

# Marek Łukasz Michalski

---

## Ryzyko inwestycyjne i eksploatacyjne w przemyśle wytwarzania energii elektrycznej

---

Managerial Economics 9, 75-90

---

2011

Artykuł został opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej [bazhum.muzhp.pl](http://bazhum.muzhp.pl), gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach  
dozwolonego użytku.

Marek Łukasz Michalski\*

## Ryzyko inwestycyjne i eksploatacyjne w przemyśle wytwarzania energii elektrycznej

---

### 1. Wstęp

Działalność inwestycyjna w przemyśle wytwarzania energii elektrycznej powinna uwzględniać ryzyko związane z potencjalnym przekroczeniem planowanych nakładów w procesie inwestycyjnym oraz ryzyko występujące w procesie eksploatacyjnym, wynikające w dużej mierze z wahań cen paliw. Konieczne jest także ujęcie ryzyka związanego z częstymi zmianami regulacji prawnych działania tego przemysłu, szczególnie w zakresie wymogów ochrony środowiska naturalnego, obejmujących dopłaty i kary, których poziom ulega częstym i trudno przewidywalnym zmianom, a ostatnio coraz częściej ustalany jest przez mechanizmy rynkowe.

W związku z powyższym treścią artykułu jest pokazanie wad i zalet metod uwzględniania i oceny ryzyka oraz wykorzystania tych metod w procesach projektowania inwestycji energetycznych. W szczególności oceniono zastosowanie podwyższonej stopy dyskontowej, analizę wrażliwości i scenariuszy, symulację *Monte Carlo* oraz drzewa decyzyjne i opcje realne.

### 2. Podstawowe metody oceny ryzyka inwestycji rzeczowych

Niepewność i ryzyko są związane, w różnej skali, z każdą inwestycją, dlatego konieczne jest uwzględnienie ich w decyzjach inwestycyjnych. W literaturze uważa się brak konsensusu, co do sposobu odróżnienia niepewności od ryzyka.

---

\* Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Zarządzania, Samodzielna Pracownia Zastosowań Matematyki w Ekonomii, e-mail: marek.michalski@zarz.agh.edu.pl

Najczęściej niepewność określa stan, w którym nie można zidentyfikować wszystkich możliwych (alternatywnych) wyników ani poziomu prawdopodobieństwa ich wystąpienia, co oznacza konieczność subiektywnego ustalenia współczynników określających niepewność. Natomiast ryzyko określa stan, w którym istnieje możliwość oszacowania prawdopodobieństwa wystąpienia określonych wyników na podstawie danych empirycznych i/lub symulacji [17, s. 106.]. W analizach efektywności niepewność jest czynnikiem subiektywnym, a obliczenia oparte są na miarach ryzyka, których prawdopodobieństwo jest ściśle określone, przy czym poziom ryzyka jest uzależniony od ilości i jakości danych o potencjalnej inwestycji dostępnych dla przedsiębiorcy [16, s. 47].

Podejmując decyzje inwestycyjne w przemyśle wytwarzania energii elektrycznej, należy uwzględnić m.in. ryzyko związane z potencjalnymi zmianami: sytuacji politycznej i nastrojów społecznych, stopy procentowej, unormowań prawnych, cen paliwa pierwotnego, ryzyko związane z procesem budowy [4] oraz inne, specyficzne dla danej technologii, źródła ryzyka.

Klasyfikację ryzyka inwestycyjnego przedstawiono w tabeli 1. Wyróżnione zostało ryzyko rynkowe wynikające z warunków prowadzenia działalności gospodarczej oraz ryzyko specyficzne, zależne od szczególnych cech konkretnej inwestycji.

R. Ziarkowski twierdzi, że coraz większa złożoność środowiska zewnętrznego i związana z tym niepewność jest szczególnie odczuwalna w działalności inwestycyjnej [21, s. 10]. Niepewność i ryzyko związane są z podejmowaniem niemal każdej złożonej inwestycji. Do takich niewątpliwie należy większość inwestycji w elektrownie i elektrociepłownie ze względu na stosunkowo duże nakłady kapitału i długie okresy zwrotu w warunkach niepewności. Niepewność wynika m.in. z postępu technologicznego, niestabilności cen na rynku paliw, częstej zmiany regulacji prawnych (szczególnie w zakresie ochrony środowiska).

Ryzyko obejmuje zasadniczo dwie kategorie: ryzyko operacyjne związane ze specyfiką działalności podstawowej oraz ryzyko finansowe związane z zadłużeniem przedsiębiorstwa. Zakres ryzyka inwestycyjnego, i wynikającej z niego tzw. premii za ryzyko, zależy od rodzaju działalności (specyfika branży), struktury majątku, źródeł finansowania, poziomu rentowności, przepisów prawnych oraz efektów zewnętrznych. Inwestycje w przemyśle wytwarzania energii elektrycznej dodatkowo komplikują bariery napotymane podczas budowy oraz ryzyko zmian popytu i cen na rynku paliwa pierwotnego i energii elektrycznej [4, s. 75–76].

Klasyfikacja ryzyka inwestycyjnego, przedstawiona w tabeli 1, pozwala uchwycić jego rodzaje oraz obszary występowania. Badania pokazują, że inwestycje polegające na rozpoczynaniu nowego rodzaju działalności gospodarczej są obciążone wyższym ryzykiem niż inwestycje odtworzeniowe i modernizacyjne. Każda

nowa, niesprawdzona technologia stanowi większe ryzyko od znanej i sprawdzonej zarówno w fazie budowy, jak również eksploatacji [13, s. 17]. Poza tym skala ryzyka jest uzależniona od rodzaju działalności oraz zawartych umów. Na przykład umowa sprzedaży określonej ilości energii elektrycznej po danej cenie chroni przed spadkiem ceny na rynku, ale naraża elektrownię (lub elektrociepłownię) na straty, w przypadku wzrostu cen energii elektrycznej, cen paliwa, stopy procentowej i podatkowej. W przypadku budowy i eksploatacji elektrowni wykorzystujących odnawialne źródła energii na decyzje inwestycyjne mają też wpływ zjawiska przyrodnicze takie jak: nasilenie opadów, średnia prędkość wiatru i nasłonecznienie.

**Tabela 1**  
Klasyfikacja ryzyka inwestycyjnego

<b>Ryzyko rynkowe</b>		
<b>ryzyko makroekonomiczne</b>	<b>ryzyko branżowe</b>	<b>ryzyko regionalne</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• stóp procentowych</li> <li>• kursu walutowego</li> <li>• polityki fiskalnej</li> <li>• prawne (niestabilności przepisów)</li> <li>• społeczno-polityczne</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• postępu technicznego</li> <li>• rynkowe (efektywny popyt)</li> <li>• przepisów prawnych</li> <li>• nowych konkurentów</li> <li>• branży odbiorców</li> <li>• branży dostawców</li> <li>• polityki gospodarczej państwa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• infrastrukturalne (infrastruktura techniczna, biznesowa i zasoby ludzkie)</li> <li>• rynkowe (efektywny popyt)</li> </ul>
<b>Ryzyko specyficzne</b>		
<b>ryzyko techniczne</b>	<b>ryzyko marketingowe</b>	<b>ryzyko finansowe</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• lokalizacji (aspekt infrastrukturalny, ochrona środowiska)</li> <li>• długości budowy</li> <li>• nakładów inwestycyjnych</li> <li>• technologii budowy</li> <li>• wykonawcy</li> <li>• wykorzystywanej technologii (ekonomicznie nowa czy stara, fizycznie nowa czy stara)</li> <li>• zdolności produkcyjnych</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• rynku: nabywcy (aspekt dochodowy – efektywny popyt; aspekt kulturowy – zmiany wzorca konsumpcji; aspekt demograficzny)</li> <li>• produktu (faza cyklu życia produktu)</li> <li>• ceny (zapewnienie zysku, konkurencyjność)</li> <li>• kanału dystrybucji (obsługa spedycyjna i logistyczna)</li> <li>• konkurencji (nadpodaż w fazie operacyjnej)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• nieosiągnięcia oczekiwanych korzyści</li> </ul>

Źródło: [17, s. 109]

Wyróżnia się dwa podstawowe rodzaje ryzyka, tj. systematyczne i specyficzne. Ryzyko systematyczne wynika z podjęcia działalności gospodarczej. Natomiast ryzyko specyficzne wynika z cech charakterystycznych działalności gospodarczej i sytuacji na rynkach, na które przedsiębiorstwo kieruje produkt [5, s. 12–13; 6, s. 160; 7, s. 268; 10, s. 73].

Analizując ryzyko, wyróżnia się następujące tradycyjne metody jego oceny:

- korygowanie efektywności – uwzględniające ryzyko przez narzuty procentowe wybranych parametrów, najczęściej przy zastosowaniu stopy dyskontowej obejmującej ryzyko;
- analiza wrażliwości – skupiająca się na wpływie zmiany wybranych parametrów na opłacalność;
- probabilistyczno-statystyczne – wykorzystujące odchylenie standardowe i współczynnik zmienności;
- symulacyjne – badające wpływ zmiany wielu parametrów przy zastosowaniu symulacji typu Monte Carlo [6, s. 163–166; 17, s. 252–253].

### 3. Korygowanie efektywności inwestycji rzeczowych z wykorzystaniem ryzyka

Najprostszą metodą uwzględnienia ryzyka jest skrócenie maksymalnego akceptowanego okresu zwrotu nakładów. Podyktowane to jest dużą niepewnością uzyskania przychodów w późniejszych okresach [17, s. 293–295]. Główną wadą tej metody jest nieuwzględnienie całego okresu eksploatacji obiektu, tj. przepływów pieniężnych po zakończeniu arbitralnie krótkiego okresu zwrotu. W praktyce, mając na uwadze uwzględnienie ryzyka, stosuje się podwyższoną stopę dyskontową. Wyższe ryzyko jest akceptowane przez inwestora pod warunkiem perspektywy uzyskania wyższego dochodu, przy czym wielkość tzw. premii za ryzyko zależy również od awersji inwestora do ryzyka [8, s. 225–254; 16, s. 113]. Taką metodą jest stopa dyskontowa z ryzykiem (*RADR* – *Risk Adjusted Discount Rate*) powiększająca stopę procentową o premię za ryzyko [2, s. 17–30], wyrażona wzorem:

$$r_{RADR} = r_{RF} + r_R \quad (1)$$

gdzie:

- $r_{RF}$  – stopa zwrotu z inwestycji wolnej od ryzyka (*risk free rate*),
- $r_R$  – premia za ryzyko wyrażona w procentach.

Stopa zwrotu z inwestycji wolnej od ryzyka zazwyczaj określana jest jako stopa zwrotu z bonów skarbowych.

Stosowane są zasadniczo cztery metody szacowania premii za ryzyko:

- 1) metoda subiektywna (ekspercka) – oparta na wiedzy, doświadczeniu i intuicji eksperta znającego specyfikę analizowanej inwestycji [15, s. 62];
- 2) metoda klasyfikacji (klas ryzyka) – oparta na rodzaju inwestycji (np. odtworzeniowej, modernizacyjnej lub rozwojowej), branży (obecnej, podobnej lub nowej) i długości okresu budowy i eksploatacji obiektu;
- 3) metoda obiektywna (współczynnika zmienności) – w której premia za ryzyko wyznaczana jest na podstawie współczynnika zmienności [14, s. 399];
- 4) model wyceny aktywów kapitałowych *CAPM* – oparty na współczynniku beta określającym poziom ryzyka inwestycji w odniesieniu do rynku kapitałowego [7, s. 33–34; 17, s. 297].

Model wyceny aktywów kapitałowych (*CAPM* – *Capital Asset Pricing Model*) bezpośrednio uzależnia wymaganą stopę zwrotu ( $r$ ) od poziomu ryzyka [9, s. 76–77] i wyraża się równaniem:

$$r = r_{RF} + \beta(r_M - r_{RF}) \quad (2)$$

gdzie:

- $r_{RF}$  – stopa zwrotu z inwestycji wolnej od ryzyka (risk free rate),
- $r_M$  – premia za ryzyko wyrażona w procentach,
- $\beta$  – współczynnik beta odzwierciedlający ryzyko inwestycji [12, s. 112; 20, s. 122].

W powyższym równaniu współczynnik beta obliczany jest przez domy maklerskie dla poszczególnych przedsiębiorstw, na podstawie wielokryterialnej analizy danych historycznych oraz specyfiki przedsiębiorstwa. Współczynnik ten jest obliczany odnośnie do aktywów kapitałowych, a nie w przypadku poszczególnych inwestycji rzeczowych. Ustalenie tego współczynnika dla nowych inwestycji w praktyce napotyka na znaczne trudności [17, s. 303].

Stopa dyskontowa z ryzykiem może być stosowana w metodach oceny efektywności, w których stopa dyskontowa występuje jako zmienna (głównie w metodzie obliczania wartości bieżącej netto i okresu zwrotu), a nie jako wynik analizy. Podstawową wadą tej metody jest trudność oszacowania premii za ryzyko. Główną zaletą jest natomiast łatwość stosowania i interpretacji wyników po przyjęciu określonej premii za ryzyko.

Stosuje się również metodę ekwiwalentu pewności przepływu pieniężnego (*certainty equivalent cash flow method*) zastępującą niepewne (obciążone ryzykiem) przepływy pieniężne  $NCF_t$ , wielkościami pewnymi (bez ryzyka)  $NCF_{t,RF}$ :

$$NCF_{t,RF} = CE_t \cdot NCF_t \quad (3)$$

gdzie w danym okresie  $t$ :

- $NCF_t$  – niepewny (obciążony ryzykiem) przepływ pieniężny netto,
- $CE_t$  – współczynnik ekwiwalentu pewności [17, s. 304].

Współczynnik ekwiwalentu pewności  $CE_t$ , w powyższym równaniu, określa procentowo wielkość przepływów pieniężnych netto nieobarczonych ryzykiem.

Podobnie jak w przypadku premii za ryzyko, do szacowania współczynnika ekwiwalentu pewności można wykorzystać trzy metody:

- 1) subiektywną (ekspercką) – opartą na wiedzy, doświadczeniu i intuicji eksperta obeznanego ze specyfiką analizowanej inwestycji,
- 2) obiektywną (statystyczną) – opartą na funkcji gęstości rozkładu prawdopodobieństwa uzyskania określonych przepływów pieniężnych,
- 3) stopę dyskontową z ryzykiem – dyskontującą każdy przyszły przepływ pieniężny netto  $NCF_t$ , przy zastosowaniu stopy dyskontowej z ryzykiem  $r_{RADR}$ , a następnie obliczeniu współczynnika ekwiwalentu pewności jako wartości bez ryzyka  $NCF_{t,RF}$  podzielonej przez wartość z ryzykiem  $NCF_t$  – zgodnie z równaniem (3) [17, s. 305–306].

W metodzie ekwiwalentu pewności przepływu pieniężnego istotne jest dyskontowanie przepływów pieniężnych bez ryzyka  $NCF_{t,RF}$  stopą dyskontową bez ryzyka  $r_{RF}$ . W przeciwnym razie ryzyko byłoby uwzględniane podwójnie: w obliczaniu przepływów pieniężnych bez ryzyka  $NCF_{t,RF}$  i ponownie przy dyskontowaniu stopą uwzględniającą ryzyko.

Podstawową wadą metody ekwiwalentu pewności przepływu pieniężnego jest trudność ustalenia współczynnika ekwiwalentu pewności. Główną zaletą jest za to łatwość stosowania i interpretacji po przyjęciu określonego współczynnika. Kolejną metodą analizy ryzyka jest tzw. analiza wrażliwości.

#### 4. Analiza wrażliwości, analiza scenariuszy i symulacja Monte Carlo

Analiza wrażliwości (*sensitivity analysis* lub *what if analysis*) należąca do grypy metod symulacyjnych, rozważa wpływ zmiany wybranych parametrów na opłacalność [7, s. 245; 16, s. 106]. Współczynnik wrażliwości ( $dW_z$ ) dowolnego wskaźnika efektywności  $W$  na zmianę dowolnej zmiennej  $z$  obliczany jest w następujący sposób:

$$dW_z = \frac{\left( \frac{W_{new} - W_b}{W_b} \right)}{\left( \frac{z_{new} - z_b}{z_b} \right)} \quad (4)$$

gdzie:

- $W_b$  – wartość bazowa wskaźnika  $W$ ,
- $W_{\text{new}}$  – nowa wartość wskaźnika  $W$ ,
- $z_b$  – wartość bazowa zmiennej  $z$ ,
- $z_{\text{new}}$  – nowa wartość zmiennej  $z$ .

Wskaźnik efektywności  $W$  może być dowolny i wyrażony np. przez: okres zwrotu, stopę zwrotu lub wartość bieżąca netto. Podobnie zmienna  $z$  może być dowolnym parametrem we wzorze służącym do obliczania wskaźnika  $W$ . Zmiana parametru może być np. jedno-, pięcio-, dziesięcio- czy nawet stuprocentowa i obejmować zarówno skalę zwiększenia, jak i zmniejszenia wyniku.

Pozytywny współczynnik wrażliwości oznacza dodatnią korelację wskaźnika i zmiennej, tzn. wzrost zmiennej (np. przychodów) wywołuje wzrost wskaźnika (np. *NPV*) lub spadek zmiennej wywołuje spadek wskaźnika. Negatywny współczynnik wrażliwości oznacza ujemną korelację, tzn. wzrost zmiennej (np. wydatków) wywołuje spadek wskaźnika lub spadek zmiennej powoduje wzrost wskaźnika. Wysoki współczynnik wrażliwości wskazuje na duży wpływ wartości zmiennej na wartość wskaźnika. Zerowy współczynnik wrażliwości oznacza, że zmienna nie ma wpływu na wartość wskaźnika.

W ramach analizy wrażliwości obliczane są marginesy bezpieczeństwa, czyli dopuszczalne przedziały odchyień wskaźnika, przy których inwestycja jest nadal opłacalna [17, s. 260; 21, s. 30]. Można w ten sposób rozpatrywać na przykład, o ile może wzrosnąć stopa dyskontowa przy zachowaniu dodatniej wartości bieżącej netto.

Główną zaletą analizy wrażliwości jest uzyskanie szczegółowych informacji o wpływie zmiany poszczególnych zmiennych na wskaźnik rentowności. Największą wadą jest branie pod uwagę odchyień jednej zmiennej przy założeniu stałego poziomu pozostałych zmiennych (*ceteris paribus*). Założenie to może prowadzić do niewłaściwych wniosków, szczególnie w przypadku, gdy poszczególne zmienne są wzajemnie skorelowane [21, s. 30]. W związku z tym bardziej realistyczna jest analiza scenariuszy i symulacja.

Analiza scenariuszy (*scenario analysis*) jest naturalnym rozszerzeniem analizy wrażliwości, w której badane są zmiany wskaźnika rentowności w przypadku odchyień zmiennych od wartości bazowych. Najczęściej kreśli się co najmniej trzy scenariusze: bazowy, optymistyczny i pesymistyczny. Liczba scenariuszy może być dowolna. Mogą na przykład obejmować warianty umiarkowanie pesymistyczne i umiarkowanie optymistyczne. Metoda wymaga określenia wartości zmiennych w ramach scenariuszy i następnie obliczenia wartości wskaźnika dla danego scenariusza [7, s. 268; 18, s. 357].

Analiza scenariuszy jest powszechnie stosowana w praktyce, ze względu na to, że jest przejrzysta i przedstawia wynik inwestycji w optymistycznych i pesymistycznych wariantach, co jest ważne dla inwestora [21, s. 31]. Wadą metody jest



stosunkowo niewielka ilość scenariuszy i trudność w analizie zjawisk losowych. W przypadku, gdy istotne jest analizowanie dużej liczby scenariuszy obejmujących zmienne losowe, preferowana jest symulacja Monte Carlo.

Symulacyjna Monte Carlo (*Monte Carlo simulation*) umożliwia uwzględnienie wpływu odchyłeń wszystkich zmiennych parametrów występujących w danym modelu na ocenę efektywności. W ujęciu matematycznym metoda przedstawia rozkład prawdopodobieństwa występowania określonych wartości wskaźnika rentowności na podstawie rozkładu prawdopodobieństwa występowania określonych wartości zmiennych. Model matematyczny pozwala na obliczenie tzw. wartości oczekiwanej  $\mu$  oraz odchylenia standardowego  $\sigma$  będącego miarą rozproszenia wyników, tzn. ryzyka i wpływu odchyłeń poszczególnych zmiennych na wskaźnik efektywności [7, s. 251–252; 21, s. 31].

Algorytm symulacji Monte Carlo wymaga następującej kolejności działań:

- 1) wybór wskaźnika, tzn. modelu efektywności,
- 2) ustalenie rozkładu prawdopodobieństwa dla wszystkich zmiennych,
- 3) symulacja, tzn. wielokrotny losowy wybór wartości zmiennych na podstawie rozkładu prawdopodobieństwa zmiennych,
- 4) obliczenie wartości oczekiwanej  $\mu$  oraz odchylenia standardowego  $\sigma$  wskaźnika oraz wpływu odchyłeń poszczególnych zmiennych na wskaźnik.

Rozkład prawdopodobieństwa zmiennych jest zazwyczaj określany za pomocą wartości oczekiwanej oraz odchylenia standardowego zmiennej przy założeniu rozkładu normalnego lub też może być przyjęty rozkład jednostajny z wartością minimalną i maksymalną [10, s. 69]. Zmienne nieobarczone ryzykiem mają prawdopodobieństwo występowania oczekiwanej wartości równe 100%, tzn. zerowe odchylenie standardowe i tę samą wartość minimalną i maksymalną.

Symulacja może być przeprowadzona za pomocą arkuszy kalkulacyjnych zawartych w popularnych programach komputerowych (np. Microsoft Excel™ lub OpenOffice Calc™) lub bardziej wyspecjalizowanych (np. Statistica™ lub @Risk™). Na podstawie wartości oczekiwanej  $\mu$  oraz odchylenia standardowego  $\sigma$  można za pomocą standaryzacji obliczyć prawdopodobieństwo otrzymania określonej wartości wskaźnika. Na przykład prawdopodobieństwo, że wartość bieżąca będzie ujemna lub dodatnia. Standaryzacja polega na obliczeniu standaryzowanej wartości zwanej zmienną  $Z$  (*Z-score*) przy użyciu równania:

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (5)$$

gdzie:

- $x$  – wartość graniczna wskaźnika, dla której obliczane jest prawdopodobieństwo,
- $\mu$  – wartość oczekiwana wskaźnika,
- $\sigma$  – odchylenie standardowe wskaźnika.

Następnie korzystając z dostępnej (w podręcznikach do statystyki i programach komputerowych) tablicy rozkładu zmiennej wystandaryzowanej, można określić prawdopodobieństwo występowania określonych wartości wskaźnika efektywności.

Główną zaletą symulacji Monte Carlo jest kompleksowa analiza wpływu odchyleń zmiennych na wskaźnik efektywności. Podstawową wadą metody jest trudność w określeniu rozkładu prawdopodobieństwa występowania określonych wartości zmiennych, na których oparte są wyniki analizy. Ujęcie dodatkowych wariantów inwestycji wymaga więc poszerzonej analizy.

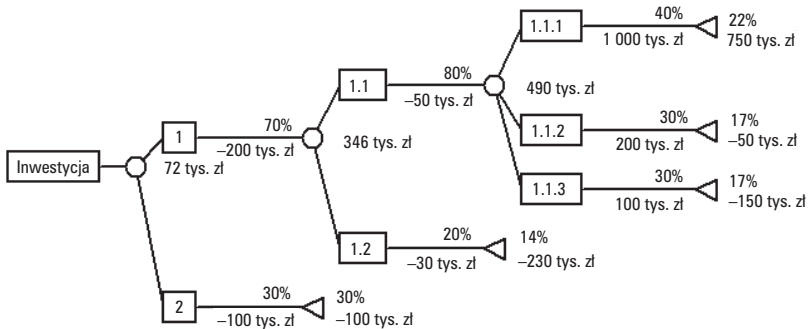
## **5. Analiza ryzyka w inwestycjach rzeczowych w energetyce z wykorzystaniem drzew decyzyjnych i opcji realnych**

Ze względu na złożoność i wysoką kapitałochłonność inwestycji w przemyśle elektroenergetycznym, często występują opóźnienia we wznoszeniu budowy oraz przekraczanie budżetu. Pożądane jest ujęcie tych parametrów w analizie finansowej. Przekroczenie budżetu może być traktowane jako dodatkowy przepływ pieniężny (wydatek). Natomiast opóźnienie w budowie wiąże się z koniecznością odpowiedniego dyskontowania opóźnionych wpływów, uwzględniając zmianę wartości pieniądza w czasie [5, s. 228–229]. Powszechnie stosowaną metodą wizualizacji wariantów inwestycji są drzewa decyzyjne.

Drzewa decyzyjne umożliwiają uwzględnienie ryzyka i obliczenie oczekiwanej wartości na podstawie przewidywanego prawdopodobieństwa wystąpienia określonych przepływów pieniężnych. Zakłada się istnienie kolejnych decyzji, za pomocą których podczas trwania inwestycji zarząd może zmieniać jej przebieg [21, s. 33]. Na rysunku 1 przedstawiono przykład drzewa decyzyjnego dotyczącego inwestycji rzeczowej, obrazujący przepływy pieniężne w trzech wstępnych etapach inwestycji. Oczekiwana wartość inwestycji jest sumą iloczynów wartości bieżących dla poszczególnych wariantów inwestycji i prawdopodobieństwa wystąpienia tych wariantów [por. 11, s. 105–106; 19, s. 247–251].

W celu objaśnienia metody przyjmijmy założenie, że nakłady związane z pierwszym etapem inwestycji wynoszą 200 tys. zł. W przypadku niepowodzenia tego etapu (prawdopodobieństwo 30%) inwestor straci połowę tych nakładów (100 tys. zł). W przypadku powodzenia pierwszego etapu inwestor przystępuje do drugiego, w którym nakłady wynoszą 50 tys. zł. W przypadku niepowodzenia tego etapu (prawdopodobieństwo 20%) inwestor straci 30 tys. zł. W przypadku powodzenia drugiego etapu inwestor uzyskuje przychód 1000 tys. zł (prawdopodobieństwo 40%, że zysk netto wyniesie 750 tys. zł), 200 tys. zł (prawdopodobieństwo 30%, że

poniesie stratę 50 tys. zł) lub 100 tys. zł (prawdopodobieństwo również 30%, że wystąpi strata 150 tys. zł).



Rys. 1. Przykład drzewa decyzyjnego

Źródło: opracowanie własne

W rozpatrywanym przykładzie suma iloczynów wartości bieżących i prawdopodobieństwa ich wystąpienia, tj. wartość oczekiwana, wynosi 72 tys. zł zysku. Drzewa decyzyjne umożliwiają więc precyzyjne określenie oczekiwanej wartości na podstawie prawdopodobieństwa występowania określonych scenariuszy, co może wspomagać podejmowanie decyzji. Wadą tej metody jest trudność określenia prawdopodobieństwa, wartości i terminów przewidywanych wydarzeń, czyli czynników, od których zależy trafność analizy [21, s. 33]. Rozwinięciem metody drzew decyzyjnych są tzw. opcje realne.

Podstawową wadą omówionych dotychczas metod oceny efektywności jest ich statyczny charakter, oparty na założeniu niezmiennego przebiegu inwestycji i nieodwracalnych nakładów inwestycyjnych. Założenie to jest zazwyczaj błędne, gdyż różnorodność i zmienność środowiska zewnętrznego jest cechą charakterystyczną współczesnych inwestycji. Ze zmienności wynikają dwa ściśle ze sobą powiązane czynniki: ryzyko inwestycyjne oraz występowanie opcji realnych, odzwierciedlających możliwości postępowania inwestora w obliczu zmiany sytuacji na rynku.

Najprostszym sposobem uwzględnienia ryzyka jest zwiększenie stopy dyskontowej. Jednak przeświadczenie, że całe ryzyko może być uwzględnione przez zawyżenie stopy dyskontowej, jest błędne. Ocena nieuwzględniająca opcji realnych jest nieadekwatna, gdyż nie pozwala prawidłowo ocenić możliwości modyfikowania (np. rozbudowy) inwestycji w czasie ich trwania i nie

jest również w stanie prawidłowo ocenić wartości szans, które mogą się przed przedsiębiorstwem otworzyć w związku z podjęciem określonej inwestycji [21, s. 10, 64].

W rzeczywistości sytuacja rynkowa może odbiegać od zakładanej we wstępnej ocenie efektywności ekonomicznej i w związku z tym korzystna może być zmiana niektórych elementów inwestycji. Słowo „opcja” (*option*) oznacza prawo, lecz nie obowiązek, jeśli chodzi o zrobienie określonej rzeczy [21, s. 39 na podstawie 1, s. 5]. Możliwość zmian jest wartością samą w sobie. Teoria opcji realnych wywodzi się z rynku finansowego i opcji finansowych, których wycena jest dziedziną finansów.

Opcje dzielą się na opcje kupna (*call option*), oznaczające prawo, lecz nie obowiązek zakupu określonej rzeczy po określonej cenie w określonym momencie w przyszłości, lub opcje sprzedaży (*put option*), oznaczające prawo, lecz nie obowiązek sprzedaży określonej rzeczy po określonej cenie w określonym momencie w przyszłości. W kontekście opcji rzeczowych jest to prawo, lecz nie obowiązek przedsięwzięcia określonych działań (np. powiększenia inwestycji) po określonych kosztach w danym okresie [21, s. 40, 65]. Część metod wypracowanych w dziedzinie opcji finansowych może być również zastosowana w ocenie efektywności inwestycji rzeczowych w ramach tzw. opcji realnych.

Analiza opcji realnych ROA (*Real Options Analysis*) podejmuje próbę przypisania wartości w przypadku każdej swobodnej decyzji, którą może podjąć przedsiębiorstwo w ramach przedsięwzięcia inwestycyjnego. Opcje realne, zwane też opcjami rzeczywistymi lub strategicznymi [19, s. 251], obejmują możliwości rozszerzenia lub ograniczenia, opóźnienia rozpoczęcia, wcześniejszego zakończenia (zaniechania działalności) lub zmiany profilu działalności w przypadku, gdy inwestycja nie przynosi oczekiwanych korzyści [17, s. 173–178]. Wartość dodatkowych możliwości może być zerowa (gdy nie mogą przynieść dodatkowych korzyści) lub dodatnia. (Wartość zerowa występuje, gdy dodatkowe możliwości nie dają żadnych dodatkowych korzyści, np. możliwość zamiany czynnika produkcji na inny, przy czym cena jest ta sama i nie przewiduje się jej zmiany. Opcje o wartości negatywnej nie są przedmiotem analizy, gdyż zakłada się, że inwestor nie podejmie działań mających na celu zmniejszenie zysku). Wartość opcji powiększa więc wartość bieżącą (*NPV*) inwestycji:

$$\text{wartość inwestycji} = NPV + \text{wartość opcji związanych z inwestycją} \quad (6)$$

Źródło: [17, s. 178; 21, s. 74, 88]

Wartość opcji wynika z możliwości zmiany inwestycji w określonych warunkach, co przedstawiono w tabeli 2.

W praktyce większość inwestycji cechuje połączenie różnego rodzaju opcji realnych. Podstawowym problemem jest jednak odpowiednia wycena: opcje rzeczowe powinny stanowić odrębną część analizy i nie być wliczone do wartości bieżącej, gdyż nie stanowią rzeczywistych przepływów pieniężnych.

Tabela 2

Opcje realne mające wpływ na wartość inwestycji rzeczowej

Rodzaj opcji	Wartość opcji
Opcja odroczenia inwestycji ( <i>option to delay/defer</i> )	Możliwość odroczenia inwestycji do czasu występowania dobrej koniunktury na rynku, np. w branży wydobywczej.
Opcja porzucenia inwestycji ( <i>option to abandon</i> )	Możliwość zaniechania dalszego prowadzenia inwestycji w przypadku pogorszenia koniunktury. Istotne jest wówczas określenie, jaką część nakładów inwestycyjnych można odzyskać przez sprzedaż aktywów na rynku wtórnym.
Opcja na przyszły wzrost Opcja rozszerzenia działalności ( <i>growth option</i> )	Prowadzi do wzrostu wartości przedsiębiorstwa w przyszłości, mimo że wartość bieżąca netto jest ujemna dla danej inwestycji, np. wprowadzenie nowej technologii produkcji może nie być opłacalne dla jednego obiektu, ale umożliwiłoby dalszy rozwój i wzrost konkurencyjności przedsiębiorstwa.
Opcja zwiększenia lub zmniejszenia skali inwestycji (odpowiednio: <i>option to expand</i> , <i>option to reduce</i> )	Możliwość zmiany skali inwestycji i co za tym idzie produkcji w zależności od koniunktury na rynku, np. przez elastyczne kontrakty w dziedzinie zatrudnienia.
Opcja zmiany ( <i>switch option</i> )	Możliwość zmiany (tzn. substytucyjność) czynników produkcji w zależności od sytuacji na rynku czynników produkcji.

Źródło: opracowanie własne na podstawie [17, s. 174–177; 19, s. 251–252; 18, s. 242]

Wycena opcji realnych została opracowana przez Blacka, Scholesa i Mertona (za osiągnięcia w tej dziedzinie Scholes i Merton zostali w 1997 roku nagrodzeni Nagrodą Nobla w dziedzinie ekonomii). Równanie Blacka i Scholesa opracowano w celu wyceny opcji na rynku finansowym, jednak może również służyć do wyceny opcji realnych. W tym przypadku wzory dla opcji wykonania dodatkowego projektu mają następującą postać:

$$C = S\Phi(d_1) + Xe^{-rt}\Phi(d_2) \quad (7)$$

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S}{X}\right) + (r + 0,5\sigma^2)t}{\sigma\sqrt{t}} \quad (8)$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{t} \quad (9)$$

gdzie:

- $C$  – wartość opcji,
- $S$  – zaktualizowana wartość przepływów pieniężnych z projektu,
- $X$  – koszt związany z realizacją projektu,
- $r$  – stopa dyskontowa bez ryzyka,
- $t$  – czas do wygaśnięcia opcji,
- $\sigma$  – współczynnik zmienności wartości projektu,
- $\Phi$  – standardowy skumulowany rozkład normalny [21, s. 111–112].

Metoda wyceny opcji realnych przyjmuje wiele założeń. Do najważniejszych z nich należą: możliwość realizacji opcji tylko w dniu wygaśnięcia (tzw. opcja europejska), istnienie tylko jednego źródła ryzyka oraz znana i stała cena opcji. Niestety większość opcji rzeczowych nie spełnia któregoś z tych warunków, dlatego powyższe równania mogą być bezpośrednio wykorzystane tylko w niewielu przypadkach. Częściej stosowana jest metoda drzewa dwumianowego, która umożliwia ocenę znacznie szerszej gamy opcji rzeczowych [21, s. 112, 117]. W metodzie tej czas do wygaśnięcia opcji dzielony jest na okresy (np. lata). W każdym z tych przedziałów czasowych w następujący sposób obliczana jest wartość przepływów pieniężnych na podstawie przewidywanego wzrostu lub spadku tej wartości w zależności od poziomu ryzyka dla opcji wykonania dodatkowego projektu:

$$u = e^{\sigma\sqrt{t/T}} \quad (10)$$

$$d = e^{-\sigma\sqrt{t/T}} = 1 / u \quad (11)$$

$$p = \frac{e^{rT/n} - d}{u - d} \quad (12)$$

gdzie:

- $u$  – czynnik wzrostu w jednym „kroku” drzewa,
- $d$  – czynnik spadku w jednym „kroku” drzewa,
- $T$  – ilość „kroków” (tj. przedziałów czasowych) drzewa dwumianowego (jaką chce się zastosować),
- $t$  – czas do wygaśnięcia opcji,
- $r$  – stopa dyskontowa bez ryzyka,
- $\sigma$  – współczynnik zmienności wartości projektu,
- $p$  – neutralne względem ryzyka prawdopodobieństwo pomyślnego wyniku projektu [21, s. 118, 121].

Opcje realne są przydatne w wycenie inwestycji charakteryzujących się wysoką niepewnością rezultatów oraz istnieniem możliwości i zdolności zarządu do aktywnego reagowania na zmieniające się warunki inwestycji [21, s. 72, 77 na podstawie 3]. Przykładem może być dodatkowy koszt zakupu maszyn do elektrowni za możliwość wyboru terminu zakupu. Opcja ta ma wartość na przykład, gdy zarząd chce uzależnić termin zakupu od koniunktury na rynku. Natomiast w przypadku gdy decyzja o terminie zakupu została już ostatecznie podjęta, opcja ta jest bezwartościowa.

Podstawowym problemem w próbach zastosowania opcji rzeczowych jest zazwyczaj kwantyfikacja współczynnika zmienności rezultatów projektu, odpowiadającego odchyleniu standardowemu. Wiarygodność wyników analiz z zastosowaniem opcji rzeczowych jest bowiem uzależniona od możliwości wyceny wartości ewentualnych zmian (w okresie gdy występują) oraz prawdopodobieństwa ich wystąpienia. Oszacowanie tych parametrów jest często trudne lub przyjmowane subiektywne. Dlatego w praktyce częściej stosowane są analizy wrażliwości, scenariuszy i symulacyjne oraz drzewa decyzyjne, a opcje realne ujmowane są oddzielnie jako potencjalne możliwości zmiany inwestycji.

## 6. Podsumowanie

Z dotychczasowych ustaleń wynika, że podejmując decyzje inwestycyjne w przemyśle wytwarzania energii elektrycznej, należy uwzględnić m.in. ryzyko związane z potencjalnymi zmianami: unormowań prawnych, cen paliwa pierwotnego, stopy procentowej, ryzyko związane z procesem budowy oraz inne, specyficzne dla danej technologii, źródła ryzyka.

Przeprowadzona analiza metod oceny ryzyka wykazała, że podstawowe metod oceny ryzyka, takie jak podwyższona stopa dyskontowa, analiza wrażliwości i scenariusz oraz symulacje Monte Carlo i drzewa decyzyjne, mogą być wykorzystane w ocenie procesów wytwarzania energii elektrycznej. Ponadto, najprostszym sposobem uwzględnienia ryzyka jest zwiększenie stopy dyskontowej. Jednak przeświadczenie, że całe ryzyko może być uwzględnione przez zawyżenie stopy dyskontowej, jest błędne. Ze względu na dużą zmienność uwarunkowań gospodarowania w przemyśle wytwarzania energii elektrycznej wskazana jest analiza opcji realnych *ROA (Real Options Analysis)*. Podejmuje ona próbę przypisania wartości w przypadku każdej swobodnej decyzji, którą może podjąć przedsiębiorstwo w ramach przedsięwzięcia inwestycyjnego. Opcje realne, zwane też opcjami rzeczywistymi lub strategicznymi, obejmują możliwości rozszerzenia lub ograniczenia, opóźnienia rozpoczęcia, wcześniejszego zakończenia (zaniechania



działalności) lub zmiany profilu działalności w przypadku, gdy inwestycja nie przynosi oczekiwanych korzyści. Ponieważ w praktyce większość inwestycji cechuje połączenie różnego rodzaju opcji realnych, podstawowym problemem jest odpowiednia wycena, a mianowicie opcje rzeczowe powinny stanowić odrębną część analizy i nie być wliczane do wartości bieżącej, gdyż nie stanowią rzeczywistych przepływów pieniężnych.

## Literatura

- [1] Abram M., Kulatilaka N., *Real options – strategie d'investimento in un mondo dominato dall'incertezza*, Etas Libri, Italia 1999.
- [2] Ariel R., *Risk Adjusted Discount Rates and the Present Value of Risky Costs*, „The Financial Review” 1998, Vol. 33(1).
- [3] Axelrod A., *Real Options: A Silver Bullet or a Black Hole?*, Annual International Conference on Real Options, Los Angeles 2001.
- [4] Bartnik R., Szczygieł L., *Metody oceny efektywności ekonomicznej inwestycji dotyczących układów kogeneracyjnych*, „Biuletyny URE”, listopad 2005 r., nr 6, <http://www.ure.gov.pl/portal/pl/258/1571>.
- [5] Crundwell F.K., *Finance for Engineers: Evaluation and Funding of Capital Projects*, Springer, London 2008.
- [6] Czechowski L., Dziworska K., Gostkowska-Drzewicka T., Górczyńska A., Ostrowska E., *Projekty inwestycyjne: finansowanie, metody i procedury oceny*, Ośrodek Doradztwa i Doskonalenia Kadr, Gdańsk 1997.
- [7] *Encyclopedia of Finance*, Lee C.F., Lee A.C. (red.), Springer, New York 2006.
- [8] Grinblatt M., Liu J., *Debt policy, corporate taxes, and discount rates*, „Journal of Economic Theory” 2008, Vol. 141(1).
- [9] Jaki A., *Wycena i kształtowanie wartości przedsiębiorstwa*, Wolters Kluwer, Kraków 2008.
- [10] Kawa P., Wydimus S., *Metodologia oceny efektywności projektów inwestycyjnych według standardów Unii Europejskiej*, Text, Kraków 1998.
- [11] Książek M., *Efektywność pozyskiwania pierwotnych nośników energii w Polsce*, PWN, Warszawa–Kraków 1996.
- [12] Manikowski A., Tarapata Z., *Ocena projektów gospodarczych, cz. 1 Modele i metody*, Difin, Warszawa 2001.
- [13] Marcinek K., *Ryzyko projektów inwestycyjnych*, Wydawnictwo Uczelniane Akademii Ekonomicznej, Katowice 1998.
- [14] Neveu R.P., *Fundamentals of Managerial Finance*, South-Western College, West 1985.
- [15] Ostrowska E., *Ryzyko inwestycyjne – identyfikacja i metody oceny*, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 1999.



- [16] Pawłowski J., *Metodyka oceny efektywności finansowej przedsięwzięć gospodarczych*, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź 2004.
- [17] Rogowski W., *Rachunek efektywności inwestycji*, Wolters Kluwer Polska, Kraków 2008.
- [18] Ross S.A., Westerfield R.W., Jordan B.D., *Fundamentals of corporate finance*, 4th ed., Irwin/McGraw-Hill, Boston etc. 1998.
- [19] Rutkowski A., *Zarządzanie finansami*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2007.
- [20] Wiśniewski T., *Ocena efektywności inwestycji rzeczowych ze szczególnym uwzględnieniem ryzyka*, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin 2008.
- [21] Ziarkowski R., *Opcje rzeczowe oraz ich zastosowanie w formułowaniu i ocenie projektów inwestycyjnych*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej, Katowice 2004.