

Andrzej KARBOWNIK

## OCENA RYZYKA REALIZACJI PRZEDSIĘWZIĘĆ INWESTYCYJNYCH W GÓRNICTWIE WĘGLOWYM

**Streszczenie.** W artykule wskazano na możliwość nieuzyskania spodziewanej rentowności inwestycji górniczej w wyniku jej realizacji i późniejszej eksploatacji złoża. Przedstawiono metodę oceny ryzyka towarzyszącego realizacji inwestycji górniczej - budowie nowej kopalni. Wykorzystuje się metodę Monte Carlo, której stosowanie odpowiednią ilość razy pozwala uzyskać funkcję gęstości prawdopodobieństwa wartości wskaźnika oceny ekonomicznej efektywności inwestycji. Na jej podstawie oblicza się wartość oczekiwaną wskaźnika oceny efektywności, odchylenie standardowe, prawdopodobieństwo poniesienia strat i ich wartość oczekiwaną. Obliczenia są wykonywane na maszynie cyfrowej. Podano przykład obliczeniowy, w którym poddano analizie ryzyko towarzyszące czterem wariantom projektowym budowy nowej kopalni. Podano profile ryzyka rozważanych wariantów projektowych oraz zobrażowano te warianty na diagramie decyzyjnym. Wskazano na wariant najkorzystniejszy z uwagi na wartość oczekiwaną wskaźnika oceny ekonomicznej efektywności inwestycji i towarzyszące mu ryzyko.

### 1. Wstęp

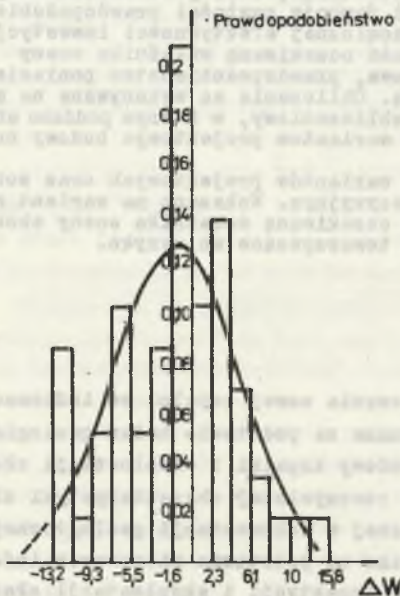
Podstawa do podjęcia procesu projektowania nowej kopalni są informacje o warunkach naturalnych złoża. Są one znane na podstawie badań geologicznych i geofizycznych złoża. W trakcie budowy kopalni i eksploatacji złoża pojawiają się, znaczne nieraz, odchylenia rzeczywistej charakterystyki złoża w odniesieniu do charakterystyki podanej w dokumentacji geologicznej. Stąd też decyzje projektowe są podejmowane na podstawie niepewnych informacji. Częste więc w procesie realizacji inwestycji i eksploatacji złoża powstaje konieczność zmiany pierwotnych decyzji projektowych. Może to wymagać dodatkowych nakładów inwestycyjnych. Może się wydłużyć cykl realizacji inwestycji lub powstaną poważne trudności w osiągnięciu projektowanej zdolności wydobywczej kopalni. Wreszcie koszt eksploatacji złoża może być znacznie wyższy od przewidywanego. Fakty te powodują, że projektowana inwestycja może nie osiągnąć przewidywanego poziomu rentowności lub wręcz może się okazać, że projektowane przedsięwzięcie będzie w ostatecznym rozrachunku nierentowne. Można więc powiedzieć, że podjęciu każdej decyzji o realizacji inwestycji górniczej towarzyszy ryzyko nieuzyskania spodziewanego poziomu rentowności. Ryzyko to jest szczególnie duże w przypadku budowy nowej kopalni [1, 4, 5]. Powstaje problem jak mierzyć poziom tego ryzyka i w jaki sposób należy je traktować przy podjęciu decyzji o realizacji inwestycji.

## 2. Metoda oceny ryzyka

Na poziom rentowności inwestycji w zasadniczym stopniu wpływają wartości następujących parametrów: wielkość wydobycia kopalni, koszt ruchowy eksploatacji, cena zbytu węgla, nakłady inwestycyjne na realizację inwestycji i cykl jej realizacji.

W procesie projektowania i w momencie podejmowania decyzji o realizacji inwestycji nie są one znane w sposób pewny. Dlatego należy raczej mówić o przedziałach zmienności, w których te wartości zaistnieją z określonymi prawdopodobieństwami, czyli o ich rozkładach prawdopodobieństwa.

Dla każdego z podanych powyżej parametrów ustalono rozkłady prawdopodobieństwa, zwane profilami niepewności. Przykładowy profil niepewności dla wydobycia dobowego kopalni podano na rys. 1.



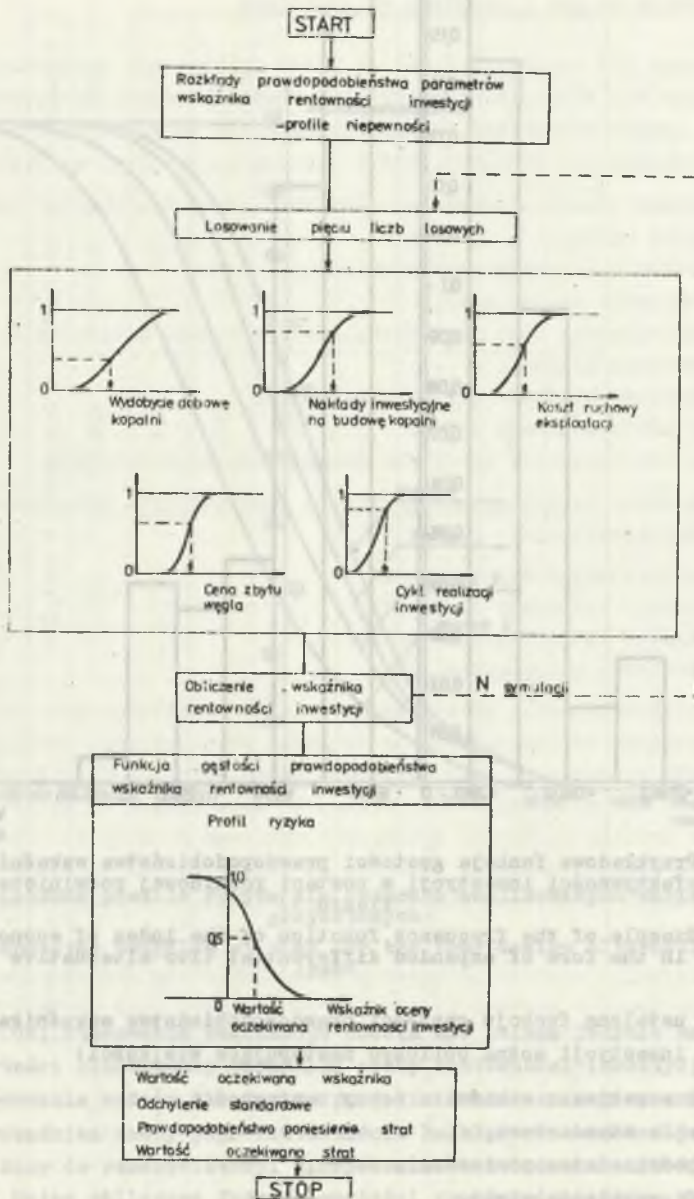
Rys. 1. Przykładowy profil niepewności dla odchylenia wydobycia dobowego kopalni

Fig. 1. Example of uncertainty profile for the deviation in the daily output of the mine

Należy zauważyć, że profile niepewności nie odnoszą się do wartości bezwzględnych parametrów, ale do odchyłeń procentowych wartości realnie uzyskiwanych po zrealizowaniu inwestycji od wartości projektowych.

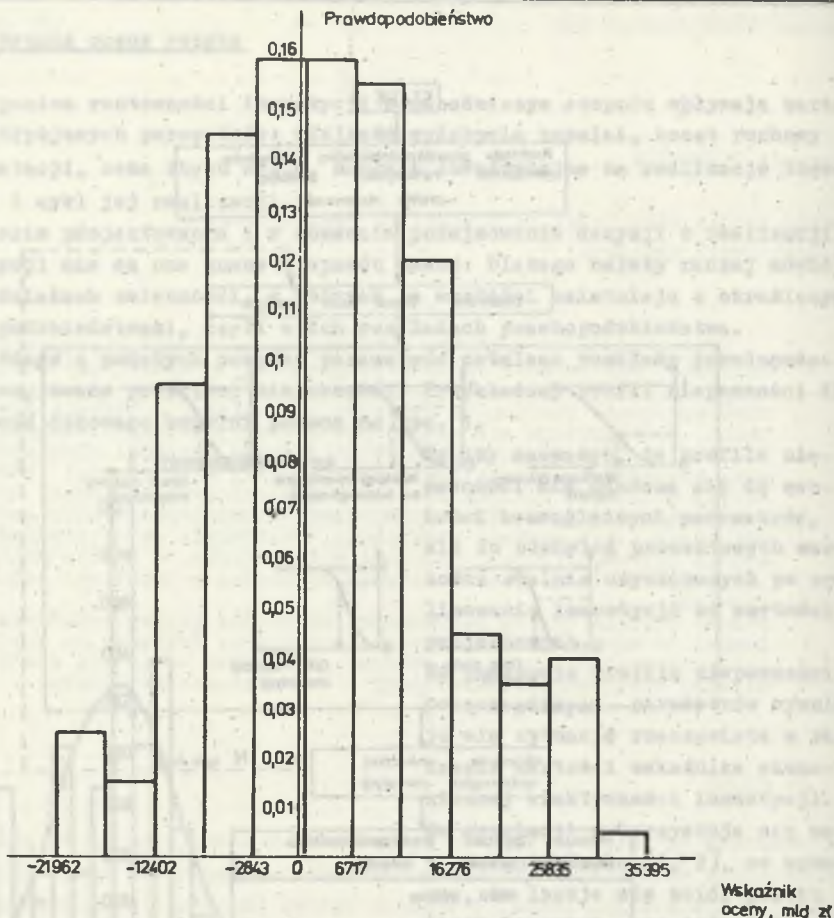
Na podstawie profilu niepewności poszczególnych parametrów symuluje się sytuację rzeczywistą w zakresie wartości wskaźnika ekonomicznej efektywności inwestycji. Do symulacji wykorzystuje się metodę Monte Carlo [1, 2], co oznacza, że losuje się zbiór pięciu liczb losowych - po jednej dla każdego parametru - i na podstawie profili niepewności ustala się wartości losowe parametrów oraz oblicza się wartość wskaźnika oceny ekonomicznej efektywności inwestycji. Powtarzanie symulacji wystarczającą ilość razy pozwala uzyskać funkcję gęstości prawdopodobieństwa tego wskaźnika. Ten sposób

postępowania w ocenie ryzyka nosi nazwę modelu empirycznego. Jego schemat został przedstawiony na rys. 2.



Rys. 2. Schemat modelu empirycznego oceny ryzyka w podejmowaniu decyzji projektowych i inwestycyjnych

Fig. 2. Diagram of an empirical model of the estimate of risk when making planning and investment decisions



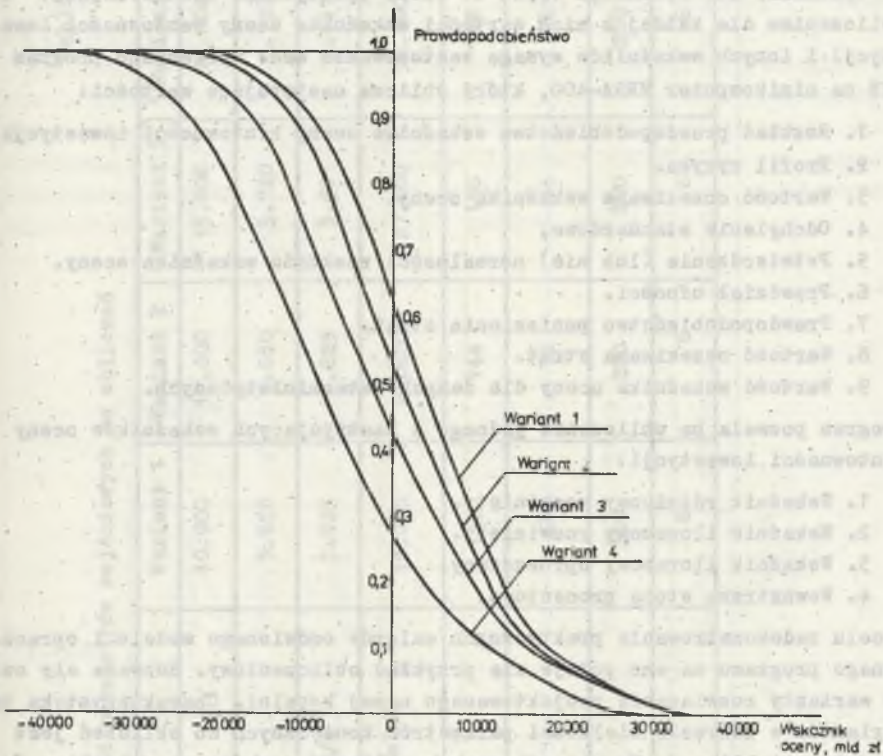
Rys. 3. Przykładowa funkcja gęstości prawdopodobieństwa wskaźnika ekonomicznej efektywności inwestycji w postaci różnicowej rozwiniętej (dla wariantu 1)

Fig. 3. Example of the frequency function of the index of economic efficiency in the form of expanded differential (for alternative 1)

Mając ustaloną funkcję gęstości prawdopodobieństwa wskaźnika oceny rentowności inwestycji można obliczyć następujące wielkości:

- wartość oczekiwaną wskaźnika oceny rentowności,
- odchylenie standardowe,
- prawdopodobieństwo poniesienia strat,
- wartość oczekiwaną strat.

Przykładową funkcję gęstości prawdopodobieństwa wskaźnika różnicowego rozwiniętego (przyjętego jako wskaźnik oceny rentowności inwestycji w podanym poniżej przykładzie obliczeniowym) pokazano na rys. 3.



Rys. 4. Obliczone profile ryzyka dla czterech analizowanych wariantów projektowych

Fig. 4. Computed profiles of risk for the four design alternatives analyzed

Praktyczny cel stosowania omawianego modelu nie polega jedynie na obliczeniu wartości oczekiwanej wskaźnika oceny rentowności inwestycji. Praktyczne stosowanie modelu dla danego projektu dostarcza empiryczną funkcję gęstości wskaźnika oceny jego rentowności. Rozkład rentowności jest bardziej zbliżony do rzeczywistości niż jedna zdeterminowana wartość tego wskaźnika. Mając obliczoną funkcję gęstości prawdopodobieństwa wskaźnika oceny wyznacza się tzw. profil ryzyka. Jest to "odwrócona" dystrybucja wskaźnika oceny rentowności. Na podstawie profilu ryzyka można wnioskować o wielkości ryzyka towarzyszącego realizacji inwestycji. Na rysunku obrazuje to pochylenie profilu ryzyka (rys. 4), a wartościowo wyraża odchylenie standardowe (tab. 2).

### 3. Program na emc i przykład obliczeniowy

Wykonanie 200 symulacji (jest to ilość praktycznie wystarczająca) z obliczeniem dla każdej z nich wartości wskaźnika oceny rentowności inwestycji, i innych wskaźników wymaga zastosowania emc. Opracowano program RYZ na minikomputer MERA-400, który oblicza następujące wartości:

1. Rozkład prawdopodobieństwa wskaźnika oceny rentowności inwestycji.
2. Profil ryzyka.
3. Wartość oczekiwana wskaźnika oceny.
4. Odchylenie standardowe,
5. Potwierdzenie (lub nie) normalności rozkładu wskaźnika oceny.
6. Przedział ufności.
7. Prawdopodobieństwo poniesienia strat.
8. Wartość oczekiwana strat.
9. Wartość wskaźnika oceny dla danych deterministycznych.

Program pozwala na obliczenie jednego z następujących wskaźników oceny rentowności inwestycji:

1. Wskaźnik różnicowy rozwinięty.
2. Wskaźnik ilorazowy rozwinięty.
3. Wskaźnik ilorazowy uproszczony.
4. Wewnętrzna stopa procentowa.

W celu zademonstrowania praktycznych walorów omówionego modelu i opracowanego programu na emc podaje się przykład obliczeniowy. Rozważa się cztery warianty rozwiązania projektowanego nowej kopalni. Charakterystyka tych wariantów w zakresie wielkości parametrów koniecznych do obliczeń jest zawarta w tabelicy 1. Wyniki wykonanych obliczeń zawarte są w tabelicy 2.

Analiza wyników obliczeń prowadzi do następujących wniosków odnośnie do rentowności ocenianych wariantów projektowych i towarzyszącego im ryzyka:

1. Przyjmując wartość oczekiwaną wskaźnika oceny ekonomicznej efektywności inwestycji w postaci różnicowej rozwiniętej jako kryterium oceny wariantów projektowych, warianty 1 i 2 są rentowne, natomiast warianty 2 i 4 są nierentowne.
2. Wartość wskaźnika oceny ekonomicznej efektywności inwestycji obliczona dla danych deterministycznych, tzn. bez wykonywania analizy probabilistycznej, wykazuje, że warianty 1, 2 i 3 są rentowne, a wariant 4 jest nierentowny.

Wartości wskaźnika, w tym przypadku, są wyższe odpowiednio o 72%, 177%, 348% i 291% od wartości obliczonych w wyniku analizy probabilistycznej. Znaczne różnice nakazują znacznie większą ostrożność przy podejmowaniu decyzji inwestycyjnej na podstawie wartości deterministycznej wskaźnika.

Tablica 1

Wielkość parametrów wejściowych do obliczeń

Lp.	Parametr	Wariant 1	Wariant 2	Wariant 3	Wariant 4
1	Wydobycie dobowe kopalni, t/a	10.000	12.000	15.000	18.000
2	Cena zbytu węgla, zł/t	5.650	5.650	5.720	5.720
3	Jednostkowy koszt eksploatacji, zł/t	3.825	3.825	3.911	3.911
4	Nakłady inwestycyjne na budowę kopalni mln zł	18.000	21.600	27.000	36.400
5	Cykl realizacji inwestycji, mies.	132	144	156	168
6	Okres budowy kopalni do uzyskania pierwszego wydobycia, mies.	60	72	84	96
7	Liczba symulacji	200	200	200	200
8	Stopa procentowa, %	6	6	6	6

Tabela 2

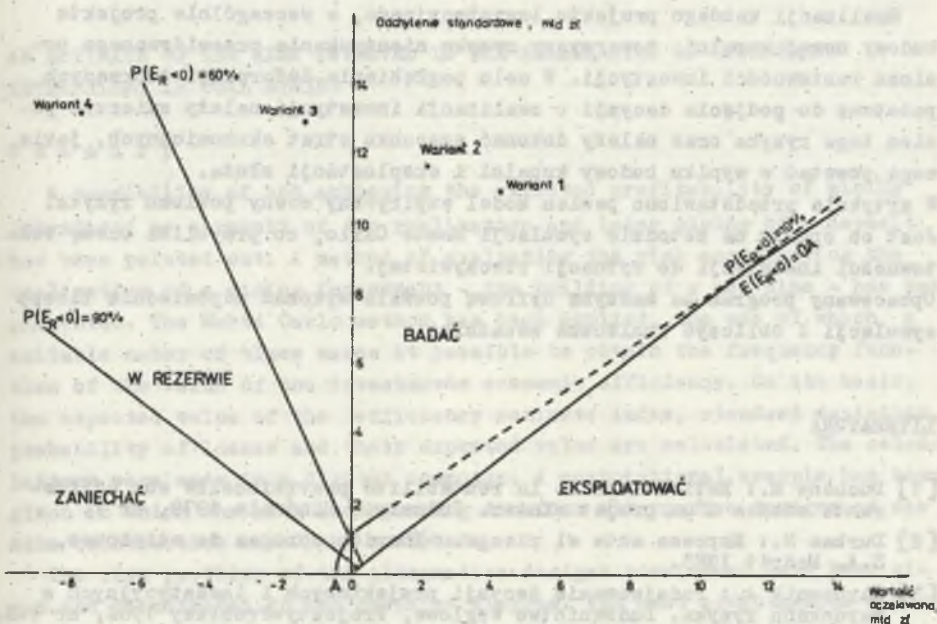
## Wyniki obliczeń

Lp.	Parametr	Wariant 1	Wariant 2	Wariant 3	Wariant 4
1	Wartość oczekiwana wskaźnika oceny ekonomicznej efektywności inwestycji w postaci różnicowej rozwiniętej, mln zł	4.231,1	2.153,5	-1.430,5	-7.830,9
2	Odchylenie standardowe wskaźnika oceny, mln zł	10.940,8	11.587,5	12.887,9	13.240,0
3	Czy wskaźnik ma rozkład normalny?	tak	tak	tak	nie
4	Prawdopodobieństwo poniesienia strat, %	37,5	46,0	58,0	75,0
5	Wartość oczekiwana strat, mln zł	-2.464,1	-3.618,5	-5.900,9	-10.308,6
6	Wartość wskaźnika oceny ekonomicznej efektywności inwestycji dla analizy deterministycznej, mln zł	7.292,4	5.970,3	3.549,1	-2.003,7



3. Przyjmując odchylenie standardowe wskaźnika oceny jako miarę poziomu ryzyka towarzyszącego realizacji inwestycji, widzimy, że wariant 4 charakteryzuje się największym poziomem ryzyka. Natomiast wariant 1 - najbardziej rentowny - odznacza się najmniejszym poziomem ryzyka. Obrazuje to pochylenie profili ryzyka na rys.4.

4. Jeżeli włączymy do analizy ryzyka prawdopodobieństwo poniesienia strat i ich wartość oczekiwaną, to okazuje się, że wariant 1 ma najmniejsze prawdopodobieństwo poniesienia strat (37,5%) i najmniejszą ich wartość oczekiwaną. Dla pozostałych wariantów wraz ze zmniejszeniem się poziomu rentowności inwestycji i wzrostem poziomu ryzyka wzrasta również prawdopodobieństwo poniesienia strat i ich wartość oczekiwaną.



Rys. 5. Diagram decyzyjny  $(\mu, \sigma)$  dla czterech analizowanych wariantów projektowych

Fig. 5. Decision diagram  $(\mu, \sigma)$  for the four design alternatives analyzed

5. Na rys. 5 widzimy, że warianty 1, 2 i 3 mieszczą się w strefie **BADAĆ**, natomiast wariant 4 w strefie **W REZERWIE**. Te dwie strefy oraz dwie pozostałe: **EKSPLOATOWAĆ** i **ZANIECHAĆ** są ograniczone półprostymi, które są miejscami geometrycznymi punktów o stałej wartości prawdopodobieństwa poniesienia strat: 10%, 60% i 90%.

Przyjmując, że dopuszczamy ryzyko równe 10% poniesienia strat w wyniku realizacji projektu, nie podejmujemy decyzji o realizacji inwestycji na podstawie wariantu 1. Mimo stosunkowo wysokiej rentowności wysokie prawdopodobieństwo strat nakazuje dużą ostrożność.

6. Przed podjęciem ostatecznej decyzji należy wykonać dodatkowe badania geologiczne złoża, które być może zmniejszą niepewność informacji wejściowych do sporządzenia projektu oraz należy dokładniej przeanalizować rozwiązanie projektowe (wariant 1) i poszukiwać dróg powiększania jego rentowności. Ma to na celu przesunięcie punktu oznaczającego wariant 1 ze strefy BADAĆ do strefy EKSPLOATOWAĆ.

#### 4. Podsumowanie

Realizacji każdego projektu inwestycyjnego, a szczególnie projektu budowy nowej kopalni, towarzyszy ryzyko nieuzyskania przewidywanego poziomu rentowności inwestycji. W celu pogłębienia informacji tworzących podstawę do podjęcia decyzji o realizacji inwestycji należy zmierzyć poziom tego ryzyka oraz należy dokonać szacunku strat ekonomicznych, jakie mogą powstać w wyniku budowy kopalni i eksploatacji złoża.

W artykule przedstawiono pewien model empiryczny oceny poziomu ryzyka. Jest on oparty na metodzie symulacji Monte Carlo, co przybliży ocenę rentowności inwestycji do sytuacji rzeczywistej.

Opracowany program na maszynie cyfrowa pozwala wykonać odpowiednią liczbę symulacji i obliczyć konieczne wskaźniki.

#### LITERATURA

- [1] Duchène M.: Estimations de la rentabilité previsionelle aux adiffereents stades d'un projet minier. Industrie Minérale 1979, nr 1.
- [2] Durban S.: Empresa ante el riesgo. Iberico europea de ediciones, S.A. Madrid 1983.
- [3] Karbownik A.: Podejmowanie decyzji projektowych i inwestycyjnych w warunkach ryzyka. Budownictwo Węglowe, Projekty-Problemy 1984, nr 7-8.
- [4] Mackenzie B.W.: Evaluating the economics of mine development. Canadian Mining Journal 1971, nr 3.
- [5] Wellmer F.W.: Elementen des bergbauspezifischen. Gluckauf 1981, nr 6.

Recenzent: Doc dr hab. inż. Czesław Cyrnek

Wpłynęło do Redakcji w marcu 1985 r.

## ОЦЕНКА РИСКА РЕАЛИЗАЦИИ ИНВЕСТИЦИОННОГО МЕРОПРИЯТИЯ В УГОЛЬНОЙ ДОБЫЧЕ

## Резюме

В статье указаны возможности неполучения запланированной прибыли из горной инвестиции в результате действительной её реализации и последующей эксплуатации залежи. Дан метод оценки риска неполучения ожидаемой прибыли при постройке новой шахты. Использован метод Монте-Карло, позволяющий на определение плотности вероятности величины показателя экономической эффективности инвестиции. На этом основании определяются ожидаемая величина показателя эффективности, стандартное отклонение, вероятность потерь и их ожидаемая величина. Приведён расчётный пример на ЭВМ, в котором проанализирован риск для четырёх проектных вариантов новой шахты.

## AN ESTIMATE OF THE RISK INVOLVED IN THE REALIZATION OF INVESTMENT ENTERPRISES IN COAL MINING

## Summary

A possibility of not achieving the expected profitability of mining investment as a result of its realization and later mining of a deposit has been pointed out. A method of evaluating the risk accompanying the realization of a mining investment - the building of a new mine - has been presented. The Monte Carlo method has been applied, the use of which a suitable number of times makes it possible to obtain the frequency function of the value of the investments economic efficiency. On its basis, the expected value of the efficiency estimate index, standard deviation, probability of losses and their expected value are calculated. The calculations were made in a digital computer. A computational example has been given in which the risk accompanying the four alternative designs of new mine construction have been analyzed.

The risk profiles of the alternative designs considered have been given and illustrated in the decision diagram. The most advantageous alternative, on account of the expected value of the index of the investment economic efficiency estimate and the risk involved, have been pointed out.