

METODYKA WYZNACZANIA GÓRNICZO-TECHNICZNYCH KRYTERIÓW BILANSOWOŚCI ZŁOŻ KOPALIN STAŁYCH

UKD 622.013.3.003.1:553.042.003.1:622.272/.275

Klasyczna metoda górnicza suchej eksploatacji złoża kopaliny stałej polega na wydobywaniu ze złoża surowca mineralnego za pomocą wyrobisk górniczych szeroko-przekrojowych, dostępnych dla człowieka. Ze względu na to, że są dwa typy wyrobisk górniczych, z których jeden nosi nazwę wyrobiska otwartego, inaczej zwanego naziemnym lub odkrywkowym, a drugi typ wyrobiska podziemnego można wyróżnić w metodzie górnicznej dwa sposoby eksploatacji, a mianowicie: naziemny, odkrywkowy oraz eksploatacji podziemnej. Rozważania w niniejszym artykule dotyczyć będą eksploatacji podziemnej oraz kopaliny jednorodnej, za którą przyjmuje się surowiec mineralny, stanowiący jednolitą w całości swęj masę mineralną przydatną w 100% do wykorzystania gospodarczego. Za opłacalną eksploatację górniczną przyjmuje się tę, która spełnia następujący warunek opłacalności:

Koszt własny eksploatacji (K) obejmujący koszty wydobycia, przeróbki i zbytu nie jest większy od utargu (U) uzyskanego za sprzedany produkt handlowy kopaliny, co można wyrazić nierównością:

$$K \leq U \quad [1]$$

K – koszt własny kopaliny w zł,
 U – utarg za produkty handlowe kopaliny w zł.

A. GÓRNICZA EKSPLOATACJA PODZIEMNA

Jeśli do rozważań przyjmuje się złożo zawarte na 1 m^2 powierzchni terenu złożonościowego oraz w postaci pokładu poziomo zalegającego, wówczas za symbol K i U można przedstawić wielkości następujące:

$$K = (h - z) K_s + z \cdot K_z$$

$$U = z \cdot \delta_1 \cdot \varphi \cdot W_1$$

gdzie:

- z = grubość (miąższość) pokładu kopaliny użytecznej w m,
- h = wysokość wyrobiska eksploatacyjnego w m,
- K_s = koszt 1 m^3 skały płonnej obejmujący koszty urobienia, transportu i ulokowania tej skały na dole lub na powierzchni na zwale – w zł/ m^3 ,
- K_z = koszt 1 m^3 kopaliny użytecznej (złożowej) obejmujący koszty wydobycia, transportu, przeróbki i zbytu w zł/ m^3 ,

δ_1 = ciężar objętościowy 1 m^3 kopaliny użytecznej w T/m^3 ,

K_1 = koszt własny obejmujący koszt wydobycia, przeróbki i zbytu 1 t produktu handlowego kopaliny użytecznej w zł/t,

W_1 = cena zbytu (wg obowiązującego cennika) 1 t kopaliny w zł/t, przy czym zakłada się $W_1 > 0$,

φ = współczynnik wykorzystania złoża spełniający warunek $0 < \varphi \leq 1$,

φ_{\min} = minimalny współczynnik wykorzystania złoża
$$\varphi_{\min} = \frac{K_1}{W_1},$$

a = współczynnik zawartości składnika użytecznego w kopalinie, mający wpływ na cenę jej zbytu.

$$0 < a \leq 1$$

Jako założenie wstępne do rozważań przyjmuje się, że pokład jest tak cienki, iż dla jego wyeksploatowania prowadzi się przybierkę skał płonnych dla uzyskania niezbędnej do pracy wysokości furty h , czyli:

$$h > z \quad [2]$$

Podstawiając do nierówności [1] wartości za K i U otrzymujemy następującą zależność grubości pokładu z :

$$(h - z) K_s + z \cdot K_z \leq z \cdot \delta_1 \cdot \varphi \cdot W_1$$

Po wykonaniu działań i uporządkowaniu otrzymujemy następującą zależność grubości pokładu z :

$$z \geq \frac{h \cdot K_s}{\delta_1 \cdot \varphi \cdot W_1 + K_s - K_z} \quad [3]$$

a gdy $z = z_{\min}$, to

$$z_{\min} = \frac{h \cdot K_s}{\delta_1 \cdot \varphi \cdot W_1 + K_s - K_z} \quad [4]$$

Wzór [4] jest wzorem w postaci najogólniejszej, według którego można wyznaczyć minimalną grubość pokładu opłacalną do eksploatacji podziemnej, o ile podane są konkretne wartości parametrów. Należy wyjaśnić, że wysokość wyrobiska eksploatacyjnego h , czyli tzw. furty może być albo określona „Przepisami

Technicznej Eksploatacji Surowców Mineralnych", które np. podają, że wysokość ubierki nie może być mniejsza od $h = 0,8 \text{ m}$ — albo też określona jest warunkami pracy, bądź stosowaniem odpowiednich systemów wybierania, np. dla systemów komorowych w odmianie schodowo-stropowej z magazynowaniem czasowym urobku przy wysokości niezbędnej dla górników $h = 2,0 \text{ m}$. W każdym przypadku symbol h oznacza minimalną i niezbędną wysokość wyrobiska eksploatacyjnego.

W przypadku, gdy koszty K_s i K_z są sobie równe lub można przyjąć ze względu na niewielką różnicę za równe, wzór ogólny [4] przyjmuje postać prostszą [5], ponieważ $K_s = K_z$, to

$$z_{\min} = \frac{h \cdot K_z}{\delta_1 \cdot \varphi \cdot W_1} \quad [5]$$

Jeśli w dalszym ciągu podstawiamy za $\frac{K_s}{\delta^2} = K_1$ otrzymujemy

$$z_{\min} = \frac{h \cdot K_1}{\varphi \cdot W_1} \quad [6]$$

Uproszczone wzory można stosować do wyznaczania minimalnej grubości pokładu opłacalnej do eksploatacji podziemnej, jeśli przeróbka mechaniczna kopaliny na produkt handlowy nie jest zbyt kosztowna i łączne koszty przeróbki oraz zbytu są w przybliżeniu równe różnicy $(K_s - K_z)$, wobec czego zachodzi przypadek równości, czyli $K_s = K_z$. W tym przypadku można stosować wzory uproszczone.

Współczynnik wykorzystania złoza φ , jak poprzednio zaznaczono, spełnia i powinien spełniać warunek $0 < \varphi \leq 1,0$. Przy $\varphi = 1$ całą ilość kopaliny zawartą w rozważanym złożu, z którym związany jest koszt własny, otrzymuje się po przeróbce bez żadnych strat eksploatacyjnych i przeróbczych. Jest to przypadek, gdy występuje minimalna grubość pokładu, a jednocześnie opłacalna dla eksploatacji podziemnej bez strat górniczych i przeróbczych, którą oznacza się symbolem z_{\min} . Ze wzoru [6] można otrzymać przy $\varphi = 1$ wzór na obliczenie z_{\min} :

$$z_{\min} = \frac{h \cdot K_1}{W_1} \quad [7]$$

Podane powyżej rozważania można ilustrować następującym przykładem. Dane liczbowe parametrów odpowiednich dla konkretnego złoza są np. następujące:

- $h = 0,8 \text{ m}$,
- $K_1 = 260 \text{ zł/t}$ — koszt własny 1 t kopaliny użytecznej,
- $W_1 = 280 \text{ zł/t}$ — cena zbytu krajowa, wg obowiązującego cennika.

Pytanie — jaka jest minimalna, a zarazem opłacalna grubość pokładu tej kopaliny przy pełnym wykorzystaniu złoza, bez uwzględniania strat substancji złożowej, czyli przy $\varphi = 1$

$$z_{\min} = \frac{h \cdot K_1}{W_1} = \frac{0,8 \cdot 260}{280} = 0,74 \text{ m}$$

Dla podanych parametrów minimalna grubość pokładu przy $\varphi = 1$ wynosi $z_{\min} = 0,74 \text{ m}$.

Rozważmy następnie zagadnienie opłacalności eksploatacji podziemnej przy założeniu, że wysokość wyrobiska eksploatacyjnego w całości mieści się w pokładzie i jest wystarczająca do prowadzenia wybierania kopaliny ze złoza.

$$h = z \quad [9]$$

W przypadku równości zachodzącej między wielkościami h i z nie prowadzi się przytierki, a koszt własny dotyczy tylko kosztów związanych z wydobywaniem, przeróbką i zbytem kopaliny użytecznej-jednorodnej.

W podstawowym wzorze [1] za symbole K i U można podstawić:

$$K = z \cdot K_z$$

$$U = z \cdot \delta_1 \cdot \varphi \cdot W_1$$

$$z \cdot K_s \leq z \cdot \delta_1 \cdot \varphi \cdot W_1$$

$$K_s \leq \delta_1 \cdot \varphi \cdot W_1$$

$$\frac{K_s}{\delta_1} \leq \varphi \cdot W_1$$

a ponieważ

$$\frac{K_s}{\delta_1} = K_1$$

$$K_1 \leq \varphi \cdot W_1 \quad \text{stad}$$

$$\varphi \geq \frac{K_1}{W_1}$$

$$\varphi_{\min} = \frac{K_1}{W_1} \quad [10]$$

Minimalny współczynnik wykorzystania złoza, a zarazem i graniczny dla opłacalnej eksploatacji podziemnej pokładu wybieranego na całą jego grubość jest równy:

$$\varphi_{\min} = \frac{K_1}{W_1} = \frac{260}{280} = 0,93$$

Wzór na minimalną grubość pokładu przy wykorzystaniu złoza $\varphi = 1$ według wzoru [7] można napisać:

$$z_{\min} = h \cdot \varphi_{\min} \quad [11]$$

Przy wartości $\varphi_{\min} = 0,93$ w danym przykładzie spełnione są warunki opłacalności i założeń przyjętych do ustalenia wzorów, co sprawdzić można podstawiając do wzoru na minimalną grubość pokładu:

$$z_{\min} = \frac{h \cdot K_1}{\varphi \cdot W_1} = \frac{0,8 \cdot 260}{0,93 \cdot 280} = 0,8 \text{ m}$$

a więc $z_{\min} = h$

Można również uwzględnić z_{\min} i wówczas

$$z_{\min} = \frac{z_{\min}}{\varphi_{\min}} = \frac{0,74}{0,93} = 0,8 \text{ m}$$

Jeśli straty eksploatacyjne i przeróbcze są wyższe, a w związku z tym maleje współczynnik wykorzystania $\varphi < \varphi_{\min}$, wówczas dla spełnienia warunków założeniowych i opłacalności konieczna jest zmiana, a ściślej obniżenie kosztu własnego K_1 .

W omawianym przykładzie $\varphi_{\min} = 0,93$. Jeśli więc straty przyjmie się większe, przy których współczyn-

nik wykorzystania złoża będzie mniejszy i równy, np. $\varphi_2 = 0,82$ wówczas:

$$z_{0min} = 0,8 \cdot 0,82 = 0,656$$

$$K_z = 0,656 \cdot 280 = 183,69 \text{ zł/t}$$

Oplacalność więc złoża przy współczynniku wykorzystania równym $\varphi_2 = 0,82$, a mniejszym od $\varphi_{min} = 0,93$ wymaga obniżenia kosztu własnego do wysokości $K_1 = 183,60 \text{ zł/t}$, przy zachowaniu ceny zbytu równej $W_1 = 280 \text{ zł/t}$.

Warunek założeniowy $h = z$ będzie wówczas również spełniony, co sprawdzić można podstawiając do wzoru:

$$z_{min} = \frac{z_{0min}}{\varphi_2} = \frac{0,656}{0,82} = 0,8 \text{ m}$$

a więc warunek $z = h$ jest zachowany.

Rozważania prowadzone dotychczas dotyczą kopaliny jednorodnej, stanowiącej w całej masie 100% składnika użytecznego.

Jeżeli weźmiemy pod uwagę kopalinę użyteczną, niejednorodną, w której składnik użyteczny stanowi tylko pewną jej część, a cena zbytu kopaliny zależy od tej zawartości (α), to wzory dotychczas wyprowadzone dla górniczej eksploatacji podziemnej mogą mieć zastosowanie, jeśli uwzględnimy w nich współczynnik zawartości składnika użytecznego (α) wpływający na cenę zbytu kopaliny ($\alpha \cdot W_1$). Do wzorów wprowadzamy wówczas iloczyn ($\alpha \cdot W_1$) i otrzymamy następujące wzory dla kopaliny niejednorodnych:

$$z_{min} = \frac{h \cdot K_z}{\delta_1 \cdot \varphi \cdot \alpha \cdot W_1 + K - K_z} \quad [12]$$

$$z_{min} = \frac{h \cdot K_z}{\delta_1 \cdot \varphi \cdot \alpha \cdot W_1} \quad [13]$$

$$z_{min} = \frac{h \cdot K_1}{\varphi \cdot \alpha \cdot W_1} \quad [14]$$

$$z_{0min} = \frac{h \cdot K_1}{\alpha \cdot W_1} \quad [15]$$

$$\varphi_{min} = \frac{K_1}{\alpha \cdot W_1} \quad [16]$$

Przy kopalinach stałych niejednorodnych ważnym kryterium dla oceny opłacalności eksploatacji górniczej złoża sposobem podziemnym jest minimalna zawartość składnika użytecznego, przy której warunek opłacalności jest spełniony. Ze wzoru [12] można wyprowadzić wzór [17] i [18] dla minimalnej wielkości współczynnika (α) następujący:

$$\alpha \geq \frac{hK_z + z(K_z - K_s)}{z \cdot \delta_1 \cdot \varphi \cdot W_1} \quad [17]$$

gdy $\alpha = \alpha_{min}$

$$\alpha_{min} = \frac{h \cdot K_z + z(K_z - K_s)}{z \cdot \delta_1 \cdot \varphi \cdot W_1} \quad [18]$$

$$\text{przy } K_s = K_z \text{ i } \frac{K_z}{\delta_1} = K_1$$

$$\alpha_{min} = \frac{h \cdot K_z}{z \cdot \delta_1 \cdot \varphi \cdot W_1} = \frac{h \cdot K_1}{z \cdot \varphi \cdot W_1} \quad [19]$$

Przy $h = z$ i $\varphi = 1$

$$\alpha_{0min} = \frac{K_1}{W_1}$$

Przykład: dane są następujące wielkości parametrów:

$$K_1 = 300 \text{ zł/t}$$

$$W_1 = 1500 \text{ zł/t}$$

$$\varphi = 1$$

Szukane $\alpha_{0min} = ?$

$$\alpha_{0min} = \frac{K_1}{\varphi \cdot W_1} = \frac{300}{1500} = 0,2$$

Minimalna zawartość składnika użytecznego w rudzie opłacalnej do eksploatacji wynosi:

$$\alpha_{0min} = 0,2$$

Minimalna grubość pokładu o zawartości składnika $\alpha = 0,2$ składnika użytecznego

$$z_{0min} = \frac{h \cdot K_1}{\alpha \cdot W_1} = \frac{0,8 \cdot 300}{0,2 \cdot 1500} = 0,8 \text{ m}$$

B. GÓRNICZA EKSPLOATACJA ODKRYWKOWA

Dla górniczej eksploatacji odkrywkowej złoża kopaliny stałej można wyznaczyć minimalną grubość pokładu w oparciu o podstawowe założenie opłacalności $K \leq U$. Uwzględnić jednak należy dodatkowe parametry złoża oznaczone symbolami, jak np.:

n = grubość nadkładu skał płonnych nad złożem w m,

K_0 = koszt zdjęcia 1 m³ nadkładu w zł/m³,

α = współczynnik charakteryzujący zawartość składnika użytecznego $0 < \alpha \leq 1$, dla kopaliny jednorodnych $\varphi = 1$.

Koszt związany z eksploatacją złoża zawartego na 1 m² terenu złożoności oraz utarg można wyrazić w postaci następującej:

$$K = n \cdot K_0 + z \cdot K_z$$

$$U = z \cdot \delta_1 \cdot \varphi \cdot \alpha \cdot W_1$$

$$n \cdot K_0 + z \cdot K_z \leq z \cdot \delta_1 \cdot \varphi \cdot \alpha \cdot W_1$$

$$z \geq \frac{n \cdot K_0}{\delta_1 \cdot \varphi \cdot \alpha \cdot W_1 - K_z}$$

gdy $z = z_{min}$

$$z_{min} = \frac{n \cdot K_0}{\delta_1 \cdot \varphi \cdot \alpha \cdot W_1 - K_z} \quad [20]$$

Minimalna grubość pokładu opłacalna do eksploatacji odkrywkowej przy pełnym wykorzystaniu złoża, czyli przy $\varphi = 1$ wynosi:

a) dla kopaliny niejednorodnych:

$$z_{0min} = \frac{n \cdot K_0}{\delta_1 \cdot \alpha \cdot W_1 - K_z} \quad [21]$$

b) dla kopaliny jednorodnych przy których $\alpha = 1$

$$z'_{0min} = \frac{n \cdot K_0}{\delta_1 \cdot W_1 - K_z} \quad [22]$$

Dla wyznaczenia maksymalnej grubości nadkładu, przy której opłacalna jest jeszcze eksploatacja złoża sposobem odkrywkowym może służyć wzór [23] wprowadzony ze wzoru ogólnego i następujący:

$$n \leq \frac{z(\delta_1 \cdot \varphi \cdot \alpha \cdot W_1 - K_z)}{K_0}$$

$$n_{\max} = \frac{z(\delta_1 \cdot \varphi \cdot \alpha \cdot W_1 - K_z)}{K_0} \quad [23]$$

Maksymalna wartość ma grubość nadkładu przy $\varphi = 1$:

a) dla kopalin niejednorodnych:

$$n'_{\max} = \frac{z'_{0\min}(\delta_1 \cdot \alpha \cdot W_1 - K_z)}{K_0} \quad [24]$$

b) dla kopalin jednorodnych $\alpha = 1$.

$$n'_{\max} = \frac{z'_{0\min}(\delta_1 \cdot W_1 - K_z)}{K_0} \quad [25]$$

Przykład: dane są wielkości następujące:

grubość nadkładu $n = 6 \text{ m}$
koszt zdjęcia nadkładu $K_0 = 35 \text{ zł/m}^3$

ciężar obj. kopaliny $\delta_1 = 2,0 \text{ T/m}^3$
koszt własny 1 m^3 kopal. $K_z = 32 \text{ zł/m}^3$
cena zbytu $W_1 = 200 \text{ zł/t}$

Szukana minimalna grubość pokładu opłacalna przy $\varphi = 1$

$$z'_{0\min} = \frac{n \cdot K_0}{\delta_1 \cdot W_1 - K_z} = \frac{6 \cdot 35}{2 \cdot 200} = 0,57 \text{ m}$$

Przy wykorzystaniu złoża bez strat minimalna grubość pokładu wynosi $z'_{0\min} = 0,57 \text{ m}$.

Jeśli przyjmie się $\varphi = 0,8$, to minimalna grubość pokładu wyniesie:

$$z_{\min} = \frac{z'_{0\min}}{\varphi} = \frac{0,57}{0,8} = 0,71 \text{ m}$$

Przeprowadzone rozważania dotyczące metodyki wyznaczania minimalnej grubości pokładów opłacalnej do eksploatacji górniczej wskazują, że przy pomocy wprowadzonych wzorów jest możliwe ustalenie kryteriów górniczo-technicznych bilansowości zasobów złóż kopalin stałych. Kryteria zaś bilansowości oznaczają — jak podaje art. 25 ustawy z dnia 16 listopada 1960 r. o prawie geologicznym — warunki, jakim powinna odpowiadać kopalina, aby zasoby tego złoża mogły być uznane za nadające się do gospodarczo uzasadnionej eksploatacji.

SUMMARY

A classical mining method of dry exploitation of solid mineral raw material deposits consists in drawing out the mineral raw material by means of wide mine workings accessible for man. Considerations presented in this paper concern underground exploitation of homogeneous mineral raw material. Considerations that concern method of determining the minimum thickness of seams, payable in exploitation, show that it is possible, by means of the formulae introduced (presented in the text), to determine mining-technical criteria of balance for the resources of solid mineral raw material deposits, i. e. such deposits that may be reckoned as useful in economically substantiated exploitation.

РЕЗЮМЕ

Классический метод разработки месторождений твердых полезных ископаемых состоит в добыче минерального сырья из месторождения при помощи горных выработок крупного диаметра. В настоящей статье рассматривается подземная разработка однородного полезного ископаемого. Рассмотренная методика определения минимальной мощности пласта, пригодного для разработки, показывает, что при помощи приведенных в статье формул можно определить горно-технические критерии промышленных запасов полезных ископаемых, т. е. таких запасов, которые выгодно разрабатывать с хозяйственной точки зрения.