

Zdzisław CIURLA *

POLIOPTYMALIZACJA W ZAGOSPODAROWANIU SUWALSKICH RUD ŻELAZA

Praca przedstawia problem ustalania racjonalnego profilu przetwarzania polimetalicznej rudy żelaza z uwzględnieniem czynników technicznych, ekonomicznych i z zakresu ochrony środowiska. Zaprezentowany model polioptymalizacyjny pozwala znaleźć kompromisowe rozwiązanie godzące przeciwstawne wymagania różnych kryteriów oceny. Model ten ma postać liniową.

Wstęp

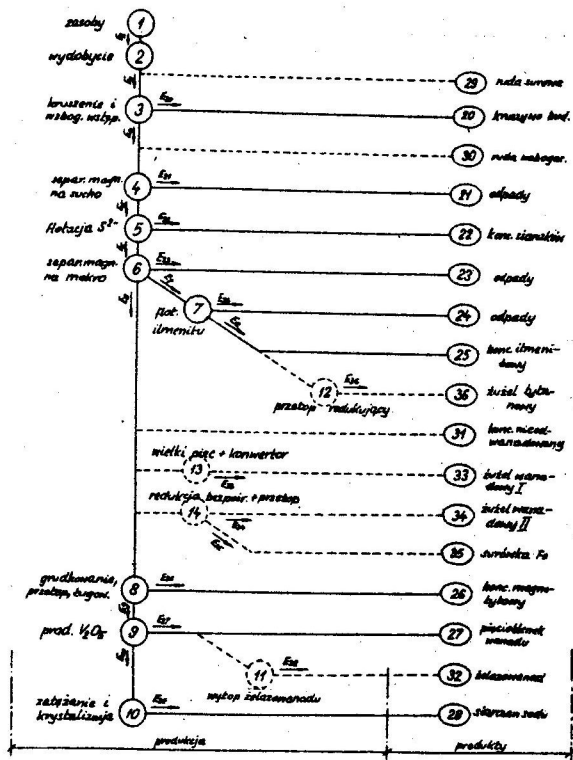
Realizacja dużych inwestycji wprowadza zmiany w różnych dziedzinach życia. Budowa nowego zagłębia spowodowałaby skutki, które ocenić można z rozmaitych punktów widzenia, na przykład ekonomicznego, ekologicznego, dewizowego, zaopatrzenia rynku, zatrudnienia itd. Znane i stosowane są metody optymalizowania przedsięwzięć z punktu widzenia jednego kryterium, za które przyjmuje się zwykle jakąś kategorię ekonomiczną, na przykład kwotę zysku. W przypadku rudy polimetalicznej przeprowadzenie optymalizacji ekonomicznej napotyka na pewne trudności, ale znane są skuteczne metody rozwiązywania tego zagadnienia [1]. Bardzo trudny problem występuje gdy kryteria oceny są przeciwstawne. Tak jest w przypadku eksploatacji i przetwarzania rudy, gdzie każda technologia powoduje niszczenie środowiska naturalnego, zaś jego rozmiary rosną wraz ze skalą produkcji. Patrząc z punktu widzenia ekonomiki procesu, trzeba by go realizować na dużą skalę, natomiast z punktu widzenia środowiska należałoby produkcję redukować - najlepiej do zera.

* ZBiPM "Cuprum"

Problem można rozwiązać z pełnym poszanowaniem środowiska dobierając skalę produkcji i jej profil oraz technologię do obowiązujących norm ekologicznych. Podejście takie prezentuje praca [2]. Jeżeli utrzymanie norm nie jest możliwe, zaś ze względów ogólnogospodarczych eksploatacja złoża jest niezbędna, to powinny być dobrane takie technologie i rozmiary produkcji, przy których na zasadzie kompromisu będą uwzględnione antagonistyczne wymagania wynikające z obu kryteriów oceny [3]. Jest to problem polioptymalizacji, a sposób jego rozwiązania przedstawiono poniżej, na przykładzie zagospodarowania złóż rudy polimetalicznej znajdujących się w rejonie Suwałk.

Technologia procesu

Proces technologiczny przedstawiono na rysunku 1. Linia ciągłą zaznaczono fazy technologiczne wynikające bezpośrednio z dotychczasowych prac projektowych [4] opracowanych przy założeniu, że cała ilość zawar-



Rys. 1. Proces technologiczny
Fig. Flow-scheat

tych we wsadzie metali - żelaza, tytanu i wanadu - zostanie przetworzona na produkty finalne, którymi są koncentraty; magnetytowy i ilmenitowy oraz pięciotlenek wanadu. Z rozważań zawartych w pracy [2] wynika, że ilości koncentratu ilmenitowego i pięciotlenku wanadu, które należałoby sprzedawać na eksport byłyby tak duże, iż spowodowałyby obniżenie cen na rynku międzynarodowym. W związku z tym uzupełniono proces o dalsze fazy produkcji, zaznaczone na rysunku 1 linią przerywaną. Po-
linią przerywaną. Po-
zwalają one uzyskiwać
inne, bardziej atrak-

cyjne handlowo, produkty: żelazowanad, żużel wanadowy oraz dwa rodzaje żużli tytanowych. Ponadto dopuszczono możliwość eksportowania rudy surowej, rudy wstępnie wzbogaconej oraz nieodwanadowanego koncentratu magnetytowego, omówione przedsięwzięcia pozwalają zmniejszyć ilości wsadu przerabianego w poszczególnych fazach produkcji, a szczególnie w bardzo szkodliwym dla środowiska [5] procesie hydrometalurgicznym. Dzięki temu możliwe będzie zmniejszenie emitowanych ilości pyłów, dwutlenku siarki, tlenków azotu itd. Jednocześnie w przypadku eksploatacji rudy surowej lub wstępnie wzbogaconej - zmniejszyłyby się ilości odpadów stałych deponowanych na powierzchni ziemi, a trzeba pamiętać, że ruda występuje na pograniczu terenów specjalnie chronionych - Suwalskiego Parku Krajobrazowego i Wigierskiego Parku Krajobrazowego.

Ilości m_t produktów t ($t = 20, 21...36$), można wyrazić jako odpowiednią kombinację wskaźników wydajności E_i w pewnych fazach i ($i = 1, 2...m$) produkcji oraz wielkości x_i wsadów do tych faz;

$$m_{20} = E_{20}x_3 \quad (1) \quad m_{29} = x_2 - x_3 \quad (10)$$

$$m_{21} = E_{21}x_4 \quad (2) \quad m_{30} = E_4x_3 - x_4 \quad (11)$$

$$m_{22} = E_5E_{22}x_4 \quad (3) \quad m_{31} = E_5E_6E_8x_4 - x_8 - x_{13} - x_{14} \quad (12)$$

$$m_{23} = E_5E_6E_{23}x_4 \quad (4) \quad m_{32} = E_{32}x_{11} \quad (13)$$

$$m_{24} = E_5E_6E_7E_{24}x_4 \quad (5) \quad m_{33} = E_{33}x_{13} \quad (14)$$

$$m_{25} = E_5E_6E_7E_{25}x_4 - x_{12} \quad (6) \quad m_{34} = E_{34}x_{14} \quad (15)$$

$$m_{26} = E_{26}x_8 \quad (7) \quad m_{35} = E_{35}x_{14} \quad (16)$$

$$m_{27} = E_8E_9E_{27}x_8 - x_{11} \quad (8) \quad m_{36} = E_{36}x_{12} \quad (17)$$

$$m_{28} = E_9E_{10}E_{26}x_8 \quad (9)$$

Zmienne decyzje, którymi są wsady $x_2, x_3, x_4, x_8, x_{11}, x_{12}, x_{13}$ i x_{14} powinny być tak dobrane, aby godziły interesy ekonomiczne z ochroną środowiska.

Skażenie środowiska

Przerób wsadu w każdej fazie powoduje wyeliminowanie pewnej ilości zanieczyszczeń (gazowych, ciekłych, stałych). Ilość tę można wyrazić jako iloczyn emisji jednostkowej e_i^j zanieczyszczenia j ($j = 1, 2...n$) i wsadu x_i . A zatem ilość s_j szkodliwej substancji jaka przedostaje się do środowiska z całego procesu produkcyjnego wynika ze wzoru;

$$s_j = \sum_{i=2}^{14} e_i^j x_i \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (18)$$

Wielkość emisji każdego zanieczyszczenia nie powinna przekroczyć wartości dopuszczalnej b_j . Wartość ta może wynikać bezpośrednio z przepisów o ochronie środowiska, lub w przypadku zakładów szczególnie uciążliwych - może być podwyższona, a w takim przypadku istnieje konieczność utworzenia strefy ochronnej wokół zakładu. Zachodzi zatem zależność:

$$s^j \leq b^j \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (19)$$

Za miarę szkodliwości substancji dla środowiska można uznać opłaty, jakie zakład uiszcza z powodu ich emitowania. Wprowadzie opłaty te są obecnie - mimo ciągłego podwyższania - wielokrotnie niższe niż szkody, które emisja wywołuje, tym niemniej mogą być wykorzystywane dla porównywania szkodliwości różnych substancji. Rozumowanie takie oparte jest na idei zastosowanej przy ustalaniu współczynników toksyczności [6] różnych zanieczyszczeń powietrza, pozwalających je przeliczać na równoważne stężenie dwutlenku siarki.

Jeżeli jako f^j oznaczy się jednostkową opłatę odprowadzenie do środowiska zanieczyszczenia j , to cała opłata h^j za emisję tej substancji wyrazi się iloczynem:

$$h^j = f^j s^j \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (20)$$

zaś łączna kwota L opłaty za wszystkie zanieczyszczenia:

$$L = \sum_{j=1}^n h^j \quad (21)$$

Z punktu widzenia ochrony środowiska należy dążyć, aby kwota L opłat była jak najmniejsza, przy jednoczesnym spełnieniu warunków podanych zależnością (19). Wyrażenie (21) można napisać:

$$-L = - \sum_{j=1}^n h^j \quad (21a)$$

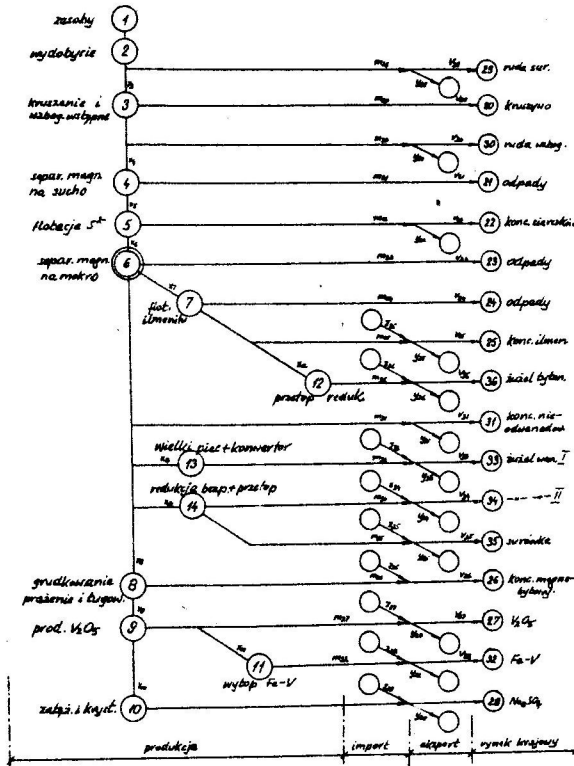
a ten z kolei po zastosowaniu wyrażenia (20) daje;

$$-L = - \sum_{j=1}^n f^j s^j \quad (21b)$$

Wzór ten wyraża to samo co (21), ale jego wartość należy zmaksymalizować.

Ekonomika produkcji i obrotu towarowego

Wytworzone towary będą sprzedawane na rynku krajowym, a ewentualnie nadmiary na eksport. Z ekonomicznego i ekologicznego punktu widzenia może być celowe, aby niektórych towarów nie wytwarzać, lecz sprowadzać je z zagranicy, ewentualnie częściowo produkować a częściowo importować. Na rysunku 2 przedstawiono te możliwości. Optymalizując profil zakładu należy zatem uwzględnić substytucję produkcji i importu ustalając najkorzystniejsze ich wielkości.



Rys. 2. Substytucja produkcji i importu oraz możliwości eksportu
 Fig. 2. Substitution of production and import as well as the possibility of export

Oznaczając jako v_t ($t = 20, 21 \dots 36$) ilość towaru t sprzedaną na rynku krajowym po cenie p_t , jako y_t ilość sprzedaną na eksport po cenie r_t , a jako z_t ilość zakupioną z importu po koszcie jednostkowym l_t , można napisać:

$$m_t + z_t = v_t + y_t \quad (t = 20, 21 \dots 36) \quad (22)$$

Bilans dewizowy działalności nie może być gorszy niż planowany d^w . Jeżeli g_i oznacza jednostkowy wsad dewizowy na przerób w fazie "i", to:

$$\sum_{t=20}^{36} r_t y_t - \sum_{t=20}^{36} l_t z_t - \sum_{i=2}^{14} g_i x_i \geq d^w \quad (23)$$

Utarg P ze sprzedaży jest sumą iloczynów cen przez ilości produktów sprzedanych na kraj i eksport, a zatem:

$$P = \sum_{t=20}^{36} (p_t v_t + r_t y_t) \quad (24)$$

Koszt K ponoszony na całą działalność składa się z kosztów przerobu w poszczególnych fazach, kosztów zakupu z importu i opłat uiszczonych z tytułu zanieczyszczenia środowiska. Jeżeli przez k_i oznacza się jednostkowy koszt przerobu w fazie "i", to:

$$K = \sum_{i=2}^{14} k_i x_i + \sum_{t=20}^{36} l_t z_t + \sum_{j=1}^n r^j \sum_{i=2}^{14} e_i^j x_i \quad (25)$$

Wynik ekonomiczny można wyrazić kwotą akumulacji A uzyskiwanej w ciągu roku normalnej działalności zakładu. Kwota ta jest równa różnicy utargu P i kosztu K, a więc zgodnie z wzorami (24) i (25):

$$A = \sum_{t=20}^{36} (p_t v_t + r_t y_t - l_t z_t) - \sum_{i=2}^{14} k_i x_i - \sum_{j=1}^n r^j \sum_{i=2}^{14} e_i^j x_i \quad (26)$$

Patrząc tylko z punktu widzenia ekonomii, kwotę akumulacji należałoby zmaksymalizować. Wynik byłby oczywiście inny niż przy przyjęciu jako kryterium łącznej kwoty opłat L za zanieczyszczenie środowiska według wzoru (21). Dla znalezienia rozwiązania kompromisowego, konieczne jest dokonanie polioptymalizacji [3].

Polioptymalizacja

Obu funkcjom celu (21) i (26) przypisuje się pewne parametry (wagi) q_L i q_A , które spełniają warunek:

$$q_L + q_A = 1 \quad (27)$$

Ze względu na nieporównywalność obu funkcji celu muszą one być, niestety, ustalone arbitralnie. Wagi te wyrażają znaczenie jakie przy-

wiązuje się do każdego kryterium. W przypadku suwalskich złóż żelaza, ochrona środowiska ma duże znaczenie (obszar specjalnie chroniony i mało odporny na skażenia), a zatem waga q_L musi być odpowiednio duża. Otrzymuje się kryterium zastępcze Q w postaci:

$$Q = -q_L L + q_A A \quad (28)$$

Po zastosowaniu wzorów (21b) i (26) otrzymuje się:

$$Q = q_A \sum_{t=20}^{36} (p_t v_t + r_t y_t - l_t z_t) - (q_L + q_A) \sum_{j=1}^n r^j \sum_{i=2}^{14} e_i^j x_i - q_A \sum_{i=2}^{14} k_i x_i \quad (29)$$

gdzie zmiennymi decyzyjnymi są wsady x_i do każdej fazy, sprzedaż v_t na eksport i zakupy z_t z importu.

Funkcję celu (29) należy zmaksymalizować przy ograniczeniach:

1) Wynikającym z bilansu materiałowego danego wzorem (22):

$$m_t + z_t - y_t = v_t \quad (t = 20, 21 \dots 36) \quad (30)$$

2) Zakupy zagraniczne z_t i eksport y_t nie mogą być wyższe niż limity b_t^l i b_t^r powyżej których nastąpiłoby pogorszenie ceny:

$$z_t \leq b_t^l \quad (t = 20, 21 \dots 36) \quad (31)$$

$$y_t \leq b_t^r \quad (t = 21, 21 \dots 36) \quad (32)$$

3) Produkcja m_t każdego towaru nie może być wielkością ujemną, zatem:

$$-m_t \leq 0 \quad (t = 20, 21 \dots 36) \quad (33)$$

gdzie; m_t dane jest wzorami (1) - (17).

4) Bilans dewizowy nie może być gorszy od planowanego, więc na podstawie wzoru (23):

$$\sum_{t=20}^{36} (l_t z_t - r_t y_t) + \sum_{i=2}^{14} g_i x_i \leq -d^w \quad (34)$$

5) Skażenia terenu każdą substancją nie może przekroczyć dopuszczalnego poziomu b^j , więc zgodnie z wzorami (18) i (19):

$$\sum_{i=2}^{14} e_i^j x_i \leq b^j \quad (j = 1, 2 \dots n) \quad (35)$$

6) Wsad do każdej fazy nie może przekroczyć jej zdolności przerobowej b_i^g :

$$x_i \leq b_i^g \quad (i = 2, 3 \dots 14) \quad (36)$$

7) Wydobycie kopalni musi być - ze względu na specyfikę górnictwa - nie niższe od poziomu b_2^d ;

$$-x_2 \leq -b_2^d \quad (37)$$

8) Z zależności zachodzących pomiędzy wsadami x_4 i x_8 , a nie będącymi zmiennymi decyzyjnymi wsadami x_5 , x_6 , x_7 , x_9 i x_{10} wynikają ograniczenia:

$$x_5 - E_5 x_4 = 0 \quad (38)$$

$$x_6 - E_5 E_6 x_4 = 0 \quad (39)$$

$$x_7 - E_5 E_6 E_7 x_4 = 0 \quad (40)$$

$$x_9 - E_9 x_8 = 0 \quad (41)$$

$$x_{10} - E_9 E_{10} x_8 = 0 \quad (42)$$

Dany wzorami (29-42) model polioptymalizacji ma charakter liniowy, rozwiązanie go standardowymi metodami nie stanowi zatem problemu. Pozwala on na uzyskanie rozwiązania kompromisowego, godzącego wymagania ochrony środowiska a ekonomicznego. Niewątpliwą wadą jest subiektywizm w przypisywaniu wag obu funkcjom celu przy formułowaniu kryterium zastępczego Q ; innej możliwości jednak nie ma. Zaletą przedstawionego sposobu polioptymalizacji jest to, że w jednym modelu można ująć i prześledzić aspekty techniczne, ekonomiczne, dewizowe i z zakresu ochrony środowiska. W tym celu można dokonać szeregu obliczeń zmieniając wagi q_L i q_A z zachowaniem warunku (27). Otrzymane rozwiązania będą prezentowały wachlarz możliwych rozwiązań. Układwia to podjęcie decyzji. Model można oczywiście wzbogacić o dalsze ograniczenia, takie jak np. zatrudnienie, zużycie energii itd., jeżeli istnieje taka potrzeba.

Obliczone polioptymalne wsady x_i , zakupy zagraniczne z_i i eksport y_i wskazują, jakie produkty należy wytwarzać i w jakich ilościach, a jakie importować, aby kryterium zastępcze było spełnione w maksymalnym stopniu. Dane te powinny stanowić podstawę do dalszych prac projektowych i badawczych nad zagospodarowaniem suwalskich rud żelaza. Polioptymalizacja powinna być dokonywana okresowo, w miarę uaktualnienia danych technicznych i marketingowych.

Wykaz oznaczeń

i - ($i = 2, 3, \dots, 14$) - numer fazy produkcji,

j - ($j = 1, 2, \dots, n$) - numer zanieczyszczeń,

t - ($t = 20, 21, \dots, 36$) - numer produktu,

A - kwota akumulacji, zł/rok,

b^d - dolna granica zdolności wydobywczej kopalni, Mg/rok,

- b_{it}^g - górna granica zdolności przerobowej fazy "i", Mg/rok,
 b_{jt} - dopuszczalna emisja zanieczyszczenia "j", Mg/rok,
 b_{it} - limit importu towaru t, Mg/rok,
 b^R - granica sprzedaży towaru t na eksport,
 d^W - limit salda obrotów zagranicznych, zł/rok,
 E_i - ($i = 2, 3, \dots, 14$) wydajność materiałowa w fazie "i", Mg/Mg,
 e_{jt} - jednostkowa emisja zanieczyszczenia j w fazie "i", Mg/Mg,
 f_j - jednostkowa opłata na emisję zanieczyszczenia j, zł/Mg,
 g_i - Jednostkowy wsad dewizowy na przerób w fazie "i", zł/Mg,
 h_{jt} - opłata na emisję zanieczyszczenia, zł/rok,
K - roczny koszt całej działalności, zł/rok,
 k_i - jednostkowy koszt przerobu wsadu w fazie "i", zł/Mg,
 l_t - jednostkowy koszt zakupu z importu towaru t, zł/Mg,
L - łączna opłata za emisję wszystkich zanieczyszczeń, zł/rok,
 m_t - ilość wytworzonego towaru t, Mg/rok,
 p_t - cena krajowa towaru t, zł/Mg,
Q - kryterium zastępcze,
 r_t - cena przy sprzedaży na eksport, zł/Mg,
 s_j - ogólna emisja zanieczyszczenia j, Mg/rok,
 v_t - sprzedaż na rynek krajowy, Mg/rok,
 x_i - ilość wsadu do fazy "i", Mg/rok,
 y_t - sprzedaż na eksport, zł/Mg,
 z_t - ilość towaru t zakupionego z importu, Mg/rok.

Literatura

1. Ciurla Z., Grudzewski W., Przykładowy model zastosowania badań operacyjnych - rozwiązanie modelu kierowania produkcją i wymianą pierwiastków ziem rzadkich" w pracy zbior. "Badania operacyjne w organizacji i zarządzaniu", PWN. Warszawa, 1985.
2. Ciurla Z., "Skala wydobywania i profil przetwarzania rudy tytanomagnezytowej "Krzemianka" w aspekcie ekonomicznym i ekologicznym", Mat. V Gliwickiego Sympozjum; "Fizykochemiczne metody wzbogacania kopalin, Wisła 21-23.05.1986.
3. Peschel M., Riedel C., Poliptymalizacja. Metody podejmowania decyzji kompromisowych w zagadnieniach inżyniersko-technicznych, WNT, Warszawa, 1979.
4. "Studium przedprojektowe z uwzględnieniem wariantów modelu kopalni", BPBPiKR "Biprorud", Częstochowa, 1984 r.
5. Praca zbiorowa, "Konwencje ekologiczne planowanej kopalni i zakładu przerobczego rud polimetalicznych "Krzemianka", Ekspertyza PAN,

Warszawa, 1982 r.

6. "Wykaz zalecanych najwyższych dopuszczalnych substancji w powietrzu atmosferycznym", Wyd. Zrzeszenia Inżynierów i Techników Sanitarnych, Warszawa, 1981 r.

ABSTRACT

Ciurla Z., 1986. Polyoptimization of management with the Suwałki iron ore resources. Physicochem. Probl. Miner. Process., 18; 141-150, (polish text).

The paper presents the problem of the determination of a rational processing profile of polymetallic iron ore with regard to technical, economic and environmental protection requirements. The presented model permits the determination of a compromise solution which balances opposing requirements. The model is linear.

СОДЕРЖАНИЕ

З.Цюрля, 1986. Полиоптимализация освоения железной руды сувальского месторождения. Физико-химические вопросы обогащения, 18; 141-150.

В работе представлена проблема рационального способа переработки полиметаллической железной руды, учитывая технические, экономические факторы как и охрану среды. Представленная полиоптимизационная модель дает возможность найти выгодное решение, совмещающее противоположные требования разных критериев оценки. Модель эта приобретает линейную форму.