

Daniel SARAMAK, Barbara TORA
Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

EFEKTYWNOŚĆ EKONOMICZNA WZBOGACANIA RUD CYNKU I OŁOWIU

Streszczenie. Wielkość kosztów procesów wzbogacania jest istotnym zagadnieniem z punktu widzenia ekonomiki procesów przerobczych. Oprócz czynników zewnętrznych, analiza kosztów ułatwia podejmowanie decyzji strategicznych dotyczących poprawy efektywności pracy zakładu przerobczego. W referacie przedstawiona została analiza kosztów wzbogacania rud cynku i ołowiu oraz omówione zostały możliwości poprawy efektywności zakładu.

THE ECONOMIC EFFICIENCY OF ZINC AND LEAD ORES PROCESSING

Summary. Costs of enrichment processes are a significant issue in the economics of mineral processing. The cost analysis, apart from other exterior factors, make it easier to take some strategic decision concerning the improvement of work efficiency of mineral processing plant. In the article the cost analysis for zinc and lead ore enrichment was presented as well there were described possibilities of work efficiency improvement.

1. Układ wzbogacania cynku i ołowiu

Zakłady Górnicze „Trzebieńka” prowadzą podziemną działalność eksploatacyjną rudy cynku i ołowiu oraz produkują koncentraty tych metali, będące surowcami hutniczymi, używanymi do wytwarzania cynku i ołowiu [3]. Na powierzchni ruda przejmowana jest przez Dział Wzbogacania Rudy, gdzie po kolejnym procesie rozdrobnienia poddawana jest dwustopniowemu procesowi wzbogacania (grawitacyjne i flotacyjne). W jego wyniku otrzymuje się koncentraty selektywne: cynku (blendy flotacyjnej) i ołowiu (galena flotacyjna i galena osadowa) oraz koncentrat kolektywny zawierający zarówno cynk, jak i ołów. Głównymi odbiorcami koncentratów są krajowe huty w Szopienicach, Miasteczku Śląskim i

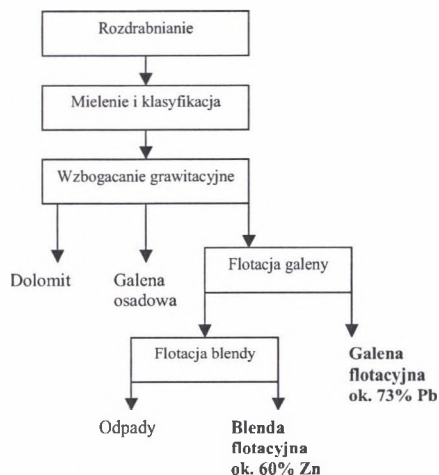
Bukownie. Po zaopatrzeniu krajowych odbiorców pozostała część produkcji kierowana jest na eksport, co stanowi w przypadku koncentratu cynku około 25% produkcji, natomiast w przypadku koncentratów ołowiu – 90-100% [2,7]. Blokowy schemat procesu wzbogacania przedstawiony został na rys. 1, a podstawowe wyniki produkcyjne osiągnięte w 2004 roku prezentuje tab. 1.

Tabela 1

Główne wskaźniki produkcyjne osiągnięte przez ZG „Trzebieńka” w 2004 roku

| | Cynk | Ołów |
|---|-------|-------|
| Przerób rudy [tys. Mg] | 2025 | |
| Produkcja koncentratów [tys. Mg] | 150 | |
| Zawartość metalu w rudzie (α) [%] | 3,53 | 1,54 |
| Zawartość metalu w koncentracie (β) [%] | 58-60 | 69-76 |
| Produkcja metalu [Mg] | 43740 | 23208 |

Produktem ubocznym powstającym w procesie produkcji koncentratów jest kamień dolomitowy oferowany jako produkt handlowy w dwóch asortymentach: tuczeń i kliniec. Roczna produkcja obu kruszyw wynosi ok. 800.000 ton, z czego 80% stanowi tuczeń, a 20% kliniec.



Rys. 1. Schemat blokowy procesu wzbogacania rudy cynku i ołowiu w ZG „Trzebieńka”
Fig. 1. Block scheme of zinc and lead enrichment process in ZG Trzebieńka

Ogólnie zysk zakładu można zapisać jako różnicę pomiędzy przychodami ze sprzedaży (P) a kosztami wzbogacania (K) [1,8]:

$$Z = P - K \quad (1)$$

Przychodem dla zakładu jest wartość koncentratu opisana za pomocą formuł sprzedażnych prezentowanych w rozdziale drugim, natomiast kosztem są koszty wzbogacania zapisane następująco:

$$K = K_{\text{jedn. Zn}} Q_{\text{Zn}} + K_{\text{jedn. Pb}} Q_{\text{Pb}} \quad (2)$$

gdzie:

Q_{Zn} – całkowita ilość cynku w koncentracie blendy;

Q_{Pb} – całkowita ilość ołowiu w koncentracie galeny;

$K_{\text{jedn. Zn}}$ – jednostkowy koszt produkcji tony cynku w koncentracie;

$K_{\text{jedn. Pb}}$ – jednostkowy koszt produkcji tony ołowiu w koncentracie.

2. Ocena przychodów ze sprzedaży koncentratów flotacyjnych

Wpływy finansowe zakładu pochodzą ze sprzedaży surowca mineralnego i zależą od jego ceny, wielkości sprzedaży, cech i wielkości sprzedaży surowców towarzyszących. Surowce towarzyszące mogą być pozyskiwane w trakcie eksploatacji lub przeróbki kopaliny głównej, np. dolomit z rud cynkowo-ołowiowych, lub na etapie przetwarzania surowca pierwotnego, np. srebro z koncentratów galenowych. Niekiedy pozyskiwanie surowców towarzyszących wymuszone jest względami technologicznymi lub środowiskowymi (np. pozyskiwanie rtęci, arsenu, siarki w hutach metali nieżelaznych). Podstawowe znaczenie w kształtowaniu cen na rynkach międzynarodowych mają notowania giełdowe jako rzeczywiste odzwierciedlenie relacji pomiędzy popytem a podażą. Cynk i ołów są notowane na Londyńskiej Giełdzie Metali (London Metal Exchange-LME).

Wartość koncentratów metali nieżelaznych określona jest formułą sprzedaży [9]:

$$\text{NSR} = a \cdot C - (K_t + Q_w + O_r) - k_d + P_d \quad (3)$$

gdzie:

NSR – formuła sprzedaży (Net Smelter Return);

a – płatna ilość metalu (możliwa do uzyskania w procesie metalurgicznym $a = \beta - \mu$ (μ -straty);

C – cena metalu;

K_t – jednostkowy koszt transportu koncentratu z kopalni do huty;

O_w – opłata za wytop 1 tony koncentratu (TC – Treatment Charge);

O_r – opłata za rafinację 1 tony metalu (RC – refining Charge);

K_d – kara za obecność w koncentracie domieszek szkodliwych powyżej ustalonego poziomu;

P_d – premia za domieszki powyżej ustalonego poziomu.

W zakładzie stosuje się uproszczoną formułę sprzedaży w postaci:

$$NSR = (0,85 C - C_{hut}) \quad (4)$$

gdzie:

C_{hut} – koszty przerobu hutniczego koncentratu,

C = cena metalu (Zn lub Pb) na giełdzie metali w Londynie (LME).

Gdy uwzględni się produkcję obu koncentratów, przychód ze sprzedaży wyniesie:

$$P = NSR_{Zn} Q_{Zn} + NSR_{Pb} Q_{Pb} = (0,85 C_{Zn} - C_{hut})Q_{Zn} + (0,85 C_{Pb} - C_{hut})Q_{Pb} \quad (5)$$

gdzie:

NSR_{Zn} – wartość koncentratu blendy;

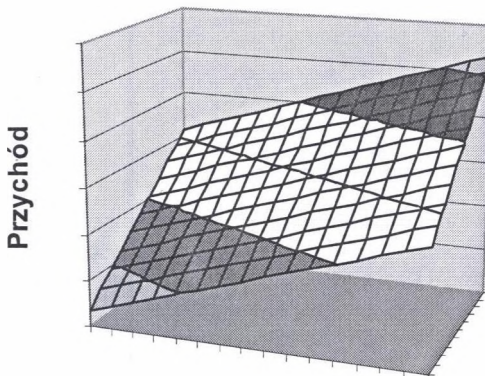
NSR_{Pb} – wartość koncentratu galeny;

Q_{Zn}, Q_{Pb} – jak we wzorze (2);

C_{hut} – jak we wzorze (4).

Wartości koncentratów oszacować można według cen surowców na giełdzie londyńskiej. Na podstawie średnich cen cynku i ołowiu na Londyńskiej Giełdzie Metali w kwietniu 2005 roku oraz średnich cen dolara z tego okresu. Dla cynku $C_{Zn}=4315$ zł/t, a dla ołowiu $C_{Pb}=3087$ zł/t. Przy uwzględnieniu wyników produkcji zakładu całkowity przychód teoretyczny wyniósłby zatem $P = \text{ok. } 220$ mln zł.

Generalnie przychód ze sprzedaży koncentratu można opisać jako funkcję pięciu zmiennych: $Q_{Zn}, Q_{Pb}, C_{Zn}, C_{Pb}, C_{USD}$. Przy założeniu że ceny giełdowe metali oraz cena dolara nie będą ulegały większym wahaniom, w krótkim okresie czasu przychód zapisać można jako funkcję dwóch zmiennych: $P = f(Q_{Zn}, Q_{Pb})$, której obrazem będzie płaszczyzna w przestrzeni trójwymiarowej (rys. 2).



Rys. 2. Przychód jako funkcja zależności ilości wyprodukowanego cynku i ołowiu w koncentratkach blendy i galeny [7]

Fig. 2. Income as function of produced zinc and lead amount in concentrates of zinc and lead [7]

3. Analiza kosztów wzbogacania

W ZG Trzebieonka koszty wzbogacania pogrupowane są w następujące kategorie:

- 1) koszty rudy (wsadu) – są to górnicze koszty wydobycia rudy;
- 2) koszty materiałów bezpośrednich – obejmują one m.in. koszt mielników w procesach mielenia, koszty odczynników flotacyjnych itp.;
- 3) koszty materiałów pomocniczych – części maszyn, taśmy do taśmociągów, łożyska, materiały trudno ścieralne, żarówki, także koszty usług obcych;
- 4) płace;
- 5) koszty amortyzacji;
- 6) koszt energii;
- 7) inne koszty – zlecenia dla obcych firm, ekspertyzy, podatki, pozostałe koszty.

W strukturze kosztów 74,35% kosztów ponoszonych na produkcję koncentratów blendy i galeny stanowią koszty wydobycia rudy. Zaliczane są do kosztów górniczych. Oceniając efektywność zakładu wzbogacania, należy przeanalizować tylko koszty ponoszone na właściwy proces wzbogacania. Struktura kosztów wzbogacania przedstawiona jest na rys. 2; w kosztach tych zdecydowanie dominują koszty zużytej energii, które stanowią ok. 30% całości kosztów, co w przypadku przeróbki metali nieżelaznych jest powszechną zależnością. Dla przykładu, w procesach wzbogacania rud miedzi koszty zużywanej energii stanowią średnio także nieco ponad 30% całych kosztów [5,6]. Największy udział mają koszty inne, a wynika to głównie z zaszeregowania do tej kategorii kilku różnych pozycji kosztowych (np. usług obcych czy wykonywanych podzleceń oraz ekspertyz). W kategorii inne koszty, stanowiącej około 35% kosztów przeróbki, mieszczą się m.in. podatki. Zakład płaci dwa rodzaje podatków:

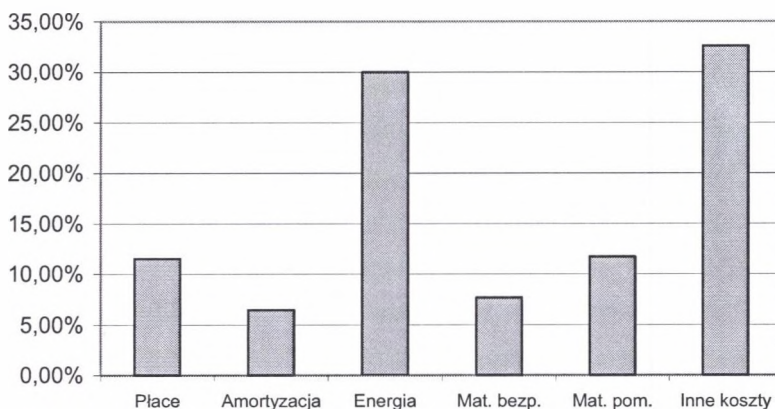
- dochodowy – obliczany na ogólnych zasadach obowiązujących przedsiębiorstwa,
- w formie opłaty eksploatacyjnej.

Wysokość opłaty eksploatacyjnej oblicza się jako iloczyn stawki dla danej kopaliny i ilości wydobytej kopaliny w okresie obliczeniowym. Stawka eksploatacyjna dla rud cynkowo-olowiowych wynosi od 0,84 do 4,21 zł/tonę. Ustalana jest corocznie w rozporządzeniu Rady Ministrów; opłata za rok 2004 wynosiła 0,94 zł/tonę. Opłata eksploatacyjna płatna jest kwartalnie – 60% odprowadza się do gminy, 40% do Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.

W przypadku inwestycji górniczych znacznym składnikiem kosztów produkcji są koszty środowiskowe. Obejmują one wydatki na ochronę środowiska i składowanie odpadów.

Koszty środowiskowe sięgają średnio 2-8% kosztów produkcji. Dla zakładów szczególnie uciążliwych dla środowiska osiągają 10-12%. Na ogół połowa, a niekiedy 80-90%, tych kosztów przypada na opłaty za korzystanie ze środowiska. Opłaty środowiskowe ponoszone są zgodnie z *Prawem ochrony środowiska* za wprowadzanie gazów i pyłów do powietrza, wprowadzanie ścieków do wód lub do ziemi, pobór wody, składowanie odpadów [4]. Odrębnym kosztem środowiskowym jest fundusz likwidacyjny zakładu górniczego. Środki funduszu stanowią od 3 do 10% odpisów amortyzacyjnych od środków trwałych.

Wysokie koszty są spowodowane charakterystyką mineralogiczną rudy – ruda składa się z dwu składników litologicznych (galeny i blendy), jest drobnopryśnięta, wymaga wzbogacania w procesie kilkustopniowej flotacji.



Rys. 3. Struktura kosztów przeróbki cynku i ołowiu dla ZG Trzebieńka
 Fig. 3. Structure of zinc and lead enrichment costs in ZG Trzebieńka

Koszt produkcji blendy stanowi 69% całości kosztów przerobczych, a koszt produkcji ołowiu 31%. W 2004 roku jednostkowe koszty wzbogacania (na tonę metalu) wynosiły średnio:

- $K_{jedn. Zn} = 1900$ zł dla cynku,
- $K_{jedn. Pb} = 1600$ zł dla galeny.

Uwzględniając wielkość produkcji, całkowity koszt wzbogacania z opłatami eksploatacyjnymi i opłatą środowiskową rzędu 10% wynosi ok. 235 mln zł.

4. Podsumowanie – ocena efektywności produkcji

W latach dziewięćdziesiątych XX wieku analizę kosztów wzbogacania rud cynkowo-ołowiowych wydobywanych w trzech kopalniach rejonu olkuskiego oraz w ZGH „Trzebionka” przeprowadził zespół pracowników Polskiej Akademii Nauk pod kierownictwem W. Blaschke [11]. W niniejszym artykule podjęto próbę optymalizacji kosztów dla danych pochodzących z 2004 roku.

Poprawa wyników ekonomicznych przedsiębiorstwa może nastąpić poprzez powiększenie przychodów z wyprodukowanych koncentratów (P) bądź obniżenie kosztów wzbogacania. Składnikiem, który ma największy udział w kosztach wzbogacania, jest koszt energii, zatem strategia postępowania powinna uwzględniać redukcję udziału tego składnika w kosztach wzbogacania. Zakład natomiast nie ma dużego wpływu na zwiększenie przychodów (cena metali jest dyktowana przez rynek), może jednak podnosić jakość wzbogaczanych koncentratów. Porównując stosunek osiągniętych przychodów do kosztów poniesionych na wyprodukowanie obu koncentratów zdefiniowany jako:

$$Ef_{produktu} = \frac{\text{przychód z produktu}}{\text{koszt wyprodukowania produktu}} \quad (6)$$

otrzymujemy następujące wyniki: dla cynku $Ef_{Zn}=2,27$, a dla ołowiu $Ef_{Pb}=1,93$, zatem bardziej zyskowna jest produkcja blendy cynkowej niż galeny. Innymi czynnikami wpływającymi bezpośrednio na efekty ekonomiczne zakładu, ale niezależnymi od niego, są kurs dolara oraz ceny giełdowe metali, które notowane są w dolarach. Z uwagi na ten fakt wzrost lub spadek notowań tej waluty przekłada się bezpośrednio na wzrost lub spadek przychodów (P) przy pozostającej niezmienniej wartości kosztów (K).

Z kosztami procesu wzbogacania bezpośrednio związane są także wielkości Q_{Zn} i Q_{Pb} , ponieważ zmienna ilość produkcji powoduje m.in. zmianę ponoszonych kosztów poszczególnych operacji technologicznych. Ilości wyprodukowanych metali w koncentratkach są powiązane z równaniem bilansu masy (wzór (7)), które można z kolei przedstawić jako wycinek paraboloidy hiperbolicznej (siodło) [10].

$$100 \cdot \alpha = \gamma \cdot \beta + (100 - \gamma) \cdot \vartheta \quad (7)$$

gdzie:

α - zawartość składnika użytecznego w nadawie;

β - zawartość składnika użytecznego w koncentracie;

θ - zawartość składnika użytecznego w odpadach.

Przebieg procesu technologicznego reprezentuje pewna krzywa leżąca na tej powierzchni. W równaniu bilansu masy koszty są uwzględnione niejako w naturalny sposób, ponieważ aby produkować koncentraty o odpowiedniej jakości, należy odpowiednio przeprowadzić proces technologiczny. Zmiana zaś prowadzonej technologii wzbogacania powoduje zmianę kosztów ponoszonych na wyprodukowanie tych koncentratów [5].

Przy ocenie osiągniętych przez zakład przeróbczy efektów ekonomicznych należy uwzględnić wiele czynników, wśród których bardzo istotną rolę odgrywają koszty przeróbcze oraz wskaźniki technologiczne. Celem artykułu jest zasygnalizowanie problemu istotnego z punktu widzenia ekonomiki wzbogacania surowców mineralnych. Należy bowiem prowadzić proces technologiczny w sposób stabilny, ale jednocześnie zwracać uwagę na efekt ekonomiczny osiągnięty przez zakład przeróbczy. O ile bowiem na przychody zakład nie ma decydującego wpływu (decydują tutaj głównie ceny rynkowe metali), o tyle koszty wzbogacania są wielkościami, które można w pewnym zakresie kontrolować oraz wpływać na nie poprzez odpowiednią strategię decyzyjno-produkcyjną.

LITERATURA

1. Duraj J.: *Podstawy ekonomiki przedsiębiorstwa*. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2004.
2. Oficjalna strona internetowa ZG „Trzebieńka”: www.trzebieńka.com.pl
3. Prawo geologiczne i górnicze, ustawa z dn 27.07.2001, www.ms.gov.pl
4. Prawo ochrony środowiska, ustawa z 27.04.2001, www.sejm.gov.pl
5. Saramak D.: *Optymalizacja uzysku metali w Zakładach Wzbogacania Rud w KGHM „Polska Miedź” S.A.* Praca doktorska, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii AGH, Kraków 2004.
6. Saramak D., Tumidajski T., Gawenda T.: *Dekompozycja układów wzbogacania rud miedzi i jej efekty na przykładzie Oddziału Zakłady Wzbogacania Rud KGHM „Polska Miedź” S.A.* Wisznik Technologicznego Uniwersytetu Podilla, cz. 1, tom 1, Chmielnickij 2003, s.206-212.

7. Saramak D., Tora B.: *Efektywność działalności zakładów przeróbczych w zależności od kosztów na przykładzie rud cynku i ołowiu*, (przyjęte do druku), Kraków 2005.
8. Stepiński W.: *Ekonomika procesów wzbogacania rud i węgla*. Wydawnictwo Górniczo-Hutnicze, Katowice 1961.
9. Strzelbka-Smakowska B.: *Ocena ekonomiczna złóż rud*. Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków 2003.
10. Tumidajski T., Saramak D.: *Wielowymiarowa analiza wskaźnika oceny przebiegu procesów inżynierii mineralnej opartych na prawie zachowania masy*. Gospodarka Surowcami Mineralnymi. Tom 18, zeszyt 2, s. 77-90, Kraków 2002.
11. Ofanowska A., Blaschke W., Mokrzycki E., Grudziński Z.: *Ocena kosztów przeróbki krajowych siarczkowych rud cynkowo-olowiowych*, Gospodarka Surowcami Mineralnymi, Tom 5, zeszyt 4, s. 1091-1118, Kraków 1990.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Wiesław Blaschke

Abstract

In the article there are described some aspects connected with efficiency of zinc and lead enrichment process. When estimating the efficiency of enrichment process, many factors should be taken into consideration, among them crucial role play enrichment costs and technological indicators. The cost analysis, apart from other exterior factors, make it easier to take some strategic decision concerning the improvement of work efficiency of mineral processing plant. In the processing plant two concentrates are produced: concentrate of zinc and concentrate of lead, which are then processed in the steelworks.

The efficiency of enrichment process is the better, the more is the difference between the income from selling concentrates and costs of enrichment process. Income depends on: the price of metal, content of metal in the concentrate, amount of sold concentrate, features and the amount of accompanying minerals. Income is determined by the price of metal, which is taken from the London Metal Exchange. Costs of enrichment process are classified in the order in which they are grouped according to the kind of cost. The most cost-absorptive factor is the energy consumed on enrichment process. The zinc production cost presents 69% of total enrichment costs, while lead production cost – 31% of total costs.

In the article the cost analysis for zinc and lead ore enrichment was presented as well there were described possibilities of work efficiency improvement.