

# Ocena ekonomicznej efektywności i ryzyka eksploatacji resztkowych złóż węgla kamiennego na wybranym przykładzie

## Assessment of economic effectiveness and risk of exploitation of the residual hard coal deposits illustrated with a selected example



*Dr hab. inż. Krzysztof Wodarski,  
prof. nzw. Pol. Śl. \*)*



*Dr inż. Jolanta Bijańska \*)*

**Treść:** W obszarach górniczych kopalń Górnośląskiego Zagłębia Węglowego znajdują się znaczne zasoby węgla kamiennego pozostawione w tzw. resztkowych złóżach. Od kilku lat rozważa się możliwość ich eksploatacji, w celu przedłużenia żywotności kopalni o kończących się zasobach. Eksploatacja resztkowych złóż może przynieść również inne korzyści, m.in. zmniejszyć strefy koncentracji naprężeń w górotworze, a w konsekwencji mieć wpływ na poprawę warunków utrzymania wyrobisk i zmniejszenie zagrożenia tąpnięciami. Jednak obecnie, podstawowym warunkiem podjęcia decyzji o eksploatacji resztkowych złóż jest satysfakcjonujący wynik oceny jej ekonomicznej efektywności oraz ryzyka nieuzyskania oczekiwanego efektu ekonomicznego. W artykule przedstawiono opracowaną metodę takiej oceny oraz przykład jej wykorzystania w wybranej kopalni węgla kamiennego.

**Abstract:** In the mining areas of the Upper Silesian Coal Basin mines there are substantial resources of hard coal left in so called residual deposits. For several years, the possibility of their exploitation has been considered in order to prolong life of the mine which is running out of mineral resources. The exploitation of residual deposits may bring additional benefits, for instance, the reduction of concentration zones of stresses in rock mass which may improve the conditions of excavation maintenance and reduce the tremor hazard. However, the main conditions determining the decision of taking up residual exploitation are to achieve a satisfactory assessment result of its economic effectiveness and to estimate the risk of not obtaining the expected financial result. This paper also presents a method of such an assessment and example of its application in the selected hard coal mine.

### **Słowa kluczowe:**

*Metoda oceny efektywności ekonomicznej i ryzyka, eksploatacja resztkowych złóż węgla kamiennego*

### **Key words:**

*method of economic effectiveness and risk assessment, exploitation of hard coal residual deposits*

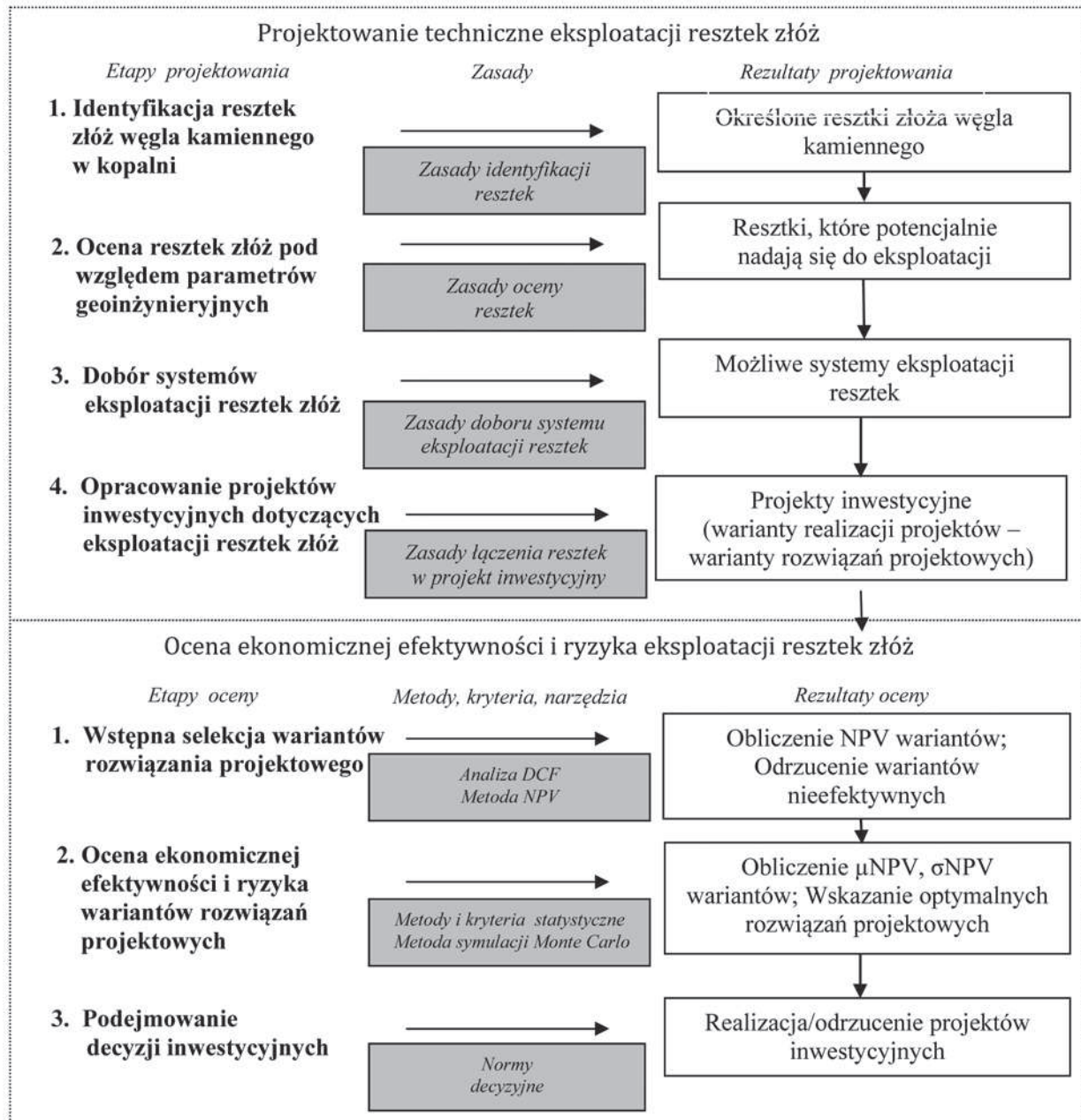
## **1. Wprowadzenie**

W ramach projektu badawczego [3] opracowano metodę oceny ekonomicznej efektywności i ryzyka eksploatacji resztkowych złóż węgla kamiennego – nazywanych dalej resztkami. Metoda ta jest zintegrowana z procesem projektowania technicznego eksploatacji resztek, w sposób umożliwiający korzystanie z zasobów informacyjnych [1, 5], (rys. 1). Ze względu na cechy resztek (m.in. nieregularne kształty, nie-

wielkie rozmiary, konieczność zastosowania odpowiedniego wyposażenia technicznego przodków) przyjęto, że resztki w danej kopalni, które charakteryzują się tymi samymi parametrami geoinżynierskimi, umożliwiającymi eksploatację tymi samymi systemami i przy wykorzystaniu tego samego wyposażenia technicznego, będą oceniane wspólnie, w ramach projektu inwestycyjnego.

Opracowaną metodę wykorzystano do oceny możliwości eksploatacji resztek w wybranych 21 kopalniach Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. W artykule syntetycznie przedstawiono jej istotę oraz przykład zastosowania w wybranej kopalni.

\*) Politechnika Śląska, Wydział Organizacji i Zarządzania



Rys. 1. Ocena możliwości eksploatacji resztek złóż węgla kamiennego  
 Fig. 1. Assessment of the possibilities of hard coal residual deposits exploitation  
 Źródło: Opracowanie własne [3, 1]

**2. Projektowanie techniczne eksploatacji resztkowych złóż**

Ocenę ekonomicznej efektywności i ryzyka eksploatacji resztek złóż poprzedza realizacja 4 etapów procesu projektowania technicznego. Uogólniając, ich istotą jest (rys. 1):

1. *Identyfikacja resztek złoża* w zasobach znajdujących się w pokładach węgla, w których była prowadzona eksploatacja, zakwalifikowanych jako nieprzemysłowe, pozabilansowe grupy „b”, albo niezakwalifikowanych w ramach aktualnego PZZ. Przyjęto, że zidentyfikowane w ramach tego etapu resztki zostają scharakteryzowane „Informacją o złożu resztkowym” oraz przedstawione na fragmentach map górniczych [1, 5];
2. *Ocena resztek złoża* pod względem określonych parametrów geoinżynierskich, do których zaliczono (wg istotności):

zagrożenie tąpnięciami, zagrożenie metanowe, grubość pokładu węgla, nachylenie pokładu, warunki stropowe, konieczność ochrony powierzchni, zagrożenie wodne, zagrożenie wyrzutem metanu i skał, warunki spągowe. Przyjęto, że zakwalifikowanie ocenianej resztki do eksploatacji zależy od trzech warunków ograniczających, związanych z :

- *grubością pokładu węgla*: niemożliwa jest eksploatacja resztek poniżej 1,5 m,
- *zagrożeniami naturalnymi*: niemożliwa jest eksploatacja resztek, w których występuje II i III stopień zagrożenia tąpnięciami, III i IV stopień zagrożenia metanowego, II i III stopień zagrożenia wodnego oraz zagrożenie wyrzutem metanu i skał,
- *koniecznością ochrony powierzchni*: niemożliwa jest eksploatacja z resztek zlokalizowanych pod ważnymi obiektami;

3. *Dobór systemu eksploatacji resztek złoża*, spełniających wymienione ograniczenia, który jest uzależniony od przedstawionych parametrów geoinżynierskich, zgodnie z przyjętymi zasadami [1, 5, 7]. Ponadto, w ramach tego etapu zostaje wskazane możliwe wyposażenie techniczne przodków wydobywczych [5, 6]. O jego wyborze w największym stopniu decydują: grubość pokładu węgla, nachylenie pokładu, warunki stropowe i spągowe, urabialność węgla oraz dostępność maszyn i urządzeń w danej kopalni;
4. *Opracowanie projektów inwestycyjnych dotyczących eksploatacji resztek złoża w kopalni*, na podstawie parametrów geoinżynierskich, umożliwiających eksploatację resztek takimi samymi systemami i tym samym wyposażeniem technicznym. Założono, że mogą istnieć różne warianty realizacji poszczególnych projektów inwestycyjnych, które nazwano wariantami rozwiązania projektowego. Warianty te mogą się różnić m.in. systemem eksploatacji. Przyjęto, że dla każdego wariantu zostają przygotowane, zgodnie z określonym standardem [1, 3, 5]: informacje o systemie eksploatacji resztek wraz z wyposażeniem technicznym, projekt eksploatacji resztek oraz informacje ekonomiczno – finansowe.  
Informacje wynikające z procesu projektowania technicznego eksploatacji resztek są podstawą przeprowadzenia oceny ich ekonomicznej efektywności i ryzyka.

### 3. Metoda oceny ekonomicznej efektywności i ryzyka eksploatacji resztkowych złóż

Opracowana metoda ma na celu wskazanie optymalnego rozwiązania projektowego z punktu widzenia ekonomicznej efektywności i ryzyka, przy uwzględnieniu określonych ograniczeń. Wyniki uzyskane w toku wykorzystania tej metody stanowią podstawę podejmowania decyzji o eksploatacji określonych resztek złoża w danej kopalni [1].

Uogólniając, metoda składa się z trzech głównych etapów o charakterze działań, wzajemnie ze sobą powiązanych, które powinny być realizowane w określonej kolejności (rys. 1). Należą do nich:

1. *Wstępna selekcja wariantów rozwiązania projektowego*, oparta na podejściu deterministycznym a w szczególności na analizie zdyskontowanych przepływów pieniężnych (DCF) oraz metodzie wartości zaktualizowanej netto (NPV). Dokonanie oceny za pomocą kryterium NPV umożliwia odrzucenie nieefektywnych ekonomicznie wariantów rozwiązania projektowego;
2. *Ocena ekonomicznej efektywności i ryzyka wariantów rozwiązania projektowego*. Ze względu na niepewność co do warunków i rezultatów realizacji wariantów rozwiązania projektowego przyjęto, że zostaną wskazane zarówno ich potencjalne efekty ekonomiczne, jak i ryzyko związane z nieprzewidywalnością ich uzyskania. Założono, że wskaźnikiem umożliwiającym pomiar ekonomicznej efektywności przy wykorzystaniu NPV jest jej wartość oczekiwana –  $\mu\text{NPV}$ . Z kolei miarą ryzyka jest odchylenie standardowe –  $\sigma\text{NPV}$ , które charakteryzuje rozproszenie rozkładu prawdopodobieństwa NPV. Dla uzyskania precyzyjnych wyników pomiaru efektów ekonomicznych i ryzyka wykorzystano podejście probabilistyczne, a w szczególności symulację Monte Carlo. W celu wskazania optymalnego rozwiązania projektowego przyjęto, że funkcja kryterium optymalizacji opiera się na minimalizacji wartości współczynnika zmienności CV, będącego ilorazem odchylenia standardowego  $\sigma\text{NPV}$  oraz wartości oczekiwanej  $\mu\text{NPV}$ . Optymalnym rozwiązaniem projek-

towym jest wariant realizacji projektu inwestycyjnego, dotyczącego eksploatacji węgla z resztek złóż, który charakteryzuje się najniższym CV;

3. *Podejmowanie decyzji inwestycyjnych*, które oparte jest na opracowanych normach decyzyjnych (tablica 1), uwzględniających wyniki symulacji Monte Carlo ( $\mu\text{NPV}$ ,  $\sigma\text{NPV}$ ) i pozwalających na dokonanie oceny określonego wariantu rozwiązania projektowego ze względu na prawdopodobieństwo poniesienia strat (p) (tab. 1).

**Tablica 1. Normy wspomagające podjęcie decyzji o realizacji projektu inwestycyjnego**

**Table 1. Standards which support the decision of implementing an investment project**

$\sigma\text{NPV}/\mu\text{NPV}$	p	Norma decyzyjna
$\langle 0,00 \div 0,78 \rangle$	$\langle 0,0 - 0,1 \rangle$	Można podjąć decyzję o realizacji wariantu rozwiązania projektowego, gdyż występuje małe prawdopodobieństwo poniesienia strat.
$\langle 0,78 \div \infty \rangle$	$\langle 0,1 - 0,5 \rangle$	Można podjąć decyzję o realizacji wariantu rozwiązania projektowego, ale po wdrożeniu działań względem ryzyka.
$\langle -\infty \div -2,27 \rangle$	$\langle 0,5 - 0,67 \rangle$	Można podjąć decyzję o zakwalifikowaniu wariantu rozwiązania projektowego do „oczekiwania w rezerwie”. Być może będzie on mógł być zrealizowany w przyszłości..
$\langle -2,27 \div 0,00 \rangle$	$\langle 0,67 - 1,0 \rangle$	Należy podjąć decyzję o odrzuceniu wariantu rozwiązania projektowego, gdyż występuje zbyt duże prawdopodobieństwo poniesienia strat.

Źródło: opracowanie własne [1, 3] na podstawie [2]

### 4. Przykład oceny ekonomicznej efektywności i ryzyka eksploatacji resztkowych złóż

Przedstawioną metodę wykorzystano do oceny możliwości eksploatacji resztek w wybranej kopalni węgla kamiennego [1, 3]. Przeprowadzona analiza pozwoliła na zidentyfikowanie w tej kopalni 28 resztek. Resztki te, zgodnie z przyjętymi założeniami, zostały scharakteryzowane „Informacją o złożu resztkowym” oraz przedstawione na fragmentach map górniczych [1, 3, 5]. Na podstawie parametrów geoinżynierskich z wyróżnionych 28 resztek wybrano 9. Przyjęto, że do eksploatacji pięciu resztek można zastosować system chodnikowy, do dwóch resztek system chodnikowy oraz system chodnikowy z wcinkami, natomiast do dwóch kolejnych resztek system chodnikowy, system chodnikowy z wcinkami oraz system komorowo-filarowy. Wymienione grupy resztek zostały połączone w 3 projekty inwestycyjne: P1, P2, P3. Dla każdego z projektów przyjęto warianty rozwiązania projektowego, przedstawione w tablicy 2, dla których określono wyposażenie techniczne frontu eksploatacyjnego, dane charakteryzujące wyrobiska eksploatacyjne oraz dane techniczne, organizacyjne i ekonomiczno – finansowe [1, 3].

Na podstawie wstępnej selekcji wariantów rozwiązań projektowych wyróżnionych w tablicy 2 do dalszych obliczeń nie zostały zakwalifikowane dwa, tj.  $w_{3,1}$ ,  $w_{3,2}$ , ponieważ były nieefektywne ekonomicznie ( $\text{NPV} < 0$ ). W celu oceny ekonomicznej efektywności i ryzyka pozostałych 10 wariantów, ustalono rozkłady prawdopodobieństwa i dystrybuanty zmiennych losowych, tj. ceny zbytu węgla, postępu przodka wydobywczego, kosztów operacyjnych oraz nakładów inwestycyjnych. Następnie, dla każdej ze zmiennych generowano liczbę z przedziału (0, 1) i wyznaczano jej wartość za pomocą



**Tablica 2. Przyjęte warianty rozwiązań projektowych**  
**Table 2. Assumed variants for project solutions**

Nr projektu	Nr wariantu	Najważniejsze cechy wyróżniające wariant		
		System eksploatacji	Maszyna urabiająca	Sposób pozyskania maszyny urabiającej
P1	w1 <sub>1</sub>	System chodnikowy	2 kombajny AM 50	Zakup
	w1 <sub>2</sub>			Leasing
P2	w2 <sub>1</sub>	System chodnikowy	Kombajn AM 50	Zakup
	w2 <sub>2</sub>			Leasing
	w2 <sub>3</sub>	System chodnikowy z wcinkami	Kombajn AM 50	Zakup
	w2 <sub>4</sub>			Leasing
P3	w3 <sub>1</sub>	System chodnikowy	Kombajn AM 50	Zakup
	w3 <sub>2</sub>			Leasing
	w3 <sub>3</sub>	System chodnikowy z wcinkami	Kombajn AM 50	Zakup
	w3 <sub>4</sub>			Leasing
	w3 <sub>5</sub>	System filarowo - komorowy	Kombajn Continuous Miner	Zakup
	w3 <sub>6</sub>			Leasing

Źródło: opracowanie własne [1, 3]

dystrybuanty rozkładu normalnego. Na podstawie uzyskanych wartości zmiennych obliczono wartość NPV dla każdego wariantu. Symulację powtórzono 200 razy. Na podstawie wyników symulacji, obliczono wartość oczekiwaną  $\mu_{NPV}$  i odchylenie standardowe  $\sigma_{NPV}$ . Uzyskane wyniki pozwoliły na wyznaczenie funkcji rozkładu normalnego oraz dystrybuanty rozkładu normalnego NPV. Umożliwiły też obliczenie prawdopodobieństwa poniesienia straty (p). Dla wskazania optymalnego rozwiązania projektowego każdego projektu inwestycyjnego obliczono współczynnik zmienności –  $CV_{NPV}$  (tab. 3).

**Tablica 3. Współczynniki  $CV_{NPV}$  wariantów rozwiązań projektowych**

**Table 3. CVNPV coefficients of variants for project solutions**

Nr projektu	Nr wariantu	$CV_{NPV}$	Rozwiązanie optymalne
P1	w1 <sub>1</sub>	0,222	w1 <sub>2</sub>
	w1 <sub>2</sub>	0,213	
P2	w2 <sub>1</sub>	0,531	w2 <sub>4</sub>
	w2 <sub>2</sub>	0,419	
	w2 <sub>3</sub>	0,320	
	w2 <sub>4</sub>	0,284	
P3	w3 <sub>3</sub>	1,450	w3 <sub>6</sub>
	w3 <sub>6</sub>	0,870	
	w3 <sub>5</sub>	0,333	
	w3 <sub>6</sub>	0,248	

Źródło: opracowanie własne [1, 3]

Uzyskane wyniki pozwalają zaakceptować ryzyko związane z realizacją wybranych rozwiązań projektowych, co oznacza, że można podjąć decyzję o realizacji projektów inwestycyjnych. Przyjmując, że jest możliwe przyjęcie wszystkich 3 projektów, analizowana kopalnia może wydobyć łącznie 3 193 478 Mg węgla energetycznego.

#### 4. Podsumowanie

Przedstawione w artykule podejście do oceny możliwości eksploatacji resztkowych złóż w kopalniach umożliwiło wskazanie tych resztek, których eksploatacja jest optymalna z punktu widzenia ekonomicznej efektywności i ryzyka, przy uwzględnieniu określonych ograniczeń technicznych. Ze względu na czasochłonne prace projektowe i obliczenia, zarówno proces projektowania technicznego, jak również oceny ekonomicznej efektywności i ryzyka, jest wspomagany opracowanymi, wzajemnie ze sobą współpracującymi, programami komputerowymi – tpCH oraz OPER [1, 3, 4, 5]. Umożliwiają one przygotowanie informacji dla kierownictwa kopalni lub zarządu spółki węglowej, które wspomagają podjęcie decyzji o eksploatacji resztkowych złóż węgla kamiennego.

#### Literatura

1. *Bijańska J., Wodarski K.*: Ekonomiczne uwarunkowania eksploatacji resztkowych złóż węgla kamiennego w kopalniach Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Difin, Warszawa 2014.
2. *Karbownik A.*: Studium wielkości wydobycia projektowanej kopalni podziemnej węgla kamiennego z uwzględnieniem niepewności informacji. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, z. 146. Gliwice 1986.
3. Projekt badawczy własny nr NN 524 340640, pt.: „Badanie możliwości technicznych i uwarunkowań ekonomicznych dla projektowania eksploatacji resztkowych złóż węgla kamiennego w kopalniach Górnośląskiego Zagłębia Węglowego”. Politechnika Śląska, Wydział Organizacji i Zarządzania, Zabrze 2011-2014.
4. *Wodarski K., Bijaska J., Poniewiera M.*: Wykorzystanie narzędzi informatycznych do projektowania eksploatacji resztkowych złóż węgla kamiennego. Wiadomości Górnicze, 5/2014.
5. *Wodarski K.*: Możliwości techniczne projektowania eksploatacji resztkowych złóż węgla kamiennego. Difin, Warszawa 2014.
6. *Wodarski K.*: Techniczne wyposażenie przodków w eksploatacji resztkowych złóż węgla kamiennego. Przegląd górniczy 9/2013.
7. *Wodarski K.*: Technologie eksploatacji resztkowych złóż węgla kamiennego. Przegląd górniczy, 9/2012.