

*Kazimierz Czopek**

EKOLOGICZNE I EKONOMICZNE UWARUNKOWANIA WYKORZYSTANIA ZASOBÓW PRZY PRODUKCJI KRUSZYW ŁAMANYCH**

1. Wprowadzenie

Każdy przedsiębiorca, w tym również zakład produkujący kruszywa łamane, musi uwzględniać w swojej działalności cztery podstawowe uwarunkowania. Po pierwsze – musi spełniać określone wymagania ekologiczne, ograniczone w tym przypadku do właściwego wykorzystania zasobów eksploatowanej kopaliny. Po drugie – produkowane kruszywa muszą odpowiadać wymaganiom stosownych unormowań w tym zakresie. Po trzecie – produkowane wyroby muszą być akceptowane przez rynek co do jakości, ilości oraz ceny.

Czwarte uwarunkowanie wiąże się z podstawowymi zasadami funkcjonowania kopalni w warunkach gospodarki rynkowej, w których decydującą rolę spełniają dwa cele, rentowna działalność i utrzymanie płynności finansowej.

Funkcjonowanie kopalń w tak rozbieżnych uwarunkowaniach nie jest łatwe, w wielu przypadkach należy podejmować pozornie sprzeczne decyzje, dające jednak w końcowym efekcie najkorzystniejszy skutek. W artykule przedstawiono jedną z metod umożliwiających podejmowanie decyzji optymalnych w takich warunkach, mianowicie metodę programowania liniowego w jej odmianie produkcyjno-gospodarczej.

Ogólną postać tej metody można przedstawić następująco [2, 3]

$$c_1 \cdot x_1 + c_2 \cdot x_2 + \dots + c_{n-1} \cdot x_{n-1} + c_n \cdot x_n = \text{maksimum} \quad (1)$$

* Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

** Pracę zrealizowano w ramach projektu badawczego nr 4T12A01929

przy ograniczeniach liniowych:

$$\left. \begin{aligned} a_{11} \cdot x_1 + a_{12} \cdot x_2 + \dots + a_{1(n-1)} \cdot x_{n-1} + a_{1n} \cdot x_n &\leq b_1 \\ a_{21} \cdot x_1 + a_{22} \cdot x_2 + \dots + a_{2(n-1)} \cdot x_{n-1} + a_{2n} \cdot x_n &\leq b_2 \\ &\vdots \\ &\vdots \\ &\vdots \\ a_{m1} \cdot x_1 + a_{m2} \cdot x_2 + \dots + a_{m(n-1)} \cdot x_{n-1} + a_{mn} \cdot x_n &\leq b_m \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

oraz ograniczeniach

$$x_j \geq 0 \quad (3)$$

W przypadku produkcji kruszyw łamanych poszczególne oznaczenia użyte w powyższych wzorach interpretujemy następująco:

- n — liczba produkowanych wyrobów (frakcji) gotowych ($n = 1, 2, \dots, j$),
- m — liczba zużywanych w procesie środków produkcji ($m = 1, 2, \dots, i$),
- a_{ij} — ilość i -tego środka produkcji zużywania przy wytworzeniu jednostki wyrobu j ,
- b_i — graniczna (dostępna) ilość i -tego środka produkcji,
- c_j — cena jednostkowa sprzedaży j -tego wyrobu (frakcji),
- x_j — ilość produkcji j -tego wyrobu (frakcji).

2. Uwarunkowania ekologiczne

Jak wspomniano wcześniej, w niniejszych rozważaniach ograniczono się tylko do zagadnienia maksymalnego wykorzystania zasobów przy produkcji kruszyw łamanych, na co znaczny wpływ mają:

- jakość złoża,
- stosowana technika strzelnicza,
- proces przeróbki mechanicznej.

Mówiąc o jakości złoża, należy mieć na uwadze rodzaj samej kopaliny, występującą w złożu szczelinowatość i podzielność powodujące, że po urabianiu za pomocą materiałów wybuchowych otrzymujemy mniej lub bardziej korzystne uziarnienie nadawy, o minimalnej ilości frakcji drobnych i bardzo grubych. Jakość złoża to również możliwość występowania naturalnych zanieczyszczeń, takich jak: zjawiska krasowe, przerosty ilowo-lupkowe, zawartość w kopalinie składników szkodliwych przy wykorzystaniu kruszyw do produkcji betonu bądź przy budowie dróg asfaltowych.

Na skład ziarnowy urobku po odstrzale ogromny wpływ ma stosowana technika strzelnicza, a więc rodzaj materiału wybuchowego, rozmieszczenie w górotworze otworów strzałowych uwzględniające występującą szczelinowatość, sposób rozmieszczenia materiału wybuchowego w otworach strzałowych oraz sposób odpalania.

Zarówno jakość złoża, jak i stosowana technika strzelnicza są od siebie uzależnione, bowiem raczej rzadko mamy pełną swobodę w doborze parametrów robót strzałowych.

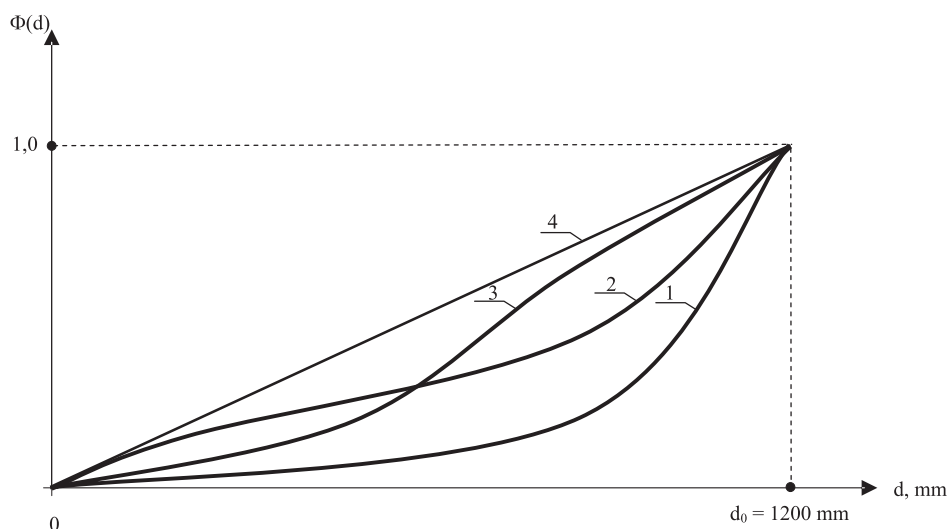
Równocześnie wpływ robót strzałowych na ostateczny skład ziarnowy urobku po odstrzale jest zróżnicowany w zależności od jakości złoża. Złe kojarzenie tych dwu czynników może prowadzić do nadmiernego rozdrobnienia (odpady) bądź też powstawania nadmiernych ilości brył nadwymiarowych [5].

Jeśli przyjmiemy następujące oznaczenia:

- d — wymiar ziarn w odstrzelonym urobku, mm,
- d_o — maksymalnie dopuszczalny wymiar ziarna w nadawie, mm,
- $\Phi(d)$ — dystrybuanta zmiennej losowej d ,

wówczas dystrybuanta $\Phi(d)$ będzie obrazem krzywej składu ziarnowego urobku [6], która teoretycznie może przyjmować kształt krzywej 1, 2, 3 lub 4 z rysunku 1. Na ostateczny kształt krzywej składu ziarnowego będą mieć wpływ jakość złoża oraz wykonane roboty strzałowe.

Proces przeróbki mechanicznej w przypadku produkcji kruszyw łamanych, a w szczególności dobór maszyn i urządzeń wykorzystywanych w tym procesie, będzie również uzależniony od wydobywanej kopaliny oraz od planowanej struktury wyrobów gotowych [1].



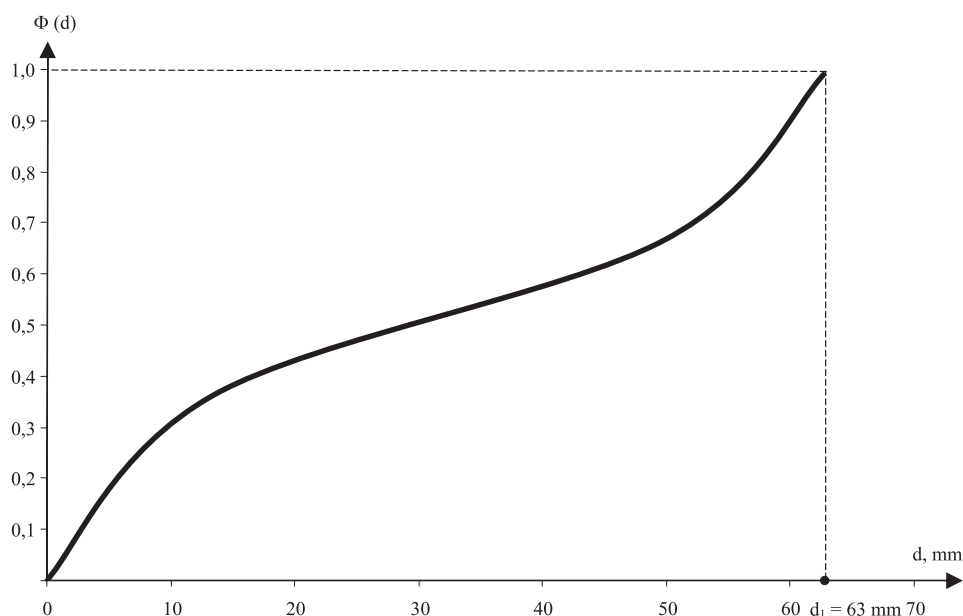
Rys. 1. Krzywe (dystrybuanty) składu ziarnowego urobku po odstrzale (nadawy)

Objaśnienia w tekście

Na przykład złożo piaskowca karpackiego charakteryzuje się dużym zróżnicowaniem budowy geologicznej, zmiennością litologiczną oraz złożonymi warunkami tektonicznymi, dzielącymi całe złożo na odmienne kompleksy [7]. Warunki sedymentacyjne spowodowały, że w złożo tym występują w sposób zróżnicowany przerosty łupkowe, utrudniające samą eksploatację, proces przeróbki i w ostateczności wykorzystanie wyrobów gotowych. Uwzględniając te fakty, w schemacie technologicznym zakładu przeróbki mechanicznej można wykorzystać maszyny i urządzenia nastawione na produkcję kruszyw gorszej jakości.

Zatem w przypadku piaskowca karpackiego główne produkty to: tłuczeń, kliniec i kamień łamany, używany w budownictwie drogowym oraz inżynieryjnym, natomiast produkcja najbardziej szlachetnego kruszywa, gysu, jest możliwa w znikomym zakresie. Podstawowymi maszynami są w takim przypadku kruszarka szczękowa dwurozporowa o prostym ruchu szczęki typu 40-20 do wstępnego kruszenia, natomiast przy wtórnym kruszeniu pracuje często kruszarka szczękowa jednorozporowa o prostym ruchu szczęki typu 40-17 oraz kruszarka stożkowa typu Symons. Dla kruszarki 40-20, maksymalny wymiar ziarna nadawy wynosi $d_0 = 1200$ mm. Dotrzymanie tego warunku wymaga użycia młota hydraulicznego do rozbicia brył ponadwymiarowych w urobku po robotach strzałowych.

Piaskowiec karpacki (nadawa) o uziarnieniu $0 \div 1200$ mm po przejściu przez proces przeróbczy charakteryzowałby się krzywą składu ziarnowego jak na rysunku 2.



Rys. 2. Krzywa (dystrybuanta) składu ziarnowego po procesie przeróbczym

Oznacza to, że z uwagi na wspomnianą jakość i konieczność koncentrowania się na produkcji klinca i tłucznia frakcja o uziarnieniu poniżej 5 mm (odpad) stanowiłaby aż 20% całości produktów. Taka sytuacja nie może wystąpić z uwagi na uwarunkowania ekonomiczne.

3. Uwarunkowania ekonomiczne

3.1. Optymalizacja struktury produkcji

Szczegółowe rozważania dotyczące uwarunkowań ekonomicznych konfrontowano z warunkami kopalni eksploatującej piaskowiec karpacki. Nie oznacza to jednak, że nie byłyby prawdziwe w każdym innym przypadku (dotyczącym innej kopaliny).

Praktyka produkcji kruszywa łamanego z piaskowca karpackiego wskazuje zatem, że uzyskanie w tym przypadku kruszyw najbardziej szlachetnych, w szczególności grysów czy klinców o drobnych frakcjach, jest albo niemożliwe, ze względu na jakość, bądź też ograniczone. Wykorzystanie zatem drobnych frakcji po wtórnym kruszeniu jest możliwe, jeżeli kopalnia oferuje do sprzedaży również mieszanki kruszywowe. W efekcie struktura produkcji w takim przypadku przedstawia się jak w tabeli 1, w której dominują wspomniane mieszanki kruszywowe 0÷31,5 mm oraz 0÷63 mm, stanowiące ponad 30% całości produkcji.

TABELA 1

Struktura wielkości produkcji wyrobów gotowych

Lp.	Wyroby gotowe – rodzaj	Symbol	Udział w produkcji [%]
1	Tłuczeń 31,5÷63 mm	f1	17,0
2	Kliniec 20÷40 mm	f2	17,0
3	Kliniec 5÷20 mm	f3	10,0
4	Kliniec 2÷8 mm	f4	2,0
5	Grys 6,3÷12,8 mm	f5	2,0
6	Grys 2÷6,3 mm	f6	1,8
7	Mieszanka 0÷31,5 mm	f7	10,0
8	Mieszanka 0÷63 mm	f8	21,0
9	Kamień łamany	f9	18,0
10	Miał 0÷20 mm	f10	1,0
11	Odpad ziemny	f11	0,20

Jeżeli dodamy do tego niebędący przecież kruszywem kamień łamany w ilości 18% produkcji, stwierdzamy wówczas, że klasyczne kruszywa w tym przypadku:

- tłuczeń 31,5÷63 mm (17,0%),
- kliniec 20÷40 mm (17,0%),
- kliniec 2÷8 mm (2,0%),
- grys 6,3÷12,8 mm (2,0%),
- grys 2÷6,3 mm (2,0%),

stanowią łącznie tylko 40% produkcji. W efekcie takich rozwiązań, pomimo przeciętnej jakości kopaliny, odpad stanowi zaledwie 1,2% całości produkcji, z czego miał 0÷20 mm 1,0% oraz typowy odpad ziemny 0,2%.

Z punktu widzenia wykorzystania zasobów złoża, sposób ten wydaje się bardzo korzystny. Wiadomo jednak, że działalność kopalni ma sens tylko wówczas, jeżeli przychód ze sprzedanych wyrobów rekompensuje poniesione na ich wytworzenie koszty. Zatem z ekonomicznego punktu widzenia ważnym argumentem przemawiającym za sprzedażą takiej lub innej frakcji jest jej cena.

Z zestawienia przedstawionego tabeli 2 widać, że korzystne, z punktu widzenia stopnia wykorzystania zasobów, mieszanki kruszywowe są równocześnie sprzedawane po najniższych cenach.

TABELA 2

Ceny wyrobów gotowych

Lp.	Wyroby gotowe – rodzaj	Symbol	Cena sprzedaży <i>c</i> [zł/t]
1	Tłuczeń 31,5÷63 mm	c1	24,0
2	Kliniec 20÷40 mm	c2	26,0
3	Kliniec 5÷20 mm	c3	27,0
4	Kliniec 2÷8 mm	c4	24,0
5	Grys 6,3÷12,8 mm	c5	31,0
6	Grys 2÷6,3 mm	c6	33,0
7	Mieszanka 0÷31,5 mm	c7	20,0
8	Mieszanka 0÷63 mm	c8	21,0
9	Kamień łamany	c9	268,0
10	Miał 0÷20 mm	c10	0,0
11	Odpad ziemny	c11	0,0

Te dwa przeciwstawne uwarunkowania można wykorzystać do optymalizacji decyzji ekonomicznej, posługując się w tym celu modelem programowania liniowego, przedstawionym w ogólnej postaci wzorami od (1) do (3).

3.2. Dobór ograniczeń modelowych

Programowanie liniowe zakłada istnienie zgodnego układu równań (2), czyli musi zachodzić warunek

$$m < n \quad (4)$$

Dla niniejszych rozważań *n* oznacza liczbę produkowanych wyrobów (frakcji), zatem zgodnie z danymi zawartymi w tabelach 1 i 2 mamy *n* = 11.

Przyjęto wcześniej, że parametr *m* oznacza liczbę zużywanych w procesie produkcji środków produkcji. Aby zachować warunek (4), najkorzystniej wykorzystać w tym przypadku koszty operacyjne, grupowane na zespole nr 4 kont „Koszty według rodzajów i ich rozliczenie”, czyli:

- zużycie materiałów,
- zużycie energii,
- usługi obce,
- podatki i opłaty,
- wynagrodzenia wraz z narzutami,
- pozostałe koszty rodzajowe,

czyli warunek (4) przedstawia się następująco

$$m = 6 < n = 11.$$

Można zatem stwierdzić, że w przyjętym modelu mamy jedenaście szukanych zmiennych x (wyrobów gotowych)

$$x_1, x_2, \dots, x_{11},$$

oraz jedenaście cen dla każdego z jedenastu wyrobów gotowych

$$c_1, c_2, c_3, \dots, c_{11}.$$

Bardziej złożonym problemem jest ustalenie ograniczeń liniowych (2). Przy ustalaniu granicznych ilości i -tego środka produkcji podstawą może być faktycznie obserwowana struktura rodzajowa kosztów, przy maksymalnie możliwej wielkości produkcji, równoznacznej z wielkością aktualnej zdolności produkcyjnej kopalni. Możemy zatem napisać, że

$$b_i = B_i \tag{5}$$

gdzie B_i – maksymalne wartości odpowiednich kosztów rodzajowych przy maksymalnej produkcji, równej zdolności produkcyjnej Z_p , czyli

$$\sum_{j=1}^{11} x_j \leq Z_p \tag{6}$$

Stosowany w kopalniach tradycyjny rachunek kosztów, wykorzystujący przede wszystkim układ rodzajowy i kalkulacyjny, nie pozwala w sposób dokładny ustalić współczynników a_{ij} . Jest to możliwe przy wykorzystaniu zarządczego rachunku kosztów, a dokładniej – rachunku kosztów działań (ABC) [4]. Polega on na precyzyjnym ustaleniu struktury produkcyjnej, wyznaczeniu prowadzonych w procesie produkcyjnym działań, a następnie wycenieniu kosztów tychże działań i w efekcie rozdziale kosztów działań na ustalone obiekty kosztowe, czyli w tym przypadku jedenaście frakcji wymienionych w tabelach 1 i 2. W ten sposób można ustalić dla warunków konkretnej kopalni bardzo wiarygodne wartości współczynników, czyli

$$a_{ij} = A_{ij} \tag{7}$$

gdzie A_{ij} – wartość a_{ij} dla konkretnej kopalni.

W ogólnych rozważaniach programowania liniowego, przy formowaniu danego zadania wystarczy zapisać ograniczenia wielkości zmiennych x wzorem (3). Wiadomo jednak, że uzyskanie określonych frakcji, bądź to z nadawy po robotach strzałowych, bądź po procesie rozdrabniania, jest warunkowane chociażby krzywą składu ziarnowego. Do tego należy dodać uwarunkowania rynkowe, według których popyt na określony rodzaj kruszywa (frakcji) jest ograniczony od góry ze względu na chłonność danego rynku bądź też ze względu na proponowaną cenę sprzedaży. Podstawowe prawa rynku, czyli podaży i popytu,

mogą w takich przypadkach decydować o maksymalnych możliwościach sprzedaży każdej frakcji. Uwzględniając powyższe uwagi, możemy ograniczenia wielkości produkcji poszczególnych wyrobów (frakcji) wyrazić następująco

$$X_j \geq x_j \geq 0 \quad (8)$$

gdzie X_j – dopuszczalna, maksymalna wielkość produkcji danej frakcji z uwagi na krzywą składu ziarnowego bądź chłonność rynku.

Biorąc powyższe pod uwagę, możemy model produkcyjno-gospodarczy programowania liniowego dla przypadku kopalni produkującej kruszywa łamane z piaskowca karpackiego wyrazić następująco:

— funkcja przychodu kopalni powinna być zmaksymalizowana

$$c_1 \cdot x_1 + c_2 \cdot x_2 + \dots + c_{11} \cdot x_{11} = \text{maksimum} \quad (9)$$

— przy ograniczeniach liniowych:

$$\left. \begin{array}{l} A_{11} \cdot x_1 + A_{12} \cdot x_2 + \dots + A_{1n} x_n \leq B_1 \\ A_{21} \cdot x_1 + A_{22} \cdot x_2 + \dots + A_{2n} x_n \leq B_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ A_{61} \cdot x_1 + A_{62} \cdot x_2 + \dots + A_{6n} x_n \leq B_6 \end{array} \right\} \quad (10)$$

— i ograniczeniach:

$$\left. \begin{array}{l} X_1 \geq x_1 \leq 0 \\ X_2 \geq x_2 \leq 0 \\ \cdot \\ \cdot \\ X_{11} \geq x_{11} \leq 0 \end{array} \right\} \quad (11)$$

4. Wnioski

Spełnienie wymagań ekologicznych i ekonomicznych przy produkcji kruszywa łamanego wymaga dużej liczby proponowanych frakcji, zwłaszcza mieszanek kruszywowych. Są to wymagania z założenia trudne w realizacji, wobec czego korzystnym rozwiązaniem jest w takich przypadkach zastosowanie metody optymalizacyjnej. Jest nią przedstawiona w pracy metoda programowania liniowego w postaci modelu produkcyjno-gospodarczego.

LITERATURA

- [1] *Blasche Z.*: Zarys procesów przerobczych. Kraków, Wydawnictwa AGH 1983
- [2] *Czopek K.*: Optymalizacja zdolności produkcyjnej z wykorzystaniem rachunku kosztów. Kraków, ART-TEKST 2000

- [3] *Gass S.I.*: Programowanie liniowe. Metody i zastosowania. Warszawa, PWN 1973
- [4] *Kaplan R.S., Cooper R.*: Using Integrated Cost Systems to Drive Profitability and Performance. Harvard, Harvard Business School Press 1998
- [5] *Onderka Z.*: Technika strzelnicza w górnictwie odkrywkowym. Kraków, UWND AGH 1992
- [6] *Tumidajski T.*: Zastosowanie metod statystycznych w analizie procesów przeróbki surowców mineralnych. Katowice, ŚWT „Śląsk” 1993
- [7] *Zmieniewicz J.*: Wpływ wybranych czynników techniczno-organizacyjnych na efektywność procesu produkcji kruszyw łamanych na przykładzie kopalni „Klęczany”. Kraków, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii AGH 2002 (praca doktorska)