

*górnictwo skalne, rozdrabianie MW,
układy operacji, optymalizacja*

Jerzy MALEWSKI*
Patrycja RINK**

URABIANIE SKAŁ W KOPALNIACH ODKRYWKOWYCH JAKO PROBLEM OPTYMALIZACYJNY

Przedstawiono sposób i przykłady optymalizacji układu operacji urabiania MW – rozdrabiania wtórnego – załadunku – transportu – kruszenia wstępnego w kopalniach odkrywkowych. Parametrem sterującym jest jednostkowe użycie MW. Efekt rozdrabiania ma wpływ na wydajność i koszty realizacji operacji technologicznych oraz koszty produkcji górniczej. Na przykładzie analizy rzeczywistego układu kopalni granitu pokazano wartość takich analiz na etapie negocjacji ceny usługi robót wiertniczo-strzałowych.

1. WSTĘP

Outsourcing jest dziś powszechnym zjawiskiem w organizacji produkcji kruszyw. W szczególności dotyczy to wykonawców robót strzałowych, którzy w swoich kontraktach mają zawarte wymagania dotyczące odpowiedniego uziarnienia nadawy do zakładu przerobczego. Wiarygodne oszacowanie kosztów takiej usługi jest dla usługobiorcy sprawą pierwszorzędnej wagi, a ryzyko popełnienia błędu jest duże, jeśli nie przeprowadzi się w tym celu odpowiedniej technologiczno-ekonomicznej oceny zadania produkcyjnego. Dla obu stron umowy gospodarczej ważną informacją w negocjacjach będzie rozpoznanie tego zagadnienia pod kątem efektywności produkcji całego układu wydobywania i przeróbki wstępnej, gdyż tylko w taki sposób można będzie właściwie ustalić optymalne warunki urabiania.

Dla klasycznych technologii górniczych i przerobczych głównymi parametrami operacji będą: dopuszczalne wymiary brył nadawy do kruszarki, liczba, wydajność i pojemność czepaka koparek (ładowarek), sposób kruszenia brył nadwymiarowych i wreszcie energochłonność operacji urabiania (gdzie parametrem sterującym jest jed-

* Politechnika Wroclawska, Instytut Górnictwa, 50-051 Wrocław, pl. Teatralny 2,
jerzy.malewski@pwr.wroc.pl

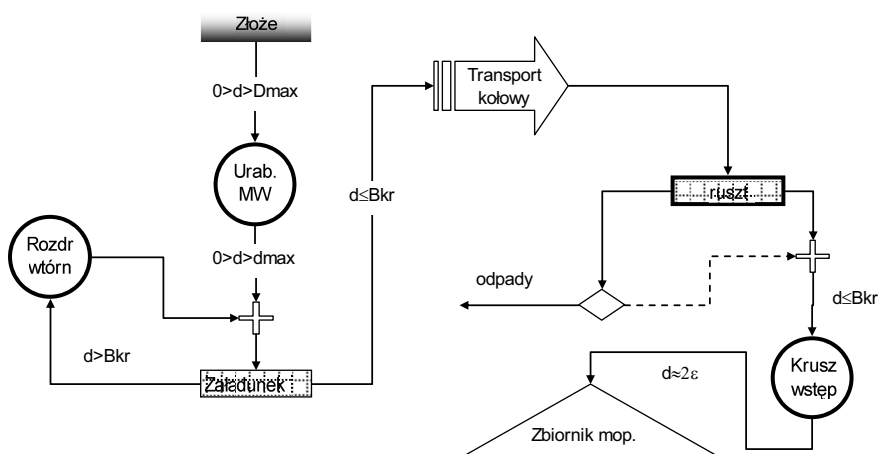
** patrycja.ring@gmail.com

nostkowe zużycie MW). Umowa powinna jednoznacznie określić kryterium optymalności produkcji dla ustalonej struktury układu i parametrów maszyn, np. wg najniższego kosztu produkcji, maksymalnej wydajności układu, minimalizacji frakcji drobnych w nadawie itp.

W artykule przedstawiony jest sposób analizy tego zagadnienia na przykładzie kopalni granitu. Metoda analizy pochodzi z wcześniejszej publikacji autora [1], skąd również zaczerpnięto niektóre dane ekonomiczne. Przedstawione wyniki obliczeń należy jednak traktować co najwyżej jako prawdopodobne, gdyż autorzy nie mieli dostępu do szczegółowych informacji ekonomicznych, ani możliwości wykonania eksperymentów, np. wydajności i składu ziarnowego rozdrabniania wtórnego tzw. nadgabarytów, albo wydajności technicznej koparek. Przyjęte jednak założenia i dane do obliczeń nie są tu przeszkodą, by właściwie ocenić jakość i możliwości zastosowanej metody obliczeń pod kątem jej przydatności do praktycznych zastosowań.

2. TECHNOLOGIA PRODUKCJI GÓRNICZEJ I METODA OCENY JEJ EFEKTYWNOŚCI

Przez analizę systemów rozumie się optymalizację ich działania wg kryterium kosztowego lub wydajnościowego. Optymalizacja polega na manipulacjach parametrami operacji technologicznych w celu znalezienia minimum lub maksimum funkcji celu. Wydajność zależy od aktualnych parametrów maszyn i składu ziarnowego nadawy. Z kolei koszty produkcji, to koszt realizacji przyjętych rozwiązań za pomocą użytych do tego celu maszyn i urządzeń. Typową dla tej branży strukturę produkcji przedstawia rysunek 1, a operacje urabiania MW, rozdrabniania wtórnego, załadunku i transportu – rysunek 3.

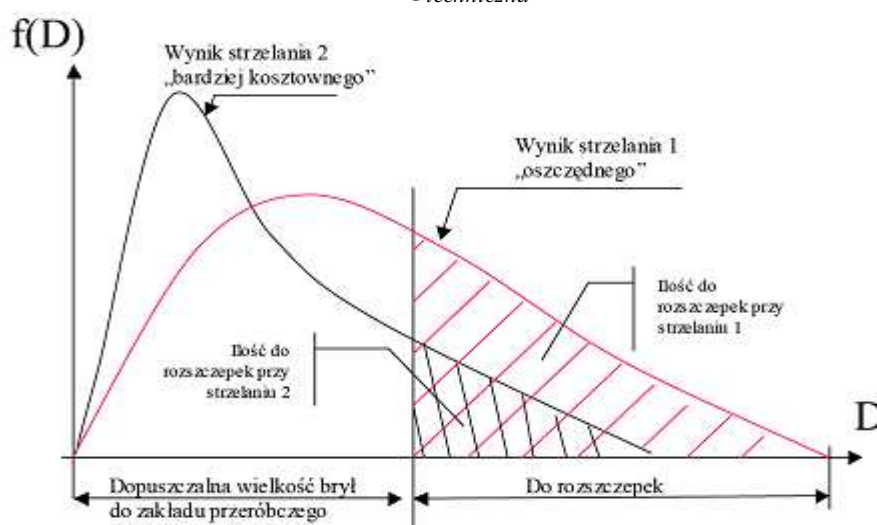


Rys. 1. Typowa struktura produkcji górniczej surowców skalnych
Fig. 1. Typical structure of the quarrying system

W takich układach mamy do czynienia ze sprzężeniem zwrotnym obiegu nadziarna krążącego w układzie operacji: rozdrabnianie MW – kruszenie wtórne, gdzie kryterium kwalifikacji brył do nadziarna jest wymiar paszczy kruszarki wstępnej (rys. 2).

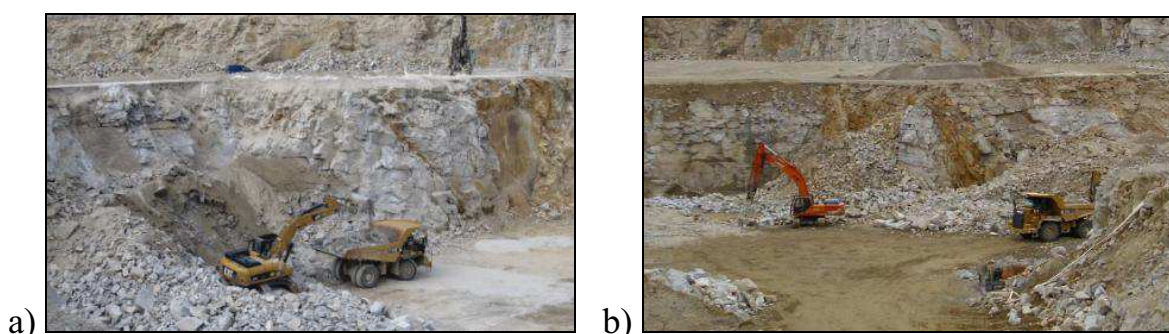
Problem optymalizacji takiego układu sprowadzić można do minimalizacji jednostkowych kosztów produkcji górniczej, tj. jednostkowego kosztu wytworzenia pół-produktu gromadzonego na składowisku przejściowym:

$$k_{jednostkowe} = \frac{K_{produkcji}}{Q_{techniczna}}, \quad [\text{zł/m}^3]$$



Rys. 2. Ilustracja optymalizacji operacji urabiania MW – efekt rozdrabniania dwóch odstrzałów przy użyciu jednostkowym MW $[kg/m^3]$ $q_1 < q_2$, wyrażony składem ziarnowym urobku; powierzchnia zakreskowana – frakcja wymagająca dodatkowego rozdrabniania [1]

Fig. 2. The explanation chart of the quarrying optimization: two lumps distributions was obtained after blasting with $q_1 < q_2$ kg/m^3 explosive. Hatched surfaces mean amount of fraction needed for secondary braking [1]



Rys. 3. Operacje urabiania MW, rozdrabniania wtórnego, załadunku i transportu w kopalni Górka Sobócka

Fig. 3. A view on Górka Sobócka quarrying technology: drilling, loading, secondary breaking of over-dimensional lumps, transportation

Do kosztów produkcji zaliczamy łączne koszty operacyjne i inwestycyjne (amortyzację) eksploatacji układu technologicznego kopalni. Wydajność techniczna jest wydajnością układu z wyłączeniem przerw losowych (awarii) i organizacyjnych. Zarówno koszty jednostkowe jak i wydajność maszyn zależą od składu ziarnowego nadawy w poszczególnych operacjach. Zależności te są bardzo złożone, więc i obliczenia całego układu są możliwe po uprzedniej identyfikacji (opisaniu matematycznym) tych zależności oraz zastosowaniu odpowiednich algorytmów obliczeniowych. Metodę takich obliczeń znaleźć można w pracy [1], więc ograniczymy się tu do przedstawienia wyników takiej analizy na przykładzie ww. kopalni.

3. PRZYKŁADY ANALIZY UKŁADU WYDOBYCIE – TRANSPORT – PRZERÓBKA WSTĘPNA

Przykład oparto na danych i badaniach własnych układu technologicznego kopalni granitu Górka Sobócka – Mota-Engil Kruszywa SA [2]. Produkcja roczna kopalni wynosi ok. 700 tys. ton kruszywa. Urabiana skała to granit o gęstości 2590 kg/m^3 , wytrzymałości na ściskanie 128,7 MPa; zwięzłość Page'a b. dobra. Produktem końcowym są kruszywa drogowe i kolejowe. Pomiar rozkładu objętości brył *in situ* i opisanie tego rozkładu funkcją potęgową dały wynik $F(d) = (d/3000)^4$; d [mm].

Operacja urabiania realizowana jest otworami strzałowymi o długości 15–17 m i $\varnothing = 89 \text{ mm}$ za pomocą MW (głównie Blendex 80, Saletrol, Nitram). Jednostkowe zużycie MW wynosi ok. $0,7\text{--}0,9 \text{ kg/m}^3$. Urobek z usypu po odstrzale ładowany jest na samochody odstawcze CAT 770 o ładowności 40 t koparką podsiębierną CAT 330D o pojemności łyżki $2,1 \text{ m}^3$ lub ładowarką CAT 980H o pojemności łyżki $5,1 \text{ m}^3$. Koparka używana jest także do rozbijania brył nadwymiarowych młotem hydraulicznym montowanego na jej wysięgniku.

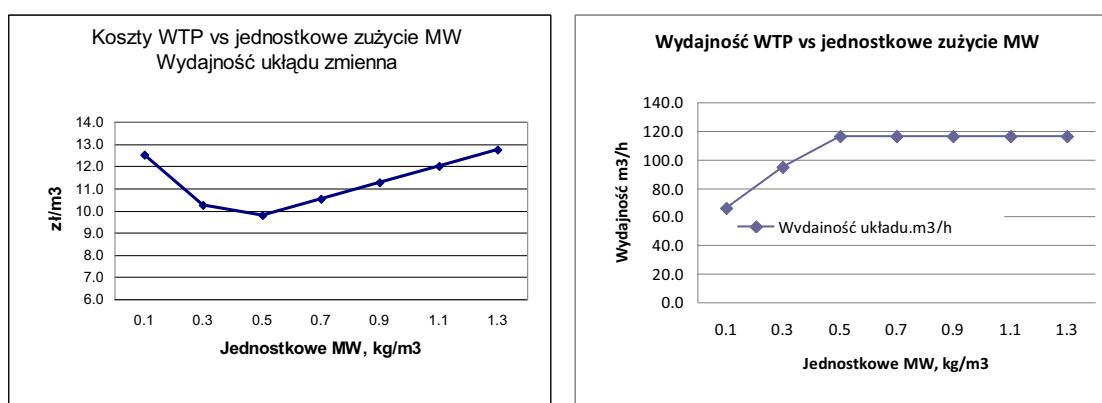
Przeróbka skał odbywa się w instalacji zaprojektowanej i wyposażonej przez MetsoMinerals; kruszarką wstępną jest kruszarka szczękowa Nordberg C 140 o wymiarach paszczy wlotowej $1,4 \times 1,07 \text{ m}$ i szczelinie wypustowej 160 mm.

Do obliczeń przyjęto strukturę układu z 2 koparkami i 2 samochodami odstawczymi. Jedna koparka jest wykorzystywana również do rozdrabniania wtórnego brył nadwymiarowych. Wydajność koparki ładującej obliczana jest zależnie od składu ziarnowego nadawy. Wydajność średnią koparki w rozbijaniu brył przyjęto wg danych z praktyki, tj. 87 t/h. Wydajność tę korygowano wg udziału i wielkości brył nadwymiarowych w nadawie do rozszczepek. Wydajność samochodów wynika z pomierzonego czasu cyklu ruchu samochodów na odcinkach pomiędzy koparką i kruszarką wstępną.

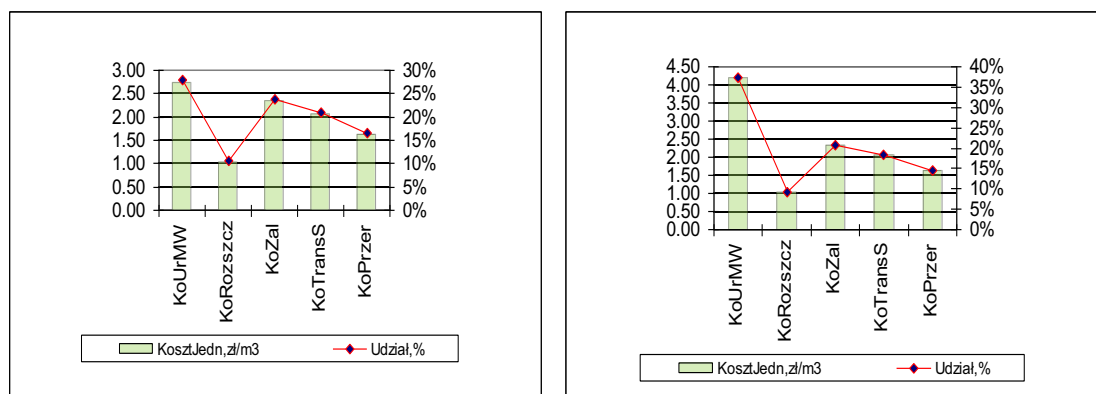
Do obliczenia wydajności koparki i kruszarki wstępnej użyto wzorów uwzględniających wpływ składu ziarnowego nadawy na wydajność techniczną tych maszyn. W strukturze kosztów poszczególnych operacji uwzględniono koszty amortyzacji,

remontów i konserwacji, energii i obsługi. Całość obliczeń wykonano specjalnym programem symulacyjnym za pomocą odpowiednich algorytmów. Obliczenia są możliwe dwojako, dla zadanej:

- wydajności układu; wtedy liczba maszyn dobierana jest wg ich aktualnego obciążenia nadawą, a koszty w tym przypadku mogą zmieniać się skokowo,
- struktury i liczby maszyn; wydajność układu zależy od wydajności tzw. wąskiego gardła; przy czym jego lokalizacja może się zmieniać zależnie od aktualnego obciążenia maszyn.



Rys. 4–5. Koszty jednostkowe produkcji górnictwej i wydajność układu operacji
Fig. 4–5. Unitary costs and capacity of quarrying system



Rys. 6–7. Struktura kosztów operacji przy strzelaniu ilością MW; $q = 0,5$ i $0,9 \text{ kg/m}^3$
Fig. 6–7. Cost [zł/m³] distribution by system operations: blasting, breaking, loading, transportation, primary crushing for powder factor $q = 0,5$ or $0,9 \text{ kg/m}^3$

Na rysunkach 4–7 przedstawiono wyniki symulacji realizowanej wg drugiego z wymienionych sposobów (zadana liczba maszyn). Dopuszczalną średnicę bryły urobku kierowanego do zakładu przerobczego przyjęto wg szerokości paszczy kruszarki (2070 mm). W analizowanym układzie operacji zmieniano tylko jednostkowe zużycie MW. Zmiany te powodowały rozrzedzenie/zagęszczenie siatki otworów, co

ma wpływ na koszt wiercenia i ilość zużytego MW. Obliczenia ukazują, że optymalna energochłonność rozdrabiania zasadniczego zawiera się w przedziale 0,4–0,8 kg/m³, ale niskie wartości powodują znaczące obniżenie wydajności całego systemu (rys. 5). Aby utrzymać wydajność układu na większym poziomie należałoby przy niskich wartościach q wprowadzić do układu dodatkowo 1 koparkę więcej, a to z kolei powiększy koszt produkcji. Ogólnie biorąc konkretne wartości q zależą od spękania górotworu, rodzaju MW, geometrii bloku i żądanej wydajności układu. Na podstawie danych kopalni średnie zużycie MW wynosi ok. 0,8 kg/m³.

LITERATURA

- [1] MALEWSKI J., MODRZEJEWSKI S., *Modelowanie i optymalizacja systemów procesów wydobywania i produkcji kruszyw łamanych*. Poltegor-Instytut, Instytut Górnictwa Odkrywkowego, Wrocław 2008.
- [2] RINK P., *Optymalizacja systemu urabiania i przeróbki wstępnej w kopalni granitu Górka Sobocka*, Praca dypl. PWr., 2011.

QARRYING AS THE OPTIMIZATION PROBLEM

The method and numerical examples of typical quarry system optimization has been presented in the paper. The powder factor defined as amount of blast powder per 1 cubic meter of the rock body has been taken as controlling parameter of the quarrying. In such process results of blasting operation effects on the system capacity and its running costs. Some numerical examples of the real quarry system have performed and are presented in the paper.