

KRYTERIA PRZEMYSŁOWOŚCI KOPALIN EKSPLOATOWANYCH ODKRYWKOWO, KTÓRYCH WARTOŚĆ NIE ZALEŻY OD ZAWARTYCH W NICH SKŁADNIKÓW UŻYTECZNYCH

INDUSTRIAL CRITERIA FOR MINERALS EXTRACTED IN OPEN PITS, WHICH VALUE IS NOT RELATED WITH CONTENT OF USEABLE ELEMENTS

Jan Kudelko, Janusz Nowak - KGHM Cuprum sp. z o.o. Centrum Badawczo-Rozwojowe, Wrocław
Konrad Wanielista - IGSMiE PAN, Kraków

Kryteriami przemysłowości określamy warunki geologiczno-górnictwa, techniczno-technologiczne, jakościowe i ekonomiczne, jakim powinny odpowiadać kopaliny oraz ich złoża, aby zasoby tych złóż nadawały się do opłacalnej eksploatacji. Kryteria przemysłowości mogą mieć charakter opisowy lub parametryczny. Wynikają one z obecnego stanu techniki i technologii, bądź też są one opisane zmiennymi objaśniającymi w funkcjach, zazwyczaj ekonomicznych, wyrażających opłacalność eksploatacji.

Dobór rodzajów kryteriów uwarunkowany jest sposobem eksploatacji - podziemnym lub odkrywkowym oraz rodzajem kopaliny, który z kolei determinuje czy o wartości złoża decyduje ilość zawartych w niej składników użytecznych czy jedynie własności fizyko-mechaniczne kopaliny.

Kryteria przemysłowości określają granice złoża w profilu pionowym i planie poziomym. Kolejno ustala się kryteria brzeżne, kryteria dla pól eksploatacyjnych i kryteria dla obszarów górniczych z funkcji równości przychodów z kosztami, zerowego zysku operacyjnego i zerowych przepływów pieniężnych netto ($NPV=0$). Kryteria przemysłowości służą do opracowania Projektu Zagospodarowania Złoża i stanowią załącznik do wniosków koncesyjnych o użytkowanie złóż. W okresie eksploatacji złoża kryteria przemysłowości mogą być korygowane w szczególności do zmiany cen i kosztów wydobycia kopaliny.

Słowa kluczowe: eksploatacja odkrywkowa, kryteria przemysłowości, ocena ekonomiczna

The industrial criteria are the geological and mining, technical and technological, quality as well as economic conditions which should perform the minerals and their deposits to mine their reserves remuneratively. Industrial criteria may be of the descriptive or parametric character. They get out of state-of-the-art in technique and technology or are described by interpreting variables in functions, usually economic, expressing the profitability of mining operations.

The selection of criteria type depends on extraction method (open pit or underground) and the kind of mineral what in turn determines if the deposit value is related with the usable elements content or with physical and mechanical parameters of mineral.

The industrial criteria define the boundaries of orebody in the vertical and horizontal direction. The boundary criteria, criteria for mining fields and mining areas are determined successively from the function of equality of income with costs, zero operating profit and zero net cash flow ($NPV=0$). The industrial criteria are used to prepare the Deposit Development Plan and are the part of application for mining concessions. During the deposit extraction the industrial criteria may be verified especially when the prices or mining costs change.

Key words: opencast mining, industrial criteria, economic evaluation

Wprowadzenie

Artykuł dotyczy przemysłowości takich kopaliny, których wartość nie jest zdeterminowana zawartymi w nich składnikami użytecznymi jak np. w rudach, ale zależy od ich właściwości fizyko-mechanicznych i chemicznych. Do takich kopaliny można zaliczyć np. węgiel, gips, anhydryt, surowce skalne i inne.

Kryteria przemysłowości są to warunki geologiczno-górnictwa, techniczno-technologiczne, jakościowe oraz ekonomiczne, jakim powinna odpowiadać kopalina oraz jej złoża, aby zasoby tego złoża nadawały się do opłacalnej eksploatacji. Kry-

teria przemysłowości mają charakter opisowy wyznaczające granice złoża w planie poziomym, wynikające z aktualnego stanu wiedzy i techniki górnictwa albo parametryczny opisane zmiennymi objaśniającymi funkcje ekonomiczne. Do typowych kryteriów przemysłowości należy stosunek grubości nadkładu do miąższości złoża. Kryteria oblicza się dla pojedynczych wyrobisk badawczych, pól eksploatacyjnych i obszarów górniczych. Kryteria dla pojedynczych wyrobisk badawczych, np. z otworów wiertniczych, wyznacza się z warunku wyrównania przychodów z kosztami zmiennymi eksploatacji. Kryteria średnie dla pól eksploatacyjnych oblicza się z warunku ze-

rowego zysku operacyjnego. Kryteria średnie dla obszarów górniczych obliczamy przy zerowych bieżących przepływach pieniężnych (NPV=0). Kryteria operacyjne korygujące kryteria przemysłowości w okresie eksploatacji koryguje się według zerowej ekonomicznej wartości dodanej (EWD=0). Kryteria operacyjne, zwane także eksploatacyjnymi, są zdeterminowane warunkami technologicznymi i ekonomicznymi eksploatacji, w szczególności zmianą cen i kosztów.

Przyjmowane warunki ekonomiczne przy obliczaniu kryteriów przemysłowości mają charakter arbitralny i zależą od stosunku inwestora do efektywności i ryzyka projektów górniczych, bądź surowcowych.

Maksymalny stosunek grubości nadkładu do miąższości złoże dla pojedynczych wyrobisk nadawczych

Warunek ekonomiczny przemysłowości dla pojedynczych wyrobisk badawczych opisujemy wzorem:

$$P - V = 0 \quad (1.1)$$

przy czym:

$$P = W(1 - 0,01s_p)p_k \quad (1.2)$$

$$V = W \cdot (1 - 0,01s_p) \cdot v_k + \frac{n \cdot v_n}{m \cdot \gamma} \quad (1.3)$$

gdzie:

W – roczne wydobywanie kopaliny, Mg/rok,
 s_p – straty przerobcze kopaliny, %,
 p_k – cena produktu finalnego, zł/Mg,
 v_k – koszt zmienny wydobywania i ewentualnej przeróbki kopaliny, zł/Mg,
 v_n – koszt zmienny zdejmowania nadkładu, zł/m³,
 n – grubość nadkładu w pojedynczym wyrobisku badawczym (np. w otworze wiertniczym) m,
 m – miąższość złoże w pojedynczym wyrobisku badawczym, m,
 γ – gęstość przestrzenna kopaliny, Mg/m³.

Podstawiając (1.2 i 1.3) do (1.1) otrzyma się:

$$W \cdot (1 - 0,01s_p) (p_k - v_k - \frac{n \cdot v_n}{m \cdot \gamma}) = 0 \quad (1.4)$$

skąd:

$$\frac{n \cdot v_n}{m \cdot \gamma} = p_k - v_k \quad (1.5)$$

skąd w przypadku granicznym:

$$\frac{n}{m} \leq \frac{\gamma(p_k - v_k)}{v_n} \quad (1.6)$$

Przykład hipotetyczny obliczeń:

Dane: $\gamma = 1,2 \text{ Mg/m}^3$; $p_k = 100 \text{ zł/Mg}$; $v_k = 50 \text{ zł/Mg}$;
 $v_n = 5 \text{ zł/Mg}$

Obliczenie:

$$\frac{n}{m} \leq \frac{1,2(100 - 50)}{5}$$

$$\frac{n}{m} \leq 12,0$$

Przy grubości nadkładu np. 50 m wymagana minimalna miąższość złoże (aby takie wyrobisko zaliczyć do przemysłowych) wyniesie:

$$m \geq \frac{50}{12}$$

$$m \geq 4,2 \text{ m}$$

Maksymalny stosunek średniej grubości nadkładu do średniej miąższości złoże w polu eksploatacyjnym

Warunek ekonomiczny do obliczenia kryteriów przemysłowości dla pól eksploatacyjnych możemy przyjąć w postaci zerowego zysku operacyjnego:

$$EBIT_p = 0 \quad (2.1)$$

gdzie:

$EBIT_p$ – zysk operacyjny z produktów uzyskanych z eksploatacji pola eksploatacyjnego zł/rok.

Zysk operacyjny jest zyskiem przed opodatkowaniem, nie uwzględnia kosztów finansowych ani strat i zysków nadzwyczajnych.

Zysk operacyjny opisujemy wzorem:

$$EBIT_p = P_p - F_p - V_p \quad (2.2)$$

przy czym:

$$P_p = W_p(1 - 0,01s_p)p_k \quad (2.3)$$

$$F_p = F_k \cdot \frac{W_p(1 - 0,01s_p)}{W_k(1 - 0,01s_p)} \quad (2.4)$$

$$V_p = W_p(1 - 0,01s_p)(v_p + \frac{n_p \cdot v_n}{m_p \cdot \gamma}) \quad (2.5)$$

gdzie:

P_p – przychody ze sprzedaży z produktów finalnych z pola eksploatacyjnego; zł/rok,
 F_p – koszt stały obciążający eksploatację pola, zł/rok,
 F_k – koszt stały zakładu górniczego, zł/rok,
 V_p – koszt zmienny obciążający eksploatację pola, zł/rok,
 W_p – wydobywanie kopaliny z pola eksploatacyjnego, Mg/rok,
 W_k – wydobywanie kopaliny z zakładu górniczego, Mg/rok,
 v_p – jednostkowy koszt zmienny wydobywania i przeróbki kopaliny z pola eksploatacyjnego, zł/Mg
 n_p – średnia grubość nadkładu w polu eksploatacyjnym, m,
 m_p – średnia miąższość złoże w polu eksploatacyjnym, m.

Podstawiając (2.3, 2.4, 2.5) do (2.2) oraz uwzględniając (2.1) otrzyma się:

$$W_p(1 - 0,01s_p)(p_k - v_p - \frac{n_p \cdot v_n}{m_p \cdot \gamma}) - F_k \cdot \frac{W_p}{W_k} = 0 \quad (2.6)$$

skąd:

$$p_k - v_p - \frac{n_p \cdot v_n}{m_p \cdot \gamma} = \frac{F_k}{W_k(1 - 0,01s_p)} \quad (2.7)$$

skąd:

$$\frac{n_p \cdot v_n}{m_p \cdot \gamma} = p_k - v_p - \frac{F_k}{W_k(1-0,01s_p)} \quad (2.8)$$

skąd w przypadku granicznym:

$$\frac{n_p}{m_p} \leq \frac{\gamma(p_k - v_p)}{v_n} - \frac{F_k}{W_k(1-0,01s_p) \gamma} \quad (2.9)$$

Przykład hipotetyczny obliczeń:

Dane: $\gamma = 1,2 \text{ Mg/m}^3$; $p_k = 100 \text{ zł/Mg}$; $v_p = 50 \text{ zł/Mg}$;
 $F_k = 100 \cdot 10^6 \text{ zł/rok}$; $v_n = 5 \text{ zł/m}^3$; $W_k = 4 \cdot 10^6 \text{ Mg/rok}$;
 $s_p = 2,0\%$

Obliczenie:

$$\frac{n_p}{m_p} \leq \frac{1,2(100 - 50)}{5} - \frac{100 \cdot 10^6 \cdot 1,2}{4 \cdot 10^6(1 - 0,01 \cdot 2) \cdot 5}$$

$$\frac{n_p}{m_p} \leq 5,88 \text{ m}$$

Przy grubości nadkładu $n_p = 60 \text{ m}$ wymagana minimalna średnia miąższość złoża w polu eksploatacyjnym, aby jego zasoby zostały zaliczone do przemysłowych, wyniesie:

$$m \geq \frac{60}{5,88}$$

$$m \geq 10,2 \text{ m}$$

Maksymalny stosunek średniej grubości nadkładu do średniej miąższości złoża w obszarze górnym

Warunek ekonomiczny do obliczenia kryteriów przemysłowości możemy przedstawić w postaci zerowego wyniku przepływów pieniężnych netto uzyskanych z eksploatacji zasobów obszaru górnego. Przyjmując uproszczenie, że wydobycie kopaliny jest równomiernie rozłożone w okresie T, a całkowite inwestycje ponosimy w zerowym roku, warunek ekonomiczny możemy opisać wzorem:

$$NPV_k = NCF_k \frac{(1+WACC)^T - 1}{WACC \cdot (1+WACC)^T} - IC_o = 0 \quad (3.1)$$

przy czym:

$$NCF_k = EBIT_k \cdot (1-CT) + DEP_k \quad (3.2)$$

$$EBIT_k = P_k - F_k - V_k \quad (3.3)$$

$$DEP_k = IC_o \frac{WACC(1+WACC)^T}{(1+WACC)^T - 1} \quad (3.4)$$

gdzie:

NPV_k – wartość zaktualizowana netto z eksploatacji obszaru górnego, zł,

NCF_k – saldo przepływów pieniężnych netto, zł/rok,

$WACC$ – średnioważony koszt kapitału,

T – okres eksploatacji obszaru górnego, lata,

IC_o – wydatki inwestycyjne na zagospodarowanie obszaru

górnego, zł,

$EBIT_k$ – zysk operacyjny z eksploatacji obszaru górnego, zł/rok,

CT – stopa podatkowa,

DEP_k – roczna kwota amortyzacji, zł/rok,

P_k – przychody z eksploatacji obszaru górnego, zł/rok,

F_k – koszt stały zakładu górnego, zł/rok,

V_k – koszt zmienny wydobycia kopaliny z obszaru górnego, zł/rok.

Podstawiając (3.2÷3.4) do (3.1) otrzyma się:

$$\left[(P_k - F_k - V_k)(1-CT) + IC_o \frac{WACC(1+WACC)^T}{(1+WACC)^T - 1} \right] \frac{(1+WACC)^T - 1}{WACC(1+WACC)^T} = IC_o \quad (3.5)$$

skąd:

$$P_k = F_k + V_k \quad (3.6)$$

przy czym:

$$P_k = W_k(1-0,01s_p)p_k \quad (3.7)$$

$$V_k = W_k(1-0,01s_p)v_n + W_k \frac{N_k}{M_k} \cdot \frac{v_n}{\gamma} \quad (3.8)$$

gdzie:

v_k – jednostkowy, średni koszt zmienny wydobycia i przeróbki kopaliny dla obszaru górnego, zł/Mg,

N_k – średnia grubość nadkładu dla obszaru górnego, m,

M_k – średnia grubość złoża dla obszaru górnego, m.

Podstawiając (3.7 i 3.8) do (3.6) otrzyma się:

$$W_k(1-0,01s_p)(p_k - v_k - \frac{N_k}{M_k} \cdot \frac{v_n}{\gamma}) - F_k = 0 \quad (3.9)$$

skąd:

$$p_k - v_k - \frac{N_k}{M_k} \cdot \frac{v_n}{\gamma} = \frac{F_k}{W_k(1-0,01s_p)} \quad (3.10)$$

skąd:

$$\frac{N_k}{M_k} \cdot \frac{v_n}{\gamma} = p_k - v_k - \frac{F_k}{W_k(1-0,01s_p)} \quad (3.11)$$

skąd dla przypadku granicznego:

$$\frac{N_k}{M_k} \leq \frac{\gamma(p_k - v_k)}{v_n} - \frac{F_k \cdot \gamma}{W_k(1-0,01s_p) \gamma} \quad (3.12)$$

Przykład hipotetyczny obliczeń:

Dane: $\gamma = 1,2 \text{ Mg/m}^3$; $p_k = 100 \text{ zł/Mg}$; $v_k = 40 \text{ zł/Mg}$; $v_n = 3,0 \text{ zł/m}^3$;
 $F_k = 90 \cdot 10^6 \text{ zł/rok}$; $W_k = 3 \cdot 10^6 \text{ Mg/rok}$; $s_p = 2,0\%$

Obliczenie:

$$\frac{N_k}{M_k} \leq \frac{1,2(100 - 40)}{3} - \frac{90 \cdot 10^6 \cdot 1,2}{3 \cdot 10^6(1 - 0,01 \cdot 2) \cdot 3}$$

$$\frac{N_k}{M_k} \leq 11,76 \text{ m}$$

Przy grubości nadkładu np. 80 m wymagana minimalna miąższość złoża wyniesie:

$$M_k \geq \frac{80}{11,76}$$

$$M_k \geq 6,8 \text{ m}$$

Kryteria operacyjne w okresie eksploatacji złoża

Kryteria operacyjne (eksploatacyjne) dla pojedynczych wyrobisk badawczych obliczamy odpowiednio ze wzorów 1.5 i 2.9 z uwzględnieniem zmian cen i kosztów. Kryteria dla obszaru górniczego obliczamy przy założeniu, że ekonomiczna wartość dodana jest równa zeru:

$$EWD_k = NOPAT_k - WACC \cdot IC_{t-1} = 0 \quad (4.1)$$

$$NOPAT_k = EBIT_k(1 - CT) \quad (4.2)$$

$$WACC = \frac{D}{D+E} \cdot k_d(1-CT) + \frac{E}{D+E} \cdot k_e \quad (4.3)$$

gdzie:

EWD_k – ekonomiczna wartość dodana, zł/rok,
 $NOPAT_k$ – zysk operacyjny po opodatkowaniu, zł/rok,
 $EBIT_k$ – zysk operacyjny, zł/rok,
 CT – stopa podatkowa,
 $WACC$ – średnioważony koszt kapitału,
 k_d – koszt finansowania kapitałem obcym,
 D – wartość sald średniorocznych zobowiązań odsetkowych obliczanych jako suma średnich arytmetycznych wartości:
 - kredytów i pożyczek,
 - zobowiązań z tytułu umów leasingu finansowego na końcu oraz na początek danego okresu, zł,
 E – rynkowa wartość kapitałów własnych, zł,
 k_e – koszt finansowania kapitałem własnym,
 IC_{t-1} – wartość kapitału zaangażowania w eksploatację obszaru górniczego w roku t-1 (aktywa zakładu górniczego), zł.

Wartość kapitału IC_{t-1} kalkulujemy według wzoru (Włoch D., Wanielista K., 2007)

$$IC_{t-1} = A_L + A_{obr} - Z_n + W_n + R_b + G_w \quad (4.4)$$

gdzie:

A_L – wartość bilansowa aktywów trwałych na końcu okresu, zł,
 A_{obr} – wartość bilansowa aktywów obrotowych na końcu okresu, zł,
 Z_n – wartość zobowiązań krótko i długoterminowych jako suma wartości zobowiązań:
 - z tytułu dostaw i usług,
 - z tytułu zaliczek na poczet dostaw,
 - z tytułu podatków, ceł i ubezpieczeń,
 - z tytułu wynagrodzeń,
 - wartości funduszy specjalnych, zł,
 W_n – wartość bilansowa wartości niematerialnych i prawnych, zł,
 R_b – wartość bilansowa biernych rozliczeń międzyokresowych kosztów, zł,
 G_w – wartość gruntów użytkowych wieczysto wykazywane w ewidencji pozabilansowej, zł.

Podstawiając (4.2) do (4.1) otrzymamy się:

$$EBIT_k(1 - CT) - WACC \cdot IC_{t-1} = 0 \quad (4.5)$$

przy czym:

$$EBIT_k = P_k - F_k - V_k \quad (4.6)$$

skąd po podstawieniu (4.6) do (4.5) otrzymamy się:

$$(P_k - F_k - V_k)(1 - CT) - WACC \cdot IC_{t-1} = 0 \quad (4.7)$$

Oznaczenia jak we wzorach (4.1 ÷ 4.3) a zmienne P_k ; F_k ; V_k są opisane wzorami (3.7 i 3.8).

Podstawiając (3.7 i 3.8) do (4.7) otrzyma się:

$$[W_k(1 - 0,01s_p)(p_k - v_k - \frac{N_k}{M_k} \cdot \frac{v_n}{\gamma}) - F_k](1 - CT) - WACC \cdot IC_{t-1} = 0 \quad (4.8)$$

skąd:

$$W_k(1 - 0,01s_p)(p_k - v_k - \frac{N_k}{M_k} \cdot \frac{v_n}{\gamma}) = \frac{WACC \cdot IC_{t-1}}{1 - CT} + F_k \quad (4.9)$$

$$p_k - v_k - \frac{N_k}{M_k} \cdot \frac{v_n}{\gamma} = \frac{WACC \cdot IC_{t-1}}{W_k(1 - 0,01s_p)(1 - CT)} + \frac{F_k}{W_k(1 - 0,01s_p)} \quad (4.10)$$

skąd po przekształceniach w przypadku granicznym otrzyma się:

$$\frac{N_k}{M_k} \leq \frac{(p_k - v_k)\gamma}{v_n} - \frac{WACC \cdot IC_{t-1} \cdot \gamma}{W_k(1 - 0,01s_p)(1 - CT)v_n} - \frac{F_k \cdot \gamma}{W_k(1 - 0,01s_p)v_n} \quad (4.11)$$

Wzór (4.11) możemy także przedstawić w postaci:

$$\frac{KUB}{WYD} \leq \frac{p_k - v_k}{v_n} - \frac{WACC \cdot IC_{t-1}}{W_k(1 - 0,01s_p)v_n(1 - CT)} - \frac{F_k}{W_k(1 - 0,01s_p)v_n} \quad (4.12)$$

Przykład hipotetyczny obliczeń:

Dane: $\gamma = 1,2 \text{ Mg/m}^3$; $p_k = 100 \text{ zł/Mg}$; $v_k = 40 \text{ zł/Mg}$; $v_n = 5 \text{ zł/m}^3$;
 $WACC = 0,1$; $IC_{t-1} = 600 \cdot 10^6 \text{ zł}$; $s_p = 2,0\%$;
 $F_k = 60 \cdot 10^6 \text{ zł}$; $W_k = 4 \cdot 10^6 \text{ Mg/rok}$

Obliczenia:

$$\frac{N_k}{M_k} = \frac{(100 - 40) \cdot 1,2}{5} - \frac{0,1 \cdot 600 \cdot 10^6 \cdot 1,2}{4 \cdot 10^6 (1 - 0,01 \cdot 2) (1 - 0,2) \cdot 5} - \frac{60 \cdot 10^6 \cdot 1,2}{4 \cdot 10^6 (1 - 0,01 \cdot 2) \cdot 5}$$

$$\frac{N_k}{M_k} = 6,14$$

Przy grubości nadkładu np. 80 m wymagana, minimalna miąższość złoża wyniesie:

$$M_k \geq \frac{80}{6,14}$$

$$M_k \geq 13 \text{ m}$$

Złże opłaca się eksploatować, jeżeli miąższość złoża wynosi powyżej 13 m.

Zakończenie

Kryteriami przemysłowości określa się warunki, jakimi powinna odpowiadać kopalina oraz jej złożo, aby zasoby tego złoża mogły być opłacalnie eksploatowane. Dla kopalni, których wartość odpowiada wartości produktom finalnym podanym uprzednio przeróbce typowym kryterium jest stosunek grubości nadkładu do miąższości złoża.

Kryteria wyznacza się kolejno dla pojedynczych wyrobisk badawczych, dla pól eksploatacyjnych i dla obszarów górniczych łącząc w taki sposób efektywność eksploatacji z wykorzystaniem złoża. Kryteria wyznacza się z ekonomicznych funkcji opisujących między innymi przez zmienne określające kryteria przemysłowości. Warunki ekonomiczne są opisane kolejno przez zrównanie przychodów z kosztami zmiennymi, zerowy zysk operacyjny i zerowe saldo przepływów pieniężnych netto. W fazie operacyjnej kryterium przemysłowości jest

opisane przez ekonomiczną wartość dodaną.

Kryteria przemysłowości są ustalone na etapie sporządzania Projektu Zagospodarowania Złoża i stanowią one załącznik do wniosku koncesyjnego.

Literatura

- [1] Nieć M., *Kryteria geologiczne złoża- kryteria bilansowości*, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków 2010
- [2] Szamałek K., *Podstawy geologii gospodarczej i gospodarki surowcami mineralnymi* PWN, Warszawa 2007
- [3] Wanielista K., *Nowa strategia kreowania rynkowej wartości przedsiębiorstw górniczych*, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków 2007
- [4] Wanielista K., *Ekonomika w górnictwie. Cz. I*, Wyd. Politechnika Wrocławska, Wrocław 1986



fol. Renata S-K

Z cyklu: bogactwo struktury geologicznej skał