologiczne	- sposób udostępnienia, - sposób rozcięcia złoża, - technologia i system eksploatacji złoża, - dyspozycyjność/niezawodność maszyn i sprzętu, - tempo i płynność eksploatacji, - możliwości produkcyjne
związane z ochroną środowiska	- stopień deformacji i degradacji powierzchni (osiadanie, osunięcia terenu), - obniżenie poziomu wód gruntowych, - zanieczyszczenia powietrza, - zrzuty wód słonych i kwaśnych, - zrzuty metali ciężkich, - niekontrolowane składowanie odpadów, - zagrożenie dla unikalnych gatunków fauny i flory
krajowego ryzyka inwestycyjnego	- stan gospodarki, - sytuacja polityczno-prawna (np. możliwość nacjonalizacji, zmiany przepisów krajowych i zarządzeń lokalnych, takich jak podatki dochodowe, przepisy w zakresie ochrony środowiska), - infrastruktura, - położenie geograficzne i warunki klimatyczne, - stosunki socjalne
inne	<i>force majeure</i> („siła wyższa”), - uzyskanie wszystkich koniecznych koncesji i pozwoleń, - nieoczekiwane opóźnienia i przerwy w dostawach materiałów i sprzętu, - harmonogram projektu, - zarządzanie

4.3. Ranga czynników ryzyka w górnictwie

Czynniki ryzyka mają różną wagę w zakresie wpływu na całkowite ryzyko górnictwego przedsięwzięcia inwestycyjnego. Według najnowszej klasyfikacji Towarzystwa Ekonomiki Surowców Mineralnych Kanadyjskiego Instytutu Górnictwa, Metalurgii i Ropy Naftowej (Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum – Mineral Economics Society, CIM MES), opartej o wyniki ankiet wypełnionych przez respondentów, najistotniejszym czynnikiem ryzyka są zasoby (ich wielkość i jakość) a następnie czynniki polityczne,

społeczne/środowiskowe, cena surowca mineralnego oraz dochodowość/koszty operacyjne [Smith 2000]. Wyniki tego badania przedstawione zostały na rysunku 4.1.



Rys. 4.1. Ranking czynników ryzyka w górnictwie według CIM MES [Smith 2000]

Simonsen i Perry [1999] uważają za najistotniejsze w górnictwie rud metali następujące czynniki ryzyka:

- 1) rynek surowcowy (w szczególności cena surowca),
- 2) zasoby złoża i jego skład mineralogiczny,
- 3) system eksploatacji,
- 4) wydajność procesu przerobczego,
- 5) koszty kapitałowe i operacyjne,
- 6) harmonogram eksploatacji,
- 7) wpływ na środowisko przyrodnicze.

Smith [1994] z kolei za najważniejsze czynniki w górnictwie rud metali uważa te, które oddziałują bezpośrednio na przychody: cenę, zawartość składnika użytecznego i, uzysk. U tego autora wagę czynnika ryzyka stanowi jego udział w stopie dyskontowej (tab. 4.2).

Tabela. 4.2. Ranking czynników ryzyka według Smitha [1994]

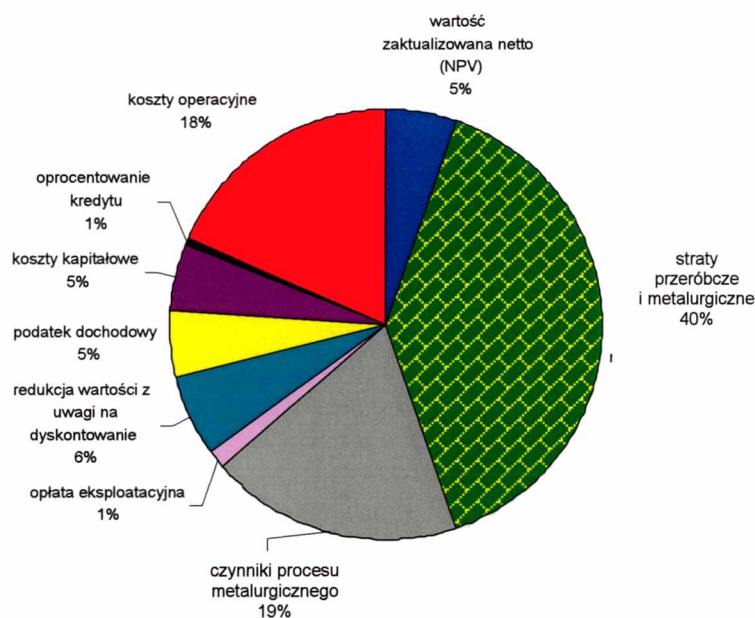
czynnik ryzyka	procent w obrębie stopy dyskontowej
cena	2,0
zawartość składnika użytecznego w rudzie	1,5
koszty operacyjne	1,1
uzysk	1,0
koszty kapitałowe	0,8
okres istnienia kopalni	0,6

Podstawą klasyfikacji Smitha było pogrupowanie czynników oddziałujących na ekonomikę górniczych projektów inwestycyjnych na te, które wpływają na koszty kapitałowe, koszty operacyjne, okres istnienia kopalni i przychody (cena, zawartość składnika

użytecznego, uzysk, wydajność). Ich wpływ może być oceniony poprzez względną wrażliwość każdego czynnika, który może być mierzony przy pomocy określania nachylenia krzywej na tradycyjnym wykresie wrażliwości (np. rys. 9.3, 9.4). Na przykład, wysokie ryzyko w zakresie kosztów kapitałowych (ujemne nachylenie) nie wyrównuje wysokiego ryzyka w cenie metalu (dodatnie nachylenie). Oba ryzyka dodają się, dając ryzyko kombinowane, itd. Wrażliwość mierzona jest jako zmiana IRR – ponieważ wynik ten reprezentuje stopę procentową i jest bezpośrednio porównywalny ze stopą dyskontową.

Niepewność może być rozumiana jako poziom dokładności każdej zmiennej. Przykładowo, na etapie studium wykonalności koszty kapitałowe i operacyjne przyjmowane są jako znane z dokładnością – dajmy na to – $\pm 10\%$, a uzysk, który jest prawdopodobnie znany z większą dokładnością, może wahać się w granicach $\pm 5\%$ oczekiwanej liczby.

Interesującą informację na temat czynników ryzyka w górnictwie podaje Roberts [2000]. Na przykładzie przykładowego projektu z górnictwa rud metali pokazuje on, które czynniki ryzyka mają największy wpływ na redukcję wartości metalu brutto zasobach *reserves* (odpowiednik zasobów przemysłowych) do wartości NPV (rys. 4.2). Jak widać, NPV projektu stanowi zaledwie 5,4% wartości metalu *in situ* brutto. Największy wpływ na redukcję wartości metalu od zasobów *in situ* mają straty związane z procesami przeróbczym i metalurgicznym – 39,2%, a następnie straty ponoszone w ciągu technologicznym (19,1%) oraz koszty operacyjne (18,3%).



Rys. 4.2. Redukcja wartości zasobów *in situ* do wartości NPV dla przykładowego projektu polimetalicznego [Roberts 2000]

5. Ogólna charakterystyka oceny ekonomicznej górniczych projektów inwestycyjnych

5.1. Pojęcie i cel oceny ekonomicznej

W pracy pod pojęciem oceny ekonomicznej rozumie się proces identyfikacji wykonalności ekonomicznej (*feasibility*) projektu, który wymaga inwestycji kapitałowych i podjęcia decyzji inwestycyjnej.

Celem oceny ekonomicznej projektów inwestycyjnych jest:

- 1) określenie ich wartości (wyceny),
- 2) dostarczenie informacji ekonomicznych, ułatwiających podejmowanie decyzji inwestycyjnych.

Jeśli chodzi o górnicze projekty inwestycyjne można tu dodać, iż celem oceny jest ocena potencjału ekonomicznego złoża przez porównanie oczekiwanych przychodów z produkcji z oczekiwanymi kosztami prac poszukiwawczych, kosztami udostępnienia, produkcji i przeróbki.

Pojęcie wartości, ze względu na swój subiektywny wymiar, zawsze było i jest pojęciem spornym. Koresponduje z nim pojęcie ceny – sprzedawca przypisuje zazwyczaj większą wartość obiektowi wystawionemu do sprzedaży niż osoba kupująca. Zatem „wartość” jest pojęciem względnym.

W celu uniknięcia nieporozumień, należy wyjaśnić, że wielu specjalistów z zakresu oceny ekonomicznej przedsięwzięć w górnictwie, w zależności od ich charakteru i specyfiki, często utożsamia i stosuje zamiennie pojęcia „wartości złoża”, „wartości zasobów”, „wartości kopalni (przedsiębiorstwa górniczego)”, „wartości górniczego projektu (przedsięwzięcia) inwestycyjnego”, itp. [Jankowska-Kłapkowska 1992]. Wynika to z faktu, że nowoczesne nauki ekonomiczne łączą jednoznacznie wartość z przepływami gotówki, generowanymi przez dane przedsięwzięcie. Ekonomisci postrzegają złożę jako szczególnego rodzaju przedmiot pracy. Oczywiście takie podejście do zagadnienia wywołuje natychmiast spory pomiędzy zwolennikami i przeciwnikami takiego poglądu. Dlatego, zdaniem autora rozprawy, bezpieczniej jest mówić o „górnim projekcie inwestycyjnym”, choć w niektórych przypadkach wygodniej jest używać pojęcia „wartości złoża (zasobów)”. Jakby nie nazywać, w sensie ekonomicznym znaczy to to samo. Wartość zasobów złoża niezagospodarowanego ma silny związek z nakładami inwestycyjnymi na jego zagospodarowanie, co łączy się nierozdzielnie z budową kopalni; jeśli więc kopalnia budowana będzie na jednym złożu można śmiało mówić o „wartości kopalni”.

W ostatnich latach w świecie biznesu i w środowisku przedstawicieli nauk ekonomicznych zapanował konsensus w zakresie obiektywnej rynkowej wartości obiektu transakcji. Reprezentanci tej szkoły z szeroko rozumianej branży surowców mineralnych zaakceptowali, jako standard, pojęcie tzw. obiektywnej (godziwej) wartości rynkowej (*fair market value*, FMV).

Godziwą wartość rynkową można najogólniej zdefiniować jako wartość, na jaką zgadzają się dobrze poinformowani co do obiektu transakcji: mający chęć nabycia kupiec oraz mający chęć zbycia sprzedający, przy czym nie istnieją żadne okoliczności, które w jakiś sposób zmuszałyby bądź nabywcę do kupna, bądź sprzedającego do sprzedaży [Byrska-Rapała i in. 1996, Torries 1998]. W różnych krajach istnieją odmiennie brzmiące definicje FMV, wszystkie jednak mają pewne zasadnicze elementy wspólne:

- 1) zarówno osoba sprzedająca, jak i kupująca, muszą mieć niczym nie przymuszoną chęć zrealizowania transakcji,
- 2) transakcja musi być prawdopodobna i nieodległa w czasie,

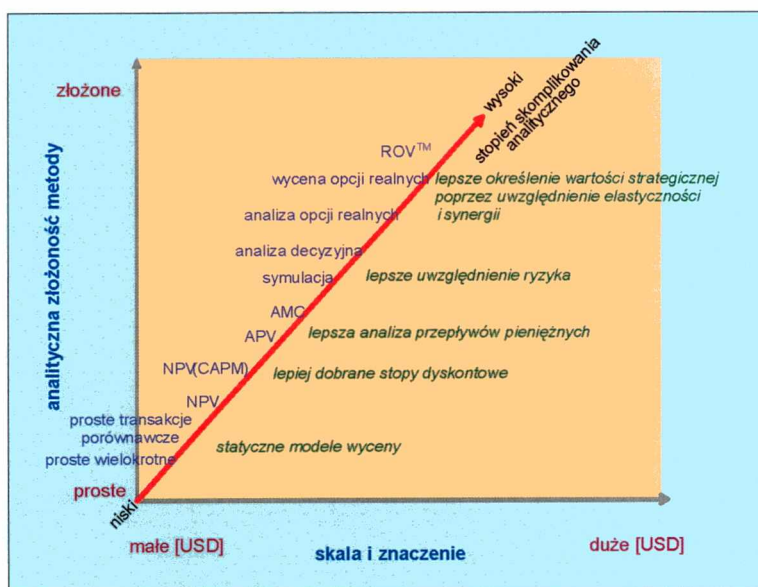
- 3) zarówno sprzedający, jak i nabywca, powinni mieć wystarczającą wiedzę co do obiektu transakcji.

Właściwa wycena pozwala na podejmowanie adekwatnych działań inwestycyjnych. Zagadnienie wartości złoża ma szczególne znaczenie w przypadku wolnorynkowego obrotu górnictwymi projektami inwestycyjnymi. Wycena wartości aktywów geologiczno-górnictwowych dokonywana jest, m. in., dla realizacji następujących celów [Hammond 2000, Spence 2000]:

- udzielania koncesji na poszukiwania geologiczne oraz wydobywanie kopalin,
- transakcji kupna/sprzedaży aktywów górnictwowych (złóż i kopaliń),
- transakcji obejmujących fuzje przedsiębiorstw,
- opodatkowania,
- zapewnienia kredytów bankowych,
- ubezpieczeń,
- niezależnych opinii eksperckich,
- wyłączeń,
- księgowości,
- ofert publicznych, licytacji, itp.

5.2. Metody oceny ekonomicznej przedsięwzięć inwestycyjnych

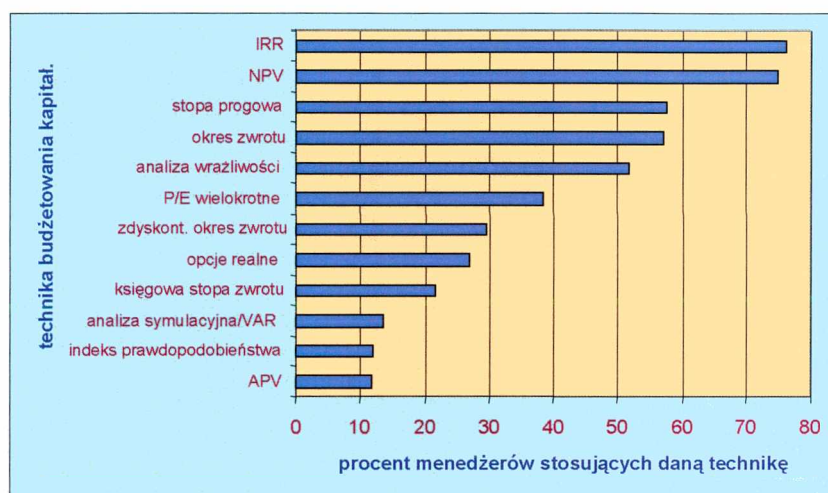
Podstawowym problemem w zakresie wyznaczania wartości złóż jest dobór właściwej metody (który uwarunkowany jest stanem informacji o złożu) oraz poprawne jej zastosowanie. Górnicze projekty inwestycyjne, w zależności od ilości informacji i zaawansowania analitycznego, oceniane są za pomocą różnych metod (rys. 5.1).



Rys. 5.1. Metody wyceny górnictwowych projektów inwestycyjnych [Hammond 2000]

Należy podkreślić, iż obecnie czynniki decyzyjne (inwestorzy, przedstawiciele banków) wymagają wyceny wartości złoża za pomocą przynajmniej dwóch metod [Saługa 2005]. Przytaczając wyniki badań ankietowych przeprowadzonych przez Spence'a [2000] (tab. 5.1) oraz pracach Kanadyjskiego Instytutu Górnictwa, Hutnictwa i Ropy Naftowej (Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, CIM) [CIM 2003] (tab. 5.2, 5.3) należy stwierdzić, iż dominującą metodą wyceny górnictwowych projektów inwestycyjnych na etapach złoża rozpoznanego, udostępnionego i kopalni czynnej jest analiza zdyskontowanych przepływów pieniężnych (DCF). Fakt ten potwierdzają badania School of Business –

University of Wisconsin-Madison [2003](rys. 5.2) oraz wielu autorów, zajmujących się oceną ekonomiczną górniczych projektów inwestycyjnych, jak np.: Gochta i in. [1988], Cavendera [1992], Smitha [1994, 2000], Moyen i in. [1996], Davisa [1995, 1998], Torriesa [1998], Lattanzi'ego [2000], i in.



Rys. 5.2. Popularność różnych technik budżetowania kapitałowego wśród menadżerów [School of Business – University of Kentucky 2003]

Tabela 5.1. Dominujące metody wyceny na różnych etapach zagospodarowania kanadyjskich projektów górniczych [Spence 2000]

Charakterystyka etapu zagospodarowania zasobów	Dominujące metody wyceny
wstępne stadium prac poszukiwawczych (kilka wydrążonych otworów poszukiwawczych z obiecującymi wynikami)	metoda wartości szacowanej /podejście kosztowe, metoda wartości porównawczych
wczesna faza prac poszukiwawczych (większa liczba otworów, obiecujące wyniki)	
późna faza prac poszukiwawczych (podjęcie decyzji w zakresie przeprowadzenia pełnego bankowego studium wykonalności, sporządzone studium przedrealizacyjne (<i>prefeasibility</i>) z pozytywnym wynikiem)	analiza DCF, metoda wartości porównawczych
wczesna faza zagospodarowania złoża (sporządzone pełne bankowe studium wykonalności, przygotowany plan finansowania przez bank, budowa przewidziana za 6 miesięcy)	
późna faza zagospodarowania złoża (pełne ukończenie przewidziane za 6 miesięcy)	
kopalnia czynna	
kopalnia czynna w późnej fazie produkcyjnej (zasoby wyczerpią się za 2 lata, ograniczone szanse na dalsze odkrycia zasobów)	
kopalnia zamknięta (maszyny i urządzenia jeszcze nie zdemontowane, ograniczone szanse na dalsze odkrycia zasobów)	metoda wartości likwidacyjnej

Tabela 5.2. Podejścia wyceny dla różnych stadiów zagospodarowania złoża [CIM 2003]

Podejście do wyceny	Złoża w fazie poszukiwań	Złoża rozpoznane	Złoża udostępnione	Kopalnie czynne
kosztowe	tak	w pewnych przypadkach	nie	nie
rynkowe	tak	tak	tak	tak
dochodowe	nie	w pewnych przypadkach	tak	tak

Tabela 5.3. Metody wyceny złóż surowców mineralnych [CIM 2003]

Podejście do wyceny	Metoda wyceny	Ranking metody	Komentarz
dochodowe	analiza DCF	podstawowa	powszechnie stosowana; w Kanadzie zaakceptowana jako metoda preferowana
	analiza Monte Carlo	podstawowa	mniej szeroko stosowana, ale przybierająca na znaczeniu i coraz szerzej akceptowana
	wyceny opcji	podstawowa	słabo rozpowszechniona, rozumiana w wąskich kręgach, ale coraz szerzej akceptowana
	metody probabilistyczne		mniej szeroko stosowane, niezbyt akceptowana
rynkowe	transakcji porównawczych	podstawowa	szeroko stosowane w różnych odmianach
	warunków zgody w zakresie opcji	podstawowa	szeroko stosowane ale postać opcji zwykle nie dyskontowany (choć powinien)
	wartości metalu <i>in situ</i> brutto		nie akceptowalna
	wartości metalu netto lub wartości na jednostkę metalu	drugorzędna	szeroko stosowana reguła praktyczna
	wartości na jednostkę powierzchni	drugorzędna	stosowana dla dużych obszarów poszukiwań geologicznych
	kapitalizacji rynkowej	drugorzędna	ma większe zastosowanie dla wyceny pojedynczych złóż nowych kompanii górniczych, mniej dla innych złóż
kosztowe	wartości szacowanej (<i>appraised value</i>)	podstawowa	szeroko stosowana, ale nie akceptowana przez wszystkich
	wielokrotności wydatków na poszukiwania geologiczne	podstawowa	podobna do metody wartości szacowanej, ale uwzględniająca czynnik wielokrotności; stosowana częściej w Australii
	czynnika geotechnicznego	drugorzędna	mało rozpowszechniona

6. Analiza zdyskontowanych przepływów pieniężnych

Pomimo coraz większej popularności nowych metod oceny ekonomicznej, uwzględniających wartość elastyczności decyzyjnej (metody wyceny opcji realnych [np. Brennan i Schwartz 1985, Paddock i in. 1988, Saługa i in. 2002, Saługa 2002, i in.]), analiza zdyskontowanych przepływów pieniężnych (DCF) – jak pokazują badania – pozostaje wciąż podstawową metodą oceny ekonomicznej przedsięwzięć inwestycyjnych. Jak stwierdzono, w przypadku górniczych projektów inwestycyjnych – o ile tylko istnieje liczba danych, wystarczająca do jej sensownego przeprowadzenia – analiza zdyskontowanych przepływów pieniężnych jest powszechnie akceptowaną i preferowaną metodą oceny ekonomicznej.

Technikę tę można z powodzeniem stosować dla wszystkich projektów górniczych, w jakich mamy do czynienia ze stwierdzonym złożem i wydzielonymi zasobami przemysłowymi (zawsze wtedy jest możliwość sensownego oszacowania tempa produkcji, przychodów kosztów, itp.). Dlatego analiza DCF może być wykorzystana do oceny projektów na różnych etapach działalności geologiczno-górnictwa – czy to projektów będących jeszcze w fazie przed udostępnieniem (rozpoznanych), złóż udostępnionych, kopalń w fazie operacyjnej, kopalń uruchamianych powtórnie po okresie uśpienia (z uwagi, np., na korzystną koniunkturę) oraz kopalń będących w fazie ekspansji eksploatacji; analiza DCF nie nadaje się natomiast do oceny złóż na etapie wczesnej fazy prac poszukiwawczych oraz likwidacji (tabela 5.1). Technika DCF – z uwagi na działanie czynnika dyskontowego – nie jest też najlepszą metodą do oceny przedsięwzięć długoterminowych (rys. 6.4) oraz wyceny wartości projektów nieopłacalnych lub będących na granicy opłacalności [Saługa i in. 2002, Saługa 2002].

Analiza DCF jest metodą, która opiera się na zasadzie, że uniwersalnym medium wymiany jest pieniądz, oraz że inwestycja gotówkowa może być krokiem racjonalnym jedynie wówczas, gdy oczekuje się niej pieniężnego zwrotu [Lattanzi 2000]. A zatem, każdy inwestor, który inwestuje gotówkę, będzie oczekiwał jej zwrotu w postaci przyszłych zysków, generowanych przez inwestycję.

Generalnie można powiedzieć, że im bardziej ryzykowna inwestycja, tym większe oczekiwane zwroty.

Koncepcja nagradzania czynników podejmujących ryzyko jest łatwa do uzasadnienia. Jednakże problemy krytyczne związane z mierzeniem poziomów ryzyka, korzyści i strat związanych z danym projektem oraz z określeniem skłonności inwestora do ryzyka są generalnie trudne i skomplikowane.

Zasadą analizy DCF jest powiązanie wielkości oczekiwanych przyszłych zysków z wielkością początkowej inwestycji gotówkowej, niezbędnej dla nabycia aktywa lub uruchomienia komercyjnej produkcji. Jej celem jest symulacja wszystkich antycypowanych na cały okres realizacji projektu przepływów pieniężnych.

Przepływ pieniężny (*cash flow*) jest terminem rachunkowości, reprezentującym bilans wszystkich wpływów pieniężnych (z uwzględnieniem środków obrotowych i bieżących inwestycji kapitałowych), liczonym na koniec roku rozliczeniowego. Reprezentuje on wielkość środków pieniężnych w gotówce, po odliczeniu podatku, uzyskanych lub utraconych na przestrzeni roku. Przepływ pieniężny może być zatem liczbą dodatnią lub ujemną. Może być on liczony zarówno przy przyjęciu wartości stałych (bez naliczania inflacji) jak i bieżących (z uwzględnieniem inflacji) jednostek pieniężnych [Barth i in. 1999]. Zasadniczą przesłanką konstruowania przepływów pieniężnych jest stworzenie podstawy dla podejmowania decyzji [Runge 1998].

Wartość projektu w analizie DCF jest wartością przyszłych przepływów pieniężnych (lub innych przychodów netto) minus wymagane nakłady inwestycyjne (koszty) [np.

Sierpińska, Jachna 1993, Czechowski i in. 1996, Torries 1998, i in.]. Czynnikiem istotnym jest czas pomiędzy momentem, w którym dokonuje się inwestycji a momentem otrzymania pierwszych zwrotów. Okres ten ma znaczenie z uwagi na wartość czasową pieniądza [Michaelis 1999].

Kalkulację DCF przeprowadza się w sposób praktyczny w arkuszu kalkulacyjnym. Przykładowy arkusz przepływów pieniężnych przedstawiono w tabeli 6.1. Arkusz został

Tabela 6.1. Przykład arkusza kalkulacyjnego zdyskontowanych przepływów pieniężnych dla projektu zagospodarowania złoża ZnPb [opr. własne 1999]

Srednia zawartość cynku [%]:	2,78	Koszty operacyjne [zł/Mg rudy w.s.):	94,31
Srednia zawartość ołowiu [%]:	0,82	Koszty kapitałowe [zł]:	13 689 444,57
Wielkość zasobów rudy [Mg w.s.):	817 720,00		
Zasoby cynku [Mg]:	22 740,86		
Zasoby ołowiu [Mg]:	6 724,65		
Współczynnik strat [%]:	15,00		
Tempo eksploatacji rudy [Mg w.s./d]:	1 742,82		
Uzyski z przeróbki:			
Uzysk Zn w blendzie [%]:	78,98		
Uzysk Pb w galenie [%]:	66,12		
Uzysk Zn w BULKu [%]:	6,60		
Uzysk Pb w BULKu [%]:	3,05		
Wychód kamienia [%]:	36,49		
Liczba dni roboczych w roku:	250,00		
Kurs 1 USD [zł]:	3,98		
Stopa dyskontowa [%]:	10,00		

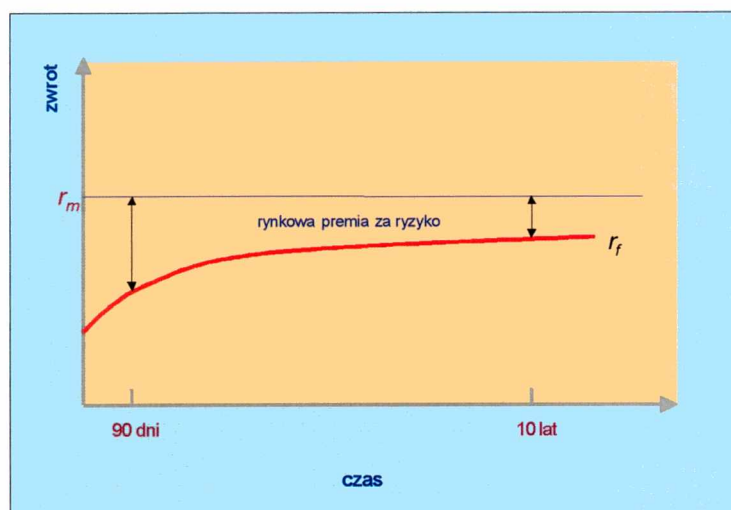
	Okres:	rok 0	rok 1	rok 2	rok 3
Wielkość wydobycia rudy [Mg w.s./rok]		4 896,81	435 705,66	254 459,53	0,00
Ilość odpadów [Mg]		52 920,00	293 559,91	148 055,74	0,00
Cena cynku [USD/Mg]		1 140,03	1 140,03	1 140,03	0,00
Cena ołowiu [USD/Mg]		611,68	611,68	611,68	0,00
Cena blendy flotacyjnej [zł/Mg]		1 318,57	1 318,57	1 318,57	0,00
Cena galeny flotacyjnej [zł/Mg]		662,15	662,15	662,15	0,00
Cena blendy BULK [zł/Mg]		1 252,29	1 252,29	1 252,29	0,00
Cena kamienia [zł/Mg]		11,49	11,49	11,49	0,00
Inwestycje kapitałowe [zł]		7 900 000,00	5 789 444,57		
Kapitał obrotowy [zł]		14 382 612,58			
Produkcja blendy flotacyjnej [Mg]		286,66	17 888,06	10 446,93	0,00
Produkcja galeny flotacyjnej [Mg]		24,81	3 714,56	2 169,36	0,00
Produkcja blendy BULK [Mg]		23,87	1 601,35	935,21	0,00
Produkcja kamienia [Mg]		1 786,85	158 989,00	92 852,28	0,00
Wartość wyprodukowanej blendy [zł]		377 974,83	23 586 661,18	13 775 011,99	0,00
Wartość wyprodukowanej galeny [zł]		16 426,46	2 459 599,80	1 436 448,19	0,00
Wartość blendy BULK [zł]		2 237 655,45	2 005 358,58	1 171 163,58	0,00
Wartość kamienia płukanego [zł]		20 526,70	1 826 413,82	1 066 656,79	0,00
Przychód brutto [zł]		2 652 583,44	29 878 033,38	17 449 280,55	0,00
minus: Koszty składowania odpadów [zł]		112 755,68	625 482,77	315 459,67	0,00
minus: Koszty operacyjne [zł]		461 838,11	41 093 178,81	23 999 116,56	0,00
Zysk brutto [zł]		2 077 989,65	-11 840 628,20	-6 865 295,68	0,00
minus: Opłata eksploatacyjna (1,2%)		31 831,00	358 536,40	209 391,37	0,00
minus: Amortyzacja		2 585 000,00	5 479 722,29	5 479 722,29	0,00
Dochód do opodatkowania [zł]		-538 841,35	-17 678 886,89	-12 554 409,34	0,00
minus: Podatek (27%) [zł]		0,00	0,00	0,00	0,00
Zysk netto [zł]		-538 841,35	-17 678 886,89	-12 554 409,34	0,00
plus: Amortyzacja [zł]		2 585 000,00	5 479 722,29	5 479 722,29	0,00
minus: Inwestycje kapitałowe [zł]		7 900 000,00	5 789 444,57	-145 000,00	0,00
minus: Kapitał obrotowy [zł]		14 382 612,58	0,00	-14 382 612,58	0,00
Przepływ pieniężny netto [zł]		-20 236 453,94	-17 988 609,18	7 452 925,54	0,00
Zdyskontowany przepływ pieniężny netto [zł]		-20 236 453,94	-16 353 281,07	6 159 442,59	0,00

skalibrowany dla przykładowego polskiego projektu zagospodarowania złoża cynku i ołowiu. W części górnej zestawiono wszystkie najważniejsze czynniki wpływające na przychody, a obok, po prawej stronie, koszty projektu (operacyjne i kapitałowe). W tabeli dolnej umieszczono najważniejsze pozycje kalkulacyjne, w odniesieniu do okresu realizacji przedsięwzięcia. Macierz kalkulacyjna obejmuje zatem indywidualne komórki z liczbami, stanowiące oszacowania parametrów wejściowych na określony okres czasu, komórki przeliczeniowe oraz komórki wynikowe. Od dokładności oszacowań zależy wiarygodność wyników analizy.

Analiza DCF jest metodologią, która wymaga zatem prognoz, czynionych przy uwzględnieniu warunków technicznych i ekonomicznych, które będą dominować w przyszłości [Kufel 1992]. Każde prognozy na temat przyszłości są z natury rzeczy niepewne, lecz poziom niepewności będzie istotnie spadał w sytuacji dostępności danych w zakresie przyszłej produkcji i przyszłych kosztów [Sobczyk 1995]. Im dostępne dane są bardziej wyczerpujące, tym ocena za pomocą analizy DCF będzie bardziej pewna [Nowak i in. 1998, Kuropka i in. 2001].

Powyższe obserwacje nasuwają wniosek, że najbardziej dokładne będą analizy projektów w fazie operacyjnej, z dobrze określoną bazą zasobową, bez perspektyw odkrycia dalszych złóż, i charakteryzujących się stabilnością w zakresie danych historycznych dotyczących tempa produkcji i kosztów, pozwalających na wiarygodną prognozę przyszłych warunków, w których prowadzona będzie eksploatacja.

Jak stwierdzono, technika DCF zasadza się na koncepcji czasowej wartości pieniądza i dychotomii ryzyko–zwrot [np. Dobbins i in. 1992, Michaelis 1999, i in.]. Pieniądz otrzymany jutro nie jest wart pieniądza dzisiejszego, więc każdy inwestor ma interes w jak najszybszym uzyskiwaniu korzyści. Mając do wyboru posiadanie tej samej kwoty dzisiaj i w przyszłości, będzie wolał mieć je dzisiaj, gdyż pieniądze, które mają być otrzymane w przyszłości mogą się nie zmaterializować. I nawet gdyby nie było tego ryzyka to pieniądz posiadany dzisiaj będzie miał i tak większą wartość, głównie z uwagi na maksimum możliwości jego wykorzystania. Dlatego, aby pieniądz przyszły był równy dzisiejszemu, musi być z nim związana „ premia ” (rys. 6.1). Aby przyszłe przepływy pieniężne mogły być przyrównywane do dzisiejszych, muszą być dyskontowane, czyli dzielone przez składaną stopę procentową.



Rys. 6.1. „Premia” za ryzyko rynkowe w zależności od czasu [Runge 1998]

Dyskontowanie jest więc niczym innym, jak korygowaniem wartości każdego rocznego przepływu pieniężnego, który będzie generowany w ciągu realizacji projektu [Dziworska, Dziworski 1998, Biela 2000]. Bieżącą (zaktualizowaną) wartość przepływu pieniężnego (*present value*, *PV*) otrzymanego po czasie *t* uzyskuje się przez dyskontowanie jego wartości przyszłej (*future value*, *FV*) odpowiednią stopą dyskontową *i* (wyrażającą ryzyko tego strumienia), zgodnie z poniższą formułą:

$$PV_t = \frac{FV_t}{(1 + i)^t} \quad (6.1)$$

gdzie:

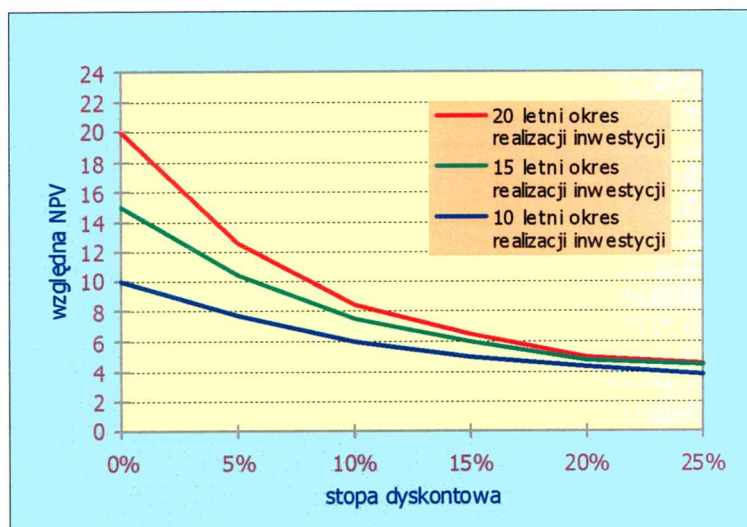
$(1 + i)^t$ – składana dyskontowa stopa procentowa.

Zatem związek pomiędzy przyszłymi rocznymi przepływami pieniężnymi (CF_t) a zdyskontowanymi wartościami tych przepływów (DCF_t) można przedstawić w analogiczny sposób:

$$DCF_t = \frac{CF_t}{(1+i)^t} \quad (6.2)$$

Suma zdyskontowanych rocznych przepływów pieniężnych daje bieżącą (zaktualizowaną) wartość całkowitego strumienia przyszłych dochodów na początku okresu obliczeniowego [Podszywałow, Pelc 1999].

Patrząc na formułę (6.2) widać, że wartość zaktualizowana przepływów pieniężnych zależy od stopy dyskontowej oraz od liczby lat. Zależność ta jest odwrotnie proporcjonalna – im wyższy współczynnik dyskontowy i im większa liczba lat, tym niższa wartość przepływów (rys. 6.2). Jest jeszcze jeden aspekt tego oddziaływania – w przypadku

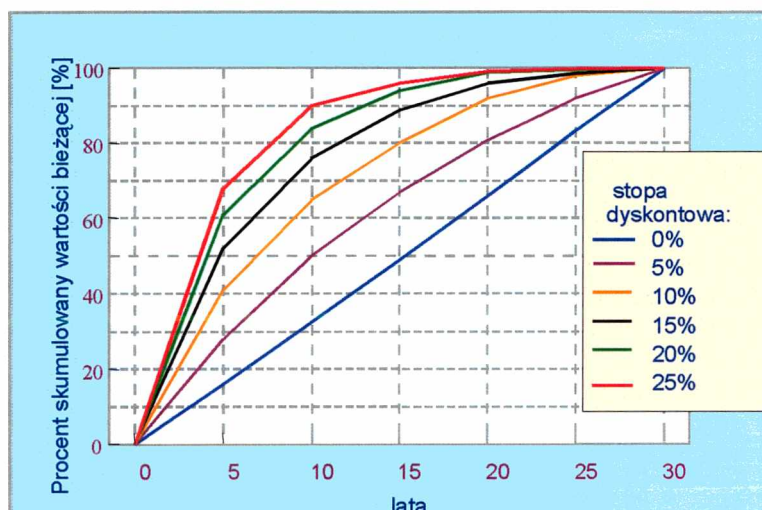


Rys. 6.2. Wykres ilustrujący zależność względnej NPV od poziomu stopy dyskontowej dla różnych okresów istnienia projektu [Smith 1994]

inwestycji długoletnich wysoki poziom stopy dyskontowej powoduje, iż realną wartość posiadają przepływy z pierwszych lat inwestycji (6.4). Wykres (rys. 6.3) skonstruowany został dla przykładowego projektu 30-letniego, przy założeniu równych płatności rocznych. Pokazuje on oddziaływanie stopy dyskontowej na wartość zaktualizowaną. Jak widać, dla stopy dyskontowej 0% osiągnięcie 90% całkowitej wartości zaktualizowanej wymaga 27 lat. Zauważmy, że dla stopy 25%-owej wynik ten można osiągnąć w ciągu pierwszych 10 lat realizacji projektu. Oznacza to, że dla tej stopy pozostałe 20 lat inwestycji mają praktycznie niewielką wartość (5% wartości zaktualizowanej).

Fakt, że przepływy pieniężne, otrzymywane w pierwszych latach realizacji projektu, mają dużo większe znaczenie niż przepływy uzyskiwane w okresach późniejszych, ma daleko idące konsekwencje. Z punktu widzenia planowania, mniejsze znaczenie przepływów z lat późniejszych jest korzystne, ze względu na problem prognozowania, gdyż w perspektywie długofalowej istnieje duże prawdopodobieństwo popełnienia błędu. Z drugiej strony dyskontowanie ma tendencję do zaniżania wartości projektów długoterminowych, gdyż

wartość późniejszych korzyści może być szacowana znacznie poniżej ich wartości rzeczywistej.



Rys. 6.3. Wpływ czasu i stopy dyskontowej na wartość zaktualizowaną inwestycji [Torries 1998]

6.1. Zalety i wady analizy zdyskontowanych przepływów pieniężnych

Analiza DCF, jak pisze Runge [1998], obejmuje symulowanie tego co się dzieje i tego co się może wydarzyć w kopalni w ciągu okresu jej istnienia. Zatem analiza ta jest procesem *ex ante*, dotyczącym generalnie przyszłości. Jej poprawność teoretyczna wymaga spełnienia kilku specyficznych warunków, które są, niestety, trudne do osiągnięcia w praktyce. Taka sytuacja prowadzi do wielu problemów, budzi wiele nieporozumień, zastrzeżeń i krytyk metody. Poprawne rozwiązanie tych problemów możliwe jest jedynie poprzez dokładne zrozumienie tych warunków i wynikających z nich ograniczeń. Za najbardziej istotne dla przeprowadzania poprawnej analizy DCF Torries [1998] uznaje pięć następujących warunków:

1. Wszystkie wartości zmiennych wejściowych do rachunku muszą występować jako wartości pewne, gdyż tylko wtedy może być określona prawdziwa wartość inwestycji. Osiągnięcie stuprocentowej pewności jest bardzo rzadko możliwe (szczególnie w przypadku górniczych projektów inwestycyjnych dla których nie są, na przykład, nigdy dokładnie znane przyszłe ceny i koszty). Stopień niepewności można wszakże zredukować dzięki zgromadzeniu odpowiednich danych. Dlatego więc w trakcie praktycznych ocen stosuje się wiele technik uwzględniających niepewność i ryzyko, nieodłącznie towarzyszącym przedsięwzięciom górniczym, m.in.: stopy dyskontowe „dostosowane do ryzyka” (*risk-adjusted discount rates*), analizę wrażliwości, analizę scenariuszową czy symulację Monte Carlo.
2. W przypadku porównywania kilku projektów – wszystkie projekty muszą być liczone przy porównywalnych stopach dyskontowych. W wymogu tym „porównywalnych” nie oznacza „identycznych”. Ponieważ w projektach górniczych nieomal zawsze mamy do czynienia z niepewnością i ryzykiem, powszechną praktyką jest stosowanie stóp dyskontowych „dostosowanych do ryzyka”. W wypadku, gdy jeden z projektów jest bardziej ryzykowny od drugiego, w celu dokonania porównania należy zastosować różne stopy dyskontowe. Stopy dyskontowe wszystkich porównywalnych projektów muszą być określane zawsze w

oparciu o takie samo założenie odnośnie inflacji – albo przy założeniu pieniądza „stałego”, albo „bieżącego” – nigdy nie należy ich mieszać.

3. Wszystkie porównywane projekty muszą być kalkulowane w oparciu o porównywalne zasady fiskalne – tzn. wszystkie projekty muszą mieć takie same warunki w zakresie naliczania i odprowadzania podatku dochodowego oraz innych zobowiązań.
4. Jeśli kryterium inwestycyjnym w warunkach niedoboru kapitału lub inwestycji wzajemnie niezależnych ma być wewnętrzna stopa zwrotu, wszystkie porównywane projekty muszą mieć podobne okresy istnienia. W praktyce jednakże, nawet pobieżny przegląd możliwości inwestycyjnych może pokazać, że tylko niewiele projektów może mieć równe okresy żywotności ekonomicznej. W takich przypadkach należy porównywać całkowite przepływy pieniężne, generowane przez dwie lub więcej możliwości inwestycyjnych w tym samym okresie czasu.
5. Jeśli kryterium inwestycyjnym w warunkach niedoboru kapitału lub inwestycji wzajemnie niezależnych stosowana jest wewnętrzna stopa zwrotu, wszystkie projekty, porównywane za pomocą analizy DCF, muszą się charakteryzować identycznymi nakładami na inwestycje początkowe. W rzeczywistości bardzo niewiele projektów charakteryzuje się podobnymi nakładami na inwestycje początkowe. Dlatego porównywane być muszą całkowite przepływy pieniężne, generowane przez wszystkie możliwości inwestycyjne. Przykładowo – zwroty z inwestycji 50-milionowej oraz z inwestycji 40-milionowej mogą być poprawnie porównywane pod warunkiem, że w tym drugim przypadku uwzględną się ponadto zwroty z owych dodatkowych 10 milionów, inwestowanych przy stopie równej alternatywnemu kosztowi kapitału.

Oprócz ww. punktów należy tu dodać jeszcze jeden, bardzo istotny warunek poprawności przeprowadzanych analiz:

6. Teoria zdyskontowanych przepływów pieniężnych zakłada, że projekt uruchomiony zostanie natychmiast a produkcja prowadzona będzie bez przerwy (przy znanych kosztach i tempie wydobywania), aż do wyczerpania zasobów i likwidacji kopalni. Zatem metoda niezbyt nadaje się do oceny przedsięwzięć, których realizacja z jakichś powodów (np. spadku cen surowców) musi być okresowo przerwana lub nawet całkowicie zlikwidowana [Moyen i in. 1996, Wanielista i in. 2002, Saługa i in. 2002, Saługa 2002, i in.].

Z uwagi na powyższe, wielu praktyków z branży górniczej, np. Hayes, Garvin [1982], MacCallum [1987], Bhappu, Guzman [1994], Moyen i in. [1996] nie jest jednak w pełni usatysfakcjonowanych stosowaniem tradycyjnych metod oceny ekonomicznej. Analiza DCF – pomimo swej prostoty – posiada wiele istotnych wad. Do najważniejszych z nich należą [Torries 1998, Kur 2000]:

1. Konieczność prognozowania przepływów gotówki, które muszą stanowić wiarygodną prognozę [Kufel 1992] na przewidywany okres eksploatacji złoża; oznacza to konieczność dokonywania szacunków przyszłych cen, kursów walut, kosztów operacyjnych wydobywania i przeróbki itp., a nawet polityki podatkowej państwa, co nie jest zagadnieniem prostym.
2. Konieczność określania odpowiedniego czynnika dyskontowego „dostosowanego do ryzyka”, co nie jest przedsięwzięciem prostym (patrz rozdział 7); praktyka zastępowania zmiennych losowych przez ich subiektywnie oszacowane wartości oczekiwane może wprowadzać istotny błąd systematyczny do kalkulacji DCF.
3. Oddziaływanie czynnika dyskontowego, co ma niezwykle istotne znaczenie dla inwestycji długoterminowych – jak wspomniano, dla tego typu projektów wysokie

poziomy stopy dyskontowej zaniżają wartość przepływów z końcowych lat realizacji przedsięwzięcia.

4. Brak uwzględnienia elastyczności decyzyjnej kierownictwa; technika DCF przyjmuje stan całkowitej pasywności menadżera po podjęciu decyzji inwestycyjnej – zakłada się, że eksploatacja złoża rozpocznie się od zaraz i będzie kontynuowana aż do wyczerpania zasobów; nie uwzględnia się faktu, że menadżerowie od momentu uruchomienia eksploatacji złoża dysponują pełną swobodą działania w zakresie podejmowania decyzji odnośnie wielkości wydobycia, granicznych wskaźników zawartości składników użytecznych, wzrostu wydajności, czasowych zamknięć oddziałów wydobywczych, ich powtórnego uruchomienia a nawet ewentualnych likwidacji realizowanych przedsięwzięć.

6.2. Mierniki efektywności ekonomicznej projektów inwestycyjnych w analizie zdyskontowanych przepływów pieniężnych

Podstawowymi miernikami wykonalności projektu w analizie DCF jest wartość zaktualizowana netto (*net present value*, NPV) i wewnętrzna stopa zwrotu (*internal rate of return*, IRR). NPV jest miernikiem wartości przedsięwzięcia, podczas gdy IRR jest miernikiem efektywności zaangażowanego kapitału.

6.2.1. Wartość zaktualizowana netto (NPV)

Wartość zaktualizowana netto stanowi sumę wartości bieżących (zaktualizowanych) wszystkich rocznych przepływów pieniężnych. NPV odzwierciedla wartość projektu przy danej stopie dyskontowej oraz przy szeregu założeń, odnośnie przepływów pieniężnych. NPV jest zatem miernikiem wartości inwestycji. Równanie kalkulujące NPV przedstawia się następująco:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+i)^t} - I_0 \quad (6.3)$$

gdzie:

CF_t – przepływ pieniężny w roku t ,

I_0 – przepływ pieniężny w roku zerowym (inwestycje początkowe) = CF_0 ,

i – stopa dyskontowa,

n – całkowita liczba lat istnienia projektu.

Jako narzędzie oceny efektywności ekonomicznej NPV ma wiele zalet. Uwzględnia wartość czasową pieniądza i podaje wartość pojedynczego projektu przy określonej stopie dyskontowej oraz szeregu założeń dotyczących przepływów pieniężnych. Generalnie można powiedzieć, że im większa NPV, tym bogatszy będzie inwestor po zrealizowaniu projektu.

Warto zwrócić tu uwagę na procedurę dyskontowania – w każdym roku obliczeniowym dany przepływ pieniężny jest najpierw wykorzystywany do spłacania procentu od niepokrytego salda pierwotnej inwestycji początkowej, a pozostała reszta jest następnie alokowana w celu spłacania zainwestowanego kapitału [Dziworska, Dziworski 1998, Lattanzi 2000]

W przypadku górniczych projektów inwestycyjnych kryterium decyzyjne: „inwestować, jeśli $NPV > 0$ ” nie jest w praktyce realizowane. Generalna zasada, wywodząca się z teorii wyceny opcji [Brennan, Schwartz 1985] mówi, że aby można było zagospodarowywać złoża,

nie powinno mieć ono charakteru marginalnego (krańcowego) – co oznacza, że stosunek NPV do kosztów zagospodarowania powinien być większy od 1 [Davis 1998 za McDonaldem i Siegelem 1986, Dixitem i Pindyckem 1994]:

$$\frac{\delta NPV}{\delta C_d} > 1 \quad (6.4)$$

gdzie:

C_d – koszty zagospodarowania.

NPV jest podstawą oceny ekonomicznej (i wyceny) projektów inwestycyjnych. Należy podkreślić, że niewielkie zmiany w założeniach w zakresie przepływów pieniężnych mogą w diametralny sposób zmienić wartość NPV, a przez to wpłynąć na zmianę decyzji odnośnie inwestowania.

6.2.2. Wewnętrzna stopa zwrotu (IRR)

Wraz ze wzrostem stopy dyskontowej spada poziom NPV. Jako wewnętrzną stopę zwrotu definiuje się taką stopę dyskontową, przy której NPV jest równa zero. IRR (albo *discounted cash flow rate of return*, DCFROR) stanowi procent równy stopie, przy której kapitał projektu generowałby taką samą serię rocznych przepływów pieniężnych, jaką będzie generował projekt [Smith 2000]. Im wyższa jest IRR, tym bardziej „dochodowy” jest projekt w sensie zwrotu z zainwestowanego kapitału. Różnica pomiędzy stopą dyskontową a IRR polega na tym, że doboru stopy dyskontowej dokonuje inwestor, natomiast IRR determinowana jest charakterystyką przepływów pieniężnych. Można powiedzieć więc, że IRR jest określana „wewnętrznie” (determinuje ją charakter i specyfika projektu), a stopa dyskontowa, niezbędna dla obliczenia NPV, jest określana „zewnętrznie”.

Związek pomiędzy NPV a IRR przedstawia równanie (rys. 6.4):

$$NPV = 0 = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1 + IRR)^t} - I_0 \quad (6.5)$$

gdzie:

CF_t – przepływ pieniężny w roku t ,

I_0 – inwestycje początkowe = CF_0 ,

i – stopa dyskontowa,

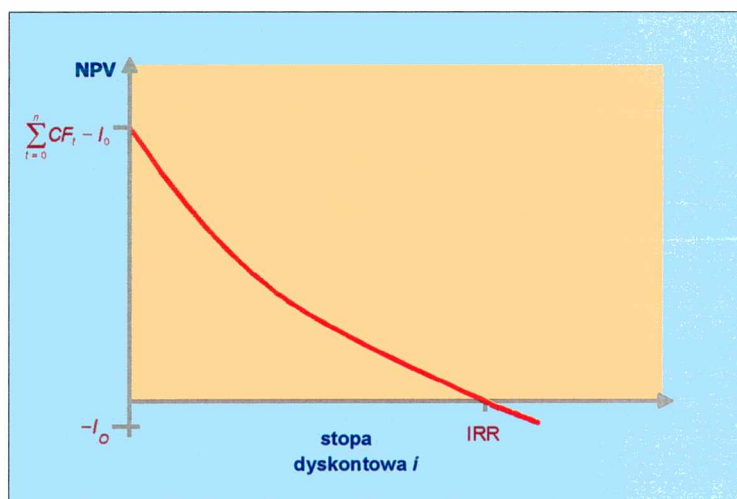
n – całkowita liczba lat istnienia projektu.

Kryterium decyzyjne jest w przypadku IRR następujące: inwestycja powinna być realizowana, jeśli IRR jest większa od tzw. stopy MARR (minimalnej akceptowalnej stopy zwrotu, *minimal acceptable rate of return*) lub – w wypadku inwestycji wzajemnie niezależnych względnie w warunkach niedoboru kapitału – jeśli IRR jest większa od IRR wszystkich innych alternatyw inwestycyjnych. Nie ma znaczenia jak duża jest różnica pomiędzy dwiema wartościami IRR – ważne jest, aby różnica ta była dodatnia [Torries 1998].

IRR jest często stosowana do klasyfikacji projektów – naturalnie najbardziej pożądane są projekty charakteryzujące się wysokimi wartościami IRR.

Chociaż w zasadzie NPV i maksymalizacja zamożności firmy są teoretycznie wystarczającymi kryteriami dokonywania rankingu inwestycji, to jednak NPV nie pokazuje, jakiego zwrotu możemy oczekiwać z zainwestowanej złotówki.

Z IRR związane są pewne kontrowersje – chodzi tu o problem reinwestowania dywidend. W literaturze [np. Lohmann 1988, Torries 1998, Lattanzi 2000] toczy się istotna debata w kwestii, czy analiza IRR wymaga założenia, że roczne dywidendy z projektu mają być reinwestowane przy stopie równej IRR, czy nie, oraz w jakich warunkach IRR będzie tożsama ze składaną stopą procentową? Innymi słowy chodzi tu o problem, przy jakich założeniach wartość przyszła kwoty inwestycji początkowej (jeśli przynosić będzie procent składany przy stopie IRR) będzie równa kombinowanej wartości przyszłej dla wszystkich rocznych przepływów pieniężnych projektu? Rozwiązaniem tego problemu jest określanie tzw. zmodyfikowanej wewnętrznej stopy zwrotu (*modified internal rate of return*, MIRR) [np. McDonald 1991, Runge 1998, Zarzecki 1998, i in].



Rys. 6.4. Ilustracja związku pomiędzy NPV i IRR
[Gocht i in. 1988]

Doświadczenia wskazują, że jeśli inwestor chce traktować IRR projektu jako analogiczną do składowanej stopy procentowej zastosowanej do inwestycji początkowej, musi przyjąć, że roczne dywidendy projektu będą reinwestowane przy stopie procentowej równej IRR [Torries 1998].

6.2.3. Zastosowanie NPV i IRR w przemyśle górniczym

Zastosowanie NPV i IRR jako mierników wykonalności projektu jest ogólnie przyjęte i aprobowane w górnictwie [Torries 1998]. Badania ankietowe prowadzone w przedsiębiorstwach górniczych pokazują, że 55% z nich jako miernik oceny efektywności ekonomicznej stosowało IRR, natomiast 40% NPV [Bhappu i Guzman 1994]. Liczby te niewiele się różnią od rezultatów wcześniej prowadzonych badań – według Boyle’a i Schencka [1985] 69% firm stosowało IRR, a 37% NPV natomiast według Dougherty’ego i Sakara [1993] 75% firm stosowało IRR, a 62% NPV [Torries 1998]. Widać wyraźnie, że IRR była i jest miernikiem dominującym, choć jej pozycja zdaje się słabnąć. Większość podręczników podaje jako preferowaną metodę wyceny NPV – zarówno z powodów teoretycznych – maksymalizacja majątku akcjonariuszy, oraz – rzekomo – powodów praktycznych, które są raczej związane w rzeczywistości z IRR. Argumenty te – jak można zaobserwować to w tabeli 6.2 – nie trafiają do przekonania [Torries 1998]. IRR jest wciąż najbardziej rozpowszechnionym kryterium oceny ekonomicznej, choć pojedynczo jednak stosunkowo rzadko używanym – obecnie wiele przedsiębiorstw stosuje oba te mierniki jednocześnie, co wydaje się uzasadnione z dwóch powodów:

- 1) lepiej jest posiadać więcej informacji niż mniej,
- 2) oba mierniki przedstawiają inną perspektywę wartości przepływów pieniężnych.

Tabela 6.2. Zestawienie porównawcze NPV i IRR [Torries 1998]

NPV	IRR
1. Jest miernikiem zamożności firmy (<i>stock of wealth</i>); nie mówi jednakże nic o efektywności inwestowanego kapitału	1. Jest miernikiem tempa akumulacji dóbr (<i>rate of wealth accumulation</i>), lub tempem zmiany zamożności; określa efektywność użytego kapitału; nic nie mówi jednak o wartości projektu
2. Jej wielkość zależy od stopy zwrotu oraz od wielkości inwestycji początkowych; NPV może być podwyższona przez zwiększenie skali projektu	2. Jest niezależna od wielkości inwestycji początkowych; aby zwiększyć IRR inwestycja musi przynosić większy zwrot
3. Wymaga prognozy cen i kosztów	3. Wymaga prognozy cen i kosztów
4. Wymaga dobrania zewnętrznej stopy dyskontowej; ponieważ wybór właściwej stopy dyskontowej jest zagadnieniem trudnym, wymóg ten uważany jest za jedną z podstawowych słabości metody NPV, która nie dotyczy IRR, za wyjątkiem przypadku, gdy ma się do czynienia z problemem kilku wartości IRR	4. Nie wymaga określenia stopy dyskontowej, za wyjątkiem tzw. minimalnej akceptowalnej stopy zwrotu (MARR), używanej dla celów porównawczych; w przypadku, gdy ma się do czynienia z problemem kilku wartości IRR, należy wtedy – podobnie jak w przypadku NPV – dokonać dla celów porównawczych doboru specyficznej stopy dyskontowej
5. Zakłada pośrednio reinwestycję rocznych dywidend przy stopie MARR	5. Zakłada pośrednio reinwestycję rocznych dywidend przy stopie MARR
6. Powszechnie uważa się, że NPV jest wartością charakterystyczną, która wolna jest od problemu kilku wartości (<i>multiple-root problem</i>), który może dotyczyć IRR; w rzeczywistości tak nie jest – w przypadku, gdy ma się do czynienia z kilkoma wartościami IRR należy przeanalizować kilka stóp dyskontowych i kilka NPV	6. Można mieć do czynienia z kilkoma wartościami IRR, co może skomplikować analizę; często błędnie sądzi się, że ta słabość IRR nie dotyczy NPV
7. Poprawnie szereguje wzajemnie projekty niezależne lub inwestycje w warunkach niedoboru kapitału	7. Poprawnie szereguje projekty wzajemnie niezależne lub inwestycje w warunkach niedoboru kapitału, jeśli IRR określona jest poprawnie
8. Pomija wartość opcji i elastyczność inwestycyjną	8. Pomija wartość opcji i elastyczność inwestycyjną

W literaturze przedmiotu istnieje zamieszanie pojęciowe w zakresie definicji, rozumienia i stosowania IRR [Stermole, Stermole 1993, Au, Au 1992, Lohmann 1988]. Owo zamieszanie dotyczy następujących problemów:

- 1) wspomnianej kwestii, czy analiza IRR zakłada reinwestycję rocznych dywidend przy stopie równej IRR?
- 2) sugerowanej konieczności stosowania tzw. wzrostowej IRR dla rankingu projektów niezależnych,
- 3) jakie efekty tzw. problemu kilku wartości (*multiple-root*) mogą mieć wpływ na użyteczność IRR, jako miernika?

6.2.4. Inne dyskontowe mierniki efektywności ekonomicznej

Innymi, stosunkowo często stosowanymi, miernikami oceny efektywności inwestycji są: wzrostowa stopa zwrotu, współczynnik wartości bieżącej (zaktualizowanej) oraz całkowita stopa zwrotu. Mierniki te są blisko związane z NPV oraz IRR i charakteryzują się tymi samymi zaletami i wadami.

Wzrostowa stopa zwrotu

Wzrostowa stopa zwrotu (*growth rate of return*, GRR) jest stopą zwrotu, która obejmuje zwrot z dywidend uzyskiwanych z inwestycji początkowych, dyskontowanych stopą i , równą minimalnej akceptowalnej stopie zwrotu (MARR), plus zwrot z dywidend reinwestowanych przy zewnętrznej stopie i' . Wzrostowa stopa zwrotu jest identyczna z IRR, gdy stopa reinwestycji $i = \text{IRR}$. W przypadku porównywania kilku projektów analiza GRR daje taki sam ranking projektów jak IRR, pod warunkiem, że $i' = \text{MARR}$, a zewnętrzna stopa i' stosowana jest dla wszystkich projektów.

Współczynnik wartości zaktualizowanej (*present value ratio*, PVR) jest miernikiem, związanym z NPV. Określa go wzór:

$$PVR = \frac{\sum_{t=1}^n CF_t (1+i)^{-t}}{I_0} \quad (6.6)$$

gdzie:

t – dany rok,

n – całkowita liczba lat realizacji projektu,

CF_t – przepływ pieniężny w roku t ,

I_0 – początkowy przepływ pieniężny = CF_0 ,

i – stopa dyskontowa.

Kryterium decyzyjne mówi, że projekt należy zaakceptować, gdy $PVR > 1$.

Całkowita stopa zwrotu

Całkowita stopa zwrotu (*overall rate of return*, ORR) jest miernikiem związanym z PVR. ORR równa jest $1 - PVR$. Jest ona jednoznacznym miernikiem zwrotu z zainwestowanego kapitału. Kryterium decyzyjne mówi, że projekt można zaakceptować, jeśli $ORR > 0$.

6.3. Dane do analizy zdyskontowanych przepływów pieniężnych górniczych projektów inwestycyjnych

W przypadku górnictwa rud metali do arkusza kalkulacyjnego analizy DCF wchodzi następujące parametry:

- 1) zasoby przemysłowe wyrażone całkowitym tonażem i średnią zawartością składnika(ów) użytecznego(ych) skalkulowanymi na cały okres istnienia kopalni,
- 2) uzysk(i) przeróbczy(e), uzysk(i) metalurgiczny(ne) i liczba ton metalu(li) przeznaczonego(nych) do sprzedaży,
- 3) cena metalu(li), kursy wymiany walut,
- 4) koszty operacyjne kopalni, zakładu przeróbczego i koszty ogólne,
- 5) nakłady kapitałowe, obejmujące środki trwałe i kapitał obrotowy,
- 6) koszty zezwoleń, koncesji, opłat eksplotacyjnych, koszty składowania odpadów, koszty likwidacji,
- 7) stawki podatków, amortyzacji oraz – w przypadkach anglosaskich – z tytułu szczyptywania (*depletion*),
- 8) koszty kredytu (spłata i obsługa), w wypadkach finansowania kredytem,
- 9) odpowiednia („dostosowana do ryzyka”) stopa dyskontowa.

W przypadku złóż węgla zasoby wyrażone są tylko tonażem, rolę uzysku przeróbczego pełni wychód, który określa liczbę ton przeznaczonych do sprzedaży. Pozostałe parametry są analogiczne, przy czym na cenę wpływają parametry jakościowe urabianego węgla.

6.3.1. Dane występujące po stronie przychodów

Na przychody brutto, w przypadku przykładowego projektu zagospodarowania złoża z krajowego górnictwa rud cynku i ołowiu (rys. 6.1), oddziałują następujące parametry:

- 1) światowe ceny cynku i ołowiu (giełda londyńska) [USD/Mg],
- 2) średnie zawartości cynku i ołowiu w rudzie [%],
- 3) kurs dolara amerykańskiego [zł],
- 4) uzysk cynku w blendzie [%],
- 5) uzysk ołowiu w galenie [%],
- 6) wielkość zasobów rudy [Mg wagi suchej],
- 7) uzyski cynku i ołowiu w koncentracie tzw. BULK [%],
- 8) cena kamienia (dolomit), jako produktu towarzyszącego [zł/Mg],
- 9) analizy cynku w blendzie, ołowiu w galenie oraz cynku i ołowiu w koncentracie BULK [%],
- 10) wychód kamienia [%].

6.3.2. Dane występujące po stronie kosztów

Po stronie kosztów występują następujące pozycje (rys. 6.1):

- 1) koszty kapitałowe [zł],
- 2) koszty operacyjne wydobycia i przerobu rudy [zł/Mg rudy w.s.],
- 3) kapitał obrotowy [zł],
- 4) koszty składowania odpadów [zł/Mg],
- 5) amortyzacja wyrobisk, maszyn i urządzeń [%],
- 6) opłata eksploatacyjna [%],
- 7) podatek dochodowy od firm [%],
- 8) stopa dyskontowa [%]

W projektach winny być również uwzględnione koszty koncesji, składka na fundusz ochrony środowiska, składka na fundusz likwidacyjny, a w krajach anglosaskich również odpis z tytułu szczyptywania złoża (tzw. *depletion*, będący formą amortyzacji).

6.4. Kalkulacja projektu w arkuszu zdyskontowanych przepływów pieniężnych

Konstrukcja arkusza kalkulacyjnego przepływów pieniężnych (rys. 6.1, 6.6) polega na stworzeniu układu zależności logiczno-matematyczno-finansowych obejmujących cały okres realizacji projektu. Celem analizy jest obliczenie mierników efektywności przedsięwzięcia (NPV lub IRR, bądź obu mierników naraz). Dla realizacji tego celu, dla każdego roku realizacji inwestycji konieczne jest określenie przepływu pieniężnego. Przychody i koszty liczy się dla produkcji i sprzedaży wszystkich produktów (w tym produktów towarzyszących).

Pierwszym celem kalkulacji jest określenie przychodów. Przychody brutto określane są iloczynem ceny i wolumenu produkowanych towarów (*cena x produkcja*). Następnie, w celu określenia zysku operacyjnego (brutto) z przychodu brutto odejmuje się bezpośrednio koszty

operacyjne (*jednostkowy koszt operacyjny x produkcja*) oraz koszty składowania odpadów (o ile nie są uwzględnione w kosztach operacyjnych, a tak jest w większości polskich kopalń). Zysk operacyjny brutto jest podstawą dla naliczenia dochodu do opodatkowania. Realizuje się to poprzez odejmowanie od pozycji zysku brutto opłaty eksploatacyjnej oraz amortyzacji (ważną czynnością jest uprzednie stworzenie harmonogramu amortyzacji) a w krajach anglosaskich również odpisów z tytułu szcerpywania (które jest formą amortyzacji złoża).

Amortyzacja jest odpisem bezgotówkowym, potrzebnym jedynie dla celów naliczania podstawy do opodatkowania – nie ma natomiast żadnego innego zastosowania w procesie konstrukcji przepływu pieniężnego. Metody amortyzacji warunkowane są systemem podatkowym i polityką ekonomiczną państwa, stąd mogą się zmieniać w czasie. Harmonogram amortyzowania buduje się w oparciu o czas eksploatacji, żywotność i koszt amortyzowanych pozycji kapitałowych. Sposób amortyzacji zależy krajowych przepisów podatkowych oraz celów administracji lokalnej i centralnej – z tego też względu może zmieniać się w czasie. W Polsce odpisów amortyzacyjnych (rocznych, miesięcznych) dokonuje się w oparciu o uchwalane przez Sejm stawki amortyzacji. System amortyzacji jest silnym narzędziem oddziaływania administracji rządowej na gospodarkę. Celem wpływania na decyzje inwestorów administracja krajowa może zmieniać sposoby i stawki amortyzacji. Jeśli rząd (lub samorząd lokalny) pragnie wesprzeć aktywność inwestycyjną w branży może, o ile ma takie uprawnienia, zwiększyć stopę amortyzacji. Dlatego aby określić końcową wartość projektu powinno się zbadać wszystkie opcje amortyzacji.

W wypadku, gdy projekt finansowany jest za pomocą pożyczki bankowej należy od zysku operacyjnego brutto odjąć również koszty obsługi kredytu. W tym miejscu należy również odjąć koszty ogólne (o ile nie są włączone w koszty operacyjne). Wielkość odsetek długu określana jest w oparciu o wielkość nakładów kapitałowych, kwotę zaciągniętego kredytu i jego strukturę. Po odjęciu od zysku operacyjnego brutto opłaty eksploatacyjnej, amortyzacji, pośrednich kosztów operacyjnych (kosztów ogólnych i odsetek) otrzymywany jest dochód do opodatkowania.

Kolejnym krokiem w kalkulacji przepływu pieniężnego jest naliczenie podatku. Podatek naliczany jest według obowiązujących w danym kraju stawek poprzez mnożenie podstawy opodatkowania przez stawkę podatkową. W przypadku przychodów ujemnych prawo podatkowe zezwala na naliczanie zerowej płatności podatkowej, do czasu osiągnięcia przez firmę dochodowości. Po zdjęciu z podstawy do opodatkowania należnego podatku otrzymywany jest zysk netto.

Przepływ pieniężny netto otrzymywany jest przez dodawanie do zysku netto amortyzacji oraz odejmowanie wielkości nakładów kapitałowych. W roku pierwszym realizacji inwestycji odejmowany jest dodatkowo kapitał obrotowy. Dla zachowania bilansu jest on dodawany w roku ostatnim do zysku netto. Kapitał obrotowy jest kategorią często ignorowaną. W myśl nauk ekonomicznych jest to porcja kapitału, wymagana do finansowania zapasów materiałowych i regulowania bieżących płatności w okresie martwym (*lag time*) pomiędzy ponoszeniem kosztów produkcyjnych, a regulowaniem należności przez klientów. Wielkość kapitału obrotowego zależy od całkowitych kosztów operacyjnych oraz długości czasu pomiędzy ponoszeniem kosztów a otrzymaniem płatności. Długość tego czasu waha się, ale średnio wynosi 1–4 miesięcy czasu operacyjnego. W przeciwieństwie do kapitału ponoszonego na zakup maszyn, kapitał obrotowy odzyskiwany jest przez inwestora po zakończeniu danej operacji. Wymagania odnośnie kapitału obrotowego zmieniają się wraz z kosztami operacyjnymi. Zakład, który zwiększa produkcję w czasie, wymaga stałego zasilania kapitałem obrotowym. Pożyczki roczne zaciągane dla sprostania wymaganiom kapitału obrotowego charakteryzują intensywnie rozwijające się przedsięwzięcia.

Są dwie drogi otrzymania wynikowych przepływów pieniężnych:

(1) przepływ pieniężny przed spłatą kredytów,

(2) przepływ pieniężny netto (*from equity*, po spłacie długów).

Oczywiście bardziej poprawnym sposobem jest uwzględnienie spłat i kosztu obsługi kredytu w rachunku. W tym przypadku od otrzymanego zysku netto należy odjąć kwotę spłacanych odsetek i roczną spłatę kredytu.

Wynikowy przepływ pieniężny powinien być liczony w oparciu o pieniądź bieżący. Przeliczenie na pieniądź „stały” powinno wystąpić w procesie dyskontowania przepływu, przez zastosowanie stopy dyskontowej uwzględniającej inflację, według formuły [Smith 2000, Lawrence 2000]:

$$1 + R = (1 + r)(1 + i) \quad (6.7)$$

gdzie:

r – stopa dyskontowa przy zerowej inflacji,

i – stopa inflacji,

R – stopa dyskontowa uwzględniająca inflację

Schemat kalkulacji przepływu pieniężnego przedstawiono poniżej (rys. 6.5).

	<u>Przychód brutto</u> (<i>cena x wolumen sprzedaży</i>)
minus	koszty operacyjne
minus	koszty składowania odpadów (o ile nie są uwzględnione w kosztach operacyjnych)
=	<u>Zysk brutto</u>
minus	amortyzacja
minus	szczytywanie (w krajach anglosaskich)
minus	opłata eksploatacyjna (o ile nie są uwzględniona w kosztach operacyjnych)
minus	koszty pośrednie: koszty ogólne (o ile nie są uwzględnione w kosztach operacyjnych), odsetki
=	<u>Dochód do opodatkowania</u>
minus	podatek dochodowy
=	<u>Zysk netto</u>
plus	amortyzacja
plus	szczytywanie (w krajach anglosaskich)
minus	nakłady kapitałowe
minus	kapitał obrotowy (w roku pierwszym, w roku ostatnim <i>plus</i> kapitał obrotowy)
minus	odsetki od kredytu
minus	roczna spłata kredytu
=	Przepływ pieniężny netto

Rys. 6.5. Schemat konstrukcji przepływu pieniężnego [opr. własne]

7. Stopa dyskontowa „dostosowana do ryzyka” w modelu zdyskontowanych przepływów pieniężnych

Związek pomiędzy ryzykiem a zwrotem

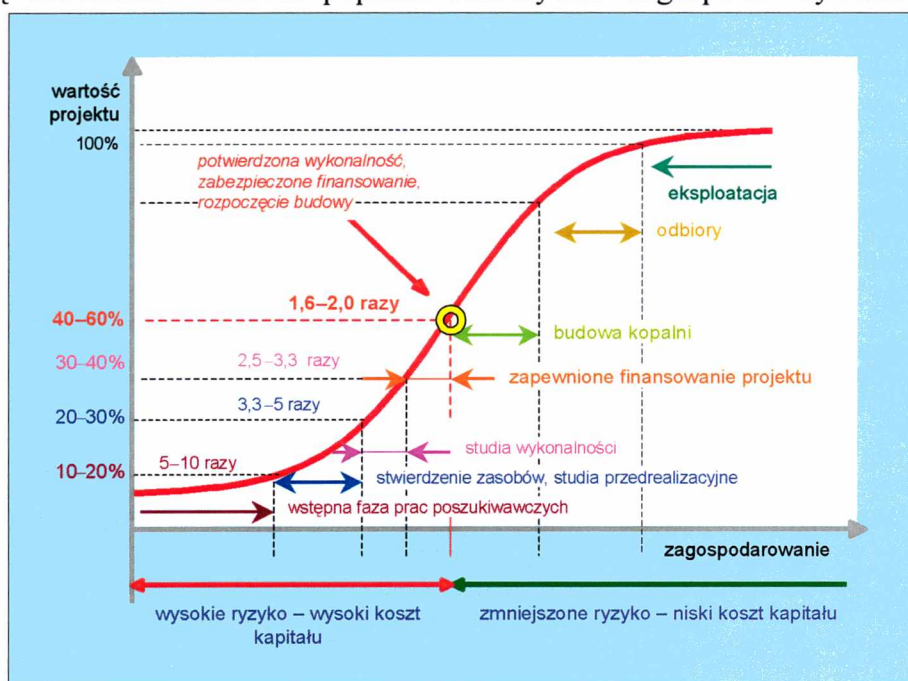
Większość projektów inwestycyjnych niesie ze sobą potencjalne ryzyko niepowodzenia. Istnieje prawdopodobieństwo, że dobra wytwarzane dzięki zainwestowanemu kapitałowi nie zostaną sprzedane po zakładanej cenie. Może się zdarzyć, że dłużnik nie będzie w stanie spłacić nie tylko przyrzeczonych odsetek, ale nawet podstawowej kwoty pożyczki. W związku z tym pożyczkodawcy winni otrzymać jakieś wynagrodzenie za ryzyko, które podejmują. Będą domagać się takiej stopy procentowej, która nie tylko pozwoli im w przyszłości na konsumowanie większej ilości dóbr, ale również pokryje ewentualne straty.

Zatem ryzyko przedsięwzięcia i oczekiwane zwroty z jego realizacji, są ze sobą ściśle powiązane: im dostrzega się większe ryzyko, tym oczekuje się większych zwrotów – nie mając nadziei na ich uzyskanie, inwestor w ogóle nie rozważałby podjęcia inwestycji o dużym poziomie ryzyka. Jeśli jego celem byłaby minimalizacja ryzyka lub jeśli nie byłoby żadnej „premii” za podejmowane ryzyko, wówczas inwestor lokowałby pieniądze w „bezpieczne” przedsięwzięcia – składając je np. w banku, czy inwestując w papiery wartościowe o niskim ryzyku (bony skarbowe lub obligacje).

Podejmując decyzję inwestycyjną inwestor kieruje się zatem dwoma zasadniczymi wskaźnikami:

- 1) stopą procentową, jaką można uzyskać, lokując pieniądze w banku (oczywiście przedsiębiorca będzie skłonny ulokować kapitał w inwestycję produkcyjną tylko wówczas, gdy oczekiwany zwrot z zaangażowanego kapitału będzie wyższy od procentu oferowanego przez bank),
- 2) stopą przewidywanego zysku przy różnych alternatywnych wariantach danej inwestycji.

Na rys. 7.1. przedstawiono tzw. krzywą zagospodarowywania (*development curve*), obejmującą kreowanie wartości poprzez sukcesywne zagospodarowywanie górniczego



Rys. 7.1. Ryzyko i zwroty górniczych projektów inwestycyjnych w zależności od stopnia zagospodarowania [Bradfield, Swartz 2001]

projektu inwestycyjnego, co równocześnie skutkuje odpowiednią redukcją ryzyka. Krzywa skonstruowana w oparciu o doświadczenia australijskiego banku inwestycyjnego RFC Corporate Finance Ltd., na podstawie danych uzyskanych w trakcie badania przykładowego projektu obejmującego eksploatację złota, który wszedł do produkcji w latach 1989-1992 [Bradfield, Swartz 2001]. Metodologia polegała na obserwacji kolejnych wartości projektu określanych przez rynek (wycena akcji) na różnych etapach jego zagospodarowywania. Badania banku RFC, rezultaty których przedstawiono na ww. rysunku, wskazują, że wartość projektu po ukończeniu wstępnej fazy poszukiwań geologicznych stanowi około 10–20% potencjalnej, sumarycznej wartości projektu, a inwestorzy – z uwagi na duże ryzyko – oczekują zwrotów 5–10 razy większych od zainwestowanego kapitału. W miarę postępu zagospodarowywania projektu i uzyskiwania nowych informacji ryzyko maleje: po ukończeniu studium przedrealizacyjnego (lub: przedwykonalności, *prefeasibility study*) wartość projektu stanowi już około 20–30% spodziewanej, całkowitej wartości projektu, a inwestor oczekuje zwrotów około 3,3–5 razy większych od zainwestowanej kwoty. Po zamknięciu studium wykonalności, rynek szacuje wartość projektu na około 30–40% potencjalnej, całkowitej wartości projektu, a oczekiwane zwroty na poziomie 2,5–3,3 razy więcej od zainwestowanej gotówki. Potwierdzone rezultaty studium wykonalności i uzyskane zabezpieczenie środków finansowych dają „legitymację” do rozpoczęcia budowy kopalni. Projekt w tej fazie szacowany jest na około 40–60% jego potencjalnej całkowitej wartości i pozwala oczekiwać zwrotów około 1,6–2 razy większych od kwoty zainwestowanej w przedsięwzięcie [Bradfield, Swartz 2001].

Wartości przytoczone powyżej dają jedynie pogląd na temat redukcji ryzyka oraz związanych z tym oczekiwanych zwrotów, gdyż ww. wartości silnie zależą od rodzaju surowca mineralnego, będącego przedmiotem zainteresowania, oraz pozycji przemysłu górniczego (i danego surowca) na rynku.

Stopa dyskontowa

W poprzednim rozdziale, omawiając związek pomiędzy wartością bieżącą a przyszłą pieniądza, zwrócono uwagę, że elementem łączącym obydwie wartości jest stopa dyskontowa. Runge [1998] definiuje ją jako stopę procentową, która pozwala przedsiębiorstwu szacować wartości przyszłych zdarzeń w porównaniu ze zdarzeniami teraźniejszymi. Lawrence [2000] pisze, że stopa dyskontowa reprezentuje stopę zwrotu, jakiej wymagają inwestorzy dla potrzeb finansowania projektów inwestycyjnych, która zależy od kosztu kapitału i ryzyka związanego z inwestycją. Z kolei Torries [1998] uważa za nią stopę procentową, która stosowana jest do przeliczania (dyskontowania) wartości przyszłych przychodów i kosztów na ich wartości bieżące (zaktualizowane).

Zatem stopa dyskontowa jest dobrym wskaźnikiem ryzyka związanego z podejmowaną inwestycją. Można zdefiniować jako roczną płatność za odłożoną konsumpcję, wyrażaną jako procent od pożyczonej gotówki (równy odłożonej konsumpcji), która wynagradza pożyczających za uwolnienie zasobów potrzebnych przy produkcji dóbr kapitałowych. Wysokość stopy procentowej możliwej do uzyskania wskutek realizacji określonego projektu, przyrównuje się do stóp procentowych, jakie można otrzymać poprzez lokację tego samego kapitału w innych alternatywach inwestycyjnych [Jankowska-Kłapkowska 1992, Pazio 2002]. Im większe zatem ryzyko inwestycji, tym powinna być przyjmowana większa stopa dyskontowa.

Stopa dyskontowa dla projektu inwestycyjnego mieści w sobie trzy zasadnicze składniki (rys. 7.2) [Smith 1994, 2000]:

- 1) „wolną od ryzyka”, czystą stopę procentową (realnie dla USA i Kanady ok. 2,5%),
- 2) ryzyko (specyficzne) projektu (3–16%),

- 3) krajowe ryzyko inwestycyjne (0–14%, w zależności od kraju).
W pieniądzu bieżącym obejmuje ona dodatkowo:
4) stopę inflacji.
Przeliczenie stopy dyskontowej, uwzględniającej inflację, na stopę realną realizowane jest przy zastosowaniu podanej formuły (6.7).
Realną stopę dyskontową można zatem wyrazić równaniem [Smith 1994]:

$$r = I + R_p + R_c \quad (7.1)$$

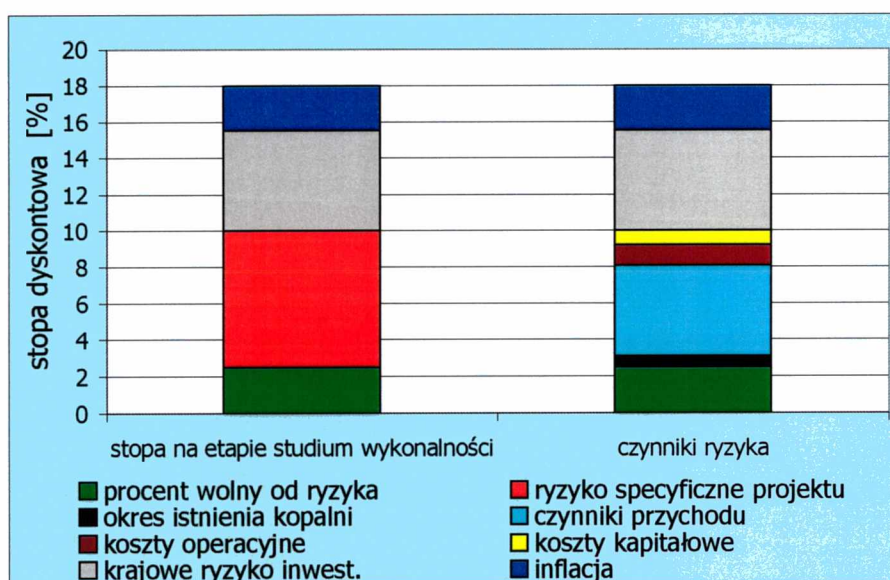
gdzie:

r – stopa dyskontowa (przy założeniu zerowej inflacji i finansowania projektu w 100% kapitałem własnym),

I – realna, „wolna od ryzyka”, długoterminowa stopa procentowa,

R_p – procent związany z ryzykiem specyficznym projektu,

R_c – procent związany z krajowym ryzykiem inwestycyjnym.



Rys. 7.2. Składniki ryzyka stopy dyskontowej na etapie studium wykonalności przykładowego górniczego projektu inwestycyjnego [Smith 1994, 2000]

Za „wolną od ryzyka” stopę procentową (czystą stopę procentową) uważa się stopę procentową papierów „wolnych od ryzyka”. Za takie papiery uważa się w świecie amerykańskie (tzw. *T-Bills*) i kanadyjskie bony skarbowe oraz obligacje rządów USA i Kanady. W Polsce tzw. „bezpieczna” stopa zwrotu może być szacowana w oparciu o zwrot z bonów skarbowych względnie obligacji Skarbu Państwa (krótko- i długoterminowych) [Saługa 2000]. Aktywa „wolne od ryzyka”, w myśl teorii, charakteryzują się zerową wariancją ($\text{var}(r_f) = 0$) i zerową kowariancją z jakimkolwiek innym aktywem lub portfelem ($\text{cov}(r_f, r_s) = 0$, dla każdego aktywa s).

Stopa „wolna od ryzyka” powinna być szacowana w oparciu o „bezpieczne” papiery wartościowe, o okresie istnienia porównywalnym do okresu istnienia projektu. Zatem dla przedsięwzięć o krótkim (kilkuletnim) okresie istnienia, podstawę dla określenia stopy „wolnej od ryzyka” powinny stanowić stopy zwrotu z rządowych papierów wartościowych o krótkim okresie wygaśnięcia (w rodzaju bonów skarbowych lub obligacji

krótkoterminowych), natomiast w przypadku projektów o dłuższym okresie istnienia podstawę tę winny stanowić stopy zwrotu z „bezpiecznych” papierów długoterminowych (obligacji) [Copeland i in. 1997, Helfert 2000]. Obok argumentu porównywalnych okresów istnienia planowanych inwestycji i instrumentów „bezpiecznych”, przytacza się drugi: fakt, iż stopa zwrotu z obligacji długoterminowych (dziesięcioletnich) jest mniej wrażliwa na nieoczekiwane wahania inflacji [Copeland i in. 1997]. Należy tu podkreślić, iż część autorów [Smith 1994, Mayo 1997] stoi na stanowisku, iż stopa „wolna od ryzyka” – niezależnie od czasu istnienia projektu – powinna być szacowana w oparciu o oczekiwane oprocentowanie papierów krótkoterminowych, z uwagi na ich większe bezpieczeństwo (działanie czynnika czasu). Stopę długoterminową szacuje się tu biorąc pod uwagę długoletnią średnią ze zwrotów z tych krótkoterminowych papierów. Z kolei Pindred [1995] za właściwą metodę szacowania stóp „wolnych od ryzyka” uważa ich kalkulację w oparciu o krzywą dochodów, przy zastosowaniu metodyki, zwanej „bootstrapping”.

Powszechnie uważa się, że teoretycznie najbardziej poprawny dobór stopy dyskontowej realizowany jest poprzez stosowanie alternatywnego kosztu kapitału. Jak już wspomniano, inwestorzy – z uwagi na fakt posiadania ograniczonych środków – muszą porównywać przyszłe oczekiwane zwroty z rozważanego projektu inwestycyjnego ze zwrotami z alternatywnych możliwości ulokowania kapitału. Zidentyfikowanie alternatywnej inwestycji i określenie zwrotu, jaki może ona przynieść, nie jest wcale przedsięwzięciem prostym. W praktyce przesłanką dla określenia wielkości alternatywnego kosztu kapitału jest stosowanie wspomnianych „bezpiecznych” stóp zwrotu (z rządowych papierów wartościowych).

Ryzyko specyficzne projektu łączy się z wyjątkowością danego przedsięwzięcia i niepewnością z nim związaną. Stanowi ono istotny udział w obrębie stopy dyskontowej. Dlatego stopa dyskontowa stosowana w danym projekcie musi uwzględniać poziom ryzyka specyficznego projektu. Stopę dyskontową uwzględniającą ryzyko specyficzne projektu nazywa się stopą dyskontową „dostosowaną do ryzyka” (*risk-adjusted discount rate*, RADR).

Składnik krajowego ryzyka inwestycyjnego obejmuje procent związany z ryzykiem inwestowania w danym kraju. Procent ten szacowany jest przez międzynarodowe agencje ratingowe, bądź wyliczany jest w oparciu o stopy forfaitingowe.

Zagadnienie krajowego ryzyka inwestycyjnego oraz również problem inflacji zostały omówione w rozdziale 5.

7.1. Rodzaje stóp dyskontowych

W analizach zdyskontowanych przepływów pieniężnych używa się szeregu różnie definiowanych stóp dyskontowych (tabela 7.1). Należy tu jednak podkreślić, że stosowanie jednych z nich jest bardziej uzasadnione i wiarygodne od innych a dobór odpowiedniej stopy dyskontowej jest zasadniczo procesem skomplikowanym [Davis 1995a, 1995b, 1998, Moya i in. 1996, Brick, Wever 1997, i in.].

Istnieją jednak inne poglądy w zakresie określania alternatywnego kosztu kapitału. W świecie nauki panuje konsensus, że teoretycznie najbardziej poprawnym i uzasadnionym sposobem określania stopy dyskontowej jest model wyceny aktywów kapitałowych (*capital asset pricing model*, CAPM), który zaleca przyjmowanie jako stopy dyskontowej średniego ważonego kosztu kapitału (*weighted average cost of capital*, WACC). Metoda ta „wazy” koszt kapitału własnego w stosunku do kosztu kredytu i zakłada, że ich wzajemny stosunek może ulegać zmianie. WACC uwzględnia fakt, że poziomy ryzyka związanego z nabywaniem akcji firmy będą się zmieniać (dlatego WACC jest stopą dyskontową „dostosowaną do ryzyka”). Realizacja danego projektu będzie rozważana tylko dopóty, dopóki zwrot z tego projektu będzie większy od średniego ważonego kosztu kapitału własnego i kredytu (tj. większy od kosztu funduszy potrzebnych do zrealizowania inwestycji). Pomimo możliwości

kalkulacji średniego ważonego kosztu kapitału, jego wielkość będzie zmienna w czasie i może zależeć od typu realizowanej inwestycji, jak też opinii kredytodawców i akcjonariuszy. Częstokroć jako alternatywę inwestycyjną określa się wyłącznie identyfikowany w prosty sposób koszt kredytu (komercyjna stopa kredytu), który czasami stosowany jest jako stopa dyskontowa. Jednakowoż takie podejście pomija koszt kapitału własnego, który może się znacznie różnić od kosztu kredytu [Torries 1998].

Stopa dyskontowa stosowana w danym projekcie może być przyjmowana w sposób, pozwalający na odzwierciedlenie wielkości ryzyka specyficznego projektu. Jak już kilkakrotnie podkreślano, im dostrzega się wyższe ryzyko, tym stopa dyskontowa – „dostosowana do ryzyka” – powinna być wyższa. Praktyka ta jest powszechnie stosowana. Występuje tu jednakże nieporozumienie natury teoretycznej: tego rodzaju dobór stopy dyskontowej charakteryzuje się dużą dozą subiektywności, co może prowadzić do błędnych kalkulacji. Tak czy inaczej, dostosowywanie stopy dyskontowej do poziomu ryzyka, celem uwzględnienia niepewności, jest podstawową metodą stosowaną w analizie DCF [Smith 1994, 2000, Moyen i in. 1996, Torries 1998].

Tabela 7.1. Stopy dyskontowe – zestawienie [Torries 1998]

Rodzaj stopy dyskontowej	Charakterystyka
alternatywny koszt kapitału (<i>opportunity cost of capital</i>)	utraczone korzyści, które mogłyby być uzyskane poprzez ulokowanie kapitału w najlepszej alternatywnej inwestycji
stopa wolna od ryzyka (<i>risk-free alternative</i>)	zwrot z instrumentu „wolnego od ryzyka” w rodzaju amerykańskich weksli skarbowych; w rzeczywistości nawet te instrumenty finansowe nie są w zupełności wolne od ryzyka, ze względu na ryzyko związane z kursem walut, inflacją i wymogami ochrony środowiska
koszt kredytu (<i>cost of debt</i>)	stopa oparta o koszt pożyczonych funduszy
średni ważony koszt kapitału (<i>weighted average cost of capital, WACC</i>)	stopa „dostosowana do ryzyka”, ważąca koszt kapitału własnego oraz koszt kredytu przy pomocy wskaźnika dług : kapitał własny
stopa zwrotu z przedsięwzięć realizowanych w przeszłości (historyczna) (<i>historical rate of return</i>)	stopa zwrotu przyjmowana na podstawie stóp (liczonych przy założeniu pieniądza stałego lub bieżącego) przyjmowanych w inwestycjach realizowanych w przeszłości
stopa zwrotu „dostosowana do ryzyka” (<i>risk-adjusted rate of return, RADR</i>)	każda stopa, dobrana adekwatnie do poziomu ryzyka projektu (liczona przy przyjęciu pieniądza stałego lub bieżącego); do określenia tego typu stopy stosuje się najczęściej model wyceny aktywów kapitałowych
stopa dyskontowa zmienna w czasie (<i>varying discount rate over time</i>)	stopa odzwierciedlająca zmiany poziomu ryzyka w czasie; przykładowo po otrzymaniu zwrotu nakładów kapitałowych i osiągnięciu minimalnej wymaganej stopy zwrotu z inwestycji (MARR) ryzyko (a zatem i stopa) może ulec zmianie
zmienna stopa dyskontowa uwzględniająca zmienne ryzyko poszczególnych składników przepływu pieniężnego (<i>varying discount rate by cash flow line item</i>)	stopa, która odzwierciedla różnice w poziomie ryzyka pośród różnych składników przepływu pieniężnego; przykładowo kapitał obrotowy oraz koszty zapasów mają mniejszy poziom ryzyka niż kapitał przeznaczany na nowe technologie
stopa progowa (<i>hurdle rate</i>)	każda wymagana minimalna stopa zwrotu stosowana przez przedsiębiorstwa, niezależnie od tego w jaki sposób określona
tw. społeczna stopa zwrotu (<i>social rate of return</i>)	stopa stosowana do określania wartości projektów publicznych; stopa ta uwzględnia oprócz finansowych aspektów inwestycji również materię moralną przedsięwzięcia i tzw. sprawiedliwość społeczną

Po zakończeniu realizacji projektu w fazie zagospodarowania, w kolejnych stadiach poziom ryzyka może ulec zmianie. Konieczna byłaby wtedy odpowiednia zmiana stopy dyskontowej „dostosowanej do ryzyka”. Problem ten omówiony zostanie w dalszej części rozdziału.

Kolejnym zagadnieniem jest fakt, że różne przepływy pieniężne realizowanego projektu mogą charakteryzować się różnym ryzykiem: po pierwsze z uwagi na fakt, że dla każdego rocznego przepływu pieniężnego powinna być użyta inna stopa „wolna od ryzyka”, a po drugie ze względu na uzyskiwanie z każdym rokiem coraz większej liczby informacji. Należy tu stwierdzić, że zastosowanie pojedynczej stopy dyskontowej „dostosowanej do ryzyka” dla dyskontowania wszystkich przepływów pieniężnych projektu jest teoretycznie niemożliwe do obrony [Davis 1995b, za Robichkiem, Myersem 1966]. Tezę taką wysuwa też Pindred [1995]. Według tego autora powinno się zastosować różne stopy dyskontowe dla poszczególnych rocznych przepływów pieniężnych, ponieważ stopa wolna od ryzyka dla każdego okresu, w którym otrzymujemy poszczególne przepływy pieniężne, jest inna. Jest to uwaga, która oczywiście komplikuje formułę pojedynczej stopy dyskontowej.

Davis [1995b, za Jacobym, Laughtonem 1992] twierdzi, że w takim razie jeszcze poprawniejsze byłoby dyskontowanie każdego ze składników przepływów pieniężnych dla każdego roku inną stopą dyskontową, uwzględniającą zmienne ryzyko poszczególnych składników przepływu pieniężnego, ale to komplikuje zagadnienie jeszcze bardziej.

Pojedyncze stopy dyskontowe determinują fakt, że struktura czasowa stóp procentowych oraz cena ryzyka są znane i mają charakter stacjonarny [Frimpong, Whiting 1997, za Jacobym i Laughtonem 1992]. Skoro jednak poziom ryzyka przedsięwzięcia zmienia się w miarę jak zmieniają się źródła i skala podstawowych rodzajów niepewności, w celu dostarczenia racjonalnej podstawy dla dyskontowania długoterminowych przepływów pieniężnych przedsięwzięć wielofazowych, należałoby zastosować wycenę z okresu na okres (*period-by-period*) [Frimpong, Whiting 1997, za Jacobym, Laughtonem 1992]. Problem ten można by rozwiązać poprzez zastosowanie wielofazowego dynamicznego modelu ryzyka (*dynamic risk model*, DRM), będącego zmodyfikowaną wersją modelu wyceny aktywów kapitałowych [Frimpong, Whiting 1997].

Ponieważ przedsiębiorstwa mają problemy z doбором właściwej stopy dyskontowej, wiele zarządów oraz wielu specjalistów zajmujących się oceną górniczych projektów inwestycyjnych stosuje tzw. stopę progową (*hurdle rate*), będącą minimalną akceptowalną przez przedsiębiorstwo stopą zwrotu, która przyjmowana jest na podstawie szeregu czynników (dla KGHM jest to stopa realna na poziomie 12-13%). Jeśli wycena ekonomiczna projektu na podstawie stopy progowej da wynik negatywny, wtedy zarzuca się jego realizację [Moyen i in. 1996, Torries 1998].

W celu uniknięcia problemów związanych z określaniem wielkości stopy dyskontowej oraz sposobem jej uzyskiwania, przedsiębiorstwa posługują się wspomnianą stopą MARR (minimalną akceptowalną stopą zwrotu) [Torries 1998], która stanowi minimalny, dopuszczalny przez przedsiębiorstwo poziom zwrotu. Jak można zauważyć, pojęcie stopy MARR koresponduje z pojęciem stopy progowej.

7.2. Sposoby określania stopy dyskontowej

Jak już uprzednio napisano, inwestorzy w praktyce sygnalizują swoją opinię o ryzyku danego przedsięwzięcia przyjmując taką a nie inną, zależną od postrzeganego ryzyka inwestycji, stopę dyskontową. Powiedziano też, iż stopa dyskontowa dobierana jest według zasady: „im większe postrzegane ryzyko, tym przyjmowana wyższa stopa dyskontowa”. Jak stwierdzono, taką stopę, uwzględniającą ryzyko specyficzne projektu, nazywa się stopą dyskontową „dostosowaną do ryzyka” (RADR).

W analizie DCF oba mierniki wykonalności: NPV i IRR, wymagają dla ustalenia kryteriów inwestycyjnych określenia odpowiedniej stopy dyskontowej. W przypadku NPV jest to klasyczna stopa RADR, a przypadku IRR stopa minimalna [Smith 2000].

Dobór właściwej wartości stopy dyskontowej jest zasadniczo procesem skomplikowanym.

Określenie wysokości stopy dyskontowej dokonywane jest w praktyce dwoma sposobami:

- 1) z wykorzystaniem modelu wyceny aktywów kapitałowych (*capital asset pricing model*, CAPM);
- 2) poprzez subiektywną ocenę ryzyka – stopa dyskontowa dobierana zostaje na zasadzie *ad hoc* przez doświadczonego analityka.

7.2.1. Model wyceny aktywów kapitałowych

Jak już wspomniano, teoretycznie uzasadnionym i szeroko akceptowanym narzędziem wykorzystywanym do szacowania stopy dyskontowej jest model wyceny aktywów kapitałowych (CAPM) [m. in. Brigham 1996, Siudak 1999, Pazio 2002, i in.], stosowany, m. in., podczas oceny projektów w oparciu o prognozowane (*pro forma*) przepływy pieniężne na poziomie przedsiębiorstwa [Davis 1995]. CAPM jest modelem równowagi, który wycenia skalę ryzyka systematycznego. Zgodnie z tą teorią inwestor, który ma całkowicie zdywersyfikowany portfel, nie troszczy się o wariancję ani niepewność zwrotu z poszczególnego waloru [Davis 1995a]. Zamiast tego inwestor troszczy się o to, jaki wpływ na ryzyko (lub wariancję) jego portfela ma dana inwestycja. Model ten zaleca przyjmowanie jako stopy dyskontowej średniego ważonego kosztu kapitału (WACC).

Średni ważony koszt kapitału

Koszt kapitału przedsiębiorstwa (określany jako średni ważony koszt kapitału) jest średnim ważonym kosztem funduszy, będących w dyspozycji przedsiębiorstwa łącznie z kredytem (po odliczeniu podatku), akcjami zwykłymi i uprzywilejowanymi. Wyrażany jest on w postaci stopy procentowej, według równania [Smith 1994]:

$$r_{WACC} = r_e p_e + r_d p_d + r_p p_p \quad (7.2)$$

gdzie:

r_{WACC} – średni ważony koszt kapitału, [%],

r_e – koszt kapitału własnego (akcji zwykłych, *equity capital*), [%],

r_d – koszt kapitału dłużnego (kredytu, *debt capital*) po odliczeniu podatku, [%],

r_p – koszt kapitału akcji uprzywilejowanych (*preffered stock capital*), [%],

p_e, p_d, p_p – odpowiednio: proporcje akcji zwykłych, kredytu i akcji uprzywilejowanych, składających się na kapitał przedsiębiorstwa ($p_e + p_d + p_p = 1$).

Wartości kosztów kredytu i akcji uprzywilejowanych wyrażone jako stopy procentowe są stosunkowo łatwe do uzyskania [Smith 1994].

Równanie na średni ważony koszt kapitału (nominalny) można również wyrazić w postaci [Lawrence 2000]:

$$r_{WACC} = r_e p_e + r_d (1 - r_{tax}) p_d \quad (7.3)$$

gdzie:

r_e – koszt kapitału własnego po odliczeniu podatku,

r_d – koszt długu przed odliczeniem podatku,

r_{tax} – podatek dochodowy od firm,

p_e, p_d – odpowiednio: proporcje akcji zwykłych (E/V), i kredytu (D/V),
lub uogólniając, biorąc pod uwagę (7.2) i (7.3):

$$r_{WACC} = \sum_{i=1}^n u_i c_i \quad (7.4)$$

gdzie:

u_i – udział i -tego źródła w strukturze kapitału firmy,

c_i – koszt kapitału z i -tego źródła.

Stopa zwrotu „dostosowana do ryzyka” w myśl teorii portfelowej

Jednym z najużyteczniejszych aspektów modelu CAPM jest fakt, że określa on koszt kapitału własnego przedsiębiorstwa oraz – w bardziej prosty sposób – stopę dyskontową, jaką powinno zastosować przedsiębiorstwo w trakcie oceny wartości potencjalnych projektów, zgodnie z interesem akcjonariuszy [Davis 1995a].

Podstawę modelu wyceny aktywów kapitałowych stanowi zasada, że zwrot z indywidualnej akcji powiązany jest z rynkiem według równania, zwanego linią rynku papierów wartościowych (*security market line*) [Smith 1994, Davis 1995b, Dobija 1996, Moyen i in. 1996, Mayo 1997, Helfert 2000, i in.]:

$$E(r_s) = r_f + (E(r_m) - r_f) \beta_s \quad (7.5)$$

gdzie:

$E(r_s)$ – oczekiwany zwrot z akcji s ,

r_f – zwrot z aktywa „wolnego od ryzyka”,

$E(r_m)$ – oczekiwany zwrot z całego rynku,

β_s – współczynnik beta dla akcji s : $\beta_s = \frac{\text{cov}(r_s, r_m)}{\text{var}(r_m)}$,

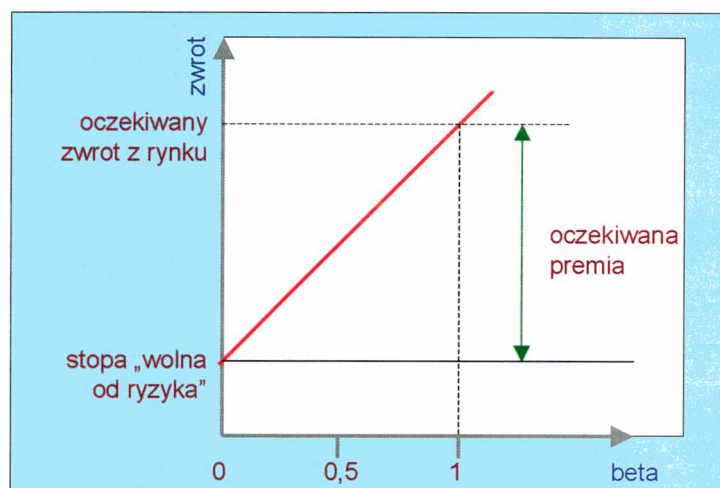
$(E(r_m) - r_f)$ – „ premia za ryzyko”.

Jak widać, na spodziewaną stopę zwrotu z aktywa s składa się wolna od ryzyka stopa zwrotu f plus „premia” za specyficzne ryzyko, związane z tym aktywem, co jest zgodne z formułą (7.1) i rys. 7.2. Biorąc pod uwagę powyższe można stwierdzić, że „premia za ryzyko” w stopie dyskontowej dla danego projektu w modelu CAPM zależy jedynie od wartości współczynnika beta (β_s), projektu [Davis 1995a, za Brealy’em, Myersem 1991]. Beta jest alternatywną miarą ryzyka (systematycznego), która mierzy reakcję stopy zwrotu z papieru wartościowego na zmiany stopy zwrotu z całego rynku. Czynnikiem beta wyraża zmienność akcji s w odniesieniu do zmienności całego rynku. Gdy beta jest większa od zera wówczas ryzyko względne, związane z walorem, jest większe od średniej dla rynku, natomiast jeśli jest mniejsza od zera – względne ryzyko jest mniejsze od średniej rynkowej. Matematycznie beta stanowi stosunek kowariancji r_f i r_m oraz wariancji r_m czyli $\beta_s = \sigma_{sm} / \sigma_m^2$ [Moyen i in. 1996]. Innymi słowy, współczynnik beta otrzymywany jest poprzez kalkulację ilorazu odchylenia standardowego stopy zwrotu z akcji s oraz odchylenia standardowego stopy zwrotu z rynku, mnożonego przez współczynnik korelacji pomiędzy stopą zwrotu z akcji s a stopą zwrotu z rynku. Beta jest miarą stopnia kowariancji: wysoka kowariancja z rynkiem implikuje wysoką betę, która z kolei implikuje wysoki koszt kapitału, a ten – niską cenę giełdową aktywów. W myśl teorii portfelowej, beta rynku, z definicji, równa jest jedności. Jeśli wartość współczynnika beta jest większa od 1, wtedy stopę zwrotu z papieru charakteryzuje większa zmienność niż stopę zwrotu z całego rynku, a jeśli mniejsza od 1 –

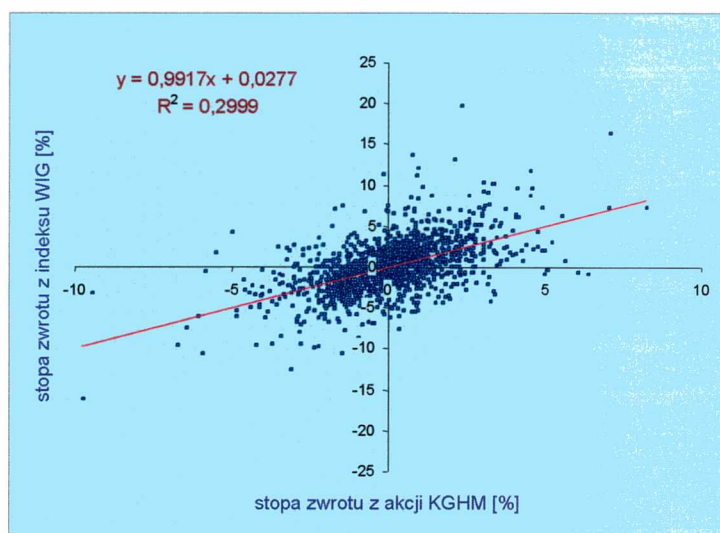
wówczas stopę zwrotu z waloru cechuje mniejsza zmienność niż stopy zwrotu z rynku. Graficzną ilustrację modelu CAPM przedstawiono na rys. 7.3, natomiast kalkulację współczynnika beta dla KGHM Polska Miedź S.A. pokazano na rysunku 7.4.

Należy podkreślić, że podstawowa metoda CAPM jest statyczna; dynamiczne wersje modelu CAPM wymagają jedynie prostych modyfikacji równania (7.5) [Moyen i in. 1996].

Zalety i wady modelu wyceny aktywów kapitałowych



Rys. 7.3. Graficzna ilustracja modelu wyceny aktywów kapitałowych [Mayo 1997]



Rys. 7.4. Obliczenie współczynnika beta dla KGHM Polska Miedź S.A. (linia regresji dla dziennych stóp zwrotu z akcji KGHM oraz indeksu WIG) z okresu VII.1997-II.2004)

Wnikliwe zbadanie istoty modelu zwraca uwagę na ważną właściwość formuły CAPM: wycenie podlega tylko ryzyko systematyczne, które jest niedywersyfikowalne, tzn. nie można go zmniejszyć poprzez nabywanie papierów wartościowych firm, operujących w innych branżach. Dywersyfikacja obejmuje wyłącznie ryzyko specyficzne, właściwe projektowi (idiosynkrazyczne). Innymi słowy, inwestorzy mogą ubezpieczać się od ryzyka specyficznego poprzez trzymanie portfela walorów ryzykownych, z których zwroty są niedoskonale skorelowane. Obserwacja ta jest szczególnie ważna dla górniczych projektów

inwestycyjnych. Istotnie – w projektach górniczych większa część niepewności związanej z geologią, wydobywaniem, przeróbką i metalurgią należy do specyfiki projektu. Warto tu dodać, że w przypadku rynków metali, istnieje możliwość ubezpieczenia się od ryzyka zmian cen oraz ryzykiem zmian kursów walut poprzez korzystanie z tzw. transakcji zabezpieczających (*hedging*) [np. Moyen i in. 1996, Kulczycka 1998]. Z drugiej strony można zauważyć że niepewność co do poziomu cen wbrew temu, czego można by oczekiwać, wcale nie jest silnie skorelowana ze zwrotami z portfela rynkowego; wypływa więc stąd kontrowersyjna obserwacja, iż pomimo wysokiego ryzyka, górnicze projekty inwestycyjne wcale nie powinny przynosić dużych „premiów za ryzyko” [Moyen i in. 1996].

Zgodnie z teorią portfelową, stosowana stopa dyskontowa projektu nie ma związku ze wstępną niepewnością parametrów wejściowych. Portfelowa definicja ryzyka nie pozostawia wątpliwości, że stopa dyskontowa zależy tylko i wyłącznie od systematycznych fluktuacji wartości projektu w czasie, co mierzone jest współczynnikiem beta projektu. Wszystkie inne możliwe policzalne elementy niepewności powinny być modelowane bezpośrednio w arkuszu kalkulacyjnym.

Davis [1995a] twierdzi ponadto, że w teorii portfelowej nawet stosowanie transakcji zabezpieczających – czy to poprzez *hedging* ceny, czy zawieranie umów z kontraktorami dotyczących wykonywania określonych funkcji operacyjnych – nie jest żadną przesłanką dla obniżania bety projektu, a co za tym idzie – również stopy dyskontowej.

Wartości współczynników beta przedsiębiorstw północnoamerykańskich (USA i Kanady) publikowane są regularnie w wydawnictwach ekonomicznych, takich jak np. *US Value Line Investment Survey* [Smith 1994], lub możliwe do uzyskania w Internecie (np. pages.stern.nyu.edu). Szeroko wykorzystywanym źródłem informacji charakteryzującym zwroty z rynku jest Indeks Standard & Poor's 500 [Helfert 2000].

Z równania (7.5) możliwe jest otrzymanie wielkości współczynnika beta dla przedsiębiorstw górniczych. Dla wyceny, realizowanej przy założeniu finansowania projektu w 100% kapitałem własnym, równania te mogą być wykorzystane do liczenia kosztów kapitału przedsiębiorstwa, ponieważ w tym przypadku dwa ostatnie wyrażenia w równaniu (7.2) są równe 0, a wartość p_e wynosi 1.

Wykorzystując publikowane współczynniki beta możliwe jest oszacowanie stóp dyskontowych według CAPM. W tabeli 7.2 przedstawiono czynniki beta i kalkulację stóp RADR dla górnictwa złota i tzw. metali podstawowych (*base metals*), obliczone w połowie lat 90-tych ub. wieku przez Smitha [1994] i Davisa [1995a].

Tak więc typowa północnoamerykańska kopalnia rudy metalu w warunkach powinna stosować realną stopę RADR na poziomie około 8%. Należy przy tym zaznaczyć, że w wypadku uwzględnienia kredytu, koszty wartości kapitału przedsiębiorstwa byłyby niższe, ponieważ stopy kredytu są niższe od oczekiwanych dochodów z rynku. Wpłynie to odpowiednio na redukcję średniej ważonej.

Większość autorów [Davis 1995a, Pindred 1995, i in.] uważa, iż stosowanie modelu CAPM w procesie doboru stopy dyskontowej projektu jest bardziej uzasadnione niż dobór *ad hoc*. Nie wszyscy jednak zgadzają się z tym poglądem – przyjmowanie zwrotu rynkowego, jako przesłanki dla określenia zwrotu z projektu jest krytkowane – np. Smith [1994] powątpiewa, w oparciu o wyżej przedstawione wyliczenia, czy zastosowanie tego modelu dla doboru stopy dyskontowej w analizie DCF, jest metodologicznie właściwe.

Należy tu podkreślić, że współczynniki beta mierzą wyniki osiągane przez akcje przedsiębiorstwa w odniesieniu do rynku papierów wartościowych; w praktyce określenie tego współczynnika dla poszczególnych projektów inwestycyjnych jest niestety niewykonalne, choć teoretycznie jest to możliwe (rys. 7.5). Dotyczy to sytuacji, gdy przedsiębiorstwo prowadzi strategię dywersyfikacji i projekt jest implementowany w branży innej niż macierzysta. Model CAPM nie przewiduje stosowania odrębnych stóp

dyskontowych dla pojedynczych projektów, przewidzianych do realizacji w obrębie tej samej branży. Górnictwo jest – z uwagi na specyfikę – gałęzią gospodarki, gdzie ryzyka poszczególnych projektów – przewidywanych do realizacji nawet w obrębie tego samego surowca mineralnego – mogą się znacznie różnić od siebie. Określenie współczynnika beta dla takiego pojedynczego projektu w rzeczywistości może okazać się bardzo trudne, o ile nie niemożliwe. Dlatego, pomimo niewątpliwiej słuszności i poprawności teoretycznej modelu CAPM, problemem jest jego właściwe zastosowanie.

Tabela 7.2. Stopa RADR według modelu wyceny aktywów kapitałowych (CAPM) [Smith 1994, Davis 1995a]

Grupa akcji	Czynnik beta		Nominalna (z inflacją) wg Smitha	Realna wg Davisa	Realny	
	wg Smitha	wg Guzmana			wg Smitha	wg Davisa
Górnictwo złota	0,27*	0,45	$6,6\% + (5,0\% \times 0,27) = 7,94\%$	$4\% + (8\% \times 0,45) = 7,6\%$	3,88%	7,6%
Górnictwo metali	wg Smitha		Nominalna wg Smitha		wg Smitha	
	1,13 [#]		$6,6 + (5,0\% \times 1,13) = 12,23\%$		8,02%	
Rynek	1,00 [@]		$6,6 + (5,0\% \times 1,00) = 11,60\%$		7,41%	

Dla wartości przytoczonych przez Smitha [1994]:

1) Czynniki beta wzięto z „US Value Line Investment Survey”, 4 luty 1994; długoterminowa „wolna od ryzyka” stopa procentowa w wysokości 6,6% (nominalnie) jest średnią 13-letnią trzymiesięcznych obligacji rządowych USA;

2) „Premia za ryzyko” w wysokości 5% jest długoterminowym dochodem z rynku w wysokości 11,6% (nominalnie) minus długoterminowa stopa „wolna od ryzyka”;

3) Nominalne stopy procentowe uwzględniają inflację, natomiast realne nie. Nominalne stopy procentowe zostały przeliczone na realne stosując 13 letnią średnią inflację w wysokości 3,9%. Przeliczenie na wartości realne może być pokazane na przykładzie kalkulacji realnej stopy rynkowej według CAPM: $1,0741 = 1,116 : 1,039$ (patrz formuła 6.7);

*średnia wyliczona biorąc pod uwagę czynniki beta następujących firm: „American Barrick”, „Battle Mountain”, „Echo Bay”, „Hecla”, „Hemlo”, „Homestake”, „Lac”, „Newmont”, „Placer Dome”, „Pegasus”, „Teck”;

[#] średnia obliczona dla firm: „Alcan”, „Alcoa”, „Asarco”, „Brascan”, „Cyprus Amax”, „Inco”, „Noranda”, „Nord”, „Phelps Dodge”, „Reynolds”;

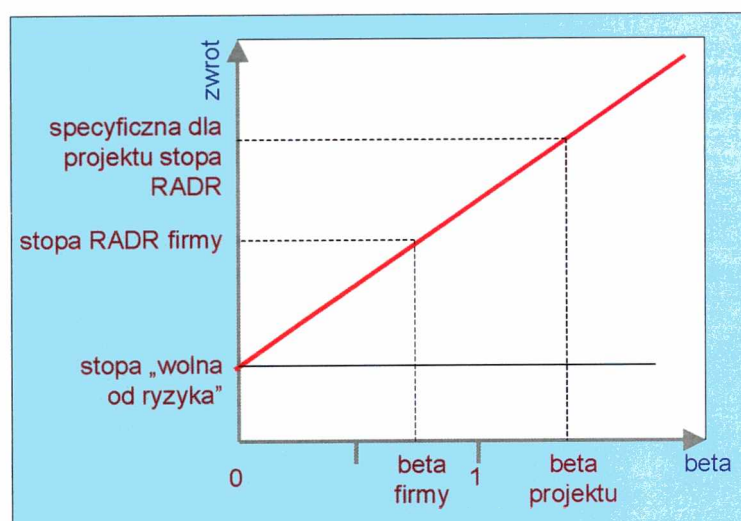
[@] wg definicji.

Dla wartości przytoczonych przez Davisa [1995a]:

1) czynnik beta wzięty został z pracy Guzmana [1991],

2) stopa wolna od ryzyka przyjęta została w oparciu o szacunki krótkoterminowe,

3) „premia za ryzyko” przyjęta została w oparciu o pracę Brealy'ea i Myersa [1991]



Rys. 7.5. Ryzyko projektu a ryzyko przedsiębiorstwa [Smith 1994]

Powyższe wątpliwości, uzupełnione dodatkowymi obserwacjami, pozwoliły Smithowi w jego pracy z 2000 roku zwrócić uwagę na najważniejsze kontrowersje związane ze stosowaniem współczynników beta dla pojedynczych projektów górniczych [Smith 2000]:

- 1) współczynniki beta, powtórzmy, mierzą zmienność cen akcji całego przedsiębiorstwa, a nie pojedynczego projektu,
- 2) współczynniki beta są miarami zmian cen akcji całego przedsiębiorstwa w stosunku do zmian rynku; ich wartości fluktuują wraz ze zmianami rynku, nie mają zatem atrybutu stałości; związek pomiędzy ryzykiem a zwrotem mierzony czynnikiem beta może być fałszywy; implikuje to fakt, że zmiany wartości współczynników beta przedsiębiorstwa (bądź branży) w czasie pociągają za sobą ciągle zmiany wartości poszczególnych projektów (bo wraz z betą zmienia się stopa dyskontowa),
- 3) ze względu na zmiany w czasie współczynników beta dla górnictwa złota i górnictwa metali podstawowych, niewiele można powiedzieć o jakimś związku pomiędzy stopami dyskontowymi stosowanych wewnątrz tych branż, poza tym, że dla projektów eksploatacji złota stosuje się stopy niższe.

Zmiany współczynników beta w czasie są rzeczywiście ważkim problemem. Zwróćmy istotnie uwagę na liczby, przytoczone w tabeli 7.2: współczynnik beta obliczony przez Smitha dla górnictwa złota w 1994 roku (0,27), różni się znacznie od wartości podanej w roku 1991 przez Guzmana (0,45) [Davis 1995a, za Guzmanem 1991]. W styczniu 2003 betę dla górnictwa metali szlachetnych szacowano w oparciu o analizę regresji tylko na 0,16 (średnia dla branży 0,38), a dla górnictwa metali podstawowych – w oparciu o analizę regresji na 0,96 (średnia dla branży – 1,05) [pages.stern.nyu.edu]. Jak widać, wartości bety w ciągu 9 lat zmieniały się istotnie.

Kolejna kontrowersja związana jest z faktem, że ocena ekonomiczna za pomocą analizy zdyskontowanych pieniężnych, jak stwierdzono, ma z założenia charakter prognostyczny, podczas gdy współczynniki beta określane są w oparciu o analizy regresji danych historycznych [Pindred 1995]. W istocie beta, niezbędna w procesie oceny ekonomicznej, powinna być wartością oczekiwaną.

Współczynniki beta charakteryzują się niestabilnością, co pociąga za sobą fakt, że metody regresji, które służą do ich obliczania, posiadają niską siłę objaśniającą. W konsekwencji, beta, stosowana w modelu CAPM, będzie – *summa summarum* – opierać się na subiektywnej ocenie analityka, co jest przecież jednym z najważniejszych mankamentów doboru stopy dyskontowej na zasadzie *ad hoc*.

Z drugiej strony interesująca jest kontrargumentacja Davisa: pomimo iż zgadza się on z tezami Pindreda o istnieniu subiektywnego czynnika w procesie kalkulacji bety oraz trudności w zakresie jej rzetelnego doboru, broni jednak modelu CAPM, argumentując, że w górnictwie robi się te same rzeczy przez wiele lat: wydobywa się i przerabia kopaliny a procesy te są w branży powszechnie znane i powtarzalne (fakt ten, m. in., znacznie uwiarygodnia dane historyczne) [Davis 1995b]. Dlatego, jego zdaniem, określenie sensownej wielkości tego współczynnika dla górniczych projektów inwestycyjnych nie jest aż tak trudne. Według Davisa [1995b] grupa wiarygodnych stóp dyskontowych, z którymi możemy mieć do czynienia mieści się w przedziale 6-9% i stopy te są w zasadzie niezależne od czynnika subiektywnego.

7.2.2. Powszechnie praktykowany sposób doboru stopy dyskontowej

Dobór stopy dyskontowej według modelu CAPM, pomimo teoretycznej poprawności, nie jest szeroko praktykowany. Powszechnie stosowaną metodą doboru stopy dyskontowej dla analizy DCF jest dobór *ad hoc* [Cavender 1992, Smith 1994, Davis 1995, 1998, Moyen i in. 1996, Torries 1998, i in.]. Moyen i in. [1996] piszą wprost, iż w branży surowców mineralnych „pewne praktyki stały się obowiązującymi prawidłowościami”. Istotnie – wybór stopy dyskontowej w wysokości odpowiedniej do postrzeganego przez analityka ryzyka, z

uwagi na swój subiektywny charakter prowadzić może do wyciągnięcia fałszywych wniosków i podjęcia błędnych decyzji.

W dotychczasowej polskiej praktyce górniczej szczegółowej oceny ekonomicznej dokonuje się w trakcie opracowywania projektu zagospodarowania złoża (PZZ). Obecnie konieczne stało się dostosowanie ocen ekonomicznych projektów górniczych do standardów międzynarodowych – UNECE i UNIDO. PZZ powinien spełniać warunki w terminologii międzynarodowej studium wykonalności (*feasibility study*) i opierać się na rozpoznaniu zasobów w kategorii A+B [Strzelska-Smakowska, Paulo 1996]. Istotą projektów na tym etapie jest wykazanie efektywności ekonomiczno-finansowej przedsięwzięć górniczych przy zminimalizowanym ryzyku eksploatacji złoża, gwarantujących kompleksowe i właściwe wykorzystanie jego zasobów. Studium wykonalności jest zatem jest ostateczną oceną przedsięwzięcia inwestycyjnego lub restrukturyzacyjnego, bazującą na szczegółowej analizie wieloczynnikowej i realistycznej ocenie opłacalności ekonomiczno-finansowej, obarczonej możliwie najmniejszym ryzykiem (w granicach 10% błędu) [Strzelska-Smakowska, Paulo 1996]. W krajach o rozwiniętej gospodarce rynkowej wstępna ocena ekonomiczna praktykowana jest we wczesnych fazach zagospodarowania, których celem jest poszukiwanie i rozpoznanie złóż, tj. w fazach studium możliwości (*opportunity study*) i wstępnej oceny celowości zagospodarowania złoża (etap studium przedrealizacyjnego). Studium możliwości (*opportunity study*) – obejmuje rozpoznanie możliwości inwestycyjnych lub restrukturyzacyjnych. Bazuje ono na danych szacunkowych i ma charakter koncepcyjny. Studium przedrealizacyjne (przedwykonalności, *prefeasibility*) jest wstępna oceną zamierzeń inwestycyjnych lub restrukturyzacyjnych, przy zidentyfikowaniu wszystkich krytycznych warunków oraz poddaniu ich szczegółowej analizie. Podstawą studium przedrealizacyjnego powinny być zasoby w kategoriach C₁ i C₂ (w terminologii międzynarodowej: *indicated*), natomiast studium możliwości – D (*inferred, hypothetical, speculative*). Należy tu podkreślić, że dokumentacja geologiczna nie jest wystarczającym źródłem danych do wiarygodnej analizy ekonomicznej. Tę wiarygodność zwiększają analizy rynku, infrastruktury, ogólnych warunków inwestycyjnych (społeczno-ekonomicznych i środowiska naturalnego), dostępności i kosztów czynników produkcji, etc. Dla poszczególnych studiów wymaga się na ogół następujących wiarygodności [Strzelska-Smakowska, Paulo 1996]:

- możliwości: $\pm 30\%$,
- przedrealizacyjne: $\pm 20\%$,
- wykonalności: $\pm 10\%$.

Jak już powiedziano – w praktyce większość firm „dostosowuje się” do ryzyka poprzez stosowanie tzw. stopy progowej (*hurdle rate*), która jest górną regulacją w stopie dyskontowej [Moyen i in. 1996]. Chociaż próg ten zmienia się w zależności od przedsiębiorstwa i konkretnych projektów inwestycyjnych danej firmy, to najczęściej spotykaną wielkością dla górnictwa metali podstawowych w warunkach gospodarek północnoamerykańskich (USA i Kanady) na etapie studium wykonalności (dla ocen realizowanych w pieniądzu stałym) jest 10% (realnie) [Smith 1994]. Badania ankietowe przeprowadzone przez Smitha w późniejszych latach wśród członków Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum (CIM) – Mineral Economics Society kazały skorygować mu tę cyfrę o 1,3% wzwyż [Smith 2000]. Inni autorzy podają zbliżone liczby – np. Davis [1998] pisze o 8–12%, a Moyen i in. [1996]: 5–10%.

Wraz z zaawansowaniem inwestycji (większa dostępność informacji) zmniejsza się poziom stopy dyskontowej. Smith [1994] dla górnictwa metali podstawowych podawał następujące liczby:

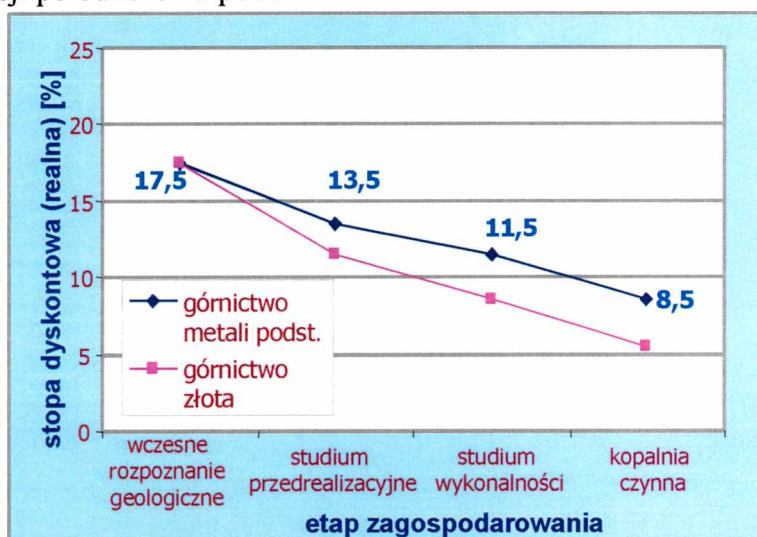
- 20% na etapie złoża udokumentowanego,
- 15% na etapie studium przedrealizacyjnego,
- 10% na etapie studium wykonalności,

– 5–8% na etapie eksploatacji i przeróbki,
które jednak – wskutek wspomnianych badań ankietowych w 2000 roku – również ulegają korekcie. Analiza zamieszczonego w jego pracy wykresu (rys. 7.6) pozwala na podanie następujących cyfr:

- na etapie wczesnych prac poszukiwawczych – około 17,5%,
- na etapie studium przedrealizacyjnego – około 13,5%,
- na etapie studium wykonalności – około 11,5%,
- na etapie kopalni czynnej – około 8,5%.

Należy tu podkreślić, iż podana dla studium wykonalności stopa dyskontowa w wysokości 10–11,5%, stosowana przez przedsiębiorstwa górnicze dla oceny projektów w państwach o niskim krajowym ryzyku inwestycyjnym (USA, Kanada), skalkulowana została przy przyjęciu następujących, specyficznych założeń [Smith 1994, 2000]:

- 1) zerowej inflacji (pieniądza stałego),
- 2) finansowania projektów w 100% kapitałem własnym,
- 3) kalkulacji po odliczeniu podatków.



Rys. 7.6. Poziom stóp dyskontowych w zależności od fazy zagospodarowania górniczego projektu inwestycyjnego [Smith 2000]

Podane liczby Smith [2000] określa w oparciu o:

- badania przeprowadzone przez siebie i zespół CIM – Mineral Economics Society,
- dyskusje przeprowadzone z przedstawicielami dużej liczby przedsiębiorstw górniczych,
- opublikowane wyniki ocen ekonomicznych projektów,
- doświadczenie własne, nabyte w trakcie prac studialnych realizowanych na zamówienie przedsiębiorstw górniczych,
- różne publikacje naukowe.

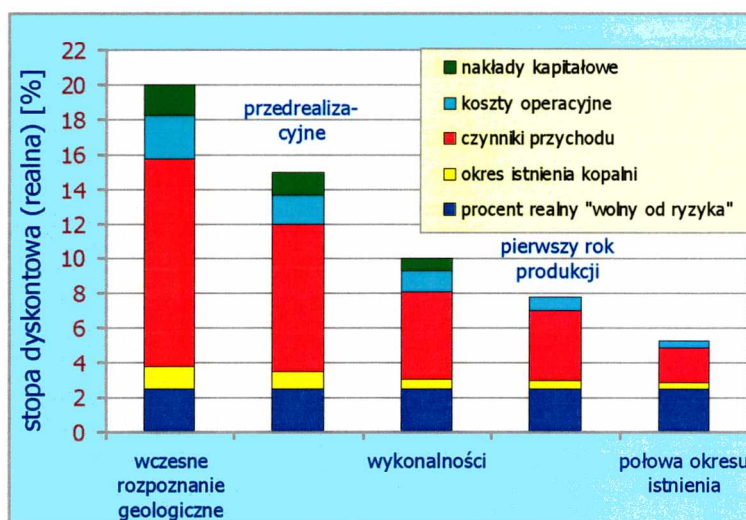
Oczywiście, stopa dla studium wykonalności w wysokości 10–11,5% nie ma – w myśli intencji autora – stanowić jakiegś teoretycznej podstawy dla poprawnego wyznaczenia stopy dyskontowej poza faktem, że taka stopa dochodu netto (przy zerowej inflacji i odliczeniu podatku) jest stopą rozsądną i wystarczająco wysoką w porównaniu do procentu uzyskiwanego przy inwestowaniu w papiery rządowe [Smith 1994, 2000]. Stopę tę stosuje duża liczba inwestorów górniczych przy podejmowaniu konkretnych decyzji, wymagających inwestowania milionów dolarów – fakt ten należy mieć zatem na uwadze.

Naturalnie należy mieć świadomość, iż każdy projekt posiadać będzie specyficzny zbiór charakterystyk ryzyka, użycie spójnego zbioru kryteriów dla studiów wykonalności pomaga

dostarczyć wspólnej bazy dla porównywania – żadne dwa projekty czy studia nie będą takie same. Jednakże, w wypadku braku jakichkolwiek innych informacji podana powyżej stopa stanowi sensowny punkt wyjścia i daje pogląd na temat wysokości stóp dyskontowych stosowanych w przemyśle surowców mineralnych.

Jak wiadomo, procesy oceny ekonomicznej górniczych projektów inwestycyjnych realizowane są często na dużo wcześniejszych (i późniejszych) etapach niż studium wykonalności a ryzyko związane z projektem zmienia się wraz ze stopniem zaawansowania w realizacji projektu. Pociąga to za sobą naturalną konsekwencję: wraz z postępem zagospodarowania (większa dostępność informacji) zmniejsza się stopa dyskontowa.

Na etapach studium przedrealizacyjnego i studium wczesnego rozpoznania geologicznego niedostatek informacji implikuje większe ryzyko. W trakcie przechodzenia do bardziej szczegółowego projektu na etapie wykonalności, a następnie do budowy, momentu uruchomienia kopalni i prowadzenia wszystkich zamierzonych operacji (wydobycia i przeróbki) niepewność związana ze składnikami ryzyka ulega redukcji. Logicznym jest wnioskowanie, że po zakończeniu budowy instalacji wydobywczo-przeróbczych ryzyko kosztów kapitałowych jest zredukowane do zera, gdyż kapitał został w całości wykorzystany, a poniesione koszty są znane. Niepewność związana z kosztami operacyjnymi spada gwałtownie po pierwszym roku prowadzenia eksploatacji i przeróbki. Z uwagi na fakt, iż znaczny margines niepewności utrzymuje się w zasadzie aż do końca czasu istnienia kopalni można skonstatować, że redukcja ryzyka, związanego z czynnikami przychodu i perspektywą zakończenia eksploatacji będzie stosunkowo niewielka – głównie ze względu na naturalny brak dostatecznej wiedzy w zakresie geologii. Wraz z postępem prac eksploatacyjnych zakresy niepewności, a przez to i poziomy różnych rodzajów ryzyka, będą się zmniejszać. W ostatnim dniu istnienia przedsięwzięcia, kiedy kopalnia i zakład przeróbczy są już zatrzymane, nie ma już żadnego ryzyka operacyjnego pozostaje tylko problem stopy procentowej [Smith 1994]. Ilustruje to zarówno rys. 7.6, jak i rys. 7.7.



Rys. 7.7. Składniki stopy dyskontowej w różnych fazach rozwoju górniczego projektu inwestycyjnego [Smith 1994]

Studium wczesnego rozpoznania geologicznego jest studium o doniosłym znaczeniu, które pozwala określić skalę przedsięwzięcia, a nawet odrzucić potencjalne projekty na etapach wstępnych. Należy tu przypomnieć, iż w przypadku wyceny na tym etapie zagospodarowania stosuje się inne metody niż analizę DCF (rozdział 5). Wraz z uzyskiwaniem nowych danych następuje przejście do studium przedrealizacyjnego, które stanowi generalnie podstawę ponoszenia kolejnych wydatków aż do zamknięcia studium

wykonalności [Smith 1994]. Ponieważ studia te przeprowadzane są na dużo wcześniejszych etapach zagospodarowania, stąd mamy do czynienia z mniejszą ilością danych, a stopień niepewności jest wyższy.

Należy mieć świadomość, iż specyficzna dla projektu stopa dyskontowa może stanowić dobre odzwierciedlenie ryzyka związanego z danym projektem, lecz niekoniecznie musi być przesłanką dla określenia jego ceny rynkowej [Smith 1994]. Stanowi ona jednakowoż istotny punkt odniesienia – w szczególności w przypadkach porównywania różnych projektów. W trakcie dokonywania transakcji nabywca będzie próbował zapłacić jak najmniej, natomiast sprzedający będzie się starał otrzymać jak najwięcej. W procesie zmiany właściciela własności zawsze możliwe są negocjacje. Z aktualną ceną mamy do czynienia, gdy nabywca i sprzedawca osiągną zgodę, o czym już wspomniano. Naturalnie ocena ryzyka jest sprawą subiektywną dlatego dokonujący wyceny – w zależności od postrzeganego przez nich stopnia niepewności – mogą korygować liczby podane przez Smitha zarówno w górę lub w dół.

Celem uproszczenia dyskusji na temat składników stóp dyskontowych wszystkie dotychczasowe odwołania dotyczą projektów realizowanych w krajach uznawanych za wolne od krajowego ryzyka inwestycyjnego: USA i Kanadzie. Do niedawna uważano, że te dwa kraje górnicze są wolne od krajowego ryzyka inwestycyjnego ze względu na ich polityczną i ekonomiczną stabilność, a zatem porcja krajowego ryzyka inwestycyjnego w stopie dyskontowej wynosi zero. Obecnie, ze względu na restrykcyjność prawa amerykańskiego i kanadyjskiego w zakresie ochroną środowiska, kraje te nie są już postrzegane jako całkowicie wolne od krajowego ryzyka inwestycyjnego [Smith 2000]. Inwestując w państwach o zwiększonym ryzyku, do stopy dyskontowej powinno się zatem dodać jeszcze procent ryzyka, którego wielkość jest określana jest w zależności od ratingów, dokonywanych przez wyspecjalizowane międzynarodowe agencje i banki. Jak już stwierdzono (rozdział 5), „ premia” za krajowe ryzyko inwestycyjne może zmieniać się od wartości bliskich zeru (dla wspomnianych krajów) do 10%, choć bywają okazjonalne przypadki, że „ premia” ta może wynosić 13-14% [Smith 1994, 2000]. W każdym przypadku koniecznym jest oszacowanie efektów, jakie mogą oddziaływać na projekt, stopę dyskontową (a tym samym i wycenę), specyficzne dla danego kraju czynniki krajowego ryzyka inwestycyjnego. Oszacowanie to stanowi odzwierciedlenie w stopie dyskontowej (rys. 7.2). Zagadnienie krajowego ryzyka inwestycyjnego opisane zostało w rozdziale 5.

Część autorów nie zgadza się z wyżej opisanym podejściem. Np. Davis [1995] twierdzi, że negatywne aspekty związane z realizacją górniczych projektów inwestycyjnych w krajach o podwyższonym ryzyku powinny być odzwierciedlone w elementach przepływów pieniężnych projektu, a nie w stopie dyskontowej.

8. Metody analizy ryzyka w analizie zdyskontowanych przepływów pieniężnych

Żadne przedsiębiorstwo górnicze nie powinno przystępować do realizacji jakiegokolwiek dużej inwestycji bez przeprowadzenia analizy ryzyka, która ułatwi podjęcie decyzji inwestycyjnej. Przez analizę ryzyka rozumie się każdą metodę – ilościową lub jakościową – pozwalającą na oszacowanie oddziaływania ryzyka w warunkach konkretnych sytuacji decyzyjnych [Palisade Corporation 2001].

Celem szacowania ryzyka nie jest redukcja jego poziomu, ale raczej zwiększenie naszej wiedzy o ryzyku i lepsze jego zrozumienie, co znacznie ułatwi przedsięwzięcie właściwego działania [Torries 1998].

Według Simonsena i Perry'ego [1999], analiza ryzyka jest właśnie procesem identyfikowania możliwych skutków podejmowanych decyzji, a jej najważniejszym celem jest przewidzenie prawdopodobieństwa uzyskania planowanego zysku w danym okresie czasu. Ocena ryzyka stawia sobie zatem za zadanie znalezienie odpowiedzi na następujące pytania [Simonsen, Perry 1999]:

- 1) co może się wydarzyć?,
- 2) jakie jest prawdopodobieństwo tego, co się może wydarzyć?, oraz
- 3) jakie będą konsekwencje tego, co się wydarzy?

Analizę ryzyka można traktować jako przedsięwzięcie analityczne i opiniujące, którego zadaniem jest ocena ryzyka, związanego nieodłącznie z kluczowymi zmiennymi danej możliwości inwestycyjnej [Helfert 2000]. Podobna analiza przybierać może różne formy.

Według Runge'a [1998], analiza ryzyka, obejmuje stosowanie pewnych technik, których celem jest oszacowanie całości ryzyka projektu, mając w dyspozycji charakterystyki niepewności kosztów i przychodów. Proces ten obejmuje zmienianie kilku parametrów wejściowych w sposób jednoczesny oraz losowy, ale w odniesieniu do prawdopodobieństwa ich wystąpienia.

Ze względu na sposób ujmowania ryzyka w procesie decyzyjnym metody oceny ryzyka w dzieli się na [Kasiewicz, Rogowski 2004]:

- 1) metody bezpośrednie, w których ryzyko ujmowane jest bezpośrednio w kryterium decyzyjnym, związanym z określoną metodą oceny efektywności ekonomicznej, przez co stają się jednym z kryteriów decyzyjnych (np. stopa dyskontowa „dostosowana do ryzyka”, graniczny okres zwrotu, równoważnik pewności);
- 2) metody pośrednie, które służą do uzyskania dodatkowych informacji o poziomie ryzyka nie są więc włączane w samo kryterium efektywności; metody te nie stanowią więc bezpośrednio kryterium decyzyjnego (analiza wrażliwości, analiza scenariuszowa, analiza statystyczna).

W analizie zdyskontowanych przepływów pieniężnych ryzyko przedsięwzięcia znajduje odzwierciedlenie w dwojaki sposób:

- 1) „zewnątrznie”, jako procent w stopie dyskontowej „dostosowanej do ryzyka”,
- 2) „wewnętrznie”, w wyniku stosowania:
 - analizy wrażliwości (*sensitivity analysis*),
 - analizy scenariuszowej (*scenario analysis*).

Stosowanie analizy wrażliwości oraz analizy scenariuszowej pozwala na ujawnienie wewnętrznych charakterystyk ryzyka przedsięwzięcia. Analiza polega tu na zidentyfikowaniu i analizie czynników, decydujących o rentowności projektu, przeprowadzanym przy przyjętej z góry stopie dyskontowej.

Potencjał dla przeprowadzania szczegółowych analiz ryzyka niesie z sobą symulacja Monte Carlo (MC), która włącza do rachunku oceny ekonomicznej w pełnym zakresie niepewność parametru wejściowego, co ma jednocześnie eliminować konieczność stosowania „deterministycznej” stopy RADR.

8.1. Analiza wrażliwości projektu w rachunku deterministycznym

Jak piszą Kasiewicz, Rogowski [2004, za Rogowskim 2003], analiza wrażliwości jest najpopularniejszą metodą analizy ryzyka przedsięwzięć inwestycyjnych zarówno w Polsce jak i krajach wysokorozwiniętej gospodarce rynkowej. Analiza wrażliwości jest prostą analityczną metodą oceny ryzyka, polegającą na badaniu wpływu możliwych zmian kluczowych zmiennych uwzględnianych w ocenie efektywności przedsięwzięcia inwestycyjnego na poziom jego opłacalności (danego miernika efektywności – np. NPV lub IRR). Według definicji podanej przez Runge’a [1998] analiza wrażliwości jest procesem pomiaru efektu oddziaływania na kryteria inwestycyjne określonych zmian (plus lub minus) najważniejszych parametrów projektu. Najprostsza i najbardziej powszechna forma analizy wrażliwości bada zazwyczaj wpływ zmian jednej, wyselekcjonowanej zmiennej wejściowej na projekt, przy pozostawieniu pozostałych zmiennych na niezmiennym, stałym poziomie. Podstawowy problem każdej tego rodzaju analizy stanowi odpowiedź na pytanie: „co, jeśli ...?”. Przykładowo, jeśli cena sprzedaży zacznie spadać, jak sytuacja ta wpłynie na zwrot z inwestycji? W celu pomiaru ryzyka konieczne jest wykorzystanie prawdopodobieństwa wystąpienia danej zmiany. Analiza wrażliwości pomaga zrozumieć wpływ niepewności na wyniki projektu (skale oddziaływania parametrów na wyniki projektu); nie podaje jednakowoż wartości projektu dostosowanej do zakresu dostrzeżonej niepewności.

Analiza wrażliwości opiera się na założeniu, iż zarówno w trakcie budowy jak i fazie operacyjnej przedsięwzięcia inwestycyjnego wartości poszczególnych zmiennych wchodzących do rachunku efektywności ekonomicznej mogą ulegać zmianie.

Metoda posługuje się kilkoma podstawowymi pojęciami [Kasiewicz, Rogowski 2004]:

- zmiennej objaśnianej (zmiennej bazowej) – parametr na którym będzie przeprowadzana analiza (np. NPV lub IRR),
- zmiennych objaśniających – parametry występujące w algorytmie oceny efektywności przedsięwzięcia (np. cena, koszty operacyjne, itd.),
- zmiennych objaśniających niezależnych – parametry występujące w algorytmie oceny efektywności, których zmiana nie wpływa w sposób bezpośredni na inne zmienne.

Analizy wrażliwości jako punkt wyjścia przyjmują zazwyczaj przypadek podstawowy (oszacowany w oparciu o spodziewane wartości parametrów wejściowych) w metodzie DCF.

Algorytm analizy wrażliwości

Analiza wrażliwości stanowi rozwinięcie tradycyjnego modelu zdyskontowanych przepływów pieniężnych i ukierunkowana jest na zobrazowanie wpływu pojedynczej zmiennej bazowej na efektywność przedsięwzięcia. Ułatwia ona identyfikację parametrów kluczowych dla efektywności przedsięwzięcia.

W literaturze przedmiotu pod nazwą analizy wrażliwości występuje, pięć różnych technik analitycznych obejmujących [Kasiewicz, Rogowski 2004]:

- 1) procentową zmianę wielkości zmiennej objaśnianej wywołaną określoną, np. 5-procentową zmianą określonej zmiennej objaśniającej [Marcinek 1998]
- 2) procentową zmianę wielkości zmiennej objaśnianej wywołaną 1-procentową zmianą zmiennej objaśniającej – badanie elastyczności [Szczepankowski 1999],
- 3) wartość kryterium decyzyjnego (najczęściej opartego o NPV lub IRR) dla określonej wartości zmiennej objaśniającej [Dudycz, Wrzosek 2000],
- 4) określenie poziomu granicznego, będącego taką wartością określonej zmiennej objaśniającej, przy której wykorzystując oparte o tę metodę kryterium decyzyjne przedsięwzięcie inwestycyjne jest jeszcze opłacalne [Ostrowska 1999],

- 5) dopuszczalny procentowy poziom odchylenia poszczególnych zmiennych objaśniających wykorzystywanych w algorytmie modelu oceny efektywności ekonomicznej, przy których wykorzystując kryterium decyzyjne oparte o tę metodę przedsięwzięcie inwestycyjne jest jeszcze opłacalne [Marcinek 1998].

W najprostszej postaci analizy wrażliwości badany jest w wpływ procentowych odchyłeń poszczególnych zmiennych objaśniających na zmienną objaśnianą. Badanie poszczególnych zmiennych polega na tym, iż zakłada się określone odchylenia zmiennych objaśniających (wyrażone procentowo – np. od –30 do +30%) od ich wartości bazowych (prognozowanych) a następnie szacuje się opłacalność projektu przy nowym poziomie danej zmiennej objaśniającej. Kolejne obliczenia wykonuje się zmieniając poziom bazowy danej zmiennej objaśniającej zmieniając jej poziom o określony z góry procent (np. co 1 lub co 5, 10% – w zależności od przyjętej metodologii). Jak wspomniano, przyjmuje się przy tym założenie, że zmianie podlega tylko jedna zmienna niezależna (pozostałe zmienne niezależne pozostają na poziomie bazowym). Należy tu zaznaczyć, iż wraz ze zmianami zmiennej niezależnej mogą automatycznie ulegać zmianom zmienne zależne.

Prostym narzędziem, dzięki któremu można obserwować oddziaływanie parametrów na efektywność projektu w analizie wrażliwości, jest wykres krzywej wrażliwości zwany też wykresem pajęczym (*spider diagram*). Wykres ten może być wykorzystany do zaobserwowania, które czynniki przyczyniają się najbardziej do zmian zmiennej objaśnianej (np. NPV, IRR). Na wykresie tym na osi OX odkłada się procentową zmianę wartości parametrów (np. zwiększając i zmniejszając wartości parametrów przypadku podstawowego (bazowego) odpowiednio o 10, 20, 30%, itd.), a na osi OY procentową zmienną objaśnianą.

Analiza wrażliwości pozwala wskazać te zmienne objaśniające, których ewentualne odchylenia (ta sama zamiana procentowa) będą miały największy wpływ na ekonomikę przedsięwzięcia. Wpływ poszczególnych parametrów projektu na mierniki efektywności ekonomicznej mierzy się kątem nachylenia krzywej wrażliwości do osi OX. Jest to tzw. współczynnik wrażliwości:

$$SC = \frac{\frac{EC_i - EC_b}{EC_b}}{\frac{V_i - V_b}{V_b}} \quad (8.1)$$

gdzie:

SC – współczynnik wrażliwości miernika efektywności (np. NPV) na ustaloną zmianę wartości zmiennej objaśniającej V ,

V_i – i -ta wartość zmiennej objaśniającej,

EC_i – wartość miernika efektywności przy i -tej wartości zmiennej V_i ,

V_b – wartość bazowa zmiennej V ,

EC_b – wartość miernika efektywności dla zmiennej V_b .

Współczynnik wrażliwości informuje zatem, ile punktów procentowych zmiany zmiennej objaśnianej EC przypada na jeden punkt procentowy zmiennej objaśniającej V . Im większy kąt nachylenia krzywej wrażliwości, tym większy wpływ danego parametru na projekt (nawet niewielka zmiana jego wartości powoduje dużą zmianę miernika efektywności ekonomicznej). Jeśli współczynnik jest wielkością dodatnią oznacza to, że wzrost (spadek) wartości zmiennej objaśniającej powoduje spadek (wzrost) wartości zmiennej objaśnianej. Gdy z kolei współczynnik wrażliwości ma wartość dodatnią oznacza to, że wzrost (spadek) wartości zmiennej objaśniającej powoduje wzrost (spadek) wartości zmiennej objaśnianej.

Zerowa wartość współczynnika oznacza, że dana zmienna objaśniająca w ogóle nie wpływa na wartość zmiennej objaśnianej.

Analizę wrażliwości można przeprowadzać też w sposób pozwalający na uzyskanie odpowiedzi na następujące pytania:

- 1) jaki poziom wartości zmiennej objaśniającej wciąż zapewnia opłacalność projektu?
lub
- 2) jakie są dopuszczalne odchylenia poszczególnych niezależnych zmiennych objaśniających, gwarantujących jeszcze opłacalność projektu?

Przy wykorzystaniu analizy wrażliwości w procesie podejmowania decyzji inwestycyjnej osoba podejmująca decyzję otrzymuje informację o poziomie ryzyka w formie [Kasiewicz, Rogowski 2004]:

- wrażliwości bezwzględnego kryterium decyzyjnego opartego na określonej metodzie oceny efektywności ekonomicznej na zmianę elementów uwzględnianych w tej metodzie (niezależnych zmiennych objaśniających),
- wartości granicznych,
- marginesów bezpieczeństwa.

Przykłady zastosowania analizy wrażliwości w procesach analizy ryzyka górniczych projektów inwestycyjnych (górnictwo węgla kamiennego oraz rud cynku i ołowiu) przedstawiono w rozdziale 9.

Zalety i wady analizy wrażliwości

Jedną z największych zalet analizy wrażliwości jest identyfikacja parametrów, które w największym stopniu decydują o ekonomice projektu. Pozwala to inżynierom i analitykom na bardziej efektywne gromadzenie dodatkowych danych. Do zalet metody należy zaliczyć również jej przydatność dla uwypuklenia względnych różnic pomiędzy alternatywami inwestycyjnymi (różnymi projektami – np. projekt A *versus* projekt B). W tym kontekście kryterium decyzyjnym staje się wrażliwość projektu na zmiany parametru wejściowego

Z kolei do wad zaliczyć należy następujące fakty [Runge 1998]:

- 1) analiza wrażliwości sama w sobie nie pozwala na oszacowanie ryzyka przedsięwzięcia inwestycyjnego w odniesieniu do zmian danej zmiennej.
- 2) analiza sama przez się nie dostarcza żadnej wskazówki co do prawdopodobieństwa wystąpienia określonych zdarzeń (czyli, np., odpowiedzi na pytanie, czy – dajmy na to – 10-procentowy wzrost kosztów jest tak samo prawdopodobny, jak 10-procentowy wzrost przychodów?); projekty mogą być bardzo wrażliwe na zmiany wartości pewnych parametrów, ale wystąpienie tych zmian może być mało prawdopodobne;
- 3) analizy wrażliwości powołują się na założenie *ceteris paribus*, czyli że w trakcie badania danego parametru pozostałe parametry pozostają na niezmiennym poziomie; założenie to nie ma to żadnego związku z rzeczywistością – górnicze projekty inwestycyjne zmieniają się w czasie w odpowiedzi na ciągłe zmiany rynku; nigdy nie zdarza się, by przy zmianie jednego parametru reszta z nich pozostawała na niezmiennym poziomie – choćby ze względu na występujące między nimi korelacje.

Zalety i wady analizy wrażliwości zostały zestawione też tabelarycznie przez Kasiewicza, Rogowskiego 2004 (tab. 8.1).

Z uwagi na powyższe należy stwierdzić, że proste studia wrażliwości posiadają raczej ograniczone zastosowanie. Mogą one jednakowoż stanowić istotny punkt wyjścia do dalszych, bardziej skomplikowanych analiz.

Tabela 8.1. Zalety i wady analizy wrażliwości [Kasiewicz, Rogowski 2004]

Zalety	Wady
1) służy do identyfikacji ryzyka, wskazując obszary, które powinny być przedmiotem głębszej analizy; 2) jest użyteczna w ocenie przedsięwzięć rozwojowych, których ryzyko nie było wcześniej analizowane – gdy nie ma doświadczeń w zakresie podobnych przedsięwzięć inwestycyjnych w przeszłości; 3) jej wyniki można wykorzystać w innych metodach analizy ryzyka; 4) pozwala na bezpośrednie porównania ryzyka determinowanego przez różne niezależne zmienne objaśniające (dzięki możliwości przedstawienia wszystkich krzywych wrażliwości na jednym wykresie); 5) dostarcza – dzięki krzywym wrażliwości – użytecznej informacji o punktach granicznych, w których następuje zmiana kryterium decyzyjnego oraz umożliwi obliczenie marginesów bezpieczeństwa.	1) przyjmuje uproszczone, często nieodpowiadające rzeczywistości założenie <i>ceteris paribus</i> (iż badając określoną niezależną zmienną objaśniającą, pozostałe niezależne zmienne objaśniające pozostawiane są na niezmiennym poziomie); 2) jest analizą niekompletną z uwagi na fakt, iż ryzyko przedsięwzięcia zależy zarówno od: – wrażliwości kryterium decyzyjnego na zmiany niezależnych zmiennych objaśniających, oraz – zakresu prawdopodobnych wartości tych zmiennych odzwierciedlanych w ich rozkładach prawdopodobieństwa, a w analizie wrażliwości uwzględnia się tylko pierwszy czynnik.

Analiza probabilistyczna wprowadza kwestię prawdopodobieństwa – jeśli możliwe jest określenie prawdopodobieństwa pewnej zmiany (w charakterystyce parametru wejściowego), wówczas taka analiza pozwala na otrzymanie rozkładu prawdopodobieństwa NPV lub IRR.

8.2. Analiza scenariuszowa

W tradycyjnym podejściu pojedynczy wynik w analizie zdyskontowanych przepływów pieniężnych jest kombinacją oszacowanych przez analityka (zdeteminowanych) pojedynczych parametrów. Ponieważ analiza dotyczy sytuacji występujących w przyszłości, w modelu muszą być użyte wartości prognozowane [Kufel 1992]. Oczywiście ilość możliwych kombinacji parametrów projektu jest bardzo duża, choć równocześnie należy stwierdzić, że wystąpienie niektórych kombinacji parametrów jest bardziej prawdopodobne od innych.

Właśnie konieczność antycypowania wartości parametrów budzi tu największą wątpliwość, gdyż w dużej mierze jakość i wyniki analizy uzależnione są od doświadczenia i umiejętności analityka [Sobczyk 1995, Zarzecki 1998, Cieślak i in. 2002]. Ale żaden analityk nie może mieć stuprocentowej pewności odnośnie przyszłości – wkłada się tu błąd, związany z osobowością, subiektywnymi poglądami, opiniami analityka: niektóre oszacowania mogą być nazbyt optymistyczne, inne przeciwnie – zbyt pesymistyczne. Stąd zawsze analizy oceny efektywności ekonomicznej mieszczą w sobie duży zakres niepewności, a co za tym idzie, mogą być obarczone dużym błędem. Zdarzają się więc przypadki, że wynik rzeczywisty zupełnie nie pokrywa się z oszacowanym. Szczególnie dotyczy to projektów inwestycyjnych o dużej liczbie parametrów wejściowych, charakteryzujących się wysokim stopniem zmienności – za takie uchodzą projekty górnicze.

Pojedyncze przepływy pieniężne *pro forma* i wielkość NPV nie dają żadnych wskazówek w zakresie możliwych zmian wartości parametrów wejściowych, i tego jak mogą one wpłynąć na wartość projektu. Trzeba mieć na uwadze, że ilość możliwych kombinacji parametrów projektu jest bardzo duża, choć równocześnie należy stwierdzić, że wystąpienie niektórych ich kombinacji jest bardziej prawdopodobne od innych. Jednym ze sposobów,

pozwalających na określenie i zmierzenie tych niepewności, jest konstrukcja scenariuszy, biorących pod uwagę przewidywane rozpiętości parametrów wejściowych. Analitycy i inżynierowie mając świadomość, iż na poziom niepewności wpływają kombinacje wartości poszczególnych czynników, badają często wyniki różnych scenariuszy, w których zmieniają się kombinacje poszczególnych zmiennych.

Analiza scenariuszowa (*scenario analysis*) jest kolejnym powszechnie stosowanym narzędziem, umożliwiającym analizowanie ryzyka przedsięwzięcia w rachunku deterministycznym [m. in.: Torries 1998, Runge 1998, Wanielista i in. 2002, Rogowski 2003] analizy zdyskontowanych przepływów pieniężnych. W przeciwieństwie do analizy wrażliwości, metoda ta zakłada łączenie w ramach jednego scenariusza rozwoju sytuacji zmian wielu parametrów bazowych. Scenariusz jest projekcją przyszłości w zakresie wartości zmiennych objaśniających model ekonometryczny, w którym zmienną objaśnianą jest miernik wykonalności górniczego projektu inwestycyjnego (złoża). Należy tu podkreślić, że scenariusz nie stanowi prognozy. Jest raczej narzędziem pozwalającym na lepsze rozumienie ryzyka – menadżer stosujący scenariusze może powiedzieć: „jestem przygotowany na wszelkie ewentualności” [Runge 1998]. Analiza scenariuszy rozwinęła się po II Wojnie Światowej jako metoda planowania wojennego, przybrała jednakże nowy kształt w latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych ub. wieku.

W przedsiębiorstwach górniczych scenariusze mają szczególne zastosowanie w procesach oceny ekonomicznej projektów inwestycyjnych. W wymiarze międzynarodowym jest to problem wyboru lokalizacji inwestycji z uwagi na otoczenie kontekstowe i transakcyjne. W wymiarze krajowym i międzynarodowym planowanie scenariuszowe może dotyczyć efektywności i strategii zagospodarowania górniczego projektu inwestycyjnego w warunkach niepewności, w zakresie kształtowania się cen surowców mineralnych i stopnia rozpoznania złoża. Scenariusze mogą także dotyczyć technicznych i technologicznych aspektów eksploatacji złóż.

Zazwyczaj określa się trzy podstawowe scenariusze, czyli możliwe stany wystąpienia wartości parametrów projektu:

- 1) scenariusz optymistyczny (*best case*), skonstruowany na podstawie najbardziej optymistycznych szacunków parametrów; przypadek ten stanowi swoiste odzwierciedlenie maksimum informacji o projekcie;
- 2) scenariusz najbardziej prawdopodobny (*base case*), skonstruowany na podstawie oczekiwanych wartości parametrów;
- 3) scenariusz pesymistyczny (*worst case*), skonstruowany na podstawie wartości skrajnie pesymistycznych.

Summa summarum – scenariusz optymistyczny obejmuje sytuację, kiedy wszystkie niepewne parametry osiągają wartości najlepsze z możliwych; scenariusz pesymistyczny – gdy niepewne parametry przyjmują wartości najmniej korzystne.

Scenariusz najbardziej prawdopodobny (podstawowy albo „oczekiwany”) występuje wtedy, kiedy niepewne zmienne projektu przyjmują wartości spodziewane przez analityków i inżynierów (wartości „oczekiwane”); przypadek podstawowy konstruowany jest na podstawie „najlepszych” szacunków parametrów projektu, dlatego otrzymywana NPV jest często – choć błędnie – traktowana właśnie jako wartość oczekiwana projektu (w sensie statystycznym ten przypadek podstawowy nie jest prawdopodobnie wariantem oczekiwanym; przypadek oczekiwany może być określony jedynie w wyniku przeprowadzonej analizy prawdopodobieństwa, podczas gdy dla określenia przypadku podstawowego rozkład czynników wejściowych nie był rozważany). Dlatego prawdziwa wartość oczekiwana powinna być otrzymywana w sposób inny od przytoczonego.

Niektórzy autorzy [np. Wanielista i in. 2002, za Gierszewską, Romanowską 1997] wyróżniają większą liczbę scenariuszy (opisana dalej metoda Monte Carlo bierze pod uwagę nieskończoną liczbę scenariuszy):

- 1) scenariusze optymistyczne, które zakładają pozytywne tendencje (trendy) w przedsiębiorstwie i jego otoczeniu; scenariusze optymistyczne tworzy się w sposób, polegający na wybieraniu dla każdego procesu w poszczególnych sferach tego trendu, który ma największy pozytywny wpływ na firmę;
- 2) scenariusze pesymistyczne, zakładające negatywne tendencje w przedsiębiorstwie i jego otoczeniu; scenariusze pesymistyczne tworzą te trendy, które w odniesieniu do danego czynnika wywierają największy negatywny wpływ na przedsiębiorstwo;
- 3) scenariusze najbardziej prawdopodobne, które biorą pod uwagę najwyższe prawdopodobieństwo zmiennych; scenariusze najbardziej prawdopodobne składają się z trendów, które mają największe prawdopodobieństwo wystąpienia, niezależnie od potencjalnej siły pozytywnego czy negatywnego wpływu;
- 4) scenariusze niespodziankowe, które biorą pod uwagę najmniejsze prawdopodobieństwo zmiennych; scenariusze niespodziankowe zawierają te trendy, które – niezależnie od potencjalnej siły wpływu pozytywnego czy negatywnego – mają najmniejsze prawdopodobieństwo wystąpienia.
- 5) scenariusze bez niespodzianek, które biorą pod uwagę dotychczasowe doświadczenia przedsiębiorstwa i przekonanie o takim rozwoju wydarzeń całego kierownictwa,
- 6) scenariusze kwestionujące – stosowane wówczas, gdy istnieją uzasadnione przesłanki do zakwestionowania oficjalnych scenariuszy.

Dla każdego ze scenariuszy ocenia się efektywność przedsięwzięcia inwestycyjnego.

Przykłady zastosowania analizy scenariuszowej w procesach analizy ryzyka górniczych projektów inwestycyjnych z branż węgla kamiennego oraz cynku i ołowiu przedstawiono w rozdziale 9.

Zalety i wady analizy scenariuszowej

Zalety i wady analizy scenariuszowej zestawiono w tabeli 8.2. Wartość poszczególnych parametrów w zakresie danego scenariusza wynika z przyjętych założeń dotyczących przewidywanego rozwoju wydarzeń. W związku z tym, możliwe jest w tym przypadku ustalenie logicznych zależności pomiędzy poszczególnymi zmiennymi (co nie było możliwe

Tabela 8.2. Zalety i wady analizy scenariuszowej [Mielcarz 2004, Torries 1998]

Zalety	Wady
1) przystępność i stosunkowa prostota rachunku, 2) łączenie w ramach jednego scenariusza rozwoju sytuacji zmian wielu parametrów bazowych; 3) możliwość ustalenia logicznych zależności pomiędzy poszczególnymi zmiennymi; 4) możliwość konstrukcji planów przedstawiających zaistnienie danego zdarzenia oraz reakcji osób podejmujących decyzję na planowaną sytuację; 5) stwarzanie namiastki wyceny opcji realnych.	1) umożliwia nadanie prawdopodobieństwa materializacji całego scenariusza ale nie poszczególnych zmiennych czy zdarzeń w jego ramach; 2) podejmowanie decyzji w oparciu jedynie o ograniczoną liczbę scenariuszy – duże szanse popełnienia błędu.

w analizie wrażliwości) [Mielcarz 2004]. Analiza scenariuszowa w swojej najbardziej powszechnej wersji poszczególnym możliwym scenariuszom rozwoju sytuacji – najczęściej

na podstawie obserwacji historycznych lub w systemie eksperckim – przypisuje prawdopodobieństwa zaistnienia. Umożliwia to nie tylko kalkulację wartości miernika efektywności ekonomicznej, ale i obliczenie jego odchylenia standardowego.

Analiza scenariuszowa stosowana jest powszechnie ze względu na przystępność i stosunkową prostotę rachunku [Torries 1998]. Trzeba tu jednak podkreślić, że może być ona bardzo niebezpiecznym narzędziem dla dokonującego oceny, gdyż inwestor stosujący tę analizę, może łatwo podjąć błędną decyzję (decydent podejmuje decyzje na podstawie tylko trzech oszacowań: podstawowego, optymistycznego i najmniej korzystnego, dla których założenia odnośnie do poziomu danych wejściowych mogą być obarczone dużym błędem). Analiza scenariuszowa może być bardzo pożyteczna, ale powinna być stosowana z dużą ostrożnością.

8.3. Metoda symulacyjna Monte Carlo

Jak wspomniano, analiza ryzyka związanego z projektem inwestycyjnym jest przeprowadzana zazwyczaj w dwojaki sposób:

- 1) poprzez stosowanie analizy wrażliwości,
- 2) poprzez stosowanie analizy scenariuszowej.

W przypadku tradycyjnej analizy scenariuszowej ryzyko związane z niepewnością danych wejściowych odślania się zazwyczaj w trzech głównych wariantach scenariuszy przyszłych zdarzeń: podstawowym (najbardziej prawdopodobnym), pesymistycznym, i optymistycznym.

Jak wspomniano, analiza scenariuszowa stosowana jest powszechnie ze względu na przystępność i stosunkową prostotę rachunku. W związku z badaniami nad metodą scenariuszową pojawiła się kwestia liczby analizowanych scenariuszy. Zrodził się naturalnie pomysł, iż najlepszą metodą analizy ryzyka związanego z projektem byłaby metoda analizy nie kilku, ale jak największej liczby (najlepiej wszystkich) możliwych scenariuszy. Taką możliwość daje analiza probabilistyczna, wykorzystująca metodę zwaną „Monte Carlo”, której twórcą jest wybitny polski matematyk Stanisław Ulam. Sam termin „Monte Carlo” (nazwa pochodzi od Ulama i von Neumanna) wprowadzony został jako kryptonim podczas badań (Manhattan Project) nad bronią atomową [Eckhard 1987]. U podstaw metody (która opiera się na idei procesu Markowa) leży myśl, iż wiele zależności powstających w nieprobabilistycznych okolicznościach łatwiej jest ocenić na drodze eksperymentów stochastycznych niż standardowymi metodami analitycznymi. Metodę Monte Carlo (MC) można w istocie traktować jako doskonałą formę analizy scenariuszowej, gdyż rozważa ona równocześnie prawie wszystkie możliwe scenariusze przedsięwzięcia. W analizie tej niepewne parametry (zmienne) projektu wchodzi do rachunku pod postaciami rozkładów prawdopodobieństwa. Można powiedzieć więc, iż określone z góry pojedyncze wartości niepewnych parametrów (deterministyczne), zastąpione zostają obiektywną informacją w postaci rozkładów prawdopodobieństwa, czyli szeregów możliwych wartości parametru z prawdopodobieństwami ich wystąpienia. Takie podejście pozwala na uzyskanie obiektywnej informacji, reprezentującej cały zakres możliwych wyników przedsięwzięcia i ułatwiającej świadome podejmowanie decyzji w warunkach ryzyka.

Podobne symulacje stochastyczne można było przeprowadzać już we wczesnych latach osiemdziesiątych ub. wieku przy zastosowaniu algorytmów pisanych dla dużych maszyn obliczeniowych [Rajski, Tyszer 1986, Davis 1995b]. Pierwsze publikacje w języku polskim na temat metody pochodzą z lat 60- i 70-tych XX w. [Buslenko i in. 1967, Zieliński 1970, 1972, Jermakow 1976, Perkowski 1980]. Do czasu rozpowszechnienia komputerów osobistych i programów z arkuszami kalkulacyjnymi przeprowadzanie podobnych symulacji

było niewygodne i trudne. I nawet później, pomimo większej już powszechności komputerów, badanie wpływu niepewności na wartość projektów ograniczało się wyłącznie do stosowania analizy wrażliwości, przeprowadzanej poprzez kolejne „ręczne” przeliczenia kolejnych wartości NPV dla poszczególnych zmian wartości parametrów wejściowych. Jednak te „statyczne” wyniki były krytykowane przez inżynierów i ekonomistów, gdyż nie dokonywano tu modelowania współzależności niepewnych zdarzeń.

Obecnie analitycy mogą stosunkowo łatwo i skutecznie przeprowadzać tego typu analizy z zastosowaniem relatywnie niedrogiego oprogramowania i odpowiednio dobrego sprzętu [Banks 1993, Podgórski 1996]. Programy komputerowe pozwalające na przeprowadzanie analizy MC (Crystal Ball, @RISK) pozwalają na generowanie dla pojedynczego projektu tysięcy wariantów przepływów pieniężnych (tysięcy scenariuszy) i otrzymanie w efekcie tysięcy możliwych wartości wyniku (np. wartości NPV lub IRR), a w rezultacie na skonstruowanie jego rozkładu prawdopodobieństwa. I tak, np., średnia możliwych wartości NPV, otrzymana z symulacji MC, reprezentuje definiowaną statystycznie wartość oczekiwaną projektu.

Pierwsze zastosowanie symulacji komputerowej do oceny inwestycji miało miejsce w 1964 roku [Hertz 1964].

W Polsce natomiast pierwsza praca dotycząca wykorzystania metod symulacyjnych w ekonomii pochodzi z 1975 roku [Naylor 1975]. Symulacja MC dla celów analizy ryzyka przedsięwzięć w procesach oceny ekonomicznej znajduje w naszym kraju coraz większą popularność. Problematykę tę porusza wzrastająca liczba autorów [np. Lipiec-Zajchowska 1990, Dominiak 1998, Chyliński 1999, Orylska, Cegłowski 2000, Hejduk 2001, Syska 2004, i in.].

Wykorzystanie symulacji stochastycznej do oceny efektywności ekonomicznej górniczego projektu inwestycyjnego po raz pierwszy szerzej omówił Cavender [1992]. Jego znany artykuł pt. *Determination of the Optimum Lifetime of a Mining Project using Discounted Cash Flow and Option Pricing Techniques* („Określenie optymalnego czasu istnienia górniczego projektu inwestycyjnego przy wykorzystaniu metod zdyskontowanych przepływów pieniężnych oraz wyceny opcji”) wywołał burzliwą dyskusję w środowisku. Jego skutkiem były kolejne artykuły i opracowania [Malozemoff 1993, Smith 1993, Cavender 1993, Le Bel 1993, Cavender 1993a, Davis 1995b].

8.3.1. Procedura symulacji

Symulować to znaczy odtworzyć istotę systemu lub jego działanie bez rzeczywistego uruchamiania samego systemu. Symulacja to taka forma eksperymentowania na modelu komputerowym, która dostarcza, między innymi, odpowiedzi na pytanie, jak system będzie się zachowywał w określonej sytuacji [Gogg, Mott 1993, Ross 1997, Nowak 2001, Milo i in. 2002, i in.]. Traktowanie modelu jako duplikatu systemu pozwala, między innymi, przenosić wnioski z badań na modelu komputerowym na system, zgodnie z zasadami budowy modeli [Law, Kelton 1982, Rajski, Tyszer 1986, Nowak 2001]. Według Naylora [1975] symulacja to technika numeryczna, służąca do dokonywania eksperymentów na pewnych rodzajach modeli matematycznych, które opisują przy pomocy maszyny cyfrowej zachowanie się złożonego systemu w ciągu długiego okresu czasu. Symulacja jest więc elastyczną techniką badania złożonych systemów w czasie lub określonej chwili.

Symulację z wykorzystaniem metody MC nazywa się symulacją stochastyczną. Według definicji, metoda MC polega na przedstawieniu rozwiązania postawionego problemu w postaci parametru pewnej hipotetycznej populacji i używaniu losowej sekwencji liczb do tworzenia próbki tej populacji, na podstawie której można dokonać statystycznego

oszacowania wartości badanego parametru. Procedurę symulacji MC przedstawić można dla modelu oceny efektywności ekonomicznej górniczego projektu inwestycyjnego.

Metoda obejmuje tu następujące kroki [Vose 1996, Nowak 2001, Saługa 2000a, 2001]:

1. Skonstruowanie modelu w arkuszu kalkulacyjnym.
2. Zidentyfikowanie najistotniejszych (najlepiej wszystkich) niepewnych parametrów wejściowych i określenie parametrów wyjściowych.
3. Przygotowanie danych do symulacji.
 - 3.1. Określenie rozkładu prawdopodobieństwa każdego z niepewnych parametrów wejściowych i dopasowanie ich do konkretnych rozkładów statystycznych.
 - 3.2. Zidentyfikowanie zmiennych zależnych i określenie stopnia korelacji pomiędzy nimi.
4. Symulacja.
 - 4.1. Generowanie liczb losowych celem wyboru wartości dla każdego parametru wejściowego z jego rozkładu prawdopodobieństwa (próbkowanie).
 - 4.2. Sukcesywne podstawianie szeregów wygenerowanych wartości zmiennych wejściowych do arkusza przepływów pieniężnych, kolejne przeliczenia wartości parametrów wyjściowych i dodawanie obliczonych wartości do listy wyników.
5. Analiza wyników.
 - 5.1. Interpretacja uzyskanych statystyk (w tym odchyleń standardowych) poszczególnych parametrów wyjściowych.
 - 5.2. Analiza rozkładów prawdopodobieństwa wartości, jakie mogą przybierać.
 - 5.3. Analiza wrażliwości i analiza scenariuszowa.

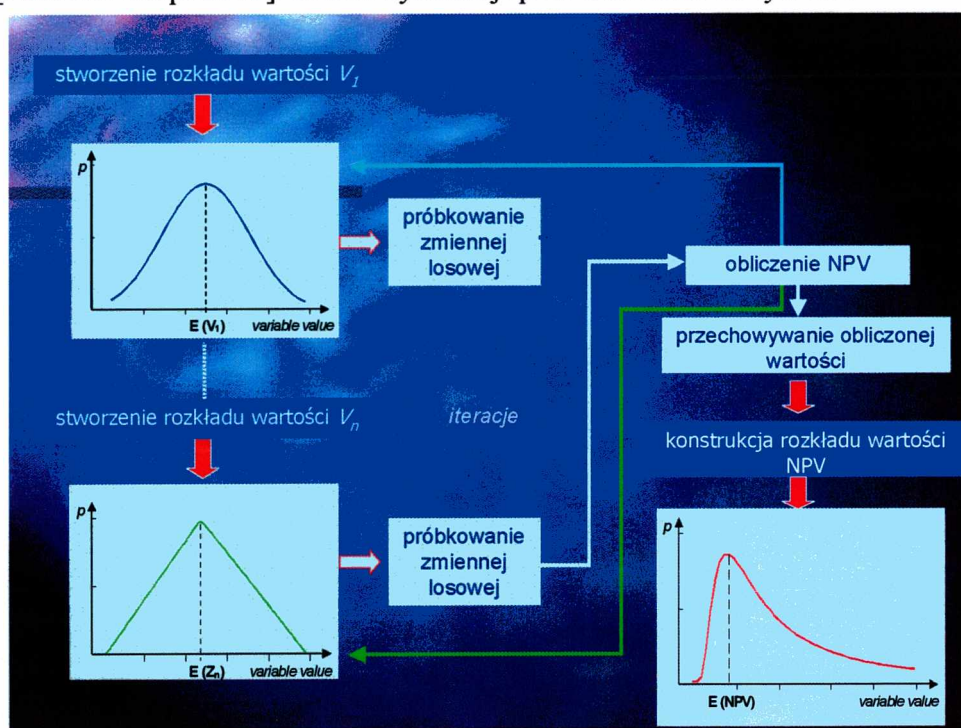
Procedura symulacji MC rozpoczyna się zatem skonstruowaniem bazowego arkusza przepływów pieniężnych przedsięwzięcia, ujmującego wszystkie istotne zależności logiczno-matematyczno-ekonomiczne pomiędzy zmiennymi wejściowymi.

Kolejnym krokiem jest zidentyfikowanie zmiennych krytycznych, czyli parametrów wejściowych, które mogą mieć najistotniejszy wpływ na ekonomikę projektu oraz sporządzenie listy parametrów (zmiennych) wyjściowych (np. poszczególnych przepływów pieniężnych, wskaźników efektywności – NPV lub IRR), będących przedmiotem analizy.

Następnym etapem jest określenie szeregów wartości jakie mogą przyjmować niepewne parametry wejściowe, z prawdopodobieństwami ich wystąpienia, a na ich podstawie rozkładów prawdopodobieństwa tych zmiennych. Dopasowanie rozkładu rzeczywistego do konkretnego rozkładu statystycznego jest zadaniem trudnym (w statystyce występuje kilkadziesiąt znanych rozkładów [Niemiro 1999, Hryniewicz 2001, Durka 2003, i in.]) – wykonuje się to zwykle za pomocą testów statystycznych – np. χ^2 , Kolmogorowa-Smirnowa, itd. Rozkłady konstruuje się w oparciu o analizy inżynierskie, eksperckie lub analizy danych historycznych. Należy tu silnie podkreślić, że zmienne mają przybierać wartości prognozowane, czyli że ich rozkłady mają odzwierciedlać przyszłość, a nie przeszłość. Jest to zasadniczy problem wszystkich analiz ekonomicznych. W przypadkach, gdy dysponujemy niewielką liczbą danych (np. wartością minimalną, oczekiwaną i maksymalną) zaleca się stosowanie prostych rozkładów trójkątnych [Łucki i in. 1990], w których wartości najmniejsza i największa mają małe prawdopodobieństwo wystąpienia (powiedzmy – mniej niż 5%), a największe prawdopodobieństwo wystąpienia posiadają wartości estymowane (takie podejście do zagadnienia jest oczywiście dyskusyjne, ale czasami jest to jedyne rozwiązanie). Istotnym krokiem jest sprawdzenie występowania korelacji pomiędzy zmiennymi wejściowymi, a w przypadku jej występowania określenie stopnia korelacji. Jeśli jakiegokolwiek zmienne są skorelowane – dodatnio bądź ujemnie – korelacja ta wpływa na rozkład wyniku (rozkład ten będzie się różnił od rozkładu otrzymywanego bez

uwzględnienia korelacji). W programach do symulacji MC mogą być użyte zmienne zależne – np. w przypadku górniczych projektów inwestycyjnych zawartość składnika użytecznego może być skorelowana z uzyskiem i efektywnością procesu przerobczego, wskaźnik granicznej zawartości składnika z ceną metalu i tempem produkcji, stopa inflacji z kosztami operacyjnymi i ceną metalu, koszty paliw z kosztami energii, itd. [Cavender 1992, Le Bel 1993].

Proces symulacji polega na sukcesywnym generowaniu liczb losowych, stosowanych do wyboru z rozkładu prawdopodobieństwa każdego niepewnego parametru wejściowego zmiennych losowych (wartości wraz z ich prawdopodobieństwami) [Wieczorkowski, Zieliński 1997]. W ten sposób każdorazowo otrzymuje się zbiory zmiennych losowych. Generowanie liczb losowych jest w dobie komputerów osobistą czynnością prostą – umożliwiają je arkusze kalkulacyjne Lotus 1-2-3 bądź MS Excel [Szapiro i in. 2000]. Wygenerowane wartości wstawiane są do odpowiednich komórek arkusza kalkulacyjnego po czym następuje przeliczenie arkusza (rozwiązanie modelu i dodanie obliczonych wartości parametrów wyjściowych do list wyników (pojedyncze rozwiązanie otrzymane po wstawieniu wartości konkretnych zaburzeń nazywamy replikacją). Opisany proces powtarza się tyle razy, aby uzyskać wystarczającą dla analizy statystycznej liczbę różnych kombinacji wartości zmiennych oraz wystarczającą ilość wartości parametrów wyjściowych (ustabilizowanie statystyk i kształtów rozkładów wynikowych) [Kutner 1989, Vose 1996, Palisade Corp. 2001, Walczak i in. 2003, i in.] Operacja powtarzana n -krotnie daje próbę zawierającą n replikacji. Im większa liczba niepewnych parametrów wejściowych, tym liczba przeliczeń musi być większa [Palisade Corp. 2001]. Proces symulacji przedstawiono na rys. 8.1.



Rys. 8.1. Schemat symulacji Monte Carlo [opr. własne]

Symulacja stochastyczna rozumiana jako próbkowanie modelu, oznacza generowanie reprezentatywnej próby zmiennych niezależnych (egzogenicznych) modelu, aby następnie wyliczyć pewne sumaryczne charakterystyki trajektorii, po jakiej będą zmienne zależne (endogeniczne) modelu, w domyśle – także zmienne zależne modelowanego systemu. Próbkowanie modelu pozwala na określenie charakteru rozkładów wynikowych tam, gdzie zastosowanie technik analitycznych jest zawodne.

W wyniku symulacji otrzymuje się zbiory możliwych wartości parametrów wyjściowych z prawdopodobieństwami ich wystąpienia; wyniki prezentowane są w formie numerycznej i graficznej. W oparciu o te dane konstruuje się rozkłady prawdopodobieństwa tych parametrów – również w wersji skumulowanej (dystrybuant). Wykres dystrybuanty przedstawia dużą ilość wartościowych informacji, istotnych dla procesu podejmowania decyzji. Analizując rezultaty można sobie udzielić odpowiedzi na pytanie, jakie jest prawdopodobieństwo wystąpienia określonych wartości – na przykład prawdopodobieństwo niepowodzenia projektu. Symulacja dostarcza również szczegółowej informacji o statystykach rozkładów parametrów wyjściowych, w tym wartości oczekiwanej ich rozkładów (np. oczekiwanej wartości inwestycji).

8.3.2. Analiza ryzyka projektu realizowana przy wykorzystaniu programu @RISK

Program @RISK firmy Palisade Corporation służy przeprowadzania ilościowej analizy ryzyka projektów inwestycyjnych z pomocą symulacji MC [Palisade Corp. 2001]. Program jest nakładką na MS Excel. Wersja 4.0 programu obejmuje w sobie funkcje programu RISKview.

Przez analizę ryzyka, jak to już zostało powiedziane, rozumie się każdą metodę – ilościową lub jakościową – pozwalającą na oszacowanie oddziaływania ryzyka w warunkach konkretnych sytuacji decyzyjnych.

Analiza ryzyka w modelu symulacyjnym obejmuje zazwyczaj następujące kroki [Palisade Corp. 2001]:

- 1) opracowanie modelu,
- 2) zdefiniowanie rozkładów dla zmiennych probabilistycznych,
- 3) zdefiniowanie komórek prognozowanych (wynikowych),
- 4) określenie liczby przeliczeń (iteracji),
- 5) symulację,
- 6) interpretację wyników.

Krok pierwszy obejmuje stworzenie modelu matematycznego z zależnościami logiczno-matematyczno-ekonomicznymi w arkuszu kalkulacyjnym. Krok drugi mieści w sobie zidentyfikowanie wszystkich niepewnych zmiennych, wchodzących do modelu, ustalenie stopnia korelacji pomiędzy nimi, a następnie wprowadzenie do ich komórek funkcji rozkładów prawdopodobieństwa programu @RISK, służących do definiowania zakresu niepewności i opisu ryzyka (rys. 8.2). Krok trzeci obejmuje określenie interesujących nas komórek wyjściowych. Kroki czwarty i piąty obejmują właściwą symulację. Kroki te opisane zostały powyżej.

Funkcja RISKview pozwala na dokonywanie przeglądu i analizy wprowadzonych do modelu rozkładów prawdopodobieństwa. Funkcja ta w przystępny sposób edytuje każdy rozkład prawdopodobieństwa występujący w modelu, oraz pozwala na wprowadzanie modyfikacji formuł.

Symulacja w programie @RISK obejmuje sukcesywne przeliczanie arkusza kalkulacyjnego. Takie przeliczenie nazywane jest iteracją. Liczba iteracji wpływa na czas symulacji oraz jakość i dokładność wyników.

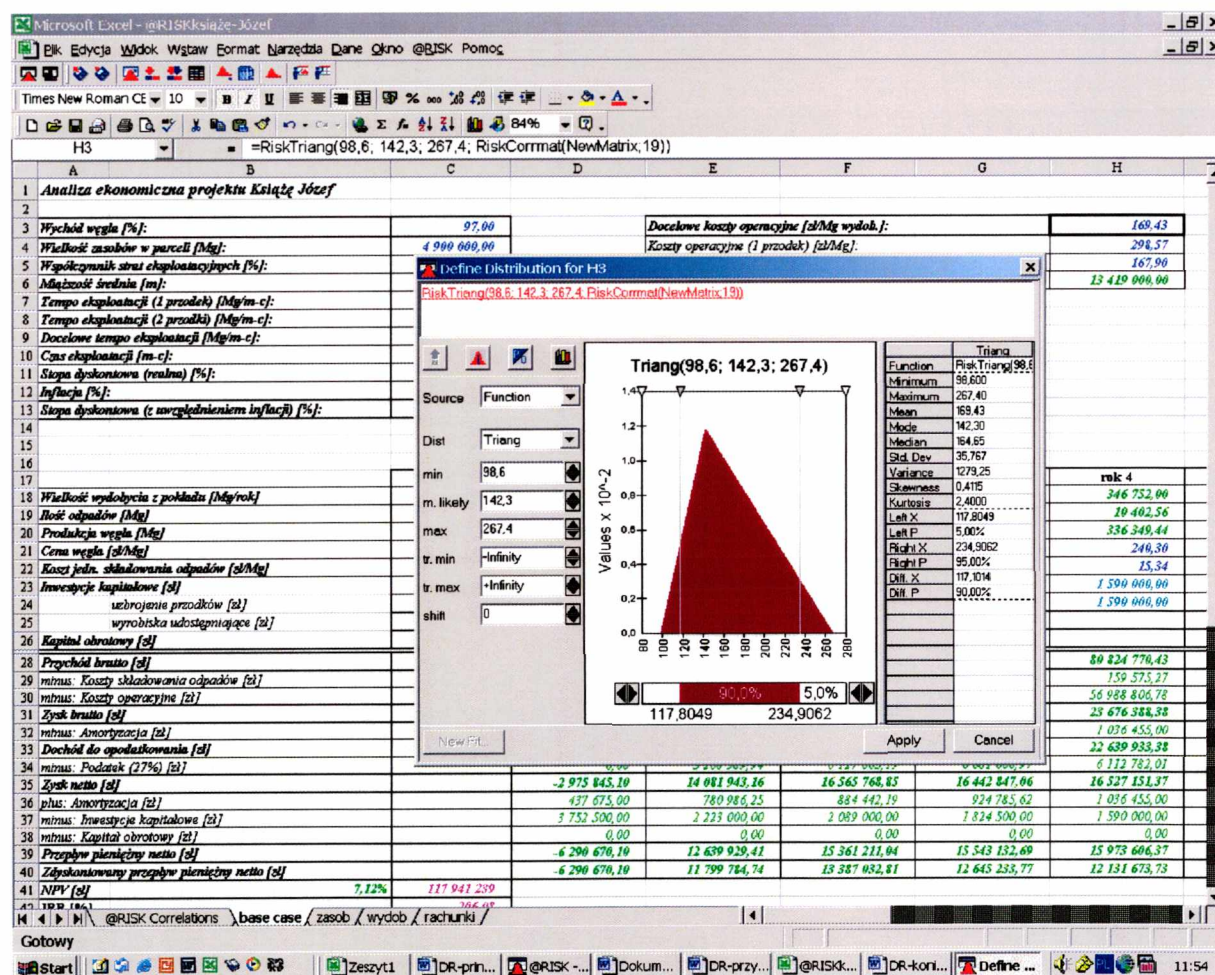
W trakcie każdej iteracji następuje:

- 1) próbkowanie wszystkich rozkładów prawdopodobieństwa wszystkich niepewnych zmiennych wejściowych;
- 2) wstawienie wygenerowanych wartości do komórek arkusza kalkulacyjnego;
- 3) przeliczenie arkusza;
- 4) dodanie wyniku do „schowka”.

W trakcie symulacji program @RISK dla każdego rozkładu wynikowego monitoruje każdorazowo trzy statystyki: średnią zmianę procentową wartości percentylu (od 0 do 100% w krokach co 5%), wartość średnią oraz odchylenie standardowe. W trakcie monitoringu program liczy zbiór statystyk dla każdego wyniku w określonym interwale (np. co 100, 200, itd., iteracji). Statystyki te porównywane są następnie z analogicznymi statystykami obliczonymi w poprzednim interwale, po czym liczy się wielkość zmiany tych statystyk.

Po zakończeniu symulacji wyświetla się automatycznie okno główne programu @RISK z tabelami wyników i statystyk symulacji. Tabela wyników dostarcza sumarycznych rezultatów odnośnie wykonanej symulacji zarówno dla komórek danych wejściowych jak i zmiennych wyjściowych – z wartościami minimalnymi, średnimi i maksymalnymi łącznie oraz szczegółowych statystyk odnośnie każdej komórki wynikowej i każdego rozkładu wejściowego. Okno główne posiada także sekcję wartości docelowych. Sekcja wartości docelowych pozwala na znalezienie prawdopodobieństwa wystąpienia określonych wartości. Jest to bardzo interesująca funkcja programu. Jeśli, przykładowo, zadamy pytanie o szanse, że NPV będzie większa od 0, program @RISK automatycznie przeliczy procent wartości, które są większe lub równe zero.

Jedną z najważniejszych zalet programu @RISK jest możliwość generowania wystarczającej ilości danych dla konstruowania wykresów. O ile statystyki dostarczają wartościowej informacji numerycznej, to dane wyjściowe są jednak w lepszy sposób opisywane wykresami. Program @RISK może przedstawiać rozkłady możliwych wartości wyniku w dwóch postaciach: histogramów i dystrybuant. Histogram stanowi graficzną reprezentację niepewności związanej z parametrem wyjściowym. Bardziej interesującą



Rys. 8.2. Arkusz kalkulacyjny Excela z funkcjami programu @RISK

ilustracją wydaje się być jednak wykres w formie skumulowanej. Wykres ten przedstawia prawdopodobieństwo wystąpienia wyniku mniejsze lub równe od jakiegokolwiek wartości zżądanego przedziału.

Program pozwala też na przeprowadzanie analizy wrażliwości i porządkowanie parametrów wejściowych według siły oddziaływania na poziom parametru wyjściowego. Wrażliwość w programie @RISK mierzona jest na dwa sposoby: wielowariantowa regresja krokowa mierzy zmianę wybranego wyniku w zależności od jednostkowej zmiany konkretnej danej wejściowej (w jednostkach odchylenia standardowego od średniej parametru wyjściowego); z kolei korelacja porządkująca mierzy stopień korelacji pomiędzy zbiorami danych wejściowych i wyjściowych. Wartość „0” oznacza oczywiście, że dany parametr wejściowy nie wpływa na poziom wyniku. Im większe wartości współczynników, tym silniejszy wpływ konkretnej danej wejściowej na wynik. Znak „+” oznacza, że wzrost parametru wejściowego powoduje wzrost parametru wyjściowego; znak „-” przeciwnie: zwiększanie poziomu danej wejściowej powoduje zmniejszanie się wartości wyniku.

8.3.3. Zalety, wady i ograniczenia symulacji Monte Carlo

Symulacja MC charakteryzuje się dużą liczbą zalet. Dzięki niej uzyskuje się szereg cennych informacji statystycznych, pozwalających na dobrą orientację co do zakresu ryzyka związanego z danym przedsięwzięciem – głównie dzięki możliwości otrzymania szerokiego przedziału możliwych wartości danego wskaźnika efektywności wraz z prawdopodobieństwami ich wystąpienia. Symulacja – pod warunkiem uwzględnienia preferencji inwestora do ponoszenia ryzyka (przy stopie „wolnej od ryzyka”) lub zastosowania stopy dyskontowej „dostosowanej do ryzyka”, oraz przy poprawnym określeniu rozkładów niepewnych zmiennych wejściowych, daje wiarygodne oszacowanie oczekiwanej wartości danego miernika efektywności, statystyk jego rozkładu i pozwala na znalezienie prawdopodobieństwa wystąpienia określonych wartości – np. prawdopodobieństwa, że wartość NPV będzie mniejsza (bądź większa) od 0 [Saługa 2000a, 2001, 2003a, Saługa, Kicki 2002]. Histogram możliwych wartości parametru wyjściowego pokazuje niepewność w otoczeniu jego wartości oczekiwanej. Jest to użyteczne również w wypadku porównywania kilku podobnych projektów – wówczas wybór jest znacznie ułatwiony [Dominiak 1998, Orylska, Ceglowski 2000, Hejduk 2001]. W sytuacjach finansowania kredytem, wyniki symulacji MC umożliwiają określenie prawdopodobieństwa wystąpienia takich przepływów pieniężnych netto, które wystarczą na całkowite spłacenie kredytu [Chyliński 1999].

Pomimo ewidentnych zalet praktyczne wykorzystanie analizy MC w procesach oceny ekonomicznej i analizy ryzyka przedsięwzięć inwestycyjnych znajduje wciąż niewielkie zastosowanie. Aby zrozumieć, dlaczego tak się dzieje należy wyszczególnić jej wady i ograniczenia:

1. Niezbędność określania rozkładów prawdopodobieństwa wartości niepewnych parametrów wejściowych. Rozkłady te są częstokroć trudne do uzyskania lub ich wiarygodność jest niska. Struktura każdego rozkładu powinna wynikać z eksperckiego oszacowania przyszłej rzeczywistości [Wrzosek 1994], co również nie jest zadaniem prostym. W pewnych przypadkach, aby uzyskać wiarygodne rozkłady prawdopodobieństwa tych zmiennych trzeba się po prostu liczyć z koniecznością głębokiej i żmudnej analizy dostępnych danych i częstokroć wnikliwej dyskusji z czynnikami kopalnianymi. Wypada tu jednak z drugiej strony podkreślić, że analitycy nie zawsze zdają sobie sprawę z każdorazowego formułowania rozkładów prawdopodobieństwa w deterministycznej analizie scenariuszowej, gdyż określanie wartości najbardziej prawdopodobnej, oraz możliwie najwyższej i najniższej jest

właśnie przyjmowaniem parametrów jakiegoś nieznanego w formie rozkładu prawdopodobieństwa. Trzeba mieć na uwadze, że określenie tych rozkładów wcale nie jest łatwiejsze niż rozkładów niezbędnych dla właściwego przeprowadzenia analizy MC [Torries 1998]. Należy tu jednak wspomnieć o jeszcze jednym istotnym aspekcie. Powszechnie znaną wadą symulacji MC jest to, że dynamiczne wahania niektórym parametrów w żaden sposób nie pozwalają się dopasować do jakiegokolwiek statycznej krzywej prawdopodobieństwa (np. ceny surowców mineralnych – wiele z nich z roku na rok nie fluktuuje losowo, ale według modeli cyklicznych), będącej jakąś formą szeregów czasowych. Wada ta jest zazwyczaj pomijana milczeniem ze względu na fakt, że jak dotąd nie znaleziono skutecznego sposobu, aby ją przezwyciężyć [Taylor 1995].

2. Konieczność określenia stopnia korelacji pomiędzy parametrami wejściowymi. Jest to niezwykle ważne zagadnienie, jako że stopień korelacji jest czynnikiem silnie wpływającym na wynik projektu. Zidentyfikowanie parametrów zależnych, a co za tym idzie – określenie stopnia korelacji pomiędzy nimi – jest często zadaniem trudnym i wymagającym od analityka głębokiej wiedzy i doświadczenia. Dlatego należy poświęcić mu odpowiednią ilość uwagi. Niektóre parametry (np. wskaźniki zawartości metali i tonaż rudy) są skorelowane przestrzennie; zatem proces symulacji nie może być realizowany tylko poprzez losowe ciągnięcie wartości z określonych rozkładów [Dowd 1995]. Należy tu jednak zaznaczyć, że korelacja jest zagadnieniem równie ważnym w przypadku przeprowadzania analizy scenariuszowej w ujęciu deterministycznym – a zatem nie jest to żaden argument, który przemawiałby przeciw stosowaniu symulacji MC. Na szczęście, liczba par parametrów wejściowych skorelowanych ze sobą jest częstokroć niewielka.
3. Część z modeli probabilistycznych nie uwzględnia ograniczeń technicznych eksploatacji; powinny być one włączone do analizy ryzyka i harmonogramu produkcji [Dowd 1995].
4. Jedną z głównych słabości metod dyskontowych – zatem i analizy MC – związana jest generalnie ze statyczną i nieelastyczną naturą samej analizy zdyskontowanych przepływów pieniężnych (stąd jest to również słabość metod deterministycznych). Analiza DCF nie bierze pod uwagę – jak to ma miejsce w rzeczywistości – możliwości elastycznego reagowania menedżerów przedsiębiorstw górniczych w zakresie realizacji procesu produkcji na zmiany na rynkach surowcowych. Ta „elastyczność” ma naturalnie swoją wartość – stąd, przykładowo, uzyskane rozkłady NPV będą przedstawiać wielkości zaniżone w stosunku do rzeczywistych (rachunek opcji).
5. Przeprowadzenie symulacji stochastycznej zajmuje dużo więcej czasu niż stosowanie klasycznych metod deterministycznych a należy tu zaznaczyć, że zazwyczaj analitycy muszą dokonać oceny kilku projektów. Wypada tu jednakże powiedzieć, że w przypadku dużych projektów inwestycyjnych korzyść związana z zastosowaniem symulacji stochastycznej jest dużo większa od kosztu, związanego z dłuższym czasem analizy.
6. Wielu analityków – a jeszcze większa liczba osób podejmujących decyzje inwestycyjne nie rozumie i nie chce rozumieć wyceny probabilistycznej i lepiej czuje się, stosując metody klasyczne. Jak pisze Torries [1998], sytuacja taka panowała przynajmniej w ciągu ostatnich 20 lat – nowocześni menadżerowie coraz częściej stosują te zaawansowane metody oceny.
7. Symulacja MC – inaczej niż metody klasyczne – nie podpowiada nam jednoznacznie, jaką decyzję podjąć. Jest to szczególnie widoczne, w przypadku porównywania i klasyfikowania dwóch lub więcej projektów. Analiza stochastyczna

dostarcza informacji odnośnie różnorodnych atrybutów: wielkości maksymalnej straty, wielkości maksymalnego i oczekiwanego zysku, jednak same rozkłady możliwych NPV nie sygnalizują, który projekt powinien być wybrany – inwestor musi wiedzieć, w jaki sposób interpretować wyniki. Paradoksalnie wydaje się więc, iż symulacja MC nie jest szeroko stosowana z powodu swojej największej zalety – dużej ilości uzyskiwanych informacji [Torries 1998].

Przykłady zastosowania symulacji MC i programu @RISK do analizy ryzyka górniczych projektów inwestycyjnych (z branż wydobywczych węgla oraz cynku i ołowiu) przedstawiono w rozdziale 9.

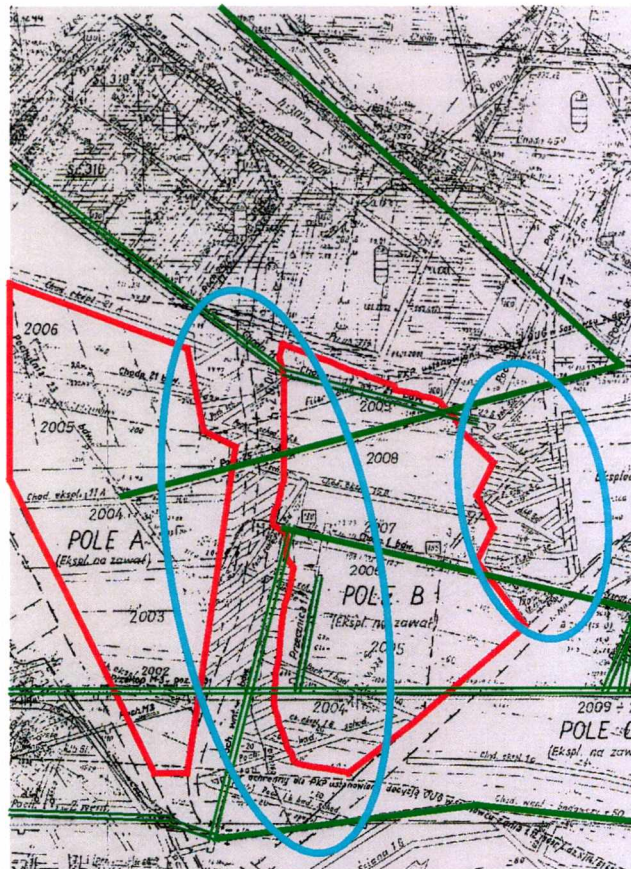
9. Ocena ekonomiczna i analiza ryzyka: model deterministyczny DCF a symulacja Monte Carlo – przykłady z branży

Niniejszy rozdział zawiera przykłady zastosowania analizy DCF w ujęciu klasycznym (deterministycznym) oraz z wykorzystaniem symulacji Monte Carlo (MC) dla potrzeb oceny ekonomicznej i analizy ryzyka górniczych projektów inwestycyjnych. Przykłady dotyczą autentycznych projektów, realizowanych w branży górnictwa węgla kamiennego oraz górnictwa rud (cynk i ołów); skalibrowane zostały w oparciu o dane uzyskane z kopalni w latach 1998-2002. W celu uniknięcia ewentualnych nieporozumień, związanych z prezentacją autentycznych danych, dla prezentowanych projektów użyto nazw fikcyjnych.

9.1. Przykłady zastosowania analizy wrażliwości w rachunku deterministycznym

9.1.1. Przeprowadzenie analizy wrażliwości dla projektu wprowadzenia nowego systemu eksploatacji grubych i stromych pokładów węgla KWK Książę Józef S.A.

Projekt obejmuje dokonanie oceny ekonomicznej i analizy ryzyka wprowadzenia nowego systemu eksploatacji grubych i stromych pokładów węgla w partii E-7 pokładu 501 KWK Książę Józef S.A. (rys. 9.1). Potrzeba takiego opracowania wiąże się z planami kopalni uruchomienia systemu – tzw. podbierkowego z chodnika eksploatacyjnego, który jest szansą



Rys. 9.1. Partia E-7 pokładu 501 KWK Książę Józef

na efektywne jej funkcjonowanie w warunkach gospodarki rynkowej w długim horyzoncie czasowym.

Zasoby w partii E-7 rozpoznane zostały w kategorii A, B, C₁. Oszacowano je na około 4,9 mln Mg. Miąższość pokładu w tym rejonie dochodzi do 20 m, a nachylenie do 45°. Zakładano, że uzyskiwany węgiel handlowy będzie charakteryzował się podobnymi parametrami jakościowymi, co węgiel eksploatowany bieżąco przez kopalnię (średnia wartość opałowa – 23 tys. kJ/kg, zawartość popiołu – do 10%, a zawartość siarki – 0,7%). Założenie to przyjęte zostało z uwagi na kontynuację w projektowanym froncie eksploatacji wyierki pokładu 501 w partiach bieżąco eksploatowanych. Z uwagi na fakt urabiania węgla za pomocą MW, dodatkowym atutem nowego systemu eksploatacji miała być produkcja sortymentów grubych. Kopalnia planowała wyeksploatowanie przedmiotowej partii nowym systemem w okresie 2004-2013.

Nakłady inwestycyjne i udostępnienie

Analizy inżynierskie wskazywały konieczność zakupu następujących maszyn i urządzeń:

- 3 kompletów Zmechanizowanego Zestawu Podporowego,
- 3 sztuk przenośnika PZ 1000,
- 3 kompletów (po 2 szt.) wiertarek VPS-01 oraz żerdzi wiertniczych,
- 3 sztuk agregatu zasilającego,
- 1 kołowrotu KHT-5.

Złoże w partii E-7 było w dużej części udostępnione. Mając na uwadze wprowadzenie nowego systemu uznano jednakowoż za konieczne uzupełnienie udostępnienia przedmiotowej partii systemem pochylni (w tym tzw. pochylni schodowych) i przecznic o łącznej długości 1520 m, z czego 490 m stanowić miały wyrobiska drążone w kamieniu, a 1030 m wyrobiska drążone w węglu. Koszt wyrobiska drążonego w kamieniu szacowano na 4450 zł/mb, a wyrobiska kamienno-węglowego – na 3325 zł/mb (dla prostoty rachunku założono, że wyrobiska kamienno-węglowe drążone będą 50% w kamieniu i 50% w węglu).

Charakterystyka projektowanego systemu eksploatacji

Podbierkowy system eksploatacji z chodnika eksploatacyjnego z zawałem skał stropowych zakłada eksploatację blokami poziomymi od góry na dół, na całą grubość pokładu (rys. 9.2), w kierunku od pola. Bloki te wyznaczane będą przez kolejne chodniki eksploatacyjne, wykonywane w spągu złoży w odstępach pionowych co około 10-15 m. Zakładano, że trzy pierwsze chodniki eksploatacyjne w polu wydrążone zostaną w odległości pionowej 10 m, a odległości między następnymi wyznaczone będą po uzyskaniu pierwszych doświadczeń ruchowych.

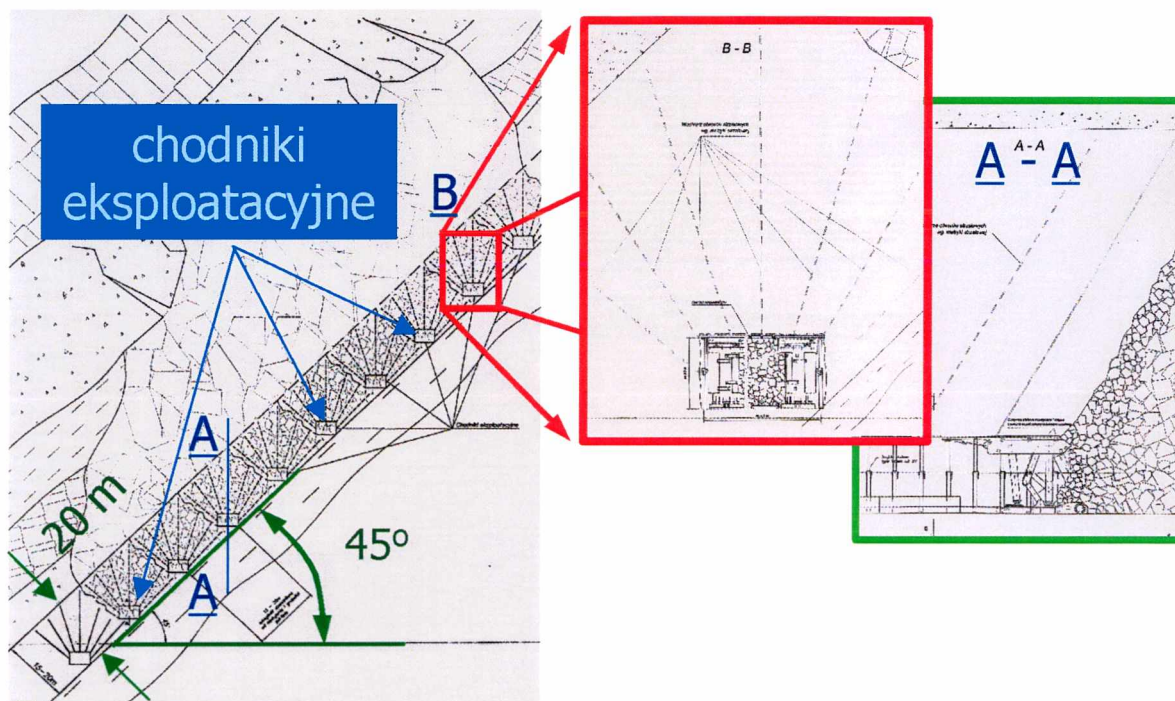
Przyjęto, że geometryzacja bloków eksploatacyjnych (w tym odległość pomiędzy kolejnymi chodnikami eksploatacyjnymi) uzależniona będzie od parametrów zalegania pokładu (głównie miąższości i nachylenia) oraz uzyskiwanych efektów w postaci wychodu urobku i minimalizacji strat eksploatacyjnych.

Udostępnienie pola i przygotowanie eksploatacji, jak wspomniano, zrealizowane zostanie przez wykonanie systemu pochylni schodowych.

Eksploatacja

Chodniki eksploatacyjne w partii drążone będą po 4°-owym wzniosie. Na odcinkach przeznaczonych do eksploatacji obudowę tych wyrobisk stanowić będzie obudowa stalowa prostokątna (4,5 x 3,0 m): 3 stojaki Valent, stropnica stalowa, 7 rozpór stalowych; wykładką

stropu i ociosów będzie siatka stalowa na pełno. Odcinki początkowe chodników – nie objęte eksploatacją – wykonywane będą w obudowie ŁP 8 10/V25. Dla każdego wyrobiska korytarzowego (grupy wyrobisk) przeprowadzony zostanie stosowny dobór obudowy przez Kierownika Robót Górniczych. Ze względu na bezpieczeństwo drażenia kolejne chodniki eksploatacyjne w stosunku do chodnika z czynnym przodkiem eksploatacyjnym mogą być drażnione w odległości pionowej minimum 25 m.



Rys. 9.2. Projekt Książę Józef – system eksploatacji podbierkowej z chodnika eksploatacyjnego

Założono, iż w celu skutecznego prowadzenia eksploatacji, końcowe odcinki chodników eksploatacyjnych zostaną ponadto wzmocnione dwiema sekcjami obudowy zmechanizowanej. Jak wspomniano, wybieranie pokładu odbywać się będzie od góry do dołu, czyli od chodników najwyżej położonych do chodników położonych najniżej. Polegać ono będzie na systematycznym rabowaniu obudowy stalowej prostokątnej i przesuwaniu obudowy sekcji zmechanizowanej w chodniku eksploatacyjnym wraz z sukcesywnym rozdrabnianiem calizny węglowej i wywoływaniem zawału przy pomocy robót strzałowych. Otwory strzałowe, o długości do 20 m, rozmieszczone będą wachlarzowo według metryki strzałowej. Wiercenie odbywać się będzie przy pomocy wiertnic WD. Odstawa urobku realizowana będzie za pomocą przenośnika PZS.

Generalnie planowano prowadzenie eksploatacji podbierkowej z chodników eksploatacyjnych w układzie szeregowym. W przypadku równoległego, w danym polu, prowadzenia eksploatacji, przyjęto, iż wybieranie realizowane będzie z zachowaniem warunków i rygorów koordynacji robót.

Eksploatacja w projektowanym systemie odbywać się ma w układzie czterozmianowym.

Likwidacja przestrzeni wybranej

Pustka po wyeksploatowanej warstwie pokładu będzie sukcesywnie wypełniana rumowiskiem zawałowym, a w razie potrzeby doszczelniana podsadzką hydrauliczną lub mieszaniną wodno-pyłową, podawaną przez otwory wiercone z dostępnych wyrobisk górniczych.

Prognoza wydobywania oraz cen i kosztów na okres zagospodarowania

Zgodnie z projektem wybierania złożeń do roku 2010 i opracowanym przez kopalnię harmonogramem produkcji zakładano, że zdolność wydobywcza projektowanego systemu eksploatacji będzie kształtować się docelowo na poziomie 1600 Mg węgla handlowego/dobę. Tempo to określone zostało w oparciu o parametry parcel eksploatacyjnych, możliwości wydobywcze stosowanych maszyn i urządzeń oraz bieżąco uzyskiwane wydajności przodkowe.

Przyjęto stopniowe dochodzenie do pełnej zdolności produkcyjnej systemu. Jeden przodek funkcjonować miał w okresie VI.2004–XII.2004, drugi przodek wejść miał do eksploatacji w styczniu 2005, a trzeci – w lipcu br. roku.

Jak wspomniano, jedną z najważniejszych zalet planowanego systemu – z uwagi na fakt urabiania węgla za pomocą MW – ma być produkcja sortymentów grubych.

Wychód tych sortymentów ma istotny wpływ na cenę węgla. Oszacowanie tego parametru zrealizowano w oparciu o analizę danych statystycznych kopalni z II połowy lat 70-tych ub. wieku, gdy front eksploatacyjny stanowiły ściany podsadzkowe z urabianiem za pomocą MW oraz ściany zawałowe wyposażone w kombajny ścianowe. Dysponując średnimi wychodami sortymentów grubych kopalni z poszczególnych lat ww. okresu oraz przyjmując średni udział sortymentów grubych ze ścian zawałowych w tamtym okresie na poziomie 22%, za pomocą rachunku średniej ważonej skalkulowano średnie wychody sortymentów grubych z przodków z urabianiem za pomocą MW.

Na podstawie ww. obliczeń przyjmowano, że wychód sortymentów grubych dla projektowanego systemu podbierkowego z chodnika eksploatacyjnego będzie kształtował się na poziomie 60%. Przyjmując, że eksploatacja prowadzona będzie przez 21 dni w miesiącu, docelowe wydobywanie miesięczne (trzy przodki jednocześnie) realizowane projektowanym systemem eksploatacji kształtować się będzie na poziomie 33600 Mg, z czego 20160 Mg (wspomniane 60%) stanowić będą właśnie sortymenty grube.

Kopalnia przeprowadziła analizę tego wpływu wychodu tych sortymentów na cenę w oparciu o własne dane statystyczne za rok 2003, uzyskując równanie liniowe trendu, określające zależność ceny od ilości produkowanych sortymentów grubych. Uzyskane równanie regresji liniowej ($2,0269x + 124,2$) charakteryzuje się dużą wiarygodnością, ze względu na wysoki współczynnik R^2 , równy 0,7004. W oparciu o te zależności możliwą do uzyskania cenę 1 Mg węgla skalkulowano na poziomie 240,30 zł. Z uwagi na duży popyt na taki typ węgla, kopalnia postanowiła skorzystać z okazji i zabezpieczyć tę cenę kontraktami sprzedaży.

Pracownicy kopalni, bazując na analizie projektowanego systemu, spodziewanych wskaźnikach technicznych i doświadczeniach własnych, dokonali również prognozy kosztów operacyjnych systemu. Zakładano, że w pierwszym okresie (VI.2004–XII.2004 – funkcjonowanie jednego przodka) koszty te będą wysokie (w wariancie oczekiwanym 276 zł/Mg, optymistycznym – 208 zł/Mg a pesymistycznym – aż 411 zł/Mg); przyjmowano, że wraz z uruchamianiem kolejnych dwóch przodków koszty te będą spadać – docelowo do 142,30 zł/Mg (w wariancie oczekiwanym; w wariancie optymistycznym nawet do 98,60 zł/Mg, ale w pesymistycznym – do 267,40 zł/Mg).

Tak duża zmienność prognozy kosztów operacyjnych, niepewność co do poprawności funkcjonowania nowego systemu wskazywała na wysokie ryzyko przedsięwzięcia.

Wśród źródeł zagrożenia dla realizacji eksploatacji przedmiotowym systemem za podstawowe uznawano cechy projektu, a wśród nich unikatowość i innowacyjność. System znany w kopalniach rud i opisywany w różnych wersjach w klasycznych podręcznikach z zakresu górnictwa rud [Glušćević 1974, Imienitow 1987, Hustrulid 1982], w przedstawionym kształcie nie był stosowany w polskich kopalniach węgla. Warunki geologiczne w przypadku

kopalni węgla różnią się istotnie od warunków geologicznych kopalń rud, stąd spodziewano się wystąpienia określonych trudności w trakcie realizacji i monitorowania przebiegu procesu produkcyjnego w pierwszej fazie stosowania. W przypadku przedłożonego projektu czynniki techniczne mogły decydować o dużej dyspersji oczekiwanych wyników, a tym samym o jego dużym ryzyku.

Założenia oceny ekonomicznej (przypadek podstawowy) i wyniki analizy wrażliwości

Z uwagi zatem na zwiększone ryzyko, w kalkulacji NPV ww. projektu przyjęto 15-procentową stopę RADR (realną), co przy przeliczeniu na wartość nominalną, uwzględniając spodziewaną inflację (wzór (6.7)), dało liczbę 18,45%. Przypadek podstawowy kalkulowany był w oparciu o następujące dane:

- 1) wielkość zasobów w polu: 4,9 mln Mg,
- 2) wydobywanie miesięczne:
 - docelowe (3 przodki): 36,12 tys. Mg (1600 Mg/dobę z przodka + 120 Mg/dobę z robót przygotowawczych),
 - 1 przodek: 6,3 tys. Mg (200 Mg/dobę z przodka + 100 Mg/dobę z robót przygotowawczych),
 - 2 przodki: 25,2 tys. Mg (1100 Mg/dobę z przodka + 100 Mg/dobę z robót przygotowawczych),
- 3) jednostkowe koszty operacyjne: docelowo (3 przodki) – 142,30 zł/Mg, 1 przodek – 276 zł/Mg, 2 przodki – 143 zł/Mg,
- 4) koszty kapitałowe: 13,419 mln zł, w tym:
 - wydrążenie wyrobisk udostępniających: 6,359 mln zł,
 - zakup 3 kompletów ZZP: 1,2 mln zł,
 - zakup 3 sztuk przenośnika PZ 1000: 1,59 mln zł,
 - zakup 3 kompletów (po 2 szt.) wiertarek VPS-01 oraz żerdzi wiertniczych: 330 tys. zł,
 - zakup 3 sztuk agregatu zasilającego: 210 tys. zł,
 - zakup 1 kołowrotu KHT-5: 230 tys. zł.
- 5) cena węgla: docelowo (3 przodki) – 240,30 zł/Mg, 1 przodek – 225,50 zł/Mg, 2 przodki – 239,50 zł/Mg,
- 6) straty eksploatacyjne: 20%,
- 7) wychód węgla: 97%,
- 8) inflacja: 3% (wartość oczekiwaną poziomu inflacji przyjęto mając do dyspozycji prognozę Rady Polityki Pieniężnej [NBP 2002], zakładającą że wskaźnik inflacji powinien kształtować się w najbliższych latach na poziomie 3-4%),
- 9) jednostkowy koszt składowania odpadów: 15,34 zł/Mg,
- 10) gęstość przestrzenna węgla: 1,38 Mg/m³,
- 11) gęstość przestrzenna kamienia: 2 Mg/m³.

Założono stopniowe dochodzenie do pełnej zdolności wydobywczej:

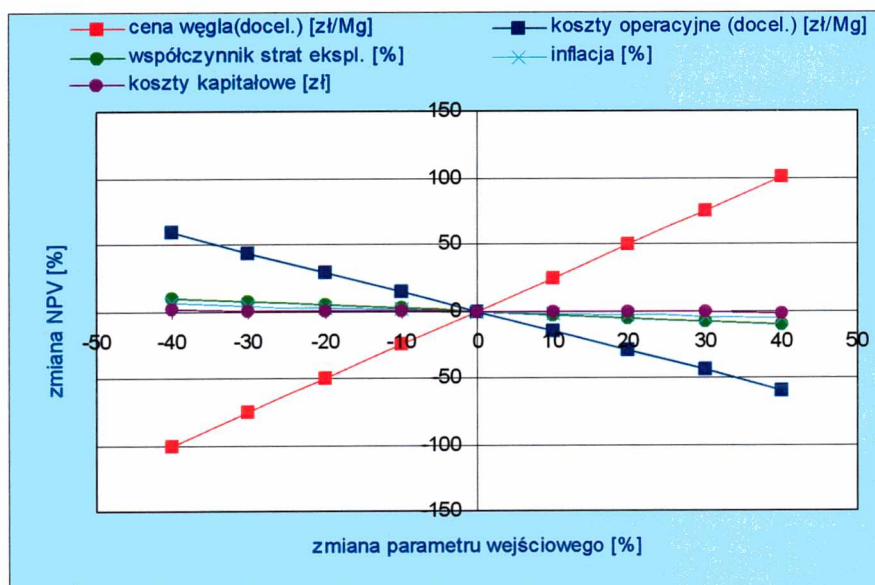
- w okresie VI-XII.2004 – jeden przodek,
- w okresie I-VI.2005 – dwa przodki,
- w okresie od VII. 2005 – trzy przodki.

NPV, liczona przy wykorzystaniu ww. danych, wyniosła 97,379 mln zł. Rezultat ten wynika głównie z korzystnego poziomu relacji kosztów operacyjnych z ceną uzyskiwanego węgla oraz stosunkowo niewielkich nakładów kapitałowych.

Analiza wrażliwości obejmowała badanie wpływu na NPV projektu (przypadek podstawowy) wybranych zmiennych (w tym przypadku docelowej ceny węgla, docelowych

kosztów operacyjnych, współczynnika strat eksploatacyjnych, inflacji i kosztów kapitałowych), polegające na zwiększaniu i zmniejszaniu wartości wybranego parametru (przy zachowaniu pozostałych na tym samym poziomie) – odpowiednio o 10, 20, 30 i 40%. Wyniki przedstawiono w na rys. 9.3.

Analizując rys. 9.3 można się łatwo zorientować w zakresie poziomów ryzyka związanego z daną zmienną. Jak widać, projekt jest najbardziej wrażliwy na cenę węgla i jednostkowe koszty operacyjne: 20-procentowy spadek ceny w stosunku do planowanej (przy założeniu, że nic innego się nie wydarzy) powoduje 50-procentowy spadek wartości NPV (i odwrotnie: 20-procentowy przyrost ceny powoduje 50-procentowy wzrost NPV); taki sam spadek NPV spowoduje z kolei około 33-procentowy wzrost kosztów operacyjnych. Niespodzianką jest mała wrażliwość na współczynnik strat eksploatacyjnych, inflację – a w szczególności zmiany nakładów inwestycyjnych (niewielkie zmiany NPV nawet przy dużych zmianach wartości parametru).

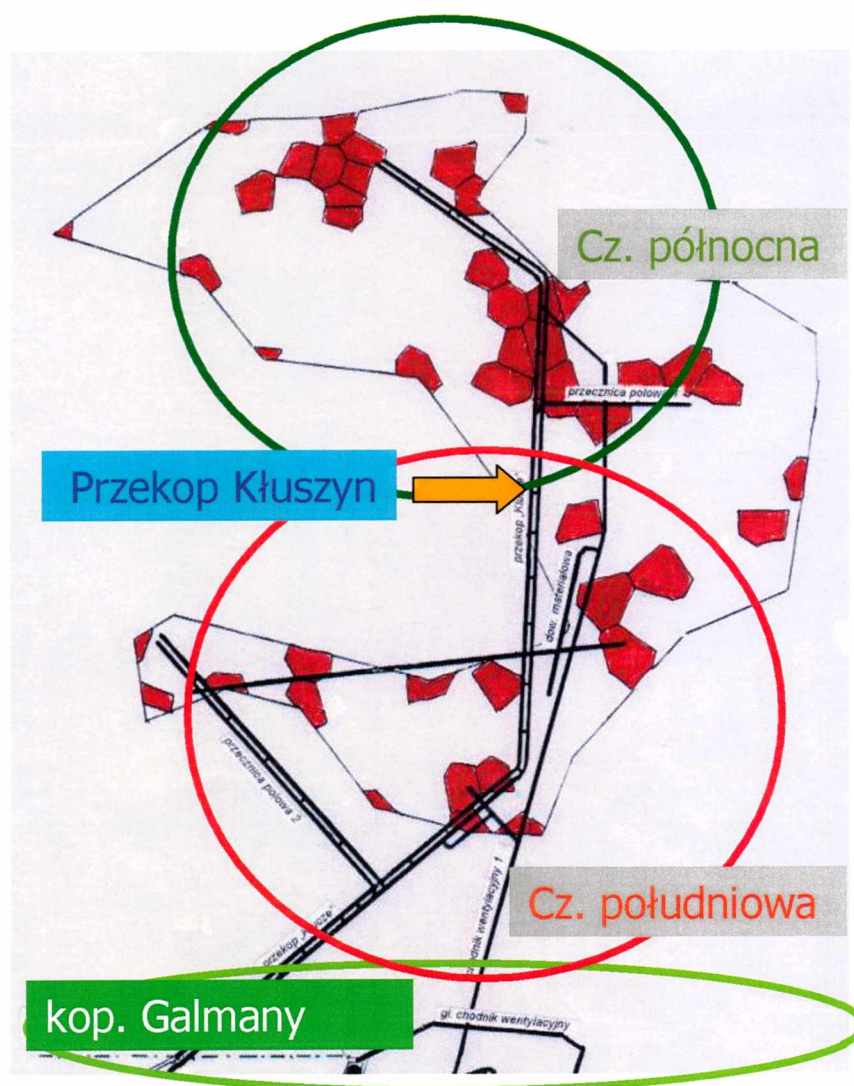


Rys. 9.3. Analiza wrażliwości (wykres pajęczy) projektu zagospodarowania i eksploatacji partii E-7 pokładu 501 KWK Książę Józef S.A. systemem podbierkowym z chodnika eksploatacyjnego

9.1.2. Przeprowadzenie analizy wrażliwości NPV projektu zagospodarowania złoża cynku i ołowiu Kłuszyn

Złoże cynku i ołowiu Kłuszyn, leżące na północ od kopalni Galmany (rys. 9.4), stanowi nadzieję na przedłużenie działalności wydobywczej Kombinatu Górniczo-Hutniczego Cynku i Ołowiu Stanisław. Złoże odkryte zostało w latach 50-tych ub. wieku. Wyniki prac poszukiwawczych były bardzo obiecujące, bowiem już pierwszy otwór, wykonany w północnej części obszaru złożowego, napotkał bogatą mineralizację rudną, o miąższości przekraczającej 10 m. Po odwierceni 35 otworów badawczych (w siatce około 400 x 600 m) w pierwszej połowie lat 60-tych, udokumentowano około 7,2 mln Mg rudy w kategorii C₂, przedstawiając pierwszą wersję budowy złoża. W trakcie tych badań odkryto mineralizację Zn-Pb w utworach dewonu, co stało się zachętą dla kontynuacji prac rozpoznawczych. Złoże Kłuszyn było wówczas traktowane jako niezależny obiekt złożowy. Do roku 1970 wykonano dodatkowo 132 otwory, uzyskując zagęszczenie sieci wierceń do około 300 x 300 m. Obliczone wówczas zasoby wyniosły 9,2 mln Mg rudy bilansowej w kategorii C₁. Udokumentowano jedynie zasoby w triasie, bowiem mineralizacja w dewonie, choć interesująca, była jeszcze słabo rozpoznana.

Dobra koniunktura dla górnictwa rudnego w latach 70-tych zaowocowała kolejną fazą prac rozpoznawczych. Z uwagi na niewielkie zasoby złoża, zaczęto je już wówczas traktować jako pole rezerwowe kopalni Galmany. Do początku lat 90-tych, z okresowymi przerwami, odwiercono tu 203 otwory badawcze (w roku opracowywania oceny ekonomicznej było ich około 370), w tym kilka dla wyjaśnienia warunków występowania mineralizacji w utworach dewońskich. Wykonane prace potwierdziły w zasadzie znane wcześniej zręby budowy złoża, w tym ilość zasobów, ujawniły jednak znaczną nieregularność i ograniczone rozmiary ciał rudnych w triasie. Badania te pokazały też obecność w północnej części złoża skupień kruszców o wyjątkowej miąższości, które określono mianem gniazd „Rudników” i „Westen”. Istotnym dla przeprowadzanej analizy był fakt, że od czasu wykonania pierwszej dokumentacji geologicznej, opartej na 35 otworach, aż do opracowania ostatniej na podstawie 10-krotnie większej liczby wierceń, wielkość szacowanych zasobów złoża nie uległa istotnej zmianie.



Rys. 9.4. Udostępnienie złoża cynku i ołowiu Kłuszyń

Całość zasobów eksploatacyjnych szacowana była (przy furcie 3,7 m) na 5,654 mln Mg rudy (w kategorii rozpoznania C_1 i C_2), o zawartościach 4,8% Zn i 2,2% Pb. Zasoby te określano jako zalegające do poziomu wyrobisk kopalni Galmany. Średnią miąższość złoża w poziomie dolomitów kruszczońskich (poza gniazdami „Rudników” i „Westen”) oceniano na 3,9 m. Większość otworów pozytywnych na obszarze złoża (80% takich wierceń)

wykazywało bilansowe koncentracje metali wyłącznie w obrębie dolomitów kruszonośnych. Były to prawie zawsze pojedyncze interwały rudne. Z rozpoznania wiertniczego wynikało, że forma tych ciał zbliżona będzie do formy znanej z sąsiedniej kopalni Galmany, przy czym zarówno ich rozmiary w pionie, jak i miąższość, będą na pewno znacznie mniejsze, a mineralizacja Zn-Pb uboższa. Średnią miąższość złoży w poziomie dolomitów kruszonośnych oceniano na 3,9 m. Choć omawiane ciała rudne usytuowane są w większości bezpośrednio na – lub przy spągu dolomitów, skomplikowana tektonika powoduje, że pojawiają się one w bardzo szerokim, ponad 100-metrowym przedziale pionowym: od +145 do +270 m npm.

Jak wskazywały badania, ze względu na wielkość bazy zasobowej i możliwości produkcyjne rejon wydobywczy Kłuszyn nie może istnieć niezależnie od kopalni Galmany. Należało się zatem liczyć z koniecznością przerwania eksploatacji złoży Kłuszyn wraz z likwidacją kopalni Galmany. Planowano – w zależności od sytuacji na rynku metali – że likwidacja kopalni Galmany rozpocznie się w ciągu najbliższych 5-6 lat i trwać będzie około 4-5 lat. Oceniono więc, iż eksploatację złoży Kłuszyn należałoby przerwać w perspektywie nadchodzących 9-10 lat.

Udostępnienie złoży

Z uwagi na lokalizację, zakładano udostępnienie złoży bezpośrednio z wyrobisk kopalni Galmany. Według koncepcji zagospodarowania przyjmowano udostępnienie złoży w dwóch etapach: I, obejmującym udostępnienie zasobów części południowej i II – obejmującym udostępnienie zasobów części północnej złoży. Koncepcja zakładała zrealizowanie całości udostępnienia w okresie 2,5 roku i obejmowała wykonanie około 16,5 km wyrobisk (rys. 9.4), w tym między innymi:

- przekopu Kłuszyn, o długości ok. 3650 m, który miałby być drażony do 200 m npm, jako przedłużenie przecznicy połowej nr 41 kopalni Galmany; celem tych prac miało być odwodnienie złoży, doprowadzenie świeżego powietrza, transport szynowy ludzi, urobku i materiałów;
- odcinka przekopu połowej nr 6, o długości około 500 m; prace udostępniające polegałyby tu na przedłużeniu do przecznicy połowej nr 41 przekopu połowej nr 6 kopalni Galmany; przekopem tym doprowadzane byłoby świeże powietrze oraz realizowany był transport szynowy ludzi, urobku i materiałów do szybu „Śmiały”;
- przecznicy połowej 2, o długości około 1000 m, wykonanej z poziomu przekopu Kłuszyn w układzie podwójnym, z chodnikiem wodnym w kierunku północno-zachodnim; wyrobiska te miałyby na celu odwodnienie złoży, umożliwienie wentylacji i transport urobku.
- przecznicy połowej 1, chodników wentylacyjnych 1 i 2, dowiezchni materiałowej, szybu wentylacyjnego, otworu podsadzkowego, szybików urobkowych i wentylacyjnych oraz dowiezchni między poziomowych.

Założenia do oceny ekonomicznej (przypadek podstawowy) i wyniki analizy wrażliwości

Całość wszystkich niezbędnych nakładów inwestycyjnych koniecznych dla realizacji koncepcji udostępnienia (obejmujących wydrążenie i obudowę wyrobisk udostępniających oraz – z uwagi na zagrożenie wodne – zakup dwóch pomp) oszacowano – uwzględniając inflację – na 100 mln zł.

Przyjęto, iż w koszt udostępnienia części południowej (2,3 mln Mg rudy, o zawartości 3,71% Zn i 0,78% Pb) wynosił będzie 83,75 mln zł, natomiast części północnej (3,354 mln Mg rudy, o zawartości: 4,41% Zn i 2,21% Pb) – 16,25 mln zł.

Założono, że wymiary wykonywanych wyrobisk udostępniających będą kształtować się następująco: szerokość – 4,0 m, wysokość – 3,5 m. Przyjęto, że połowa wyrobisk udostępniających drążona będzie w obudowie kotwiowej, z pełnym wyposażeniem (koszt w granicach 3500 zł/mb), a połowa w obudowie ŁP (koszt około 5000 zł/mb). Biorąc pod uwagę postęp drążenia w wysokości 50 mb/m-c i zakładając jednoczesne drążenie 3 nitek wyrobisk, miesięczny postęp prac udostępniających skalkulowano na 150 m.

Przyjmowano, iż w trakcie drążenia wyrobisk przygotowawczych wydobędzie się około 1/100 części zasobów eksploatacyjnych, czyli około 56,54 tys. Mg.

W przykładzie wszystkie obliczenia nie obejmują procesów metalurgicznych. Przyjęto, że produktami finalnymi są koncentraty (stosując przy tym formuły sprzedażne dla hut):

- 1) blenda selektywna,
- 2) galena flotacyjna,
- 3) tzw. blenda BULK.

Z uwagi na ryzyko przedsięwzięcia, związane głównie z niedostatecznym rozpoznaniem oraz faktem, że większa część złoża leży w granicach zespołu parków krajobrazowych, dla przypadku podstawowego przyjęto stopę RADR na poziomie 14% (realnie).

Dla potrzeb analizy wrażliwości dla tego przypadku założono następujące poziomy najważniejszych parametrów projektu:

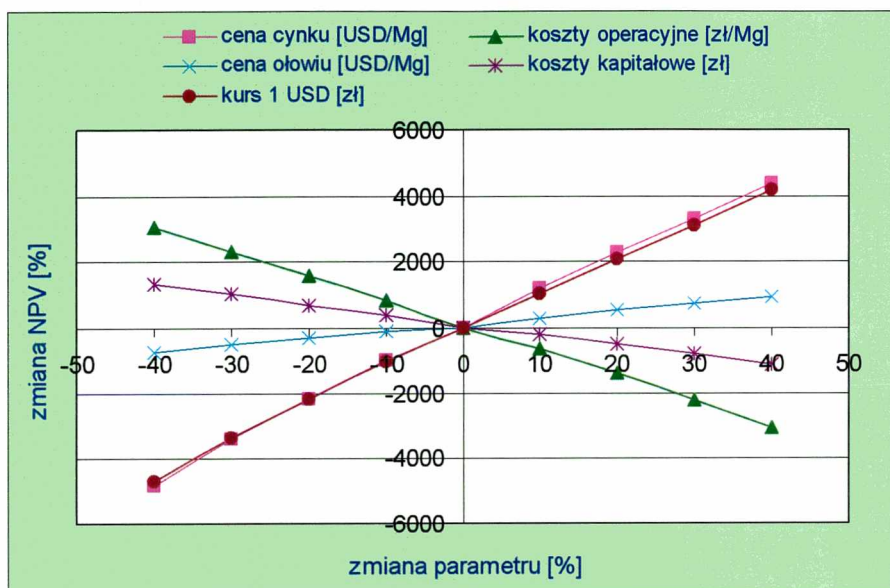
- 1) cena cynku: 1350 USD/Mg,
- 2) cena ołowiu: 1000 USD/Mg,
- 3) koszty operacyjne: 90 zł/Mg rudy w.s.,
- 4) wielkość zasobów rudy: 5,654 mln Mg w.s.,
- 5) zawartość Zn w rudzie: 4,80%,
- 6) zawartość Pb w rudzie: 2,20%,
- 7) kurs 1 USD: 4 zł,
- 8) wskaźnik inflacji grudzień-grudzień: 3%,
- 9) uzysk w blendzie: 80,43%,
- 10) analiza Zn w blendzie: 53,47%,
- 11) uzysk w galenie: 66%,
- 12) analiza Pb w galenie: 63%,
- 13) uzysk Zn w blendzie BULK: 6,60%,
- 14) analiza Zn w blendzie BULK: 49%,
- 15) uzysk Pb w blendzie BULK: 3%,
- 16) analiza Zn w blendzie BULK: 8%,
- 17) wychód kamienia: 36,5%.

NPV skalkulowana dla wariantu oczekiwanego jest dodatnia i wynosi 2,595 mln zł.

Przedmiotem eksperymentu było badanie wrażliwości NPV na procentowe zmiany (w górę i w dół o 10, 20, 30 i 40%) wybranych parametrów wejściowych: kosztów operacyjnych i kapitałowych, cen cynku i ołowiu, oraz kursu dolara amerykańskiego. W wyniku analizy otrzymano wykres, przedstawiony na rys. 9.5.

Analiza wrażliwości wskazuje, iż projekt jest bardzo wrażliwy na zmiany kluczowych parametrów: ceny cynku, kursu dolara oraz kosztów operacyjnych. Łatwo zauważyć, iż 10-procentowy wzrost/spadek dwóch pierwszych parametrów powoduje aż 1000-procentową (!) zmianę NPV. Z kolei 10-procentowy wzrost (spadek) kosztów operacyjnych powoduje ponad 600 (800)-procentową zmianę NPV. Spośród badanych parametrów, projekt jest stosunkowo najmniej wrażliwy na zmianę ceny ołowiu.

Wyniki wskazują, że projekt jest ogromie ryzykowny. Stosunkowo niewielkie pogorszenie koniunktury na Londyńskiej Giełdzie Metali (LME) czy niekorzystna zmiana kursu dolara spowoduje gwałtowny spadek wartości projektu.



Rys. 9.5. Analiza wrażliwości projektu zagospodarowania złoża cynku i ołowiu Kłuszyn

9.2. Przykłady zastosowania analizy scenariuszowej w rachunku deterministycznym

9.2.1. Przeprowadzenie analizy scenariuszowej dla projektu wprowadzenia nowego systemu eksploatacji grubych i stromych pokładów węgla partii E-7 pokładu 501 KWK Książę Józef S.A.

W przykładach postanowiono odnieść się do trzech głównych scenariuszy zdarzeń: podstawowego (najbardziej prawdopodobnego – albo – „oczekiwanego”), pesymistycznego i optymistycznego.

W oparciu o dane kopalni i analizy inżynierskie skonstruowano – przedstawione poniżej – warianty: podstawowy, pesymistyczny i optymistyczny (tabela 9.1). Przez wzgląd na zabezpieczenie ceny sprzedaży, dzięki wyjątkowo korzystnym parametrom jakościowym produkowanego asortymentu, dla wszystkich scenariuszy przyjęto tę samą cenę węgla.

Kalkulacja arkusza NPV i IRR wskazuje, że spodziewane poziomy podstawowych parametrów projektu rokują bardzo korzystne mierniki wykonalności ekonomicznej. Wartość projektu (NPV) w przypadku „oczekiwanym” jest wysoka i wynosi 97,379 mln zł. Również oczekiwana stopa zwrotu z inwestycji (IRR), kształtując się na poziomie 331,34%, jest nad wyraz korzystna (co oznacza ponad trzykrotny zwrot poniesionych nakładów inwestycyjnych). Tak pomyślne wyniki wynikają z po pierwsze z faktu, że złoża KWK Książę Józef jest już w dużej części udostępnione oraz z oczekiwanych korzystnych relacji na linii cena–koszty operacyjne.

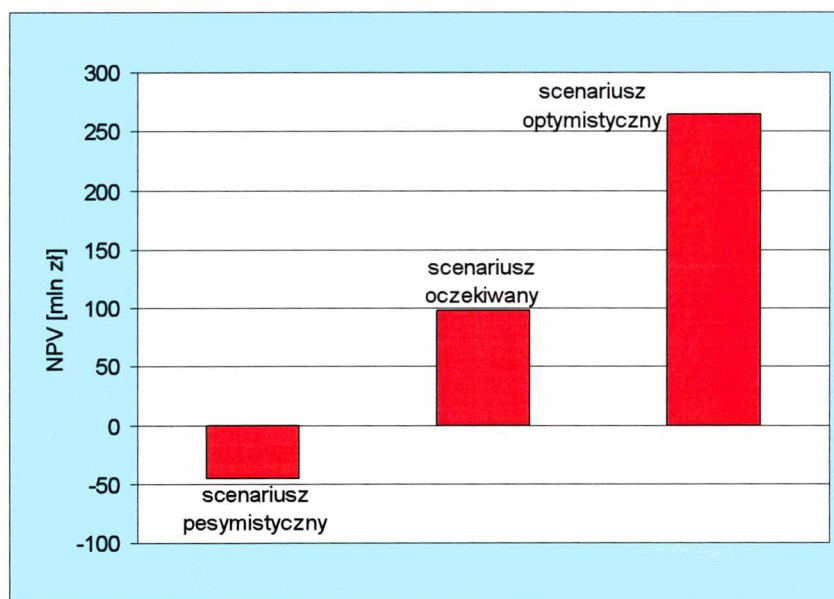
Wyniki dla wariantu pesymistycznego są bardzo niekorzystne. NPV kształtuje się na poziomie –45,202 mln zł co oznacza, że przypadku pesymistycznym przedmiotowe przedsięwzięcie jest wysoce nieopłacalne. W przypadku ujemnej NPV liczenie IRR traci sens.

Tabela 9.1. Scenariusze w projekcie wprowadzenia systemu podbierkowego z chodnika eksploatacyjnego w partii E-7 pokładu 501 KWK Książę Józef S.A.

Parametr	Scenariusz pesymistyczny	Scenariusz Podstawowy	Scenariusz optymistyczny
cena węgla (docelowa) [zł/Mg]	240,30	240,30	240,30
cena węgla (1 przodek) [zł/Mg]	216,20	225,50	230,20
cena węgla (2 przodki) [zł/Mg]	235,50	239,50	240,30
koszty operacyjne (docelowe) [zł/Mg]	267,40	142,30	98,60
koszty operacyjne (1 przodek) [zł/Mg]	411,40	276,00	208,30
koszty operacyjne (2 przodki) [zł/Mg]	259,60	143,00	101,10
wydobycie miesięczne (docelowe) [tys. Mg/m-c]	18,90	36,12	53,55
wydobycie miesięczne (1 przodek) [tys. Mg/m-c]	4,2	6,3	8,4
wydobycie miesięczne (2 przodki) [tys. Mg/m-c]	13,65	25,20	36,12
nakłady inwestycyjne [mln zł]	14,13	13,4	12,713
inflacja [%]	8,0	3,0	1,5
koszt składowania odpadów [zł/Mg]	18,41	15,34	12,27
poziom strat eksploatacyjnych [%]	24	20	16
NPV	-45,202	97,379	263,986

Wyniki dla wariantu optymistycznego są niezwykle korzystne. NPV kształtuje się na poziomie 263,986 mln zł, co oznacza, że w przypadku optymistycznym przedmiotowe przedsięwzięcie jest niezwykle opłacalne. IRR jest wyjątkowo korzystna i wynosi 1674,62%. Oznacza to aż ponad 16-krotny (!) zwrot z zainwestowanego kapitału.

Rezultaty analizy scenariuszowej można przedstawić na rys. 9.6. Można je interpretować jako parametry pewnego nieznanego rozkładu prawdopodobieństwa: wartość



Rys. 9.6. Wyniki analizy scenariuszowej dla projektu wprowadzenia systemu podbierkowego z chodnika eksploatacyjnego w partii E-7 pokładu 501 KWK Książę Józef S.A.

NPV, uzyskaną w wariancie pesymistycznym, można postrzegać jako wartość minimalną hipotetycznego rozkładu, wartość NPV, uzyskaną w wariancie optymistycznym – jako wartość maksymalną a wartość uzyskaną w wariancie podstawowym (najbardziej prawdopodobnym) – jako wartość „oczekiwaną” rozkładu. Na pierwszy rzut oka można

wysunąć wniosek, że prawdopodobieństwo uzyskania ujemnej NPV jest niewielkie, gdyż NPV projektu mniejsza od zera występuje tylko w przypadku pesymistycznym, a jej wartość bezwzględna jest nieporównanie mniejsza niż w pozostałych wariantach.

Analiza scenariuszowa w rachunku deterministycznym pokazała, że w wypadku wystąpienia niekorzystnych poziomów zmiennych wejściowych (scenariusz pesymistyczny), wyniki okażą się bardzo niepomyślne. I choć, jak się wydaje, prawdopodobieństwo takiego scenariusza jest stosunkowo niewielkie należy mieć to na uwadze. Wyniki analizy scenariuszowej w symulacji MC potwierdziły, że za wystąpienie korzystnych scenariuszy odpowiadają poziomy cen i kosztów operacyjnych.

9.2.2. Przeprowadzenie analizy scenariuszowej NPV projektu zagospodarowania złoża cynku i ołowiu Kłuszyn

Wartości parametrów dla przypadku podstawowego, pesymistycznego i optymistycznego, wraz z obliczonymi wartościami NPV, przedstawiono w tabeli 9.2.

Tabela 9.2. Podstawowe scenariusze dla projektu zagospodarowania złoża Kłuszyn

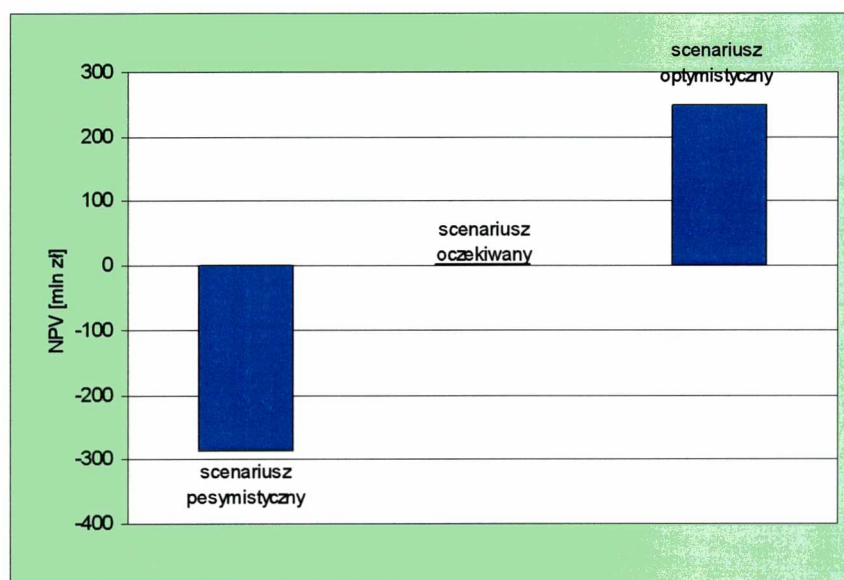
Parametr	Scenariusz pesymistyczny	Scenariusz podstawowy	Scenariusz optymistyczny
cena cynku [USD/Mg]	650,00	1350,00	1800,00
cena ołowiu [USD/Mg],	350,00	1000,00	1400,00
koszty operacyjne [zł/Mg rudy w.s.]	130,00	90,00	85,00
wielkość zasobów rudy [mln Mg w.s.]	3,956	5,654	7,350
zawartość Zn w rudzie [%]	3,36	4,80	6,24
zawartość Pb w rudzie [%],	1,54	2,20	3,50
kurs 1 USD [zł],	3,50	4,00	4,50
koszty kapitałowe [mln zł]	120	100	80
stopa dyskontowa RADR [%]	14,0	14,0	14,0
wskaźnik inflacji grudzień-grudzień [%]	8,0	3,0	2,5
uzysk w blendzie [%]	74,24	80,43	82,26
analiza Zn w blendzie [%]	52,07	53,47	55,54
uzysk w galenie [%]	61,65	66,00	70,59
analiza Pb w galenie [%]	60,35	63,00	67,21
uzysk Zn w blendzie BULK [%]	5,50	6,60	7,60
analiza Zn w blendzie BULK [%]	47,74	49,00	50,10
uzysk Pb w blendzie BULK [%]	2,50	3,00	3,50
analiza Zn w blendzie BULK [%]	7,92	8,00	8,18
wychód kamienia [%]	39,72	36,5	33,26
NPV [mln zł]	-287,085	2,595	248,585

Jak wiadomo z kalkulacji przeprowadzonej w analizie wrażliwości, NPV dla przypadku podstawowego zamknęła się kwotą 2,595 mln zł, zatem w tym wariantcie przedsięwzięcie – pomimo dodatniego wyniku – jest na granicy opłacalności. W zasadzie, biorąc pod uwagę prace Davisa [1998] (rozdział 6.2, formuła (6.4)), zagospodarowanie złoża – z uwagi na fakt, iż koszty udostępnienia są wyższe od NPV – nie powinno być realizowane.

Wyniki dla wariantu pesymistycznego są bardzo niekorzystne. NPV kształtuje się na poziomie -287,084 mln zł, co oznacza, że przypadku pesymistycznym przedmiotowe przedsięwzięcie jest wysoce nieopłacalne.

Wyniki dla wariantu optymistycznego są z kolei bardzo pomyślne: NPV kształtuje się na poziomie 248,585 mln zł, co znaczy, że w tym przypadku przedmiotowe przedsięwzięcie jest dochodowe.

Jak widać, rezultaty analizy scenariuszowej (które przedstawiono też na rys. 9.7), są interesujące – należy stwierdzić, iż projekt jest bardzo ryzykowny (zwłaszcza, że oszacowana dla przypadku podstawowego wielkość zasobów jest wysoce niepewna). NPV w tym przypadku jest dodatnia, ale – jak wiadomo – jest niezwykle wrażliwa na zmiany kluczowych parametrów przedsięwzięcia.



Rys. 9.7. Wyniki analizy scenariuszowej dla projektu Kłuszyn

Analizując otrzymane wyniki można dojść do spostrzeżenia – podobnie jak w poprzednim przykładzie – iż mogą one stanowić parametry pewnego nieznanego rozkładu: wynik uzyskany w wariacie pesymistycznym może być traktowany jako minimum tego rozkładu, wynik uzyskany w wariacie optymistycznym jako jego maksimum, a z kolei wynik scenariusza podstawowego – jako jego wartość oczekiwana. Rzeczywisty (lub zbliżony do rzeczywistego) rozkład prawdopodobieństwa ujawnić się może dzięki stosowaniu symulacji probabilistycznej (Monte Carlo).

9.3. Przykłady zastosowania symulacji Monte Carlo w analizie ryzyka inwestycji górniczych

9.3.1. Analiza ryzyka projektu wprowadzenia nowego systemu eksploatacji grubych i stromych pokładów węgla partii E-7 pokładu 501 KWK Książę Józef S.A.

Projekt Książę Józef S.A. opisany został w rozdziale 9.1.1.

Dla przedmiotowego projektu zdecydowano się przeprowadzić analizę ekonomiczną (z analizą ryzyka), której nadrzędnym celem jest:

- 1) otrzymanie rozkładu wartości zaktualizowanej inwestycji NPV, a na jego podstawie (wersja skumulowana) określenie prawdopodobieństwa opłacalności realizacji projektu,
- 2) uzyskanie rozkładu prawdopodobieństwa wewnętrznej stopy zwrotu (IRR).

Wraz z uzyskiwanymi rozkładami prawdopodobieństwa otrzymuje się pełną informację statystyczną, włącznie z takimi parametrami jak: zakres zmienności, średnia (wartość oczekiwana), odchylenie standardowe, wariancja, skośność i kurtoza. Stosowany do analizy program @RISK firmy Palisade Corp. umożliwia również przeprowadzenie analizy wrażliwości i analizy scenariuszowej.

Konstrukcja rozkładów prawdopodobieństwa niepewnych zmiennych wejściowych

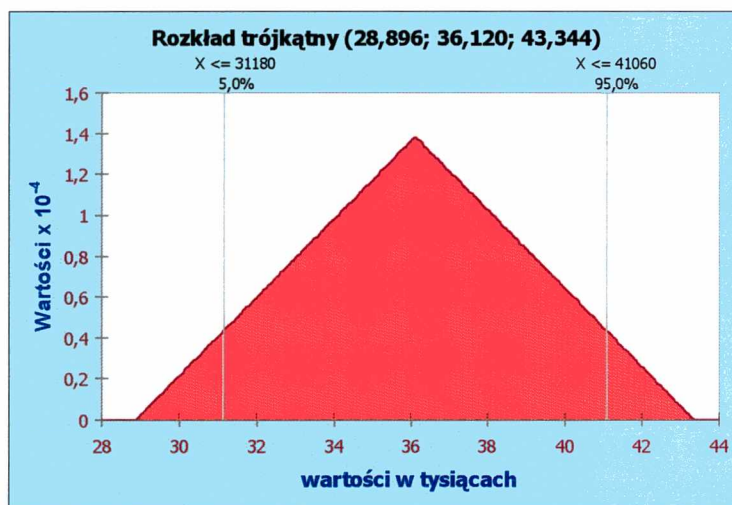
Dla potrzeb symulacji MC zidentyfikowano wstępnie wszystkie zmienne, które mogą mieć najistotniejszy wpływ na ocenę efektywności projektu. Do zmiennych tych, w analogii do wykonanej dla tego projektu w rozdziale 9.1 deterministycznej analizy wrażliwości, zaliczono:

- cenę węgla,
- koszty operacyjne,
- koszty kapitałowe (w tym koszty jednostkowe wykonania wyrobisk udostępniających),
- inflację,
- straty eksploatacyjne,

a ponadto:

- wielkość zasobów,
- tempo eksploatacji,
- wychód węgla,
- jednostkowy koszt składowania odpadów.

Dla ww. zmiennych skonstruowano rozkłady prawdopodobieństwa. Ze względu na skąpość danych w zgodzie z regułą symulacji (rozdział 8.3.1.) dla niemal wszystkich ww. parametrów przyjęto rozkłady trójkątne (przykładowy wykres przedstawiono na rys. 9.8),



Rys. 9.8. Rozkład prawdopodobieństwa tempa eksploatacji projektu Książę Józef

zadając wartość oczekiwaną oraz wartości skrajne – minimalną i maksymalną, w zależności od oszacowań inżynierskich. Tabela 9.3 przedstawia rozkłady prawdopodobieństwa wszystkich niepewnych zmiennych wejściowych.

Tabela 9.3. Rozkłady parametrów wejściowych do analizy Monte Carlo projektu Książę Józef

Zmienna	Rozkład	Wartość oczekiwana
cena węgla (docelowo) [zł/Mg]	trójkątny (180,2; 240,3; 300,4)	240,30
cena węgla – 1 przodek [zł/Mg]	trójkątny (169,1; 225,5; 281,9)	225,50
cena węgla – 2 przodki [zł/Mg]	trójkątny (179,6; 239,5; 299,4)	239,50
koszty operacyjne (docelowo) [zł/Mg]	trójkątny (98,6; 142,3; 267,4)	169,43
koszty operacyjne – 1 przodek [zł/Mg]	trójkątny (208,3; 276; 411,4)	298,57
koszty operacyjne – 2 przodki [zł/Mg]	trójkątny (101,1; 143; 259,6)	167,90
wielkość zasobów w ścianach [mln Mg]	trójkątny (4,263; 4,9; 5,537)	4,90
koszty kapitałowe:		
koszt 3 kompl. ZZZ [mln zł]	trójkątny (1,08; 1,2; 1,32)	1,20
koszt 3 szt. PZ 100 [mln zł]	trójkątny (1,431; 1,59; 1,749)	1,59
koszt 3 kompletów po 2 szt. wiertarek VPS-01 oraz zerdzi wiertniczych [tys. zł]	trójkątny (270; 300; 330)	300,00
koszt 3 szt. agregatu zasilającego [tys. zł]	trójkątny (189; 210; 231)	210,00
koszt 1 szt. kołowrotu KHT-5 [tys. zł]	trójkątny (207; 230; 253)	230,00
koszt jedn. wykonania wyrobisk udostępniających węglowych [tys. zł/mb]	trójkątny (1,98; 2,2; 2,42)	2,20
koszt jedn. wykonania wyrobisk udostępniających kamiennych [tys. zł/mb]	trójkątny (4,005; 4,45; 4,895)	4,45
koszty inwestycji odtworzeniowych:		
koszt 3 kompl. ZZZ [mln zł]	trójkątny (1,02; 1,2; 1,38)	1,20
koszt 3 szt. PZ 100 [mln zł]	trójkątny (1,352; 1,59; 1,829)	1,59
koszt 3 kompl po 2 szt. wiertarek VPS-01 [tys. zł]	trójkątny (255; 300; 345)	300,00
koszt 3 szt. agregatu zasilającego [tys. zł]	trójkątny (178,5; 210; 241,5)	210,00
koszt 1 szt. kołowrotu KHT-5 [tys. zł]	trójkątny (195,5; 230; 264,5)	230,00
tempo eksploatacji (docelowe) [tys. Mg/m-c]	trójkątny (28,896; 36,12; 43,344)	36,12
tempo eksploatacji – 1 przodek [tys. Mg/m-c]	trójkątny (5,040; 6,3; 7,560)	6,30
tempo eksploatacji – 2 przodki [tys. Mg/m-c]	trójkątny (20,160; 25,2; 30,24)	25,20
inflacja [%]	wykładniczy (3,0)	3,00
wychód węgla [%]	trójkątny (94,09; 97; 99,91)	97,00
straty eksploatacyjne [%]	trójkątny (16; 20; 24)	20
koszt składowania odpadów [zł/Mg]	trójkątny (12,3; 15,3; 18,4)	15,34

Rozkład prawdopodobieństwa ceny węgla zbudowano w oparciu o prognozę wychodu sortymentów grubych projektowanego systemu eksploatacji, zakładając 25%-ową zmienność cen, a kosztów na podstawie analiz inżynierskich kopalni Książę Józef. Dla zasobów przyjęto zmienność ± 13 -procentową. Zmienność cen maszyn i urządzeń oraz kosztów drażenia wyrobisk udostępniających założono na poziomie $\pm 10\%$, a dla inwestycji odtworzeniowych (po zamortyzowaniu pierwotnego wyposażenia) – $\pm 15\%$. W przypadku tempa eksploatacji, kosztów składowania odpadów i wielkości strat eksploatacyjnych przyjęto zmienność $\pm 20\%$.

Parametry skrajne i wartość średnią wychodu przyjęto w oparciu o dyskusje z przedstawicielami kopalni i doświadczenia autorów (wychód oszacowano na 97% ze zmiennością $\pm 3\%$ -ową). Wartość oczekiwaną poziomu inflacji przyjęto mając do dyspozycji wspomnianą prognozę Rady Polityki Pieniężnej [NBP 2002] – dla celów oceny założono, że wartość oczekiwana stopy inflacji średniorocznej (grudzień-grudzień) wynosić będzie 3%. W oparciu o te dane, mając do dyspozycji jedynie wartość oczekiwaną inflacji, przyjęto – w

zgodzie z zaleceniami teoretycznymi [Annadale, Chantler 1992] – że zmienna ta rozkładać się będzie według rozkładu wykładniczego.

Zgodnie z teorią, ze względu na wyrażenie większości parametrów wejściowych pod postaciami ich rozkładów prawdopodobieństwa przyjęto realną stopę dyskontową na poziomie 4% (stopa „wolna od ryzyka”) [Smith 1994, 2000, Saługa 2000]. Ww. stopę dyskontową przeliczono na wartość nominalną według wzoru (6.7).

Określenie stopnia korelacji pomiędzy zmiennymi

Mając na uwadze istnienie dodatniej korelacji kosztów i cen z inflacją, w analizowanym modelu dla cen przyjęto współczynnik korelacji 0,8, natomiast dla kosztów – 0,7. Powodem tej różnicy jest fakt, że inflacja silniej oddziałuje na ceny niż koszty [Smith 2000]. Dla wychodu i jednostkowego kosztu składowania odpadów przyjęto korelację ujemną (współczynnik korelacji: -0,2). Poziomy współczynników korelacji oszacowano w oparciu o prognozy i doświadczenia własne autorów. Założono, że pozostałe pary zmiennych są od siebie niezależne (współczynnik korelacji 0).

Metoda generowania liczb losowych

Jako metodę generowania liczb losowych postanowiono przyjąć metodę *Latin Hypercube* z uwagi na fakt, iż technika ta sprawia, że wylosowane próby korespondują w bardziej ścisły sposób z rozkładem wejściowym, przez co szybciej osiągana jest zbieżność z jego statystykami [Palisade Corp. 2001]. Program @RISK do symulacji MC, pozwala na okresowe sprawdzanie stabilności rozkładu wynikowego. Postanowiono zaprogramować, że stabilność sprawdzana będzie co 500 przeliczeń, a symulacja przerwana zostanie automatycznie w momencie ustabilizowania się rozkładu wynikowego – gdy jego zmienność będzie mniejsza od 1,5%.

Obliczenia i wyniki

Rozkłady prawdopodobieństwa NPV, IRR i czasu eksploatacji

W trakcie symulacji wykonano 3000 przeliczeń arkusza kalkulacyjnego (rys. 9.9). Wyniki symulacji i statystyki otrzymanego rozkładu zestawiono w tabeli 9.4. Wynikowy rozkład prawdopodobieństwa wartości zaktualizowanej netto – również w wersji skumulowanej – przedstawiono na rys. 9.10 i 9.11. Jak można zaobserwować, wartość oczekiwana otrzymanego rozkładu NPV przekracza 121 mln zł a wartość modalna jest bliska 179 mln zł.

Tabela 9.4. Wyniki symulacji Monte Carlo dla projektu Książę Józef

Parametr	NPV [mln zł]	IRR [%]
Wartość minimalna:	-199,3087	-8,61
Wartość maksymalna:	370,4555	968,10
Wartość średnia:	121,0403	236,11
Odchylenie standardowe:	80,3113	130,87
Wariancja:	$6,449909 \times 10^9$	17 127,08
Skośność:	0	1,05
Kurtoza:	3	5,30
Wartość modalna:	178,9404	103,08

Microsoft Excel - @RISKksiążę Józef

Ark Edycja Widok Wstaw Format Narzędzia Dane Okno @RISK Pomoc

Times New Roman CE 10 84%

C41 =RiskOutput("NPV") + SUMA(D40:W40)

A	B	C	D	E	F	G	H
Analiza ekonomiczna projektu Książę Józef							
Wychód węglowy [%]:	97,00						
Wielkość zasobów w parceli [Mg]:	4 900 000,00						
Współczynnik straci eksploatacyjnych [%]:	20,00						
Międzyzrost średnia [m]:	20,00						
Tempo eksploatacji (1 przodek) [Mg/m-c]:	6 300,00						
Tempo eksploatacji (2 przodek) [Mg/m-c]:	25 200,00						
Docelowe tempo eksploatacji [Mg/m-c]:	36 120,00						
Czas eksploatacji [m-c]:	143,15						
Stopa dyskontowa (realna) [%]:	4,00						
Inflacja [%]:	3,00						
Stopa dyskontowa (z uwzględnieniem inflacji) [%]:	7,12						
Okres:			rok 0	rok 1	rok 2	rok 3	rok 4
Wielkość wydobycia z pokładu [Mg/rok]			35 280,00	295 881,60	346 948,96	346 752,00	346 752,00
Ilość odpadów [Mg]			2 458,40	24 316,45	26 708,47	25 210,56	10 402,56
Produkcja węgla [Mg]			34 221,60	287 065,15	338 480,49	336 349,44	336 349,44
Cena węgla [zł/Mg]			225,50	239,90	240,30	240,30	240,30
Koszty jedn. składowania odpadów [zł/Mg]			15,34	15,34	15,34	15,34	15,34
Investycje kapitałowe [zł]			3 752 500,00	2 223 000,00	2 089 000,00	1 824 500,00	1 590 000,00
uzbrojenie przodków [zł]			3 530 000,00	0,00	0,00	0,00	1 590 000,00
wyrobitka udostępniająca [zł]			222 500,00	2 223 000,00	2 089 000,00	1 824 500,00	
Kapitał obrotowy [zł]			0,00				
Przychód brutto [zł]			7 716 970,80	68 852 535,96	81 336 862,04	80 824 770,43	80 824 770,43
minus: Koszty składowania odpadów [zł]			37 711,86	373 014,31	409 707,91	386 729,99	159 575,27
Przychód netto [zł]			10 217 429,04	48 408 202,30	57 349 877,89	56 988 806,78	56 988 806,78
minus: Koszty operacyjne [zł]			-2 538 170,10	-20 071 319,35	-23 577 276,23	-23 449 233,66	-23 676 388,38
Zysk brutto [zł]			477 675,00	780 986,25	884 442,19	924 785,63	1 074 455,00
minus: Amortyzacja [zł]			-2 975 845,10	19 290 333,10	22 692 834,04	22 524 448,03	22 639 933,38
Przychód netto [zł]			477 675,00	5 208 389,94	6 127 065,19	6 081 600,97	6 112 782,01
Przychód netto [zł]			-2 975 845,10	14 081 943,16	16 565 768,85	16 442 847,06	16 527 151,37
Przychód netto [zł]			477 675,00	780 986,25	884 442,19	924 785,63	1 074 455,00
Przychód netto [zł]			3 752 500,00	2 223 000,00	2 089 000,00	1 824 500,00	1 590 000,00
Przychód netto [zł]			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Przychód netto [zł]			-6 290 670,10	12 639 929,41	15 361 211,04	15 543 152,69	15 973 606,37
Przychód netto [zł]			-6 290 670,10	11 799 784,74	13 387 032,81	12 645 233,77	12 131 673,73
Przychód netto [zł]			7,12%	117 941 259			
Przychód netto [zł]				206,08			

Simulating...

Sims: 1

Iters: 100

Sim #: 1

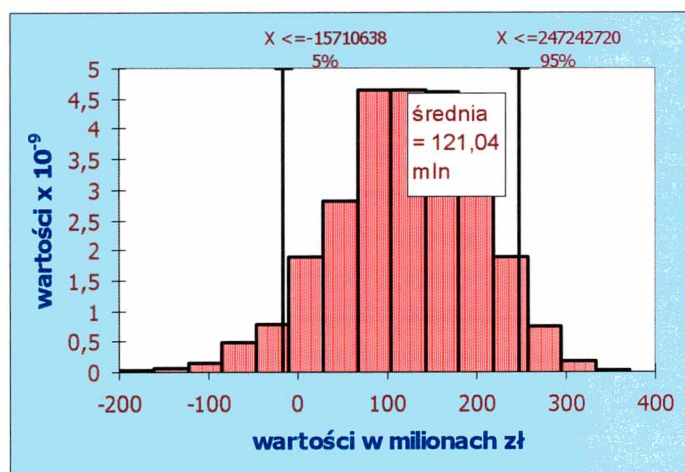
Iter #: 10

23%

Cancel

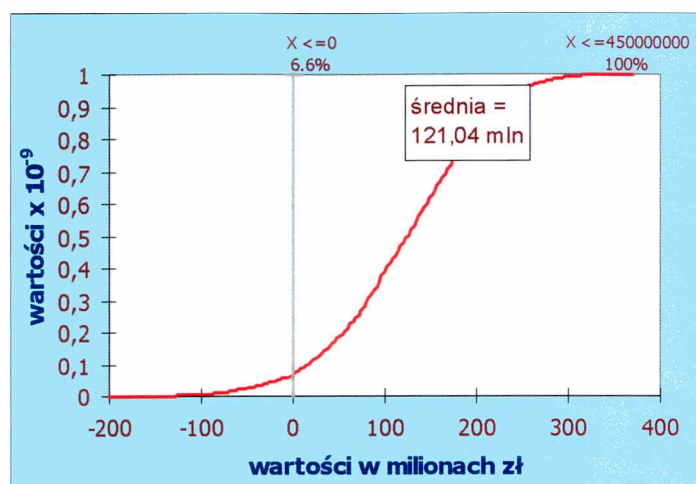
base case / zasob / wydob / rachunki /

Rys. 9.9. Arkusz symulacyjny programu @RISK projektu Książę Józef



Rys. 9.10. Histogram NPV projektu Książę Józef

Wyniki wskazują, że najbardziej prawdopodobny czas eksploatacji partii (90% uzyskanych wartości) mieści się w przedziale 131,11 a 154,66 miesięcy. Najbardziej prawdopodobny czas to 143,17 miesięcy (prawie 12 lat). Gdyby okres eksploatacji był jeszcze krótszy, wyniki – z uwagi na działanie czynnika dyskontowego – byłyby jeszcze bardziej korzystne.



Rys. 9.11. Dystrybuanta NPV projektu Książę Józef

Analiza ryzyka

Histogram NPV pokazuje, że 90% jej możliwych wartości zawiera się w przedziale od – 15,710 do 247,243 mln zł. Wartość oczekiwana rozkładu jest dodatnia i wynosi 121,040 mln zł (jest to wartość wyższa od pojedynczej kalkulacji NPV, liczonej z wykorzystaniem wartości oczekiwanych rozkładów, wynoszącej 117,941 mln zł – przy tej samej stopie dyskontowej). Jak pokazuje wykres dystrybuanty, przy przyjętych założeniach odnośnie parametrów wejściowych, istnieje zaledwie 6,6% szans, że inwestycja będzie przedsięwzięciem nieopłacalnym ($NPV < 0$). Z ekonomicznego punktu widzenia, bazując na uzyskanych z kopalni danych, przedmiotowy projekt nie jest więc przedsięwzięciem ryzykownym.

Wynik ten pozwala kierownictwu zakładu na właściwe podjęcie decyzji, które uzależnione będzie od skłonności decydentów do podejmowania ryzyka [Walls, Eggert 1996, Walls, Clyman 1998, Torries 1998]. Równie obiecujące są wyniki dotyczące IRR – 90% wartości IRR mieści się pomiędzy wartościami 51,44 i 472,28%. Wartość średnia otrzymanego rozkładu IRR wynosi 236,11%. Oznacza to ponad 2-krotny zwrot z zaangażowanego kapitału.

Analiza wrażliwości

Jak wspomniano (rozdział 8.3), analiza wrażliwości projektu w programie @RISK przeprowadzana jest za pomocą:

- 1) wielowariantowej regresji krokowej (*multivariate stepwise regression*), lub
- 2) korelacji porządkującej (*rank-order correlation*).

W przypadku projektu Kłuszyn postanowiono wykorzystać metodę wielowymiarowej regresji krokowej. Wyniki przeprowadzonej analizy wrażliwości NPV przedstawiono w tabeli 9.5 oraz na rys. 9.12.

W analizie statystycznej zwykle przyjmuje się następującą skalę zależności [Stanisz 1998]:

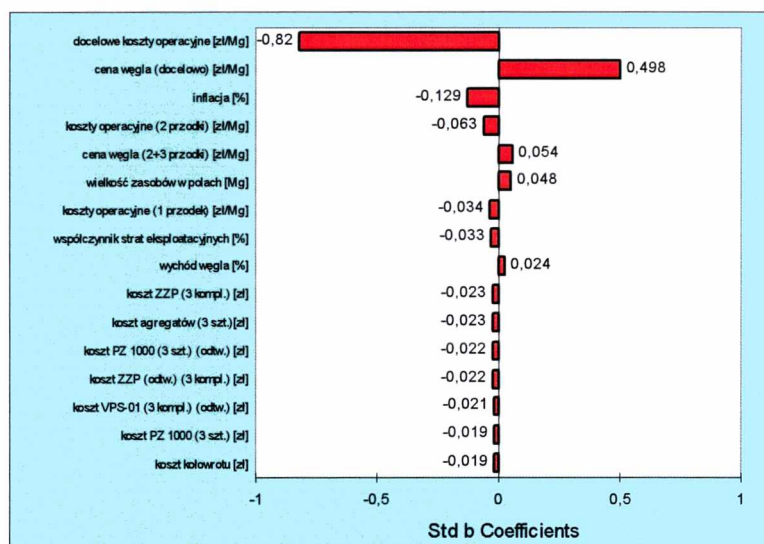
- 1) współczynnik równy 0 – brak zależności między zmiennymi,
- 2) $0 < \text{współczynnik} < 0,1$ – zależność nikła,
- 3) $0,1 \leq \text{współczynnik} < 0,3$ – zależność słaba (niewyraźna),
- 4) $0,3 \leq \text{współczynnik} < 0,5$ – zależność przeciętna (średnia),
- 5) $0,5 \leq \text{współczynnik} < 0,7$ – zależność wysoka (wyraźna),

- 6) $0,7 \leq \text{współczynnik} < 0,9$ – zależność bardzo wysoka,
- 7) $0,9 \leq \text{współczynnik} < 1$ – zależność prawie pełna.

Tabela 9.5. Rezultaty analizy wrażliwości NPV (według współczynnika regresji) projektu Książę Józef

Zmienna	Poziom współczynnika
docelowe koszty operacyjne [zł/Mg wydob.]	-0,82
cena węgla (docelowo) [zł/Mg]	0,498
inflacja [%]	-0,129
koszty operacyjne (2 przodki) [zł/Mg]	-0,063
cena węgla - 2+3 przodki [zł/Mg]	0,054
wielkość zasobów w parceli [Mg]	0,048
koszty operacyjne (1 przodek) [zł/Mg]	-0,034
Współczynnik strat eksploatacyjnych [%]	-0,033
wychód węgla [%]	0,024
koszt ZZP (x3 kompl. 6 szt. sekcji) [zł]	-0,023
koszt agregatu (x 3) [zł]	-0,023
koszt ZZP (odtw.) [zł]	-0,022
koszt PZ 1000 (odtw.) [zł]	-0,022
koszt VPS-01(odtw.) [zł]	-0,021
koszt PZ 1000 (x 3) [zł]	-0,019
koszt kołowrotu (x 1) [zł]	-0,019
koszt kołowrotu (odtw.) [zł]	-0,018
koszt agregatów (odtw.) [zł]	-0,018
cena węgla - 2 przodki / [zł/Mg]	-0,018
koszt jedn. draż. wyrobisk udostęp. w kamieniu [zł/mb]	-0,017

odtw. – inwestycje odtworzeniowe (po zamortyzowaniu pierwotnego wyposażenia)



Rys. 9.12. Wykres „Tornado” wrażliwości NPV (według wielowariantowej regresji krokowej) projektu Książę Józef

Analiza wrażliwości wskazuje, że projekt wrażliwy jest najbardziej na docelowe koszty operacyjne (zależność bardzo wysoka), docelową cenę węgla (zależność średnia), inflację (zależność słaba). Niespodzianką jest niska wrażliwość projektu na koszty kapitałowe.

Analiza scenariuszowa

Analiza scenariuszowa w programie @RISK oparta jest na analizie mediany warunkowej (*conditional median analysis*). Analizie podlega podzbiór iteracji, które spełniają żądane kryteria (np. NPV>90%). W trakcie analizy, wartości mediany każdego podzbioru parametrów wejściowych przyrównywane są do wartości mediany każdej zmiennej wejściowej dla całej symulacji. Jeśli wartości te różnią się istotnie, zmienna wejściowa uważana jest za znaczącą.

Wyniki analizy scenariuszowej przedstawiono w tabeli 9.6.

Tabela 9.6. Rezultaty analizy scenariuszowej projektu Książę Józef

Nazwa	NPV [percentyle]			IRR [percentyle]		
	>75%	<25%	>90%	>75%	<25%	>90%
wychód węgla [%]	--	--	--	--	--	--
docelowe koszty operacyjne [zł/Mg wydob.]	16%	85,66%	9,90%	22,96%	78,28%	17,16%
wielkość zasobów w parceli [Mg]	--	--	--	--	--	--
koszty operacyjne (1 przodek) [zł/Mg]	--	--	--	25,29%	--	17,76%
współczynnik strat eksploatacyjnych [%]	--	--	--	--	--	--
koszty operacyjne (2 przodki) [zł/Mg]	--	--	--	--	67,80%	28,20%
tempo eksploatacji (1 przodek) [Mg/m-c]	--	--	--	--	--	--
tempo eksploatacji (2 przodki) [Mg/m-c]	--	--	--	--	--	--
docelowe tempo eksploatacji [Mg/m-c]	--	--	--	--	--	--
inflacja [%]:	--	--	--	--	--	--
koszt jedn. draż. wyrobisk udostępn. w węglu [zł/mb]	--	--	--	--	--	--
koszt jedn. draż. wyrobisk udostępn. w kamieniu [zł/mb]	--	--	--	--	--	--
koszt ZZP (odtw.) [zł]	--	--	--	--	--	--
koszt PZ 1000 (odtw.) [zł]	--	--	--	--	--	--
koszt VPS-01(odtw.) [zł]	--	--	--	--	--	--
koszt agregatów (odtw.) [zł]	--	--	--	--	--	--
koszt kołowrotu (odtw.) [zł]	--	--	--	--	--	--
koszt ZZP (x3 kompl. 6 szt. sekcji) [zł]	--	--	--	--	--	--
koszt PZ 1000 (x 3) [zł]	--	--	--	--	--	--
koszt VPS-01(x 3 po 2 szt.) [zł]	--	--	--	--	--	--
koszt agregatu (x 3) [zł]	--	--	--	--	--	--
koszt kołowrotu (x 1) [zł]	--	--	--	--	--	--
koszt jedn. składowania odpadów / pieniądź stały [zł]	--	--	--	--	--	--
cena węgla (docelowo) / [zł/Mg]	74%	28,54%	79,10%	--	--	--
cena węgla - 2 przodki / [zł/Mg]	--	--	--	--	--	--
cena węgla – 1 przodek / [zł/Mg]	--	--	--	--	--	72,08%
cena węgla - 2+3 przodki / [zł/Mg]	--	--	--	75,34%	--	79,72%

Jak można zaobserwować, na szczególnie wysoką NPV (>90%) ma wpływ cena węgla i docelowe koszty operacyjne, przy czym cena ma dużo większe znaczenie. Te same parametry mają wpływ na niską wartość NPV (<25%), z tym, że waga ich wpływu jest odwrotna. Na szczególnie wysoką IRR (>90%) mają wpływ cena węgla w pierwszym i drugim roku inwestycji oraz koszty operacyjne.

Z obserwacji wyników umieszczonych w poniższej tabeli można wyciągnąć wniosek, że najkorzystniejszymi scenariuszami w przypadku NPV są te scenariusze, które charakteryzują

się – co intuicyjnie wydaje się oczywiste – wysokimi cenami węgla i niskimi kosztami operacyjnymi w okresie pełnej zdolności wydobywczej. Dla wysokich IRR mają dodatkowo znaczenie niskie koszty operacyjne w okresie rozruchu inwestycji i ceny węgla w tym okresie.

Przeprowadzona analiza wrażliwości zarówno w rachunku deterministycznym jak i stochastycznym pokazuje, że projekt jest najbardziej wrażliwy na docelowe koszty operacyjne, docelową cenę węgla, przy czym jest niespodzianką, że w rachunku deterministycznym większy wpływ na projekt ma cena niż koszty. Wynika to z faktu, że w symulacji MC założono występowanie korelacji między inflacją a kosztami i ceną, większej w przypadku cen niż kosztów.

Projekt eksploatacji systemem podbierkowym z chodnika eksploatacyjnego został zgodnie z harmonogramem wdrożony w kopalni Książę Józef i przynosi spodziewane przepływy pieniężne. Obawy, co do jego skutecznego funkcjonowania w kopalni węgla kamiennego, nie potwierdziły się.

9.3.2. Ocena ekonomiczna i analiza ryzyka projektu zagospodarowania złoża cynku i ołowiu Kłuszyń za pomocą symulacji Monte Carlo

Jako drugi przykład, służący celowi zilustrowania zastosowania symulacji probabilistycznej, przeprowadzono ocenę ekonomiczną możliwości zagospodarowania złoża Kłuszyń, opisanego szczegółowo w rozdziale 9.1.2.

Konstrukcja rozkładów prawdopodobieństwa niepewnych parametrów wejściowych

W myśl schematu symulacji MC, w pierwszym kroku zidentyfikowano wszystkie zmienne, które mogą mieć najsilniejszy wpływ na ocenę ekonomiczną projektu. Rozkłady prawdopodobieństwa ww. parametrów, niezbędne dla przeprowadzenia symulacji MC, skonstruowano w oparciu o dane historyczne, analizy eksperckie i inżynierskie oraz na podstawie doświadczeń własnych autora. Niepewne zmienne wejściowe oraz ich rozkłady zestawiono w tabeli 9.7.

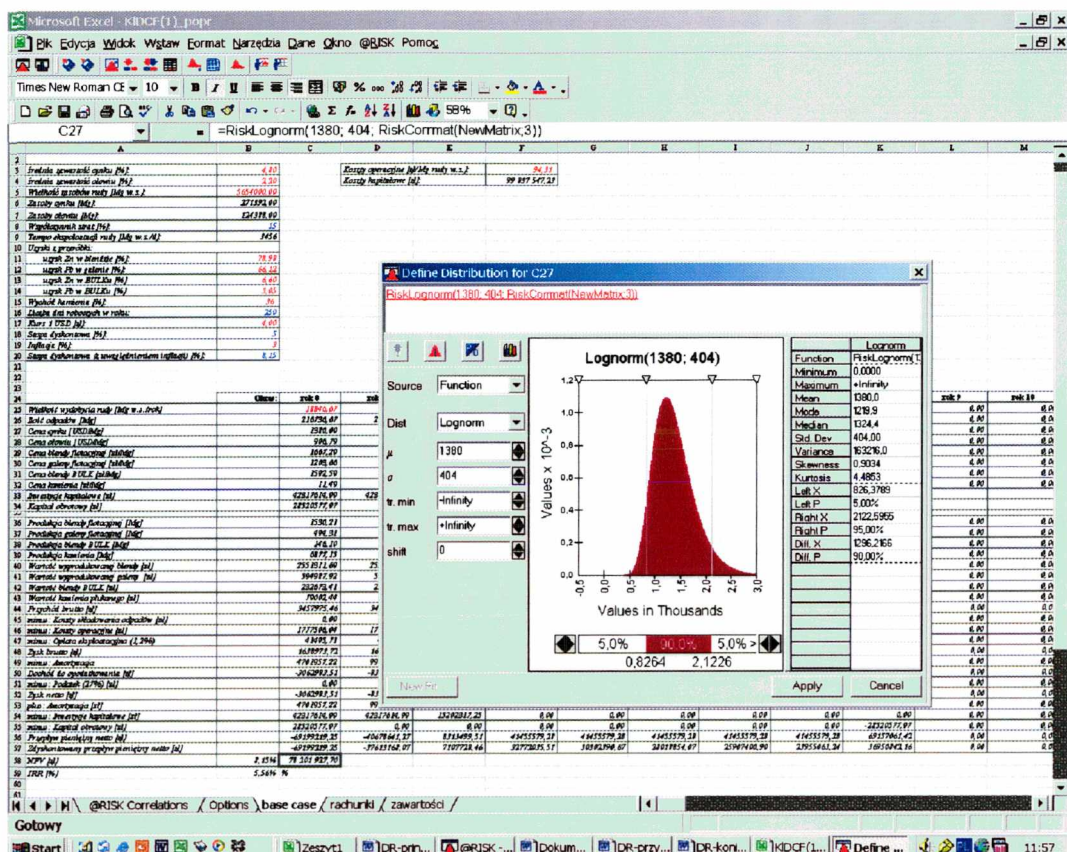
Rysunek 9.13 przedstawia arkusz kalkulacyjny projektu z wbudowanymi funkcjami programu @RISK do przeprowadzania symulacji MC.

Rozkłady parametrów wejściowych wyrażonych w jednostkach pieniężnych budowano w oparciu o wartości stałe, uwzględniając inflację, przy przyjęciu jako bazowego (inflacja zerowa) roku 2001.

Ze względu na wyrażenie większości liczby parametrów wejściowych pod postaciami ich rozkładów prawdopodobieństwa przyjęto stopę dyskontową (realną) na poziomie 5% [Smith 1994, 2000, Saługa 2000], którą przeliczano na nominalną według wzoru (6.7).

Obliczenia i wyniki

Jak już wspomniano, w symulacji MC, liczba przeliczeń powinna być kontynuowana aż do momentu, kiedy nie okaże się, że kolejne obliczenia nie są w stanie zmienić już w zasadniczy sposób kształtu, względnie statystyk rozkładu. Zatem w programie @RISK zaprogramowano, że stabilność sprawdzana będzie co 500 iteracji i że program przerywał będzie obliczenia, jeśli zmienność rozkładu wynikowego będzie mniejsza od 1,5%. Jako metodę generowania liczb losowych przyjęto – podobnie jak w poprzednim przykładzie – metodę *Latin Hypercube*.



Rys. 9.13. Arkusz kalkulacyjny projektu Kłuszyn z funkcjami programu @RISK

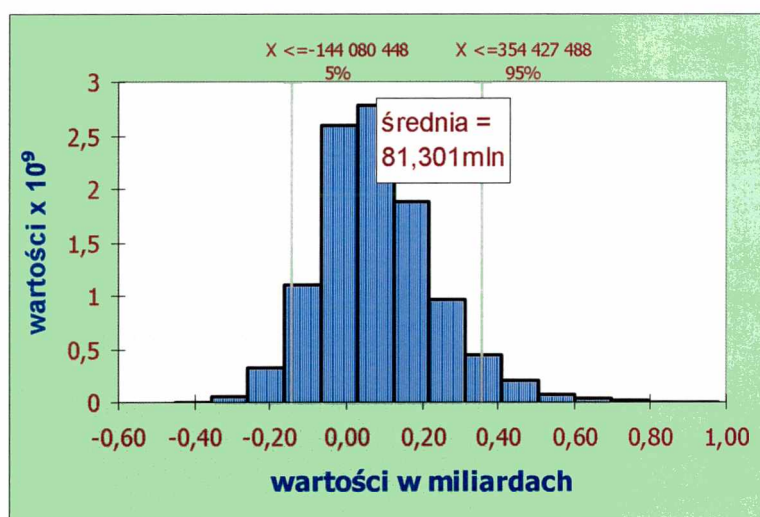
Tabela 9.7. Rozkłady parametrów wejściowych do analizy Monte Carlo projektu Kłuszyn

Zmienna	Rozkład	Wartość oczekiwana
średnia zawartość cynku [%]	trójkątny (3,36; 4,80; 6,24)	4,80
koszty operacyjne [zł/Mg rudy w.s.]	wartości ekstremalnej (89,2; 8,86)	94,31
średnia zawartość ołowiu [%]	trójkątny (0,54; 2,20; 2,86)	2,20
wielkość zasobów rudy [mln Mg w.s.]	trójkątny (3,9578; 5,654; 7,3502)	5,654
wychód kamienia [%]	jednorodny (33,26; 39,72)	36,00
kurs 1 USD [zł]	trójkątny (3,5; 4; 4,5)	4,00
cena cynku [USD/Mg]	lognormalny (1380; 404)	1 380,00
cena ołowiu [USD/Mg]	beta (0,94; 1,37)) x 663 + 637	611,68
cena kamienia [zł/Mg]	beta (0,46; 0,4)	11,49
inflacja [%]	wykładniczy (3)	3,00
uzysk w blendzie [%]	trójkątny (74,24; 80,43; 82,26)	78,98
analiza Zn w blendzie [%]	trójkątny (52,07; 53,47; 55,54)	53,69
uzysk w galenie [%]	jednorodny (61,65; 70,59)	66,12
analiza Pb w galenie [%]	jednorodny (60,35; 67,21)	63,78
uzysk Zn w BULK [%]	normalny (6,6; 1,04)	6,60
analiza Zn w BULK [%]	jednorodny (47,74; 50,1)	48,92
uzysk Pb w BULK [Mg]	erlang (454; 0,00671)	3,05
analiza Pb w BULK [%]	trójkątny (7,92; 7,96; 8,18)	8,02

W trakcie symulacji wykonano 8500 przeliczeń arkusza kalkulacyjnego. Wyniki symulacji i statystyki rozkładu wartości zaktualizowanej netto zestawiono w tabeli 9.8. Wynikowy rozkład prawdopodobieństwa NPV – również w wersji skumulowanej – przedstawiono na rys. 9.14 i 9.15.

Tabela 9.8. Statystyki rozkładu prawdopodobieństwa NPV projektu Kłuszyn

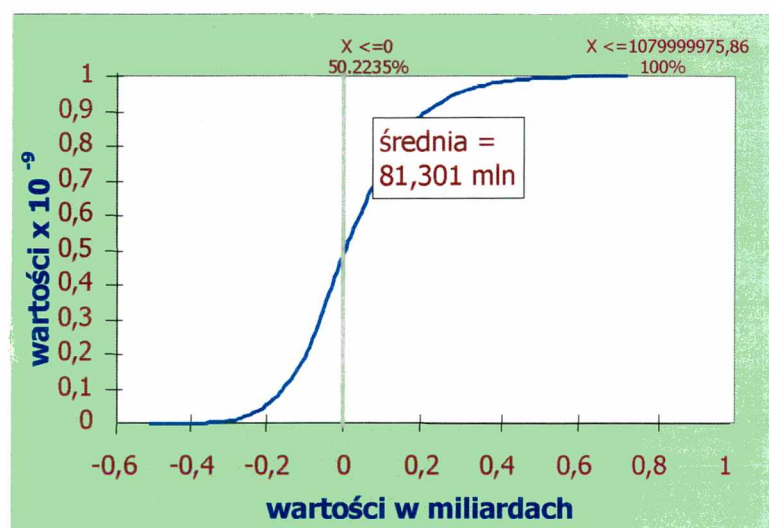
Parametr	NPV [mln zł]
Wartość minimalna:	-449,6089
Wartość maksymalna:	982,773
Wartość średnia:	81,30071
Odchylenie standardowe:	153,0731
Wariancja:	$2,34314 \times 10^{10}$
Skośność:	0,67
Kurtoza:	4,29
Wartość modalna:	152,9791



Rys. 9.14. Rozkład prawdopodobieństwa (histogram) NPV projektu zagospodarowania złoża Kłuszyn

Uzyskane wyniki wskazują, iż wartość średnia (oczekiwana) otrzymanego rozkładu NPV jest dodatnia i wynosi 81,301 mln zł. Wartość modalna rozkładu jest równa 152,979 mln zł. Wartość minimalna i maksymalna rozkładu wynoszą odpowiednio -449,608 mln i 982,773 mln zł, a 90% uzyskanych wartości NPV mieści się w przedziale (-144,080 mln zł; 354,427 mln zł). Odchylenie standardowe jest stosunkowo wysokie i wynosi 153,073 mln zł. Analiza dystrybuanty wskazuje, iż prawie 70% szans, że projekt okaże się przedsięwzięciem opłacalnym ($NPV > 0$).

Projekt Kłuszyn, przy przyjętych założeniach, wydaje się być przedsięwzięciem stosunkowo ryzykownym. Ewentualna decyzja o podjęciu realizacji projektu uzależniona będzie jednakże od skłonności decydentów do podejmowania ryzyka [Walls, Clyman 1998], co przy uwzględnieniu soczewkowej budowy złoża (gros zasobów „wisi” w istocie na trzech otworach) będzie trudnym wyzwaniem dla kierownictwa kombinatu.



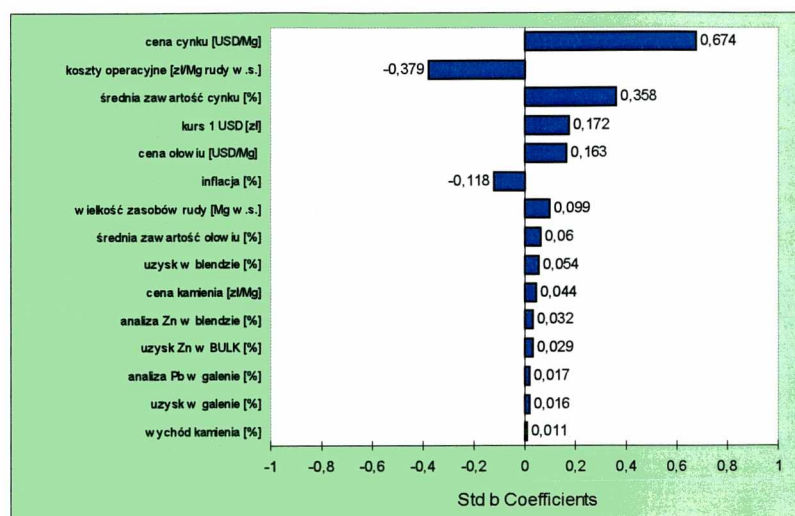
Rys. 9.15. Skumulowany rozkład prawdopodobieństwa (dystrybuanta) NPV projektu zagospodarowania złoża Kłuszyń

Analiza wrażliwości

Jak już wspomniano, program @RISK do przeprowadzania symulacji MC pozwala również na przeprowadzanie analizy wrażliwości. Rezultaty analizy według wielowymiarowej regresji krokowej zestawiono w tabeli 9.9 oraz na wykresie typu „Tornado” (rys. 9.16).

Tabela 9.9. Rezultaty analizy wrażliwości NPV projektu Kłuszyń

Parametr	Współczynnik regresji
cena cynku [USD/Mg]	0,674
koszty operacyjne [zł/Mg rudy w.s.]	-0,379
średnia zawartość cynku [%]	0,358
kurs 1 USD [zł]	0,172
cena ołowiu [USD/Mg]	0,163
inflacja [%]	-0,118
wielkość zasobów rudy [Mg w.s.]	0,099
średnia zawartość ołowiu [%]	0,060
uzysk w blendzie [%]	0,054
cena kamienia [zł/Mg]	0,044
analiza Zn w blendzie [%]	0,032
uzysk Zn w BULK [%]	0,029
analiza Pb w galenie [%]	0,017
uzysk w galenie [%]	0,016
wychód kamienia [%]	0,011



Rys. 9.16. Analiza wrażliwości projektu zagospodarowania złoża Kłuszyn (według współczynnika regresji)

Projekt zagospodarowania złoża cynku i ołowiu Kłuszyn, kalkulowany za pomocą symulacji MC, jest najbardziej wrażliwy na zmiany ceny cynku (współczynnik regresji 0,674 – zależność wysoka), a następnie zmiany kosztów operacyjnych oraz średnią zawartość cynku w rudzie (odpowiednio: -0,379 i 0,358 – zależność przeciętna).

Jak widać, rezultaty analizy wrażliwości w ujęciu stochastycznym różnią się od wyników uzyskanych w rachunku deterministycznym – w podejściu stochastycznym, NPV projektu jest najbardziej wrażliwa na zmiany ceny cynku, podczas gdy w rachunku deterministycznym największy wpływ na ekonomikę projektu mają koszty operacyjne. O ile w ujęciu deterministycznym oddziaływanie zmian ceny cynku i kosztów na projekt jest zbliżone, o tyle wyniki otrzymane w ujęciu stochastycznym wskazują blisko dwukrotnie większy wpływ na NPV ceny cynku niż kosztów operacyjnych.

Analiza scenariuszowa

Jak wspomniano, analiza scenariuszowa w programie @RISK oparta jest na analizie mediany warunkowej (*conditional median analysis*). Analizie podlegają podzbiory iteracji, które spełniają wymagane kryteria. W trakcie analizy wartości mediany każdego podzbioru parametrów wejściowych przyrównywane są do wartości mediany każdej zmiennej wejściowej dla całej symulacji. Jeśli wartości te różnią się istotnie, zmienna wejściowa uważana jest za znaczącą.

Wyniki analizy scenariuszowej przedstawiono w tabeli 9.10. Jak można zaobserwować, na szczególnie wysoką NPV (>90%) mają wpływ: cena cynku, średnia zawartość cynku oraz koszty operacyjne, przy czym dwa pierwsze parametry mają dużo większe znaczenie. Te same zmienne mają wpływ na niską wartość NPV (<25%), z tym, że największy wpływ mają tu koszty operacyjne.

Z obserwacji wyników umieszczonych w poniższej tabeli można wyciągnąć wniosek, że najkorzystniejszymi scenariuszami w przypadku NPV są te scenariusze, które charakteryzują się wysokimi cenami i dużymi zawartościami cynku oraz niskimi kosztami operacyjnymi, co zresztą stoi w zgodzie z intuicją.

Projekt Kłuszyn nie został dopuszczony do realizacji. Zarząd kombinatu Stanisław zdecydował się na wykonanie dodatkowych wierceń, których celem było zweryfikowanie

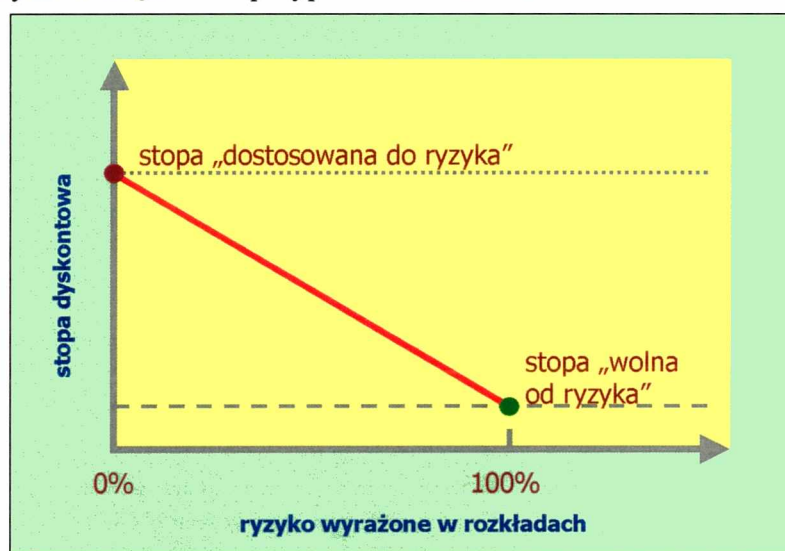
bazy zasobowej. Wyniki tych wierceń nie potwierdziły wielkości bazy zasobowej i pokazały, iż szacowane duże ryzyko przedsięwzięcia miało swoje uzasadnienie.

Tabela 9.10. Rezultaty analizy scenariuszowej projektu Kłuszyn

Nazwa	NPV [percentyle]		
	scenariusz=>75%	<25%	>90%
średnia zawartość cynku [%]	79,80%	22,76%	87,59%
koszty operacyjne [zł/Mg rudy w.s.]	---	72,03%	25,38%
średnia zawartość ołowiu [%]	---	---	---
wielkość zasobów rudy [Mg w.s.]	---	---	---
wychód kamienia [%]	---	---	---
kurs 1 USD [zł]	---	---	---
inflacja [%]:	---	---	---
wielkość wydobycia rudy [Mg w.s./rok] / rok 3	---	---	---
cena cynku [USD/Mg]	82,29%	17,18%	90,26%
cena ołowiu [USD/Mg]	---	---	---
cena kamienia [zł/Mg]	---	---	---
uzysk w blendzie [%]	---	---	---
analiza Zn w blendzie [%]	---	---	---
uzysk w galenie [%]	---	---	---
analiza Pb w galenie [%]	---	---	---

10. Dobór stopy dyskontowej w symulacji Monte Carlo

W związku z aplikacją modelu symulacyjnego Monte Carlo (MC) do analizy zdyskontowanych przepływów pieniężnych (DCF) pojawia się problem doboru stopy dyskontowej. Ponieważ wysokość stopy dyskontowej powiązana jest z poziomem ryzyka całkowitego przedsięwzięcia, teoria aplikacji metody MC do analizy DCF podpowiada, że stopa stosowana w symulacji MC powinna odzwierciedlać internalizację ryzyka wyrażonego w rozkładach prawdopodobieństwa niepewnych parametrów wejściowych – zatem jego porcja w stopie dyskontowej RADR (w postaci procentowej) powinna zmniejszać się proporcjonalnie do ilości ryzyka ujętej inherentnie w rozkładach (rys. 10.1) [Cavender 1992, Torries 1998]. Jeśli uda się więc zastosować rozkłady dla wszystkich niepewnych parametrów wejściowych, należy zastosować stopę dyskontową „wolną od ryzyka”. Stanowi to zasadniczy kontrast z nie-probabilistycznymi metodami wyceny, które posługują się stopami RADR, określanymi w większości przypadków na zasadzie *ad hoc*.



Rys. 10.1. Dobór stopy dyskontowej w ocenie ekonomicznej projektu z zastosowaniem symulacji Monte Carlo

Poziom stopy RADR ma istotny wpływ na rezultaty oceny ekonomicznej – w szczególności na wielkość NPV (rys. 6.2, rys. 6.3 – rozdział 6). Można to zaobserwować na przykładach, przedstawionych w rozdziale 9 – projekty: Książę Józef oraz Kłuszyn analizowane były zarówno w klasycznym ujęciu deterministycznym, jak i z zastosowaniem symulacji Monte Carlo. Wyniki zestawiono w tabeli 10.1.

Jeśli chodzi o projekt Książę Józef (górnictwo węgla kamiennego):

- 1) w rachunku deterministycznym DCF – z uwagi na zwiększone ryzyko, związane z wprowadzeniem nowego, nie sprawdzonego jeszcze w warunkach kopalń węglowych, systemu eksploatacji – przyjęto 15-procentową (realną) stopę RADR. Przy tak przyjętej stopie, NPV projektu dla przypadku podstawowego zamknęła się kwotą 97,379 mln zł;
- 2) z kolei, w symulacji MC – z uwagi na fakt wyrażenia większości parametrów wejściowych pod postaciami ich rozkładów prawdopodobieństwa – przyjęto realną stopę dyskontową na poziomie 4%. Wartość oczekiwana otrzymanego rozkładu NPV wyniosła w tym przypadku 121,040 mln zł.

Dla projektu Kłuszyn (górnictwo cynku i ołowiu):

- 1) z uwagi na ryzyko związane z niedostatecznym rozpoznaniem złoŹa, w rachunku deterministycznym przyjęto realną stopę RADR w wysokości 14%. W związku z tym w otrzymano NPV na poziomie 2,595 mln zł;
- 2) w modelu symulacyjnym MC – ze względu na wyrażenie większości zmiennych wejściowych pod postaciami ich rozkładów prawdopodobieństwem – przyjęto stopę dyskontową na poziomie 5%. W ten sposób wartość oczekiwana uzyskanego rozkładu NPV zamknęła się liczbą 81,301 mln zł.

W tabeli 10.1 przedstawiono ponadto wartości NPV, skalkulowane przy uŹyciu wartości średnich z rozkładów prawdopodobieństwa przyjętych w modelu Monte Carlo.

Tabela 10.1. Wartości NPV w zależności od przyjętej metodyki kalkulacji

Projekt inwestycyjny	analiza DCF					
	rachunek deterministyczny – przypadek podstawowy		symulacja MC – kalkulacja deterministyczna z uŹyciem wartości średnich rozkładów		symulacja MC – wartość oczekiwana otrzymanego rozkładu NPV	
	NPV [mln zł]	stopa dyskontowa RADR	NPV [mln zł]	stopa dyskontowa	NPV [mln zł]	stopa dyskontowa
Książę Józef	97,379	15%	117,941	4%	121,040	4%
Kłuszyn	2,595	14%	78,202	5%	81,301	5%

Jak napisano w rozdziale 6, NPV w analizie zdyskontowanych przepływów pieniężnych jest miernikiem wartości projektu.

W związku z tym pojawia się problem: ile wart rzeczywiście jest projekt? Jest oczywiste, że ma on tylko jedną oczekiwaną wartość rynkową a celem oceny ekonomicznej jest ustalenie tej wartości. Dla obu projektów mamy po dwie liczby:

- 1) NPV uzyskaną w rachunku deterministycznym – przypadek podstawowy oraz
- 2) wartość oczekiwaną rozkładu NPV, otrzymanego w symulacji Monte Carlo.

W przypadku projektu Książę Józef są to odpowiednio kwoty:

- 1) 97 mln zł, oraz
- 2) 121 mln zł.

Analogicznie dla projektu Kłuszyn:

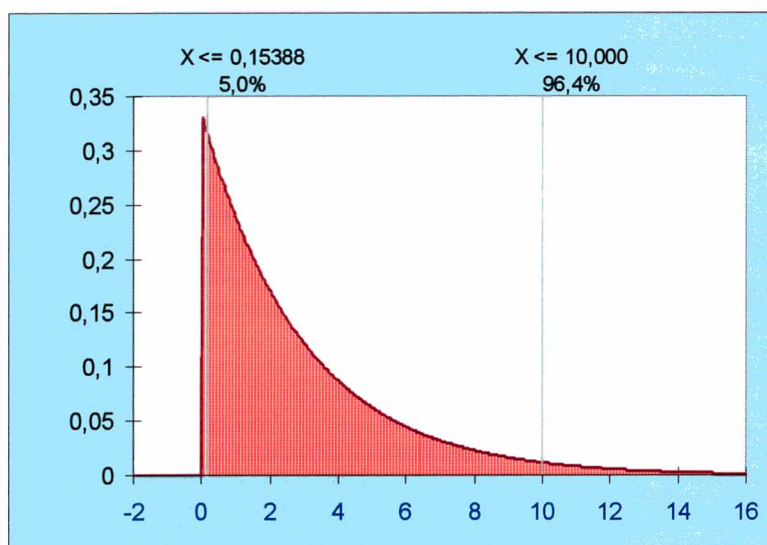
- 1) 2,6 mln zł, oraz
- 2) 81,3 mln zł.

Jak łatwo zauważyć, różnice są znaczne. W głównej mierze biorą się z zastosowania odmiennych stóp dyskontowych. Zastosowana niska stopa dyskontowa skutkuje większą wartością NPV. Dla niektórych projektów sprawa ma bardzo istotne znaczenie: o ile w przypadku projektu Książę Józef pojawia się wyłącznie dylemat, ile wart jest projekt, to w przypadku złoŹa Kłuszyn występuje dodatkowo kwestia podjęcia decyzji o rozpoczęciu udostępnienia, gdyż z zgodnie regułami ekonomii, złoŹe o NPV niższej od nakładów kapitałowych (a w przypadku złoŹa Kłuszyn jest to liczba 99,8 mln zł – tabela 9.2) nie powinno być zagospodarowywane (rozdział 6.2, formuła (6.4)).

Obserwacja, która legła u podstaw klasycznej analizy scenariuszowej (w rachunku deterministycznym), a w konsekwencji symulacji MC (jako analizy tysięcy scenariuszy), jest oczywista: zmienna reprezentowana przez pojedyncze oszacowanie, w rzeczywistości może przyjmować jedną z wielu możliwych wartości. Deterministyczna kalkulacja NPV w analizie DCF wykorzystuje właśnie pojedyncze (określone przez analityka) wartości zmiennych wejściowych. Stąd uzyskana wartość NPV stanowi jedynie (oczekiwane przez nas) przybliżenie wartości, która rzeczywiście wystąpi. Ma ona więc, jako taka, charakter

probabilistyczny. Symulacja MC identyfikuje więc *explicite* to, co zostało przyjęte jako domniemane.

Argumentacja za stosowaniem w symulacji MC obniżonych – w stosunku do „deterministycznej” RADR – stóp dyskontowych (w skrajnym przypadku „wolnych od ryzyka”) jest następująca: względne nieprawdopodobieństwo wystąpienia wyniku skrajnie optymistycznego lub skrajnie pesymistycznego odzwierciedlone jest w uzyskiwanym w wyniku symulacji rozkładzie NPV. W trakcie przeprowadzania symulacji, niepewne zmienne wejściowe projektu wchodzi do rachunku w tej samej w przybliżeniu proporcji, w jakiej występują w rozkładzie. Wartości o małym prawdopodobieństwie zaistnienia ważone są względnie niską liczbą ich wystąpienia w całej symulacji. Weźmy, dla przykładu, rozkład inflacji dla projektów Książę Józef i Kłuszyn (przyjęto rozkład wykładniczy ze współczynnikiem $\beta = 3$ i parametrem przesunięcia 0 – tab. 9.3, 9.7): analizując ten rozkład (rys. 10.2) można łatwo zauważyć, iż przepływy pieniężne, w których wartość inflacji będzie większa niż 10% stanowić będą zaledwie 3,6% ich całkowitej liczby. A zatem symulacja pozwala analitykowi badać wszystkie możliwe kombinacje wartości danych wejściowych i ważyć uzyskane wyniki względным prawdopodobieństwem ich wystąpienia. W kalkulacji deterministycznej NPV, niepewność odnośnie wystąpienia konkretnych wartości parametrów uwzględniana jest poprzez „dostosowywanie do ryzyka” stopy dyskontowej. W związku z faktem, iż symulacja MC uwzględnia niepewność poprzez wyrażenie niepewnych zmiennych



Rys. 10.2. Projekt Książę Józef i Kłuszyn – rozkład inflacji (wykładniczy (3, 0))

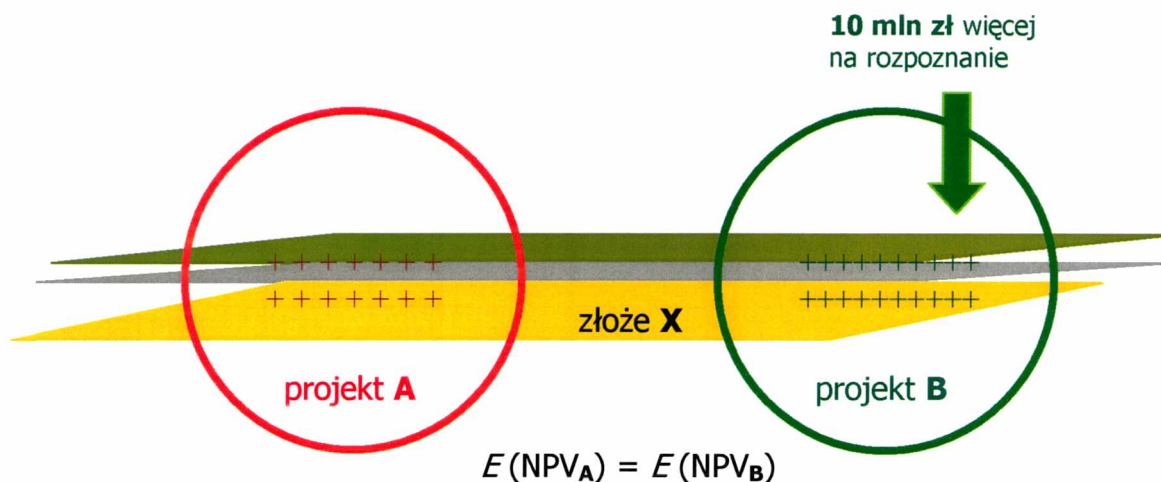
pod postaciami rozkładów prawdopodobieństwa przyjmowanie stopy „deterministycznej” RADR w procesie kalkulacji przepływów pieniężnych jest nieuzasadnione, gdyż przepływy te już odzwierciedlają ryzyko. Zatem: w symulacji MC ryzyko jest wyrażone samo przez się w rozkładach prawdopodobieństwa danych wejściowych; „deterministyczna” stopa RADR powinna być obniżana w proporcji do ryzyka ujętego w rozkładach (rys. 10.1). Przypadek skrajny wystąpi wówczas, gdy wszystkie niepewne zmienne zostaną włączone do modelu pod postacią rozkładu prawdopodobieństwa; w tym momencie powinna być użyta stopa „wolna od ryzyka”. Argumentacja wydaje się być logiczna i uzasadniona.

Z drugiej strony przedstawić można równie rozsądną kontrargumentację: kalkulacja deterministyczna NPV przedstawia wynik tylko jednej z nieskończonej ilości kombinacji możliwych wartości niepewnych zmiennych. Poprzez zastąpienie wartości deterministycznych zmiennych ich rozkładami prawdopodobieństwa otrzymuje się w efekcie rozkład prawdopodobieństwa wartości NPV. Rozkład ten odzwierciedla wpływ losowo

wybranych zmiennych na NPV. Jednak ryzyko związane z projektem jest przecież wciąż takie samo. Symulacja stochastyczna nie powoduje redukcji poziomu ryzyka. Mówiąc dobitnie – wartość projektu nie zwiększy się przecież wraz z liczbą działań wykonanych przez komputer ani przez zastosowanie rozkładów. Nie mogą one wyeliminować ryzyka związanego z projektem a zatem nie mogą podwyższyć wartości projektu z punktu widzenia inwestora, mającego awersję do ryzyka. Swoją drogą, można postawić tu retoryczne pytanie – czy ktoś rozsądny, mając na uwadze fakt, że deterministyczna kalkulacja NPV przy 14-procentowej stopie RADR daje wartość 2,6 mln zł, zapłaciłby za to złożę 81,3 mln zł, wiedząc że jest to wartość oczekiwana rozkładu prawdopodobieństwa NPV, uzyskanego w wyniku symulacji Monte Carlo, przy zastosowaniu obniżonej – w stosunku do „deterministycznej” RADR – stopy dyskontowej?

Wydaje się, iż problem leży w interpretacji ryzyka projektowego i wynikających z tego implikacji, związanych z określaniem stopy dyskontowej. Podejście inwestora mającego awersję do ryzyka jest następujące: im przepływy pieniężne wydają się być bardziej zmienne i niepewne, tym projekt jest bardziej ryzykowny. Taki inwestor mając do wyboru dwa porównywalne projekty inwestycyjne, uważał będzie za bardziej ryzykowny – i oczywiście mniej atrakcyjny – projekt o większej niepewności w zakresie poziomu zmiennych wejściowych – nawet jeśli jego „oczekiwane” parametry oraz jego NPV są takie same jak projektu mniej ryzykownego.

Przykładowo: kopalnia X rozważa zagospodarowanie dwóch projektów – A i B, zlokalizowanych sąsiednio, na tym samym złożu rudy miedzi (rys. 10.3). Załóżmy, że projekty są identyczne, ale zmienne wejściowe projektu A, są bardziej niepewne niż projektu B – zatem projekt A jest bardziej ryzykowny. Przyjmijmy, że pewne parametry są tak samo niepewne dla obu projektów. Zaliczmy do nich cenę miedzi, inflację, kurs dolara, koszty kapitałowe i operacyjne oraz czynniki krajowego ryzyka inwestycyjnego. Załóżmy dalej, że



Rys. 10.3. Projekty A i B na tym samym złożu kopalni X o różnym stopniu rozpoznania

wielkości wydobycia obu projektów będą tak samo równie niepewne oraz że zawartość składnika użytecznego, uzysk i zasoby dla obu projektów będą miały te same wartości oczekiwane i taki sam zakres niepewności. Umówmy się jednak, że wartości oczekiwane zasobów rudy, zawartości miedzi i uzysku w koncentracie projektu A są mniej pewne, gdyż kopalnia X wydała 10 mln zł mniej na prace rozpoznawcze związane z tym projektem. Innymi słowy, w oparciu o wszystkie prace przeprowadzone do tego momentu, wartości oczekiwane zasobów, zawartości miedzi i uzysku projektu A są takie same jak projektu B, ale

posiadają szerszy zakres wariacji. Chociaż więc kierownictwo kopalni X oczekuje takich samych przepływów pieniężnych z obu projektów i takich samych NPV, to jednak zarówno przepływy jak i NPV projektu A będą oczywiście mniej pewne. A zatem projekt A, skoro jest bardziej ryzykowny, powinien być przez to mniej wart. Kopalnia X mogłaby, naturalnie, zredukować niepewność przepływów pieniężnych tego projektu, wydając wspomniane 10 mln zł na program dodatkowych prac na złożu. Wykonanie tych robót uczyni projekt A identycznym z projektem B. Projekt A, przed wykonaniem tego zakresu robót powinien być dokładnie 10 mln zł tańszy od projektu B. Zatem dla projektu A należałoby przyjąć większą stopę RADR niż dla projektu B o tyle, aby skutkowała ona wartością NPV o 10 mln zł niższą od NPV projektu B. Operacja ta odzwierciedla ideę dyskontowania „dostosowanego do ryzyka”.

Jaką, jednakże, informację niesie z sobą sytuacja, w której kopalnia X – zamiast przeprowadzenia programu dodatkowych prac na złożu – zastosuje dla kalkulacji NPV symulację Monte Carlo? Czy spowoduje to, iż kopalnia uzyska szerszą informację o parametrach pierwiastka użytecznego projektu A? Czy przeprowadzona symulacja zmniejszy niepewność odnośnie parametrów złoża projektu A w taki sam sposób, jak ewentualny program dodatkowych prac rozpoznawczych? Oczywiście, że nie. Skoro więc modelowanie stochastyczne nie zmienia żadnego aspektu niepewności projektu, w kalkulacji MC dla projektu A powinna być zastosowana ta sama „dostosowana do ryzyka” stopa dyskontowa, co w kalkulacji deterministycznej. Dla inwestora odczuwającego awersję do ryzyka, projekt A jest wciąż wart 10 mln zł mniej niż projekt B.

10.1. Teoria preferencji

„Zrozumienie zagadnienia alternatywnego kosztu kapitału (a więc i stopy dyskontowej – przyp. aut.), jak piszą Stermole i Stermole [1993], jest sprawą niezmiernie ważną, stanowiącą fundament prawie wszystkich ocen inwestycyjnych; jest to jednakże pojęcie, które właśnie często nie jest właściwie rozumiane”. Inne możliwości inwestycyjne muszą być pominięte, jeśli istnieje wola zainwestowania w rozważany projekt. Jeśli okazje te charakteryzują się ryzykiem podobnym do ryzyka rozważanego projektu (np. jeśli są to inne górnicze projekty inwestycyjne), nie ma potrzeby uwzględniać czynników zwiększonego ryzyka. Z drugiej strony, jeśli te możliwości reprezentują zakup obligacji rządowych, dających – powiedzmy – 5%, wtedy należy uwzględnić „premię za ryzyko”.

Zdaniem autora, problem doboru stopy dyskontowej w symulacji MC znajduje swe rozstrzygnięcie w tzw. teorii preferencji (*preference theory*).

W myśl aksjomatów, podanych (niezależnie od siebie) przez von Neumanna i Morgensterna [1953], Savage’go [1954] oraz Pratta i in. [1964] atrakcyjność różnych możliwości inwestycyjnych powinna zależeć od:

- 1) prawdopodobieństwa wyników każdej alternatywy,
- 2) preferencji decydenta względem tych wyników.

Implikacjami analitycznymi powyższych aksjomatów są takie prawdopodobieństwa i użyteczności (mierniki preferencji), które mogą być wykorzystane do obliczenia oczekiwanej użyteczności każdej alternatywy decyzyjnej. Oczywiście powinny być preferowane te alternatywy, których oczekiwane użyteczności są większe.

Jak już wspomniano, symulacja MC może mieć niewielkie zastosowanie, jeśli firma właściwie nie przeanalizuje i nie zinterpretuje poprawnie wyników (w szczególności prawdopodobieństwa opłacalności) oraz skali możliwego zwrotu uzyskanego wskutek podejmowanych decyzji. Mając do dyspozycji wyniki symulacji MC inwestor – w zależności od własnych skłonności w zakresie podejmowania ryzyka – może projekt przyjąć bądź odrzucić. Problem ten podejmuje teoria preferencji. Ułatwia ona inwestorowi stosowanie

relatywnie spójnego miernika wyceny dla szerokiej gamy ryzykownych inwestycji. Teoria dostarcza inwestorom praktycznego sposobu na formułowanie spójnej polityki, uwzględniającej ich skłonności w zakresie partycypowania w ryzykownych projektach.

Teoria preferencji – zwana też teorią oczekiwanej użyteczności – stanowi rozszerzenie pojęcia wartości oczekiwanej. Opiera się ona na obserwacji, iż różni inwestorzy wykazują różną tolerancję dla podejmowania ryzyka finansowego. Ich skłonność do jego ponoszenia włączona jest do modelu kalkulacyjnego. Wynikiem jest bardziej realistyczny miernik wartości poszczególnych projektów alternatywnych, o różnych poziomach niepewności i ryzyka.

Zastosowanie teorii preferencji dla określania wartości projektu nie jest tak szeroko znane jak kryteria mierników wykonalności analizy DCF, choć należy podkreślić że sama koncepcja nie jest niczym nowym – badania skłonności do ponoszenia ryzyka oraz wydatkowania pieniędzy prowadzone są już od XVIII wieku (praca D. Bernoulliego z 1738) [Walls, Eggert 1996, Walls, Clyman 1998].

Zdolność mierzenia skłonności firmy do podejmowania ryzyka jest ważną częścią analizy decyzyjnej. W pewnych warunkach i przy przyjęciu pewnych założeń skłonność ta może być mierzona tzw. współczynnikiem RT („tolerancja dla ryzyka” – *risk tolerance*, RT). W celu dokonywania pomiaru preferencji w zakresie podejmowania ryzyka – czy to poszczególnej osoby czy też grupy osób – wykorzystuje się funkcję użyteczności – zazwyczaj w postaci wykładniczej (postać wykładnicza funkcji dominuje w pracach teoretycznych i praktycznych, dotyczących teorii decyzyjnej i finansów; wystarcza ona w zupełności do rozwiązywania szerokiej rzeszy problemów dotyczących preferencji względem ryzyka zarówno poszczególnych osób jak i firm [Kenney, Raiffa 1976]). Bazowanie na postaci funkcji wykładniczej pozwala na rozważanie każdego projektu z osobna. Istotną przewagą praktyczną tej postaci funkcji nad innymi stanowi fakt, iż nie wymaga ona analizowania w trakcie oceny całego portfela alternatywnych projektów.

Jednym z powodów tak częstego wykorzystywania funkcji użyteczności jest fakt, iż współczynnik RT firmy może być określany przez możliwą do oszacowania pojedynczą liczbę [Spetzler 1968, Walls 1995, Walls, Eggert 1996]. Wykładnicza funkcja użyteczności ma następującą postać matematyczną:

$$u(x) = a - be^{-x/RT} \quad (10.1)$$

gdzie:

u – użyteczność, jako funkcja interesującej nas zmiennej,

x – wyniki finansowe [jedn. pieniężne],

RT – „tolerancja dla ryzyka”,

e – stała logarytmiczna

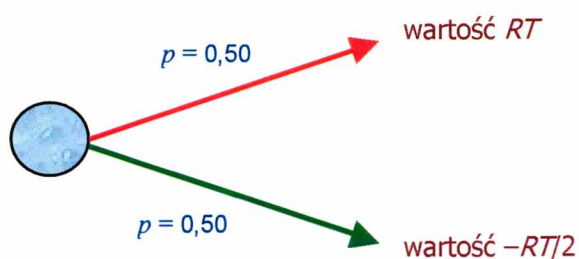
a, b – przeliczniki stałe formuły.

Współczynnik RT reprezentuje taką kwotę, poziom której powoduje iż decydentom jest obojętne – przy szansach 50 na 50 – czy uzyskają całą tę sumę, czy stracą jej połowę. Postać wykładnicza pozwala zatem na scharakteryzowanie „tolerancji dla ryzyka” pojedynczą liczbą RT, która – mówiąc obrazowo – mierzy krzywiznę funkcji użyteczności [Walls 1995, Walls, Eggert 1996, Walls, Clyman 1998].

Koncepcję „tolerancji dla ryzyka” przedstawiono na rys. 10.4.

Kopalnia X rozważa trzy przypadki inwestycyjne. Wszystkie mają dodatnią wartość NPV. Dlatego wszystkie trzy byłyby zaakceptowane przez inwestora, który ma neutralny stosunek do ryzyka. Zarząd przedsiębiorstwa uważa jednak, iż możliwa strata 10 mln zł jest zbyt duża (pomimo takiego samego potencjału uzyskania 20 mln zł). Wynika z tego, iż współczynnik RT („tolerancja dla ryzyka”) kopalni X jest niższy od 20 mln zł. Zarząd firmy uważa, iż jest w stanie bez problemów zaakceptować ryzyko utraty 5 mln zł (z takim samym

prawdopodobieństwem uzyskania 10 mln zł). Zatem mamy drugą informację: „tolerancja dla ryzyka” (współczynnik RT) jest większa od 10 mln zł. Rysunek pokazuje, że wartość współczynnika RT dla X wynosi 15 mln zł – kopalni w tym przypadku jest obojętna możliwość straty 7,5 mln w stosunku do takiej samej szansy uzyskania dochodu na poziomie 15 mln.



przypadek	wartość RT [mln zł]	wartość $-RT/2$ [mln zł]	decyzja
1	10	5	zaakceptować
2	15	7,5	stosunek obojętny
3	20	10	odrzuć

Rys. 10.4. Koncepcja tolerancji dla ryzyka – RT

Jeśli znamy funkcję użyteczności firmy – w postaci wykładniczej czy innej – jesteśmy w stanie dla każdej niepewnej inwestycji policzyć miernik wyceny „dostosowany do ryzyka”. Miernik ten – nazywany ekwiwalentem pewności CE (*certainty equivalent*) – można zdefiniować jako wartość, którą decydent chętny jest zaakceptować wmiast ryzyka reprezentowanego przez niepewny projekt [Walls, Eggert 1996, Walls, Clyman 1998]. Jest to w istocie wielkość gotówki przypisywanej temu projektowi. Mając ekwiwalenty pewności dla różnych projektów, porównywanie ich jest łatwe – wyższe wartości CE są korzystniejsze niż niskie. Ekwiwalent pewności – w postaci funkcji wykładniczej – zależy od poziomu tolerancji firmy dla ryzyka RT oraz charakterystyk ryzyka (rozkład prawdopodobieństwa wyników) alternatywy decyzyjnej. Dla projektów, które mogą być modelowane poprzez dyskretne rozkłady prawdopodobieństwa, wzór na ekwiwalent pewności CE_x , otrzymany z wykładniczej funkcji użyteczności, ma postać następującą:

$$CE_x = -RT \ln \left(\sum_{i=1}^n p_i e^{x_i/RT} \right) \quad (10.2)$$

gdzie:

p_i – prawdopodobieństwo wyniku i ,

x_i – wartość wyniku i .

Wycena na podstawie ekwiwalentu pewności pomaga inwestorowi dobrać odpowiedni poziom uczestnictwa w projekcie, spójny z preferencjami inwestora w zakresie ponoszenia ryzyka.

Zastosowanie teorii preferencji w praktyce nie jest proste. W przypadku symulacji Monte Carlo, uzyskany w jej rezultacie histogram należy podzielić na równe przedziały dyskretne [Torries 1998] i przeprowadzić obliczenia według formuły (10.2).

Mając na uwadze powyższe, aby skalkulować, ile rzeczywiście inwestor zapłaciłby za projekt, należy wziąć pod uwagę jego skłonność do podejmowania ryzyka.

Jak pokazują wyniki pracy, problem doboru stopy dyskontowej w analizie DCF dla górniczych projektów inwestycyjnych jest zagadnieniem o kluczowym znaczeniu. Stopa dyskontowa, której funkcją jest przeliczanie (aktualizowanie) przyszłych niepewnych przepływów finansowych projektu na wartość dzisiejszą, stanowi tym samym odzwierciedlenie ryzyka projektu – im przepływy te, inwestorowi odczuwającemu awersję do ryzyka, wydają się bardziej niepewne, tym stopa dyskontowa (nazywana „dostosowaną do ryzyka” – RADR) jest wyższa.

Poziom stopa dyskontowej istotnie oddziałuje na jego wartość. Wartości liczone przy wyższej stopie są mniejsze od wartości kalkulowanych przy stopie niższej.

W związku z powyższym, pojawia się problem doboru stopy dyskontowej w modelu symulacyjnym Monte Carlo. Teoria symulacji – biorąc pod uwagę fakt, iż ryzyko projektu wyrażone jest w rozkładach prawdopodobieństwa danych wejściowych – zakłada przyjmowanie stopy dyskontowej obniżonej – w stosunku „deterministycznej” stopy RADR – w proporcji do ilości ryzyka ujętego w rozkładach. Skutkuje to zawyżeniem – w porównaniu do wyników analizy deterministycznej – wartości oczekiwanej projektu. Pojawia się pytanie o słuszność teorii symulacji.

Opierając wnioskowanie na przykładach z branży autor pokazuje, że różnica pomiędzy podejściem klasycznym (deterministycznym) a symulacyjnym w analizie DCF wynika z faktu, iż w tym pierwszym dobór stopy RADR dokonywany jest przy założeniu, że inwestora cechuje awersja do ryzyka; w symulacji MC natomiast, wyniki kalkulowane przy obniżonej – w stosunku do „deterministycznej” – stopie dyskontowej, przedstawiane są do decyzji osobie, charakteryzującej się obojętnym stosunkiem do ryzyka. Może ona obliczyć wartość projektu, korzystając z algorytmów tzw. teorii preferencji. Jest to – niestety – zazwyczaj przedsięwzięcie trudne i pochłaniające nakład czasu, często niewspółmierny do wartości osiąganego wyniku. Stanowi to przesłankę przemawiającą raczej za stosowaniem w modelu symulacyjnym „deterministycznej” stopy RADR, której metodyka doboru przedstawiona została w pracy.

Konkludując, mając na uwadze poprawne określenie wartości projektu w modelu symulacyjnym analizy DCF, autor rozprawy proponuje następujące postępowanie:

- 1) dyskontowanie w symulacji „deterministyczną” stopą RADR, bądź
- 2) zastosowanie w stosunku do wyników symulacji (liczonych przy obniżonej – w stosunku do „deterministycznej” RADR – stopie dyskontowej) teorii preferencji, uwzględniającej skłonność decydenta do podejmowania ryzyka.

11. Podsumowanie i wnioski

Zainteresowanie nowoczesnymi metodami analizy ryzyka, zwróciły uwagę autora na zalety symulacji Monte Carlo (MC). Metoda MC, posługując się rozkładami prawdopodobieństwa niepewnych zmiennych, pozwala na wszechstronną analizę ryzyka przedsięwzięć inwestycyjnych, ułatwiającą podejmowanie decyzji inwestycyjnych, co w górnictwie – z uwagi na skalę problemu – ma strategiczne znaczenie. Wśród wielu problemów, związanych ze skuteczną aplikacją algorytmów metody MC do klasycznego modelu zdyskontowanych przepływów pieniężnych (DCF), jednym z najbardziej istotnych jest kwestia doboru stopy dyskontowej. Problem ten pojawił się po raz pierwszy w artykule B. Cavendera [1992] pt. „*Determination of the Optimum Lifetime of a Mining Project using Discounted Cash Flow and Option Pricing Techniques*” („Określenie optymalnego czasu istnienia górniczego projektu inwestycyjnego przy wykorzystaniu metod zdyskontowanych przepływów pieniężnych oraz wyceny opcji”). Cavender po raz pierwszy zastosował symulację MC do oceny ekonomicznej i analizy ryzyka niewielkiego projektu z branży górnictwa złota. Przyjęcie przez niego – w zgodzie z założeniami teoretycznymi – stopy dyskontowej „wolnej od ryzyka” wywołało polemikę w środowisku górniczym [Malozemoff 1993, Smith 1993, Cavender 1993, Le Bel 1993, Cavender 1993a].

W wyniku dyskusji ujawniły się dwa konkurujące – i wzajemnie wykluczające się – stanowiska odnośnie stosowania niskich stóp dyskontowych w modelu symulacyjnym MC oceny ekonomicznej:

- jest to postępowanie słuszne i uzasadnione teoretycznie,
- jest to postępowanie błędne i nieracjonalne.

Obie strony sporu dysponują przekonującymi argumentami.

Ważkość tego zagadnienia ujawniła się w trakcie realizacji przez autora wielu prac dla kopalń węgla kamiennego i rud metali nieżelaznych, obejmujących ocenę ekonomiczną i analizę ryzyka projektów. Użycie w modelu MC obniżonej – w stosunku do stopy RADR, stosowanej w rachunku deterministycznym – stopy dyskontowej niesie ze sobą istotne konsekwencje w kontekście oczekiwanej wartości projektu.

Powyższe obserwacje skłoniły autora do szerszego zajęcia się problemem doboru stopy dyskontowej w procesie oceny ekonomicznej górniczych projektów inwestycyjnych – w tym w szczególności w modelu symulacyjnym MC, czego konsekwencją jest rozstrzygnięcie ww. sporu.

W związku z tym, sformułowana została teza pracy, o następującym brzmieniu:

Mając na uwadze wartość projektu w symulacji MC – niezależnie od ilości ryzyka ujętego w rozkładach prawdopodobieństwa danych wejściowych – powinna być użyta ta sama stopa dyskontowa, co stopa „dostosowana do ryzyka” (RADR) przyjmowana w rachunku deterministycznym,

bądź

konieczna jest aplikacja algorytmów tzw. teorii preferencji.

Tezę tę potwierdzono, dokonując badań i analiz na dwóch przykładowych projektach o specyficznych warunkach.

Realizacja tezy pracy pozwoliła na zrealizowanie celów i uzyskanie interesujących wyników tak o wartości poznawczej jak i utylitarnej:

- poznawczej:
 - przedstawiono problematykę ryzyka górniczych projektów inwestycyjnych, metody analizy ryzyka, podstawy teoretyczne doboru stopy dyskontowej RADR w procesie ekonomicznej górniczych projektów inwestycyjnych, zaprezentowano symulację

Monte Carlo, uwarunkowania wyboru stopy dyskontowej dla projektów kalkulowanych za pomocą symulacji MC oraz przedstawiono w zarysie teorię preferencji;

– utylitarnej:

pokazano korzyści zastosowania symulacji MC w procesach oceny ekonomicznej projektów górniczych, dostarczono metodyki doboru stopy RADR w ocenie ekonomicznej górniczych projektów inwestycyjnych – zarówno w rachunku deterministycznym jak i w symulacji MC.

Poniżej przedstawiono podsumowanie i wnioski płynące z pracy

1) W procesie oceny ekonomicznej górniczych projektów inwestycyjnych istotne znaczenie ma określenie ich wartości – czyli wycena. Stosuje się ją zarówno dla celów własnych, rynkowych jak i administracyjno-prawnych. Właściwa wycena pozwala na podejmowanie adekwatnych działań inwestycyjnych. Zagadnienie wartości złoża ma szczególne znaczenie w przypadku wolnorynkowego obrotu górniczymi projektami inwestycyjnymi. Proces wyceny nieodłącznie wiąże się z ryzykiem.

W pracy przedstawiono wycenę dwóch projektów inwestycyjnych: projektu wprowadzenia nowego systemu eksploatacji grubych i stromych pokładów węgla w KWK Książę Józef S.A, oraz projektu zagospodarowania złoża cynku i ołowiu Kłuszyn. Projekt kopalni Książę Józef był szansą na skuteczne i efektywne jej funkcjonowanie w warunkach gospodarki rynkowej w długim horyzoncie czasowym. Z kolei projekt Kłuszyn stanowił nadzieję na przedłużenie działalności wydobywczej KGHCiO Stanisław, przez co traktowany był jako przedsięwzięcie o strategicznym znaczeniu dla kombinatu i regionu.

2) Ryzyko górniczych projektów inwestycyjnych – z uwagi na ich specyfikę – jest na tle innych inwestycji wyjątkowo duże.

Związane jest ono w głównej mierze ze specyfiką złoża, jako przedmiotu pracy: unikalnością, szczyptywalnym charakterem jego zasobów, wyjątkowością w zakresie lokalizacji, warunków zalegania, budowy geologicznej i in. Górnicze projekty inwestycyjne charakteryzują się ponadto długimi okresami: przedprodukcyjnym i eksploatacji, dużą kapitałochłonnością, zróżnicowanymi warunkami w jakich częstokroć jest prowadzona eksploatacja, nieelastycznością procesu produkcyjnego oraz nieprzewidywalnością cen surowców mineralnych, związaną z ich wyraźnie cyklicznym charakterem.

W przypadku projektu Książę Józef uznano, iż zasadnicze czynniki ryzyka związane są z niepewnością co do skutecznego funkcjonowania nowego systemu eksploatacji grubego, silnie nachylonego pokładu węgla. System ten – tzw. podbierkowy z chodnika eksploatacyjnego – pomimo iż rokował dobrze na przyszłość, z uwagi na szacowane bardzo korzystne wskaźniki techniczno-ekonomiczne, znany był wyłącznie z górnictwa rudnego. Jego zaadoptowanie do warunków kopalni węgla kamiennego, a w szczególności kopalni Książę Józef, budziło uzasadnione obawy. Chodziło tu głównie o niepewność co do skutecznego i efektywnego kierowania stropem, kosztów operacyjnych, planowanych wyników technicznych i ekonomicznych systemu oraz funkcjonowania zgodnie z harmonogramem produkcji.

Jeśli chodzi o projekt Kłuszyn, ryzyko przedsięwzięcia wiązało się zasadniczo z niepewnością co do budowy złoża i wielkości zasobów, związaną z niedostatecznym rozpoznaniem, oraz dalszym rozwojem sytuacji na rynku metali nieżelaznych.

3) W analizie zdyskontowanych przepływów pieniężnych (DCF), która jest podstawową metodą oceny ekonomicznej przedsięwzięć inwestycyjnych (w tym wyceny złóż/projektów surowców mineralnych), przyszłe przepływy pieniężne projektu przeliczane są na wartości dzisiejsze przy zastosowaniu stopy procentowej, której poziom odzwierciedla ich zmniejszoną – w proporcji do szacowanej niepewności – wartość. Stopa ta, stanowi tym samym odzwierciedlenie ryzyka, związanego przedsięwzięciem, dlatego nazywana jest w literaturze stopą „dostosowaną do ryzyka” (*risk-adjusted discount rate*, RADR).

Poziom stopy RADR ma zatem istotny wpływ na wartość projektu.

4) Dobór ww. stopy jest zagadnieniem złożonym i realizowany jest na ogół na dwa sposoby:

- na zasadzie *ad hoc*,
- analitycznie, przy wykorzystaniu modelu wyceny aktywów kapitałowych (CAPM).

Dobór *ad hoc* stopy RADR dokonywany jest w sposób arbitralny przez doświadczonego inwestora bądź analityka do poziomu odzwierciedlającego poziom ryzyka związanego z daną inwestycją (ryzyko specyficzne) w myśl zasady: „im wyższe ryzyko, tym wyższa stopa dyskontowa”. Proces ten nazywany jest „dostosowywaniem do ryzyka” (*adjusting-to-risk*).

W metodzie CAPM stopa RADR kalkulowana jest w oparciu o zmienność akcji przedsiębiorstwa w stosunku do zmienności rynku papierów wartościowych, wyrażanej za pomocą tzw. współczynnika beta.

Obydwie metody znajdują w świecie nauki uzasadnioną krytykę: pierwsza z uwagi na dominującą rolę czynnika subiektywnego, druga ze względu na wady modelu, wymienione w rozdziale 7.1.2 (chodzi głównie konieczność notowania firmy na giełdzie papierów wartościowych, wykorzystywanie danych historycznych a nie prognostycznych, zmienność współczynników beta w czasie, brak rozróżnienia pomiędzy ryzykiem projektu a ryzykiem przedsiębiorstwa i in.).

Biorąc pod uwagę czynniki ryzyka, stopę dyskontową RADR dla projektu Książę Józef określono na poziomie 15%, natomiast dla projektu Kłuszyn – 14% (w obu przypadkach chodzi o stopy realne). Stopy te oszacowane zostały w oparciu o badania i dane literaturowe (w szczególności na podstawie prac Smitha [1994, 2000]), sugestie kopalń i doświadczenia własne w tym zakresie.

5) Dlatego, pomimo że w teorii istnieje możliwość określania stopy dyskontowej RADR przy wykorzystaniu modelu CAPM, naukowcy i analitycy wciąż poszukują metod, które w jakiś sposób są w stanie przezwyciężyć ten problem.

6) W klasycznym podejściu w analizie DCF, w trakcie modelowania przepływów pieniężnych projektu dla każdej niepewnej zmiennej wejściowej przyjmuje się specyficzną – deterministyczną wartość, co w rezultacie daje pojedynczą ocenę NPV.

Oszacowania podstawowych parametrów projektu Książę Józef oraz projektu Kłuszyn dokonane zostały na podstawie analiz inżynierskich i danych historycznych. NPV projektu Książę Józef, przy 15%-owej stopie RADR, wyniosła 97,397 mln zł, natomiast projektu Kłuszyn, przy stopie 14%-owej – 2,595 mln zł. Ten wynik pokazuje, że przy przyjętych wartościach parametrów złoża jest na granicy opłacalności. Ma on znaczenie w aspekcie podejmowania decyzji – NPV uzyskana dla projektu Kłuszyn – pomimo, że jest to rezultat > 0, nie stanowi podstawy dla podjęcia decyzji o zagospodarowaniu projektu, gdyż jest to wartość mniejsza od kosztów zagospodarowania [Davis 1998 za McDonalodem i Siegelem 1986, Dixitem i Pindyckem 1994].

Potencjał dla zrewolucjonizowania metody, dzięki której firmy górnicze będą w stanie w szerokim zakresie włączać niepewność do oceny projektu inwestycyjnego, daje dostępność oprogramowania komputerowego dla przeprowadzania symulacji stochastycznych Monte Carlo (MC).

Symulacja ta – w stosunku do metod klasycznych – posiada wiele istotnych zalet. Główną z nich jest fakt, że o ile metody klasyczne biorą do rachunku i badają wpływ na projekt pojedynczych (zdeteminowanych) wartości parametrów, to metoda MC bada oddziaływanie na projekt pełnych zakresów ich zmienności. Wyniki uzyskane w procesie symulacji różnią się przez to istotnie od wyników otrzymywanych w analizie deterministycznej – rezultatem symulacji MC jest zakres możliwych wyników z prawdopodobieństwami ich wystąpienia. Histogram możliwych wartości parametru wyjściowego pokazuje niepewność w otoczeniu jego wartości oczekiwanej, a wykres dystrybucyjny pozwala na uzyskanie cennych informacji odnośnie różnorodnych atrybutów:

- 1) zakresu zmienności parametru wynikowego,
- 2) średniej (wartości oczekiwanej) rozkładu parametru wynikowego,
- 3) wartości minimalnej i wartości maksymalnej rozkładu,
- 4) prawdopodobieństwa wystąpienia określonych wartości wyniku (np. sukcesu i porażki, wielkości maksymalnego i oczekiwanego zysku).

Analiza ryzyka w ujęciu deterministyczny podaje interesujące wyniki.

Dla projektu Książę Józef przeprowadzona analiza wrażliwości pokazała, że projekt jest najbardziej wrażliwy na docelowe koszty operacyjne i docelową cenę węgla, przy czym większy wpływ na projekt ma cena niż koszty: 20-procentowa zmiana ceny skutkuje 50-procentową zmianą NPV, natomiast taka sama zmiana kosztów powoduje 33-procentową zmianę jej wartości.

Scenariusze konstruowano na podstawie dyskusji z przedstawicielami służb kopalnianych, analizy danych historycznych oraz doświadczeń własnych. Wyniki analizy scenariuszowej wskazywały, iż w wypadku wystąpienia niekorzystnych poziomów zmiennych wejściowych (scenariusz pesymistyczny) wyniki okażą się bardzo niepomyślne. I choć prawdopodobieństwo takiego scenariusza jest stosunkowo niewielkie należało mieć to na uwadze.

Analiza wrażliwości, w przypadku projektu Kłuszyn, pokazała, że NPV projektu najbardziej wrażliwa jest na możliwe zmiany ceny cynku, kursu dolara oraz kosztów operacyjnych i że jest to wrażliwość bardzo wysoka (10-procentowa zmiana pierwszych dwóch parametrów powoduje aż 1000-procentową zmianę NPV). Projekt jest zatem bardzo ryzykowny.

Potwierdzają to wyniki analizy scenariuszowej.

Rozkłady parametrów wejściowych do symulacji MC konstruowane były na podstawie różnych zestawów informacji: danych historycznych, prognoz kopalnianych, wyników badań w tym zakresie, i in. Dopasowania szeregów danych wejściowych do konkretnych rozkładów prawdopodobieństwa realizowane były za pomocą programu BestFit firmy Palisade. W wypadkach braku posiadania wystarczającej ilości danych, pozwalających na konstrukcję rozkładu, przyjmowano proste rozkłady trójkątne. Współczynniki korelacji pomiędzy poszczególnymi parami zmiennych dyskutowane były z przedstawicielami kopalń.

Przeprowadzone dla obu projektów symulacje MC pozwoliły na uzyskanie całej gamy danych, niezbędnych dla procesu decyzyjnego. I tak: dla projektu Książę Józef (wykonano 3 tys. iteracji) prawdopodobieństwo osiągnięcia dodatniej NPV określone zostało na 93,4%. Wartość oczekiwana rozkładu wewnętrznej stopy zwrotu IRR wyniosła 231,11%. Stochastyczna analiza wrażliwości (przeprowadzona w oparciu o metodę wielowymiarowej regresji krokowej) potwierdziła w zasadzie wyniki analizy deterministycznej (wrażliwość na

cenę węgla i docelowe koszty operacyjne), a stochastyczna analiza scenariuszowa (na podstawie analizy mediany warunkowej) pokazała, że na szczególnie wysoką NPV (>90%) ma wpływ cena węgla i docelowe koszty operacyjne, przy czym cena ma dużo większe znaczenie. Te same parametry oddziałują na niską wartość NPV (<25%), z tym, że waga ich wpływu jest odwrotna.

Dla projektu Kłuszyn (przeprowadzonych 8,5 tys. iteracji) prawdopodobieństwo uzyskania korzystnego wyniku skalkulowane zostało na około 50%. Ryzyko projektu uznano więc za bardzo duże. Stochastyczna analiza wrażliwości pokazała, że projekt jest najbardziej wrażliwy na zmiany ceny cynku. Wyniki te odbiegały od rezultatów uzyskanych z analizy deterministycznej. Stochastyczna analiza scenariuszowa potwierdziła w zasadzie intuicję: za najkorzystniejsze określone te scenariusze, które charakteryzują się wysokimi cenami i dużymi zawartościami cynku oraz niskimi kosztami operacyjnymi.

Wyniki przeprowadzonych analiz zweryfikowane zostały przez rzeczywistość: projekt Książę Józef został wdrożony i funkcjonuje efektywnie po dzień dzisiejszy, natomiast projekt Kłuszyn został zarzucony. Wykonanie – już po zrealizowaniu oceny ekonomicznej – kilku dodatkowych otworów rozpoznawczych nie potwierdziło bazy zasobowej.

7) Metoda MC – oprócz dostarczania wyników dla procesu podejmowania decyzji – posługuje się obniżoną, w stosunku do deterministycznej stopy RADR, stopą dyskontową.

Teoria symulacji MC, w związku faktem uwzględniania ryzyka w rozkładach prawdopodobieństwa, zaleca stosowanie w kalkulacji NPV deterministycznej stopy dyskontowej RADR, obniżonej w proporcji do wielkości ryzyka wyrażonego w tych rozkładach (w skrajnym przypadku – gdy wszystkie niepewne parametry uda się wyrazić pod postaciami rozkładów prawdopodobieństwa – stopy „wolnej od ryzyka”).

Wydawać by się mogło, że jest to korzystne, gdyż omija się w ten sposób konieczność doboru stopy „dostosowanej do ryzyka”.

W przypadku symulacji MC, z uwagi na wyrażenie ryzyka w rozkładach prawdopodobieństwa danych wejściowych zastosowano obniżone stopy dyskontowe zbliżone do stopy „wolnej od ryzyka” – w przypadku projektu Książę Józef była to stopa 4%, a w przypadku złoża Kłuszyn – 5% (obie stopy bez uwzględnienia inflacji).

8) Zastosowanie obniżonej – w stosunku do deterministycznej RADR – stopy dyskontowej (w skrajnym przypadku – stopy „wolnej od ryzyka”) powoduje, iż wartość oczekiwana rozkładu NPV uzyskanego w wyniku symulacji MC jest znacznie wyższa od wartości otrzymywanej dla przypadku podstawowego w rachunku deterministycznym. Powstaje więc tu pytanie o rzeczywistą wartość projektu? Czy jest to wartość oczekiwana rozkładu NPV, uzyskanego w wyniku symulacji MC (liczona przy obniżonej stopie dyskontowej), czy jest to wartość NPV, otrzymana w rachunku deterministycznym (przy „deterministycznej” stopie RADR)?

Zastosowanie niskich stóp dyskontowych w symulacji MC skutkowało otrzymaniem wyższych wartości oczekiwanych NPV niż wartości „oczekiwane” otrzymane dla przypadku podstawowego w rachunku deterministycznym – dysproporcja była duża: dla projektu Książę Józef była to liczba 121,040 mln zł w stosunku do 97,379 mln, a dla projektu Kłuszyn – 81,301 mln w stosunku do 2,595 mln. Pojawił się problem wartości (a co za tym idzie i ceny) projektów.

9) Praca pokazuje, iż z dwóch wyżej wymienionych za rzeczywistą wartość projektu może być uznana wartość NPV uzyskana w rachunku deterministycznym.

Istotnie – skoro większość niepewnych parametrów wejściowych da się wyrazić w postaci rozkładów prawdopodobieństwa ich możliwych wartości, stopa dyskontowa użyta w symulacji MC powinna kształtować się na poziomie zbliżonym do stopy „wolnej od ryzyka”. Jednakże wartość oczekiwana rozkładu NPV otrzymanego w wyniku symulacji MC nie jest ceną, jaką inwestor zapłaciłby obecnie za projekt.

Wartość oczekiwana otrzymana z analizy deterministycznej sygnalizuje, jaką cenę inwestor gotów byłby zapłacić przy z góry określonym poziomie ryzyka.

Uznano, iż dla inwestora, którego charakteryzuje awersja do podejmowania ryzyka, za wartość projektu Książę Józef może być uznana wartość 97,379 mln zł, a dla projektu Kłuszyn – 2,595 mln zł.

10) Praca stawia następującą tezę: aby w symulacji MC otrzymać rzeczywistą wartość projektu, należy zastosować „deterministyczną” stopę RADR bądź – opierając się na wynikach uzyskanych przy obniżonej stopie dyskontowej – zastosować teorię preferencji.

Wartość oczekiwana rozkładu możliwych wartości NPV, otrzymanego z symulacji Monte Carlo, podaje oczekiwaną wartość projektu większą, niż inwestor gotów byłby zapłacić, gdyż na tym etapie nie uwzględniono preferencji inwestora względem ryzyka. Teoria preferencji pozwala określić wartość na podstawie:

- 1) analizy wyników symulacji MC (liczonych w arkuszu DCF, przy zastosowaniu obniżonej stopy RADR),
- 2) skłonności inwestora do ponoszenia ryzyka.

W przypadku analizy deterministycznej inwestor uwzględnia swą opinię w zakresie wielkości ryzyka związanego z danym projektem poprzez dobór stopy RADR. W analizie tej, rzeczywiste charakterystyki ryzyka mogą niestety nie być dokładnie zidentyfikowane. W symulacji MC inwestor nie sygnalizuje swej opinii o jego poziomie, przyjmując „deterministyczną” stopę RADR, obniżoną w proporcji do ryzyka wyrażonego w rozkładach (w skrajnym przypadku: stopę „wolną od ryzyka”). Faktyczne charakterystyki ryzyka ujawniają się jednakże poprzez analizowanie otrzymanego w symulacji MC rozkładu prawdopodobieństwa NPV; inwestorowi pozostaje zatem zinterpretowanie tego ryzyka i decyzja, czy zapłacić za inwestycję.

Wartość projektu nie może być otrzymana bezpośrednio z symulacji probabilistycznej, bez rozważenia skłonności inwestora do podejmowania ryzyka. Inwestor pragnący zainwestować w ten projekt, włączyłby więc ryzyko do analizy probabilistycznej, celem określenia ekwiwalentu pewności projektu (*certainty equivalence*, CE), który jest ceną, jaką inwestor zapłaciłby obecnie za projekt. Ponieważ analiza prawdopodobieństwa w prosty sposób opisuje ryzyko, preferencje inwestora względem ryzyka pomagają je właściwie zinterpretować i określić rynkową wartość projektu.

W pracy nie przedstawiono praktycznego wykorzystania teorii preferencji. Z uwagi zakres zagadnienia i skomplikowanie algorytmu powinno to być – zdaniem autora – przedmiotem innej pracy.

Jeśli w obu przypadkach stopy dyskontowe określone zostały poprawnie, analiza probabilistyczna (po skorygowaniu w zakresie preferencji inwestora względem ryzyka) oraz analiza deterministyczna podadzą takie same wartości. Będą to kwoty, jakie inwestor skłonny będzie zapłacić za projekt. Różnica między tymi dwiema metodami polega na tym, że ryzyko w analizie deterministycznej szacowane jest „z góry”, na zasadzie *ad hoc*, natomiast w symulacji MC określane dzięki zidentyfikowaniu i analizie charakterystyk ryzyka projektu, jak również stosunku inwestora do ponoszenia ryzyka. Problem wynika z „zewnętrznego”

charakteru stopy dyskontowej – tzn. z faktu, że stopa dyskontowa stanowi wyraz opinii inwestora (lub kredytodawcy) o ryzyku konkretnego projektu.

Summa summarum – zasadność stosowania w symulacji MC obniżonej (w stosunku do „deterministycznej” stopy RADR) stopy dyskontowej (w skrajnym przypadku: stopy „wolnej od ryzyka”) – z uwagi na wyrażenie większości niepewności danych wejściowych w rozkładach prawdopodobieństwa ich wartości – nie ulega dyskusji. Jednak, aby na podstawie wyników symulacji udzielić odpowiedzi na pytanie o wartość projektu inwestycyjnego, należy przeliczyć projekt przy zastosowaniu „deterministycznej” stopy RADR bądź – w oparciu o wyniki otrzymane przy użyciu stopy obniżonej – zastosować teorię preferencji. Ze względu na fakt, iż algorytm tej teorii jest stosunkowo skomplikowany i wymaga nakładu pracy niewspółmiernego do uzyskiwanych wyników, w pracy proponuje się dyskontowanie – przy świadomości jego wad – „dostosowane do ryzyka” „deterministyczną” stopą RADR dobraną na zasadzie *ad hoc* (w oparciu o doświadczenia przemysłu w tym zakresie) bądź określoną według modelu wyceny aktywów kapitałowych CAPM.

Powyższe wnioski mają istotne znaczenie dla górniczych projektów inwestycyjnych, dla których – z uwagi na występowanie dużego ryzyka – aplikacja symulacji MC do algorytmów do modelu oceny ekonomicznej DCF ma przed sobą duże perspektywy. Symulacja ta niesie z sobą potencjał dla procesu podejmowania decyzji, dzięki dostarczaniu dużej ilości informacji w zakresie charakterystyk ryzyka (w tym prawdopodobieństwa i wielkości maksymalnej straty, prawdopodobieństwa i wielkości maksymalnej korzyści, wielkości oczekiwanej NPV, itp.).

Praca, dzięki pokazaniu i usystematyzowaniu zasad doboru stopy dyskontowej „dostosowanej do ryzyka” (RADR) w analizie DCF górniczych projektów inwestycyjnych – zarówno dla modelu deterministycznego jak i stochastycznego. Zadaniem autora stanowi ważny element w zakresie oceny ekonomicznej i wyceny górniczych projektów inwestycyjnych. Dla przedsiębiorstw górniczym ma to szczególnie ważne znaczenie.

Naturalnie niniejsza praca nie wyczerpuje zagadnienia. Pozostawia nierozwiązanym problem wyeliminowania roli czynnika subiektywnego w procesie doboru stopy dyskontowej RADR. Dalsze badania prowadzić powinny w tym kierunku. Wydaje się, iż potencjał w tym zakresie niesie z sobą teoria wyceny opcji realnych. Kolejnym zagadnieniem, które przedstawione zostało w pracy zaledwie w zarysie, jest teoria preferencji. Jej zakres, algorytm i praktyczne zastosowanie stanowią wyzwanie celem realizacji dalszych prac studialnych. Wiele zatem jeszcze pozostało do zrobienia.

Literatura

- Annadale G.W., Chantler A.G.: „*Uncertainty in Planning ARD Control Measures: Risk Modelling and Interpretation*”, Risk Assessment/Management Issues in the Environmental Planning in Mines, Chapter 23, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., Littleton, Colorado, 1992,
- Arizona Department of Revenue: „*Valuation Guidelines for Mines and other Natural Resource Property*”, ADR, Phoenix, Arizona, 1999,
- Au T., Au T.: „*Engineering Economics for Capital Investment Analysis*”, 2nd ed., Englewood Cliffs, N.J., Prentice Hall 1992,
- Banks J.: „*Selecting Simulation Software*”, proceedings of the 1993 Winter Simulation Conference, IEEE, Piscataway, N.J., 1993,
- Barth M., Beaver W., Hand J., Landsman W.: „*Accruals, Cash Flows and Equity Values*”, Review of Accounting Studies” No. 3, 1999,
- Bhappu R.R., Guzman J.: „*Mineral Investment Decision Making: A Study of Mining Company Practices*”, paper presented at the Third Annual Meeting of the Mineral Economics and Management Society, March 24-26, Washington, D.C., 1994,
- Biela A.: „*Metodologia wyceny przedsiębiorstw w warunkach tworzenia się rynku kapitałowego*”, Norbertinum, Lublin 2000,
- Blanton P.B., Lindenberg E.B., Thatcher K.L.: „*Reproduction of Ibbotson Associates Inc. Stocks, Bonds, Bills and Inflation, 1990 Yearbook*” in The Financial Executives Guide to the Cost of Capital, June, 1990, Saloman Brothers Financial Strategy Group, New York, N.Y., 1990,
- Bolewski A., Gruszczyk H.: „*Geologia gospodarcza*”, Skrypty Uczelniane AGH nr 738, Kraków 1980,
- Boyle H., Schenck G.: „*Investment Analysis: U.S. Oil and Gas Producers Score High in University Survey*”, Journal of Petroleum Technology, April 1985,
- Bradfield D., Swartz J.: „*Financing the Development of Mining Projects*”, Monthly Risk Report for July 2001, RFC Corporate Finance Ltd., ExpoMineria 2001, Caracas, Wenezuela, 2001,
- Brealy R.A., Myers S.C.: „*Principles of Corporate Finance*”, 4th Edition, McGraw-Hill, New York, N.Y., 1991,
- Brennan, M.J., Schwartz, E.: „*Evaluating Natural Resource Investments*”, Journal of Business, Vol. 58, No. 2, 1985,
- Brigham E.F.: „*Podstawy zarządzania finansami*”, tom II, PWE, Warszawa 1996,
- Brick I., Wever D.: „*Calculating the Cost of Capital of an Unlevered Firm for Use in Project Evaluation*”, Review of Quantitative Finance and Accounting”, No. 9, 1997,
- Buslenko N.P., Golenko D.I., Sobol I.M., Sragowicz W.G., Szrejder J.A.: „*Metoda Monte Carlo*”, PWN, Warszawa 1967,
- Byrska-Rapala A., Kozarkiewicz-Chlebowska A., Łucki Z.: „*Ustalanie godziwej wartości rynkowej (FMV) złoża*”, Materiały V Konferencji pt.: „Wykorzystanie zasobów złóż kopalin użytecznych”, Wyd. Centrum PPGSMiE PAN, Kraków 1996,
- Cavender B.W.: „*Determination of the Optimum Lifetime of a Mining Project Using Discounted Cash Flow and Option Pricing Techniques*”, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., Preprint No. for presentation at the SME Annual Meeting, Phoenix, Arizona, February 1992,
- Cavender B.W.: „*Determination of the Optimum Lifetime of a Mining Project using Discounted Cash Flow and Option Pricing Techniques*” – Discussion, Mining Engineering, March 1993,

- Cavender B.W.: „*Determination of the Optimum Lifetime of a Mining Project using Discounted Cash Flow and Option Pricing Techniques*” – Discussion, Mining Engineering, November 1993a,
- Chyliński A.: „*Metoda Monte Carlo w bankowości*”, wyd. I, Twigger 1999,
- Cieślak M. (red.): „*Prognozowania gospodarcze*”, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa 2002,
- CIM Special Committee of the Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum on Valuation of Mineral Properties (CIMVAL): „*Standards and Guidelines for Valuation of Mineral Properties*” – final version, CIMVal Workshop, Montreal, February 2003, http://www.cim.org/committees/CIMVal_Final_Standards.pdf,
- Copeland T., Koller T., Murrin J.: „*Wycena: Mierzenie i kształtowanie wartości firm*”, WIG-Press, Warszawa 1997,
- Czechowski L., Dziworska K., Gostkowska-Drzewicka T., Gorczyńska A., Ostrowska E.: „*Projekty inwestycyjne*”, ODDK, Gdańsk 1996,
- Davis G.A.: „*Discount Rates and Risk Assessment in Mineral Project Evaluations*” by L.D. Smith – Discussion, Transactions Institution of Mining & Metallurgy (Sect. A: Mineral Industry), 1995,
- Davis G.A.: „*(Mis)use of Monte Carlo Simulations in NPV Analysis*”, Mining Engineering, January 1995a,
- Davis G.A.: „*(Mis)use of Monte Carlo Simulations in NPV Analysis*” – Discussion, Mining Engineering, September 1995b,
- Davis G.A.: „*Using Commodity Price Projections in Mineral Project Valuation*”, Mining Engineering, April 1996,
- Davis G.A.: „*One Project, Two Discount Rates*”, Mining Engineering, April 1998,
- Dixit A.K., Pindyck R.S.: „*Investment Under Uncertainty*”, Princeton University Press, Princeton, N.J., 1994,
- Dobbins R., Frąckowiak W., Witt S.F.: „*Praktyczne zarządzanie kapitałami firmy*”, wyd. PAANPOL, Poznań 1992,
- Dobija M.: „*Rachunkowość zarządcza*”, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 1996,
- Dominiak C.: „*Ocena projektów inwestycyjnych na podstawie symulacji Monte Carlo*”, w „*Modelowanie preferencji a ryzyko '98*”, praca zbiorowa pod red. naukową T. Trzaskalika, AE, Katowice 1998,
- Dougherty E.L., Sakar J.: „*Current Investment Practices and Procedures: Result of a Survey of U.S. Oil and Gas Producers and Petroleum Consultants*”, paper 25824 presented at the 1993 SPE Hydrocarbon Economics and Evaluation Symposium, March 29-30, Dallas, Texas, 1993,
- Dowd P.A.: „*Risk Assessment in Reserve Estimation and Open-Pit Planning*” – Discussion. Contributed Remarks on papers published in the Transactions, Mining industry section; Institution of Mining & Metallurgy, A187-191, 1995,
- Duffin R.: „*A Crystal Ball for Cashflow Valuations*”, JASSA, September 1992,
- Dudycz T., Wrzosek S.: „*Analiza finansowa – problemy metodyczne w ujęciu praktycznym*”, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej im. Oskara Langego we Wrocławiu, Wrocław 2000,
- Durka P.J.: „*Wstęp do współczesnej statystyki*”, Wydawnictwo Adamantan, Warszawa 2003,
- Dziworska K., Dziworski A.: „*Podstawy matematyki finansowej*”, wyd. Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 1998,
- Eckhardt R.: „*Stan Ulam, John von Neumann, and the Monte Carlo Method*”, Los Alamos Science, Special Issue (15), 1987,
- Fogra: „*Popularna Encyklopedia Powszechna*”, Oficyna Wyd. Fogra, Kraków 1999,

- FreightCorp: „*2nd Submission to Independent Pricing and Regulatory Tribunal of New South Wales – Review of Aspects of Rail Access Regime*”, Reference: 98/110, New South Wales, Australia, 1999, <http://www.ipart.nsw.gov.au/submiss/railaccess98comments/freightcorp%20-%20s3119.pdf>,
- Frimpong S., Whiting J.M.: „*Multivariate Simulation of Risk Resolution in Mine Design and Valuation*”, proceedings of 17th World Mining Congress – technical papers, Acapulco, Mexico, 1997,
- Gierszewska G., Romanowska M.: „*Analiza strategiczna przedsiębiorstw*”, PWE, Warszawa 1997,
- Glušćević B.: „*Otvoravanje i metode podzemnog odkopavanja rudnich ležišta*”, Minerva, Beograd 1974,
- Gocht W.R., Zantop H., Eggert R.G.: „*International Mineral Economics*”, Springer-Verlag, 1988,
- Gogg T.J., Mott J.R.A.: „*Introduction to Simulation*”, proceedings of the 1993 Winter Simulation Conference, IEEE, Piscataway, N.J., 1993,
- Grant S.: „*Coal and Allied Part B Defence to the CRA Limited Takeover Offer*”, Appendix 3, 1993,
- Gramercy Books: „*Webster's Encyclopedic Unabridged Dictionary of the English Language*”, Gramercy Books, New York, Toronto, London, Sydney, Auckland 1996,
- Guzman J.: „*Evaluating Cyclical Projects*”, Resoures Policy No. 17, Vol.2, 1991,
- Hammond D.R.: „*Current Issues in the Valuation of International Mining Assets*”, Presentation to the International Mining Professionals Society, Hammond International Group, Denver, Colorado, December 13, 2000,
- Hayes R.H., Garvin D.A.: „*Managing as if Tomorrow Mattered*”, Harvard Business Review, No. 60, 1982,
- Hatch J.E., White R.W.: „*Canadian Stocks, Bonds and Inflation: 1980-1987*”, Research Foundation of the Institute of Chartered Financial Analysts 1987,
- Helfert E.A.: „*Techniques of Financial Analysis – A Guide to Value Creation*”, 10th Edition, McGraw-Hill, 2000,
- Hejduk K.: „*Wykorzystanie metody Monte Carlo w ograniczaniu ryzyka projektu*”, *Ekonomika i Organizacja Przedsiębiorstwa*, nr 7, 2001,
- Hertz D.B.: „*Risk Analysis in Capital Investment*”, Harvard Business Review, January-February 1964,
- Hryniewicz O.: „*Wykłady ze statystyki*”, wydanie II, WSIZiS, Warszawa 2001,
- Hustrulid W.A.: „*Mining Engineering Handbook*”, University of Utah, Lensington, Utah, 1982,
- Ibbotson Associates: „*Stocks, Bonds, Bills and Inflation*”, 1996 Yearbook, Market Results for 1926-1991, Ibbotson Associates, Chicago, Illinois, 1998,
- Imenitow W.R.: „*Sistemy pod'ziemnoj razarabotki rudnych miestoroždienij*”, MGI, Moskwa 1987,
- Jackowicz K.: „*Zarządzanie ryzykiem stopy procentowej. Metoda duracji*”, Wydawnictwa Nauk. PWN, Warszawa 1999,
- Jacoby H.D., Laughton D.G.: „*Project Evaluation: A Practical Asset Pricing Model*”, Energy Journal, Vol.13, No. 2, 1992,
- Jankowska-Kłapkowska A.: „*Efektywność gospodarowania zasobami mineralnymi*”, Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 1992,
- Jermakow S.M.: „*Metoda Monte Carlo i zagadnienia pokrewne*”, PWN, Warszawa 1976,
- Kasiewicz S., Rogowski W.: „*Analiza wrażliwości jako metoda analizy ryzyka przedsięwzięć inwestycyjnych*”, mat. konf. „Efektywność źródłem bogactwa narodów”, 19-21 stycznia

- Wrocław-Karpacz, AE we Wrocławiu, Wrocław 2004,
<http://efektywnosc04.ae.wroc.pl/Referat/art24.pdf>.
- Kawa P., Wydymus S.: „*Metodyka oceny efektywności inwestycji w krajach projektów inwestycyjnych według standardów Unii Europejskiej*”, Oficyna Wydawnicza Text, Kraków 1998,
- Kekic L.: „*The Great Euro Debate: A No-Fly Zone or a Growth Accelerator?*”, Research: Transition Newsletter, The Newsletter About Reforming Economies, The World Bank Group, 2003, www.worldbank.org/transitionnewsletter/janfebmar03/pgs6-8.htm,
- Kenney R.L., Raiffa H.: „*Decisions with Multiple Objectives*”, Wiley, New York, N.Y., 1976,
- Kral S.: „*Risk Assessment/Management in the Environmental Planning of Mines*”, Mining Engineering, February 1993,
- Kufel M.: „*Metody wyceny przedsiębiorstwa*”, wyd. Park, Bielsko-Biała 1992,
- Kulczycka J.: „*Wykorzystanie ceny światowej w zarządzaniu na przykładzie polskiego przemysłu miedziowego*”, Wydawnictwo IGSMiE PAN, Kraków 1998,
- Kur J.: „*Determinanty wartości przedsiębiorstwa i nieruchomości w warunkach transformacji*”, wyd. AE w Poznaniu, Poznań 2000,
- Kuropka I. (red.): „*Prognozowanie w zarządzaniu firmą*”, wyd. AE im. Oskara Langego we Wrocławiu, Wrocław 2001,
- Kutner R.: „*Symulacje komputerowe dynamiczną metodą Monte Carlo*”, Materiały Centrum Doskonalenia Nauczycieli w Warszawie, Warszawa 1989,
- Labys W.C., Lesourd J.B., Badillo D.: „*Existence of Metal Price Cycles*”, Resources Policy 24,3, 1998,
- Lattanzi Ch.R.: „*Discounted Cash Flow Analysis – Input Parameters and Sensitivity*”, Special Session on Valuation of Mineral Properties – Mining Millennium 2000, Toronto, Canada, March 8, 2000,
- Law A.M., Kelton W.D.: „*Simulation Modeling & Analysis*”, wyd. McGraw-Hill, New York, N.Y., 1982,
- Lawrence M.J.: „*DCF/NPV Modelling: Valuation Practice or Financial Engineering*”, SME Valuation Seminar, February 2000,
- Le Bel G.: „*Determination of the Optimum Lifetime of a Mining Project Using Discounted Cash Flow and Option Pricing Techniques*” by B. Cavender – Discussion, Mining Engineering, November 1993,
- Lipiec-Zajchowska M.: „*Metody symulacji komputerowej w prognozowaniu makroekonomicznym*”, PWE, Warszawa 1990,
- Lohmann J.R.: „*The IRR, NPV and the Fallacy of the Reinvestment Rate Assumptions*”, The Engineering Economist, 33(4):303, 1988,
- Łucki Z., Gałuszka M., Żurawik J.: „*Analiza ekonomicznej efektywności przedsięwzięć w górnictwie naftowym za pomocą metody Monte Carlo*”, Gospodarka Surowcami Mineralnymi, t. 6, z. 4., PWN – Wydawnictwo CPPGSMiE PAN, Kraków-Warszawa 1990,
- Mackenzie B.W., Doggett M.D.: „*The Current Outlook for Canada base Metals and Gold*”, CRS Perspectives, No. 43, March 1993,
- Malozemoff P.: „*Determination of the Optimum Lifetime of a Mining Project using Discounted Cash Flow and Option Pricing Techniques*” by B. Cavender – Discussion, Mining Engineering, March 1993,
- Marcinek K.: „*Finansowa ocena przedsięwzięć inwestycyjnych przedsiębiorstw*”, Wydawnictwo Uczelniane AE, Katowice 1998,
- Mayo H.B.: „*Wstęp do inwestowania*”, wydawnictwo K.E. Liber, Warszawa 1997,
- McDonald, R., Siegel D.: „*The Value of Waiting to Invest*”, Quarterly Journal of Economics 101, no. 4, 1986,

- McDonald R.J.: „*Rates of Return in the Australian Mining Industry*”, AusIMM Centenary Conference, March-April, Adelaide, AusIMM, Melbourne 1991,
- Michaelis J.: „*Metoda wyceny aktywów finansowych CAPM w formule wartości zaktualizowanej netto (NPV)*”, „Bank i Kredyt”, wrzesień 1999,
- Mielcarz P.: „*Wykorzystanie narzędzi uzupełniających analizę zdyskontowanych przepływów pieniężnych netto w ocenie projektów badawczo-rozwojowych*”, mat. konf. „Efektywność źródłem bogactwa narodów”, 19-21 stycznia Wrocław-Karpacz, AE im. Oskara Langego we Wrocławiu, Wrocław 2004, <http://efektywnosc04.ae.wroc.pl/Referat/art52.pdf>,
- Milo W. (red.): „*Prognozowanie i symulacja*”, Wyd. Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź 2002,
- Moyen N., Slade M., Uppal R.: „*Valuing Risk and Flexibility: A Comparison of Methods*”; Resources Policy, Vol. 22, Nos ½, 1996,
- Naylor T.: „*Modelowanie cyfrowe systemów ekonomicznych*”, PWN, Warszawa 1975,
- NBP: „*Strategia polityki pieniężnej po 2003 roku*”, <http://www.nbp.pl/publikacje/index.html>, 2002,
- Neumann, von, J., Morgenstern O.: „*Theory of Games and Economic Behavior*”, 3rd Edition, Princeton University Press, Princeton, N.J., 1953,
- Niemiro W.: „*Rachunek prawdopodobieństwa i statystyka matematyczna*”, Wydawnictwo Szkoła Nauk Ścisłych, Warszawa 1999,
- Nowak E. (red.): „*Prognozowanie gospodarcze*”, wyd. PLACET, Warszawa 1998,
- Nowak J.J.: „*O strukturze modelu symulacyjnego*”, w „Symulacja Systemów Gospodarczych. Prace Szkoły Antałowska '2001'”, Wyd. Wyższej Szkoły Przedsiębiorczości i Zarządzania im. L. Koźmińskiego oraz Politechniki Wrocławskiej, Warszawa-Wrocław 2001,
- Officer R.R.: „*Measuring the Firm's Cost of Capital*”, Accounting and Finance, November 1981,
- Officer R.R.: „*Valuation and Cost of Capital Under an Imputation Tax System*” in Estimating a Company's Cost of Capital or WACC Conference, 21 July, Sydney 1992, Graduate School of Management, University of Melbourne, Department of Commerce, University of Queensland, Fay Richwhite Australia Ltd., 1992,
- Orylska J., Cegłowski C.: „*Symulacje komputerowe w teorii i praktyce gospodarczej*”, AR w Szczecinie, Szczecin 2000,
- Ostrowska E.: „*Ryzyko inwestycyjne*”, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 1999,
- Paddock J.L., Siegel D.R., Smith J.L.: „*Option Valuation of Claims on Real Assets: the Case of Offshore Petroleum Leases*”, Quarterly Journal of Economics, Vol. 103, 1988,
- Palisade Corporation: „*Guide to Using @RISK*”, Palisade Corporation, Newfield, N.Y., 2001,
- Pazio W.J.: „*Zarządzanie finansami. Wybrane zagadnienia*”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, wyd. 2 popr. i rozszerzone, Warszawa 2002,
- Perkowski P.: „*Technika symulacji cyfrowej*”, WNT, Warszawa 1980,
- Pindred R.J.: „*(Mis)use of Monte Carlo Simulations in NPV Analysis*” – Discussion, Mining Engineering, September 1995,
- Podgórski J.: „*Statystyka z komputerem*”, wyd. MIKOM, Warszawa 1996,
- Podrzywałow A., Pelc D.: „*Wycena wartości niematerialnych i prawnych*”, wyd. ODDK, Gdańsk 1999,
- Pratt J.W., Raiffa H., Schlaiffer R.O.: „*The Foundations of Decision under Uncertainty: An Elementary Exposition*”, J.Am. Statistical Association 59, 1964,
- PWN: „*Nowa Encyklopedia Powszechna PWN*”, t.2, t. 3, Wyd. Naukowe PWN S.A., Warszawa 1995-1999,

- Rajski J., Tyszer J.: „*Modelowanie i symulacja cyfrowa*”, Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań 1986,
- Robichek A.A., Myers S.C.: „*Conceptual Problems in the Use of Riskadjusted Discount Rates*”, Journal of Finance, December 1966,
- Roberts C.: „*The Valuation of Advanced Mining Projects and Operating Mines: Market Comparable Approaches*”, Mineral Economics Society, Special Session on Valuation of Mineral Properties Mining Millennium 2000 – March 8, 2000, Toronto, Ontario, <http://www.cim.org/mes/pdf/VALDAYCraigRoberts.pdf>, 2000,
- Rogowski W.: „*Metody analizy ryzyka przedsięwzięć inwestycyjnych w praktyce krajowych przedsiębiorstw*”, materiały konf. „Zarządzanie wartością przedsiębiorstwa a alokacja kapitału” – Jurata-Gdańsk-Sztokholm, wrzesień 2003,
- Ross S.M.: „*Simulation*”, Academic Press, San Diego, California 1997,
- Rotschild N.M. & Sons: Hoyts Cinemas Limited Part B Defence of Castwo Pty Ltd (CPH) Takeoffer Offer, Appendix III, 28 April 1999,
- Runge I.C.: „*Mining Economics and Strategy*”, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., Littleton, Colorado, 1998,
- „Rzeczpospolita” nr 264, 13.11.2002,
- Saluga P.: „*Stopy dyskontowe w górniczych projektach inwestycyjnych*”, Gospodarka Surowcami Mineralnymi, Wydawnictwo IGSMiE PAN, Kraków 2000,
- Saluga P.: „*Wykorzystanie symulacji Monte Carlo w ocenie efektywności i ryzyka inwestycji górniczej*”, Materiały VII Konferencji z cyklu Wykorzystanie zasobów złóż kopalin użytecznych, Sympozja i Konferencje nr 43, Kraków 2000a,
- Saluga P.: „*Symulacja Monte Carlo w ocenie ekonomicznej eksploatacji złoża węgla kamiennego*”, mat. Szkoły Eksploatacji Podziemnej, Wydawnictwo IGSMiE PAN, Kraków 2001,
- Saluga P., Dzieża J., Kicki J.: „*Wykorzystanie teorii opcji w ocenie ekonomicznej górniczych projektów inwestycyjnych*”, Gospodarka Surowcami Mineralnymi, t. 18, z. specjalny; Wydawnictwo IGSMiE PAN, Kraków 2002,
- Saluga P.: „*Rola wartości opcji w ocenie ekonomicznej górniczych projektów inwestycyjnych*”, Gospodarka Surowcami Mineralnymi, t. 18, z. specjalny, Wydawnictwo IGSMiE PAN, Kraków 2002,
- Saluga P.: „*Problem poziomej stopy dyskontowej w symulacji Monte Carlo*”, Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej 2003, Wydawnictwo IGSMiE PAN, Kraków 2003,
- Saluga P.: „*Opriedielienije ekonomiceskoj effiektiwnosti razrabotki ugoľnych płastow s ispolzowanijem principa Monte-Karlo*”; Naukowyj Wisnyk Nacionalnoho Hirnyczoho Uniwersytetu – Naukowo-Technicznyj Żurnał, No. 11, Dnipropetrowsk, Ukraina, 2003a,
- Saluga P.: „*Współcześnie stosowane metody wyceny złóż*”, materiały konf. Szkoły Eksploatacji Podziemnej 2005, Wydawnictwo IGSMiE PAN, Kraków 2005,
- Saluga P., Kicki J.: „*Stochastic Analysis as a Risk-Assessment Technique in Mineral Projects Evaluation*”; Risk Analysis III, WIT Press, Southampton 2002,
- Savage L.J.: „*The Foundation of Statistics*”, Wiley, New York, N.Y., 1954,
- School of Business – University of Wisconsin-Madison: „*Estimating Hurdle Rates for Firms*”, http://instruction.bus.wisc.edu/mruckes/fin325_new/files/03HurdleRatesFirms.ppt, 2003,
- Sierpińska M., Jachna T.: „*Ocena przedsiębiorstwa według standardów światowych*”, Wydawnictwa Nauk. PWN, Warszawa 1993,

- Simonsen H., Perry J.: „*Risk Identification, Assessment and Management in the Mining and Metallurgical Industries*”, The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy, October-December 1999,
- Siudak M.: „*Zarządzanie finansami przedsiębiorstwa*”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1999,
- Smith L.D.: „*Determination of the Optimum Lifetime of a Mining Project using Discounted Cash Flow and Option Pricing Techniques*” by B. Cavender – Discussion, Mining Engineering, March 1993,
- Smith L.D.: „*Discount Rates and Risk Assessment in Mineral Project Evaluations*”, Transactions Institution of Mining & Metallurgy (Sect. A: Mineral Industry), 1994,
- Smith L.D.: „*Discounted Cash Flow Analysis and Discount Rates*”, Special Session on Valuation of Mineral Properties Mining Millennium 2000, March 8, 2000, Toronto, Ontario, 2000, www.cim.org/mes/pdf/VALDAYLarrySmith.pdf,
- Sobczyk M.: „*Matematyka finansowa*”, Agencja Wydawnicza, Warszawa 1995,
- Spence K.: „*An Overview of Valuation Practices & the Development of a Canadian Code for the Valuation of Mineral Properties*”, Special Session on Valuation of Mineral Properties Mining Millennium 2000 – March 8, 2000, Toronto, Ontario, 2000, <http://www.cim.org/mes/pdf/VALDAYKeithSpence.pdf>,
- Spetzler C.S.: „*The Development of a Corporate Risk Policy for Capital Investment Decisions*”, IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics, Institute of Electrical and Electronics Engineers, SSC-4, 1968,
- Stanisz A.: „*Przystępny kurs statystyki w oparciu o program STATISTICA PL na przykładach z medycyny*”, wyd. StatSoft Polska Sp. z o.o., Kraków 1998,
- Stermole F.J., Stermole J.M.: „*Economic Evaluation and Investment Decision Methods*”, Investment Evaluations Corporation 1984, 8th ed. Golden, Colorado, 1993,
- Strzelska-Smakowska B., Paulo A.: „*Ocena ekonomiczna zasobów złóż rud metali*”, Materiały V Konferencji pt.: „Wykorzystanie zasobów złóż kopalin użytecznych”, Wydawnictwo Centrum PPGSMiE PAN, Kraków 1996,
- Syska E.: „*Zasady symulowania modeli przedsięwzięć inwestycyjnych*”, Gazeta IT nr 4(23), 16.04.2004, http://www.gazeta-it.pl/roitco/git23/zasady_symulowania.htm,
- Szapiro T. (red.): „*Decyzje menedżerskie z Excelem*”, PWE, Warszawa 2000,
- Szczepankowski P.: „*Finanse przedsiębiorstwa – teoria i praktyka*”, Wydawnictwo Wyższej Szkoły Przedsiębiorczości i Zarządzania im. Leona Koźmińskiego, Warszawa 1999,
- Taylor H.K.: „*Risk Assessment in Reserve Estimation and Open-Pit Planning*” by P.A. Dowd – Discussion. Contributed Remarks On Papers Published in the Transactions, Mining Industry Section, Institution of Mining & Metallurgy, A187-191, 1995,
- Torries T.F.: „*Evaluating Mineral Projects: Applications and Misconceptions*”, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., 1998,
- Vose D.: „*Quantitative Risk Analysis: A Guide to Monte Carlo Simulation Modelling*”, John Wiley & Sons 1996,
- Walczak M. (red.): „*Analiza finansowa w zarządzaniu przedsiębiorstwem*”, wyd. DIFIN, Warszawa 2003,
- Walls M.R.: „*Corporate Risk Tolerance and Capital Allocation: A Practical Approach to Implementing an Exploration Risk Policy*”, Journal of Petroleum Technology 4, 1995,
- Walls M.R., Clyman D.R.: „*Risky Choice, Risk Sharing and Decision Analysis: Implications for Managers in the Resource Sector*”, Resources Policy, Vol. 24, No. 1, 1998,
- Walls M.R., Eggert R.G.: „*Managerial Risk-Taking: A study of Mining CEOs*”, Mining Engineering, March 1996,
- Wanielista K., Saługa P., Kicki J., Dzieża J., Jarosz J., Miłkowski R., Sobczyk E.J., Wirth H.: „*Wycena wartości zasobów złoża. Nowa strategia i metody wyceny*”, Wydawnictwo

IGSMiE PAN, Biblioteka Szkoły Eksploatacji Podziemnej, Seria z Lampką Górniczą nr 12, Kraków 2002,
 Wieczorkowski R., Zieliński R.: „Komputerowe generatory liczb losowych”, WNT, Warszawa 1997,
 Wrzosek S.: „Ocena efektywności ekonomicznej rzeczowych inwestycji przedsiębiorstw”, Wyd. Sygma, Wrocław 1994,
 Zarzecki D.: „Teoria i praktyka metod dochodowych w wycenie przedsiębiorstw”, Wyd. Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin 1998,
 Zeliaś A.: „Teoria prognozy”, PWE, Warszawa 1997,
 Zieliński R.: „Generatory liczb losowych. Programowanie i testowanie na maszynach cyfrowych”, WNT, Warszawa 1972,
 Zieliński R.: „Metody Monte Carlo”, WNT, Warszawa 1970.

Zasoby internetowe:

Bossa: <http://bossa.pl>,
 CIM, CIMVAL: „Standards and Guidelines for Valuation of Mineral Properties” – final version, http://www.cim.org/committees/CIMVal_Final_Standards.pdf,
 FreightCorp: „2nd Submission to Independent Pricing and Regulatory Tribunal of New South Wales – Review of Aspects of Rail Access Regime”, Reference: 98/110, New South Wales, Australia, 1999,
<http://www.ipart.nsw.gov.au/submiss/railaccess98comments/freightcorp%20-%20s3119.pdf>,
 Kasiewicz S., Rogowski W.: „Analiza wrażliwości jako metoda analizy ryzyka przedsięwzięć inwestycyjnych”, mat. konf. „Efektywność źródłem bogactwa narodów”, 19-21 stycznia Wrocław-Karpacz, AE we Wrocławiu, Wrocław 2004,
<http://efektywnosc04.ae.wroc.pl/Referat/art24.pdf>,
 Kekic L.: „The Great Euro Debate: A No-Fly Zone or a Growth Accelerator?”, Research: Transition Newsletter, The Newsletter About Reforming Economies, The World Bank Group, 2003, <http://www.worldbank.org/transitionnewsletter/janfebmar03/pgs6-8.htm>,
 Mielcarz P.: „Wykorzystanie narzędzi uzupełniających analizę zdyskontowanych przepływów pieniężnych netto w ocenie projektów badawczo-rozwojowych”, mat. konf. „Efektywność źródłem bogactwa narodów”, 19-21 stycznia Wrocław-Karpacz, AE im. Oskara Langego we Wrocławiu, Wrocław 2004,
<http://efektywnosc04.ae.wroc.pl/Referat/art52.pdf>,
 NBP: „Strategia polityki pieniężnej po 2003 roku”, <http://www.nbp.pl/publikacje/index.html>, 2002,
 Roberts C.: „The Valuation of Advanced Mining Projects and Operating Mines: Market Comparable Approaches”, Mineral Economics Society, Special Session on Valuation of Mineral Properties Mining Millennium 2000 – March 8, 2000, Toronto, Ontario,
<http://www.cim.org/mes/pdf/VALDAYCraigRoberts.pdf>, 2000,
 School of Business – University of Wisconsin-Madison: „Estimating Hurdle Rates for Firms”,
http://instruction.bus.wisc.edu/mruckes/fin325_new/files/03HurdleRatesFirms.ppt, 2003,
 Smith L.D.: „Discounted Cash Flow Analysis and Discount Rates”, Special Session on Valuation of Mineral Properties Mining Millennium 2000, March 8, 2000, Toronto, Ontario, 2000, www.cim.org/mes/pdf/VALDAYLarrySmith.pdf,
 Spence K.: „An Overview of Valuation Practices & the Development of a Canadian Code for the Valuation of Mineral Properties”, Special Session on Valuation of Mineral

Properties Mining Millennium 2000 – March 8, 2000, Toronto, Ontario, 2000,
<http://www.cim.org/mes/pdf/VALDAYKeithSpence.pdf>,
Stern: <http://www.pages.stern.nyu.edu>: „*Country risk premiums*”,
Syska E.: „*Zasady symulowania modeli przedsięwzięć inwestycyjnych*”, Gazeta IT nr 4(23),
16.04.2004, http://www.gazeta-it.pl/roitco/git23/zasady_symulowania.htm.

Spis rysunków

1) Rys. 3.1. Schematyczny diagram przepływów pieniężnych typowego górniczego projektu inwestycyjnego	14
2) Rys. 4.1. Ranking czynników ryzyka w górnictwie według CIM MES	18
3) Rys. 4.2. Redukcja wartości zasobów <i>in situ</i> do wartości NPV dla przykładowego projektu polimetalicznego	19
4) Rys. 5.1. Metody wyceny górnich projektów inwestycyjnych	21
5) Rys. 5.2. Popularność różnych technik budżetowania kapitałowego wśród menadżerów	22
6) Rys. 6.1. „Premia” za ryzyko rynkowe w zależności od czasu	26
7) Rys. 6.2. Wykres ilustrujący zależność względnej NPV od poziomu stopy dyskontowej dla różnych okresów istnienia projektu	27
8) Rys. 6.3. Wpływ czasu i stopy dyskontowej na wartość zaktualizowaną inwestycji	28
9) Rys. 6.4. Ilustracja związku pomiędzy NPV i IRR	32
10) Rys. 6.5. Schemat konstrukcji przepływu pieniężnego	37
11) Rys. 7.1. Ryzyko i zwroty górnich projektów inwestycyjnych w zależności od stopnia zagospodarowania.....	38
12) Rys. 7.2. Składniki ryzyka stopy dyskontowej na etapie studium wykonalności przykładowego górniczego projektu inwestycyjnego	40
13) Rys. 7.3. Graficzna ilustracja modelu wyceny aktywów kapitałowych	46
14) Rys. 7.4. Obliczenie współczynnika beta dla KGHM Polska Miedź S.A.	46
15) Rys. 7.5. Ryzyko projektu a ryzyko przedsiębiorstwa	48
16) Rys. 7.6. Poziom stóp dyskontowych w zależności od fazy zagospodarowania górniczego projektu inwestycyjnego	51
17) Rys. 7.7. Składniki stopy dyskontowej w różnych fazach rozwoju górniczego projektu inwestycyjnego	52
18) Rys. 8.1. Schemat symulacji Monte Carlo	64
19) Rys. 8.2. Arkusz kalkulacyjny Excela z funkcjami programu @RISK	66
20) Rys. 9.1. Partia E-7 pokładu 501 KWK Książę Józef.....	70
21) Rys. 9.2. Projekt Książę Józef – system eksploatacji podbierkowy z chodnika eksploatacyjnego	72
22) Rys. 9.3. Analiza wrażliwości (wykres pajęczy) projektu zagospodarowania i eksploatacji partii E-7 pokładu 501 KWK Książę Józef S.A. systemem podbierkowym z chodnika eksploatacyjnego.....	75
23) Rys. 9.4. Udostępnienie złoża cynku i ołowiu Kłuszyn	76
24) Rys. 9.5. Analiza wrażliwości projektu zagospodarowania złoża cynku i ołowiu Kłuszyn	79
25) Rys. 9.6. Wyniki analizy scenariuszowej dla projektu wprowadzenia systemu podbierkowego z chodnika eksploatacyjnego w partii E-7 pokładu 501 KWK Książę Józef S.A.....	80
26) Rys. 9.7. Wyniki analizy scenariuszowej dla projektu Kłuszyn	82
27) Rys. 9.8. Rozkład prawdopodobieństwa tempa eksploatacji projektu Książę Józef	83
28) Rys. 9.9. Arkusz symulacyjny programu @RISK projektu Książę Józef.....	86
29) Rys. 9.10. Histogram NPV projektu Książę Józef	86
30) Rys. 9.11. Dystrybuanta NPV projektu Książę Józef	87
31) Rys. 9.12. Wykres „Tornado” wrażliwości NPV (według wielowariantowej regresji krokowej) projektu Książę Józef	88
32) Rys. 9.13. Arkusz kalkulacyjny projektu Kłuszyn z funkcjami programu @RISK	91
33) Rys. 9.14. Rozkład prawdopodobieństwa (histogram) NPV projektu zagospodarowania złoża Kłuszyn	92
34) Rys. 9.15. Skumulowany rozkład prawdopodobieństwa (dystrybuanta) NPV projektu zagospodarowania złoża Kłuszyn	93
35) Rys. 9.16. Analiza wrażliwości projektu zagospodarowania złoża Kłuszyn (według współczynnika regresji)	94
36) Rys. 10.1. Dobór stopy dyskontowej w ocenie ekonomicznej projektu z zastosowaniem symulacji Monte Carlo	96
37) Rys. 10.2. Projekt Książę Józef i Kłuszyn – rozkład inflacji	98

38) Rys. 10.3. Projekty A i B na tym samym złożu kopalni X o różnym stopniu rozpoznania	99
39) Rys. 10.4. Koncepcja tolerancji dla ryzyka – RT	102

Spis tabel

1) Tabela 4.1. Kategoryzacja ryzyka występującego w górnictwie	17
2) Tabela 4.2. Ranking czynników ryzyka według Smitha	18
3) Tabela 5.1. Dominujące metody wyceny na różnych etapach zagospodarowania kanadyjskich projektów górniczych	22
4) Tabela 5.2. Podejścia wyceny dla różnych stadiów zagospodarowania złoża.....	22
5) Tabela 5.3. Metody wyceny złóż surowców mineralnych	23
6) Tabela 6.1. Przykład arkusza kalkulacyjnego zdyskontowanych przepływów pieniężnych dla projektu zagospodarowania złoża ZnPb	25
7) Tabela 6.2. Zestawienie porównawcze NPV i IRR	33
8) Tabela 7.1. Stopy dyskontowe – zestawienie	42
9) Tabela 7.2. Stopa RADR według modelu wyceny aktywów kapitałowych (CAPM)	48
10) Tabela 8.1. Zalety i wady analizy wrażliwości	58
11) Tabela 8.2. Zalety i wady analizy scenariuszowej	60
12) Tabela 9.1. Scenariusze w projekcie wprowadzenia systemu podbierkowego z chodnika eksploatacyjnego w partii E-7 pokładu 501 KWK Książę Józef S.A.	80
12) Tabela 9.2. Podstawowe scenariusze dla projektu zagospodarowania złoża Kłuszyn	81
13) Tabela 9.3. Rozkłady parametrów wejściowych do analizy Monte Carlo projektu Książę Józef	84
14) Tabela 9.4. Wyniki symulacji Monte Carlo dla projektu Książę Józef	85
15) Tabela 9.5. Rezultaty analizy wrażliwości NPV (według współczynnika regresji) projektu Książę Józef	88
16) Tabela 9.6. Rezultaty analizy scenariuszowej projektu Książę Józef	89
17) Tabela 9.7. Rozkłady parametrów wejściowych do analizy Monte Carlo projektu Kłuszyn	91
18) Tabela 9.8. Statystyki rozkładu prawdopodobieństwa NPV projektu Kłuszyn	92
19) Tabela 9.9. Rezultaty analizy wrażliwości NPV projektu Kłuszyn	93
20) Tabela 9.10. Rezultaty analizy scenariuszowej projektu Kłuszyn	95
21) Tabela 10.1. Wartości NPV w zależności od przyjętej metodyki kalkulacji	97

