

## Optymalizacja kształtu wyrobiska docelowego oraz szacowanie bogactw złóż polimetalicznych w kontekście zmienności cen metali

### Streszczenie

Przedmiotem pracy jest nowa metodyka oceny bogactw (*resources*) oraz planowania eksploatacji odkrywkowych projektów mineralnych, które stanowią większość światowej produkcji metali. Jak powszechnie wiadomo wartością projektu górniczego jest złożo, które może być przedmiotem eksploatacji (Nieć, 2002). Z tego względu niezwykle ważne jest określenie części projektu mineralnego, w zoptymalizowanym wyrobisku górniczym o największej niezdyskontowanej wartości, obejmującej opłacalne do wydobycia bogactwa w danych warunkach ekonomicznych.

Użycie właściwych wartości parametrów decydujących o kształcie wyrobiska docelowego (*Ultimate Pit*) jest zadaniem trudnym z powodu projektowanego długiego czasu życia projektu mineralnego i związanym z tym wahaniami cen metali na giełdach. Właściwe zaprojektowanie kształtu wyrobiska docelowego ma zasadniczy wpływ na ilość oszacowanych bogactw, stosunek ilości rudy do ilości odpadu, a ostatecznie efektywność ekonomiczną przedsięwzięcia. Kształt wyrobiska docelowego powinien być również na tyle uniwersalny, aby ułatwiać ewentualne modyfikacje planu postępu eksploatacji stosownie do zmieniających się warunków ekonomicznych (Niedbał, 2014).

W wyniku analizy projektów mineralnych z zaproponowanym w pracy wykorzystaniem zbiorów rozmytych, można przeanalizować kształty wyrobiska docelowego uwzględniające różne scenariusze cen metali oraz określić ich stopień przynależności. W ten sposób oceniana jest możliwość wystąpienia różnych scenariuszy cenowych w czasie długiego życia projektu mineralnego, które mają bezpośredni wpływ na masę i jakość oszacowanych bogactw oraz ich wartość. Informacje te są bardzo istotne dla inwestora zainteresowanego nabyciem projektu mineralnego. Przykładowo analizowany jako studium przypadku - projekt Ajax zlokalizowany w Kanadzie, osiąga około 1 mld Mg bogactw w czwartym scenariuszu *base* (4550 USD/Mg Cu i 910 USD/uncja Au) oraz *gold* (2800 USD/Mg Cu i 1400 USD/uncja Au), natomiast już w trzecim scenariuszu *copper* (6000 USD/Mg Cu i 480 USD/uncja Au). Przy czym stopień przynależności (możliwości wystąpienia w czasie życia projektu mineralnego) będzie dla wymienionych scenariuszy różny i wyniesie odpowiednio: *base* – 0,86, *copper* – 0,50 i *gold* – 0,57.

Bardzo ważne są otrzymane informacje dotyczące istotności danego metalu np. miedzi i złota dla przychodów projektu przy założonych różnych scenariuszach cenowych, gdyż często zmiany ceny metali szlachetnych i bazowych nie są ze sobą skorelowane. Dla projektów polimetalicznych posiadających większą liczbę pierwiastków użytecznych takie analizy będą jeszcze bardziej istotne. W analizowanym przypadku złoża Ajax różnice są znaczące i tak w scenariuszach *gold* (pozytywnych dla cen złota i negatywnych dla cen miedzi) wartość

bogactw Au przekracza 50% wartości całkowitej bogactw, w scenariuszach *base* (bazowych) od 29 do 34%, natomiast w scenariuszach *copper* (pozytywnych dla cen miedzi i negatywnych dla cen złota) od 14 do 17%. W przypadku scenariuszy *gold* można w zasadzie mówić o złożu złota i miedzi, a nie miedzi i złota, gdyż złoto stanowi więcej niż 50% wartości bogactw projektu.

Do planowania eksploatacji można wykorzystać otrzymane wyrobiska docelowe dla różnych typów scenariuszy np. jak w analizowanym przykładzie złoża porfirowego miedzi i złota Ajax: *base* i *gold*. Analiza NPV (wartości zdyskontowanej netto), dla 10 lat życia projektu, pokazuje, że różnica w NPV przy przyjętej 8% stopie dyskonta wynosi 23,6% na korzyść wyrobiska docelowego scenariuszy *gold*. Jednocześnie dla takiego wyrobiska średnia zawartość Au jest wyższa o 13%, a Cu wyższa o 11% przy przerobie rudy tylko nieznacznie większym niż 5% i praktycznie takiej samej produkcji odpadu w stosunku do scenariusza NPV opartego o wyrobisko docelowe ze scenariusza *base*. Analiza ta pokazuje, że użycie wyrobisk docelowych innych scenariuszy, w danych warunkach makroekonomicznych, może przynieść znacznie lepszy wynik finansowy.

W pierwszej części pracy zdefiniowano najważniejsze użyte pojęcia, przedstawiono teorię zbiorów rozmytych i jej wykorzystanie oraz metody oceny wartości i niepewności inwestycyjnej z uwzględnieniem przede wszystkim projektów mineralnych. Następnie przedstawiono kontekst pracy wraz z wyjaśnieniem motywacji do podjęcia tematu badań i tezę rozprawy doktorskiej.

Dalej opisano krótko metody prognozowania cen metali oraz przedstawiono analizę prognoz banków i funduszy inwestycyjnych cen miedzi i złota. Ważną częścią pracy jest rozdział poświęcony metodyce wykonania badań wraz z autorską propozycją algorytmu postępowania w ocenie oraz planowaniu eksploatacji odkrywkowego projektu polimetalicznego.

W następnych częściach rozprawy, na przykładzie złoża porfirowego Ajax, przedstawiono cały proces analizy od założeń poprzez wykonanie optymalnych modeli na podstawie przyjętych funkcji przynależności po analizę uzyskanych wyników. W części tej dokonano analizy parametrów złożowych w wyrobiskach docelowych oraz harmonogramów eksploatacji. Wykonano również analizę wartości bogactw dla innych generalnych kątów skarp oraz opisano szczegółowo działanie wykorzystanego algorytmu Lerchsa-Grossmanna (L-G).

Na końcu znalazły się wnioski i podsumowanie oraz rekomendacje do wykonania dalszych badań.

Praca ma charakter interdyscyplinarny, gdyż wykorzystuje wiedzę matematyki, ekonomii, inżynierii górniczej oraz szeroko pojętej geologii. W związku z tym faktem, aby nie powodować nadmiernego „rozmycia” wątku głównego pracy postanowiono umieścić w załącznikach:

1. Autorską procedurę oceny (*due diligence*) geologiczno-złożowej projektów eksploracyjnych złóż polimetalicznych,

2. Geologię złóż porfirowych miedzi (nie opisanych dotychczas szczegółowo w polskiej literaturze) oraz alkalicznego złoża porfirowego Ajax, będącego studium przypadku analizowanej w pracy koncepcji,
3. Opis wykonania modelu geologiczno-zasobowego złoża Ajax.

Oryginalne dane złożowe i kosztowe projektu Ajax zostały częściowo zmodyfikowane.