

Dr hab. inż. Tomasz NIEDOBA
Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie
Wydział Górnictwa i Geoinżynierii
al. Mickiewicza 30
30-059 Kraków

Kraków, 29 stycznia 2018

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Bartosza Bazana pt. „Wpływ warunków operacji głównej flotacji na wzbogacanie rud miedzi”

1. Podstawa opracowania

Podstawą opracowania jest Uchwała Rady Naukowej Wydziału Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej z dnia 6 grudnia 2017 roku.

Oceniana praca została napisana pod kierunkiem Pana Dr hab. inż. Andrzeja Łuszczkiewicza, profesora Politechniki Wrocławskiej.

2. Przedmiot recenzji

Przedmiotem recenzji jest ww. praca doktorska, obejmująca 132 strony, w tym spis treści, wprowadzenie, cel i zakres pracy, zasadniczą część pracy, spis rysunków i tabel, spis literatury. W pracy zamieszczono 26 rysunków, 31 tabel oraz 10 rysunków krzywych Fuerstenaua wraz z danymi tabelarycznymi, które nie zostały zanumerowane. Praca składa się z 3 zasadniczych części tematycznych, załącznika oraz 14-u rozdziałów i 8 podrozdziałów. Spis literatury zawiera 96 pozycji oraz 1 stronę internetową, w tym 1 publikację Autora.

3. Przedmiot badań i celowość podjęcia tematu pracy

Z treści pracy wynika, że jej przedmiotem jest badanie wpływu dwóch głównych parametrów hydromechanicznych (prędkość liniowa wirników i stopień aeracji zawiesiny) na poprawę efektywności procesu flotacji głównej.

Jak wykazują badania zawartości składników użytecznych w nadawach kierowanych do procesu wzbogacania mają tendencję spadkową co jest związane z pogarszającymi się parametrami eksploatowanych złóż miedzi. Między innymi z tego powodu, w celu poprawy efektu końcowego procesu wzbogacania konieczne jest poszukiwanie nowych rozwiązań techniczno-technologicznych na każdym etapie tego procesu (mielenie, klasyfikacja, flotacja).

Przedmiotem badań Autora był ostatni z wymienionych etapów – flotacja, a dokładnie jeden z węzłów operacji głównej procesu flotacji. Z uwagi na fakt, że w takim węźle są wydzielane odpady końcowe flotacji, generujące główne straty metalu, niezwykle ważną jest minimalizacja tych strat w odpadach.

Dlatego konieczne jest zbadanie wpływu wartości poszczególnych parametrów procesu na jego przebieg i efekt końcowy. W związku z powyższym uważam, że podjęcie przez Doktoranta tematu jest w pełni uzasadnione.

Cele pracy:

- Określenie możliwości poprawy efektywności procesu przemysłowej operacji flotacji głównej w strumieniu rudy węglanowej z O/ZWR Rudna poprzez dobór odpowiednich warunków hydrodynamicznych, ograniczających negatywny wpływ niedostatecznego stopnia uwolnienia minerałów użytecznych w nadawie badanego procesu – cel główny;
- Określenie ilościowego wpływu stopnia napowietrzenia zawiesiny flotacyjnej i prędkości liniowej wirników oraz interakcji obu tych czynników na skuteczność procesu wzbogacania w operacji flotacji głównej w warunkach przemysłowych z uwzględnieniem przebiegu wzbogacania opisanego przemysłowymi charakterystykami wzbogacalności i właściwościami mineralogicznymi wzbogacanej nadawy – cele szczegółowe.

Hipoteza badawcza:

Zakładając, że parametrami optymalizacyjnymi pracy węzła są jakość koncentratu i uzysk miedzi w koncentracie, Autor postawił tezę, że parametrami optymalizowanymi mogą być główne parametry hydrodynamiczne maszyn flotacyjnych, jakimi są: prędkość liniowa wirników i stopień aeracji zawiesiny flotacyjnej w relacji do stopnia uwolnienia minerałów miedzi, jaki gwarantują obecne układy mielenia i klasyfikacji.

Zakres pracy:

- Przedstawienie teoretycznych podstaw procesu flotacji, z uwzględnieniem wpływu stopnia uwolnienia ziaren i hydrodynamiki na przebieg i skuteczność flotacji w świetle literatury światowej;
- Przegląd badań przemysłowych;
- Przegląd metod statystycznych stosowanych dotychczas do opisu i optymalizacji warunków procesu flotacji, ze szczególnym uwzględnieniem wieloczynnikowej analizy wariancji;
- Opis metodyki badań – wybór scenariusza;
- Analiza wpływu badanych czynników i ich interakcji na wyniki flotacji – optymalizacja badanych parametrów;
- Analiza wyników z wykorzystaniem krzywych wzbogacania Fuerstenaua;
- Wyniki analiz mineralogicznych, chemicznych i granulometrycznych dla trzech wybranych testów;
- Możliwość zmniejszenia negatywnych skutków niedostatecznego stopnia uwolnienia minerałów w nadawie na wynik procesu flotacji przez odpowiedni dobór wartości badanych czynników.



4. Charakterystyka pracy

Realizację celów pracy Autor zamknął praktycznie w trzech zasadniczych rozdziałach. W oparciu o szeroką literaturę, w rozdziale pierwszym Autor szczegółowo przedstawił:

- istotę zjawiska flotacji;
- dotychczasowe osiągnięcia w zakresie opisu i oceny procesu oraz wpływ poszczególnych parametrów na przebieg i efekt końcowy procesu;
- przegląd badań przemysłowych;
- dotychczasowe zastosowanie metod statystycznych do opisu przebiegu i optymalizacji warunków procesu flotacji;
- opis procesu technologicznego w O/ZWR Rudna.

Rozdział drugi zawiera:

- określenie metodyki badań;
- wybór i opis jednego spośród czterech (przedstawionych w pracy) scenariuszy realizacji eksperymentu w skali przemysłowej;
- opis wieloczynnikowej analizy wariancji;
- szczegółowy opis sposobu przeprowadzenia analiz mineralogiczno-chemicznych.

Na podkreślenie zasługuje oryginalny wybór sposobu prowadzenia testów, tak by ich realizacja w skali przemysłowej spełniała warunki powtarzalności i statystycznej reprezentatywności wyników.

W rozdziale trzecim przedstawiono wyniki badań. Dane wejściowe (otrzymane na podstawie wykonanych dziesięciu testów) poddano analizie, której efekty obejmują:

- wyniki dwuczynnikowej analizy wariancji oraz współczynnika η^2 ;
- wyniki analizy pod kątem wpływu badanych czynników, jak i ich interakcji na efekt końcowy procesu (wykresy Pareto);
- optymalizację badanych parametrów;
- wyniki analiz uzyskanych z wykorzystaniem krzywych Fuerstenaua i Halbicha;
- wyniki analiz mineralogicznych, chemicznych i granulometrycznych dla trzech wybranych testów.

Na podstawie dwuczynnikowej analizy wariancji wywnioskowano, że oba badane czynniki i ich interakcja mają wpływ na wielkość skumulowanego uzysku Cu (ϵ_{Cu}) i zawartość Cu w koncentracie (β_{Cu}), z tymże wpływ interakcji na β_{Cu} nie jest statystycznie istotny. Podano wielkości tego wpływu dla poszczególnych czynników i ich interakcji. Przeprowadzono również analizę wyników dziesięciu testów z wykorzystaniem krzywych wzbogacalności Fuerstenaua i Halbicha. Przy pomocy programu Minitab przeanalizowano wpływ interakcji badanych czynników na wielkość uzysku miedzi dla kaskad I, II, III. Na tej podstawie sformułowano zalecenie aby w celu szybszego zwiększenia skumulowanego uzysku dla kaskad I-III stosowany był najwyższy poziom prędkości liniowych wirnika z analizowanego zakresu. Po wskazaniu wagi analizowanych parametrów i ich interakcji



dokonano optymalizacji badanych parametrów, przy założeniach maksymalizacji uzysku ($\max \varepsilon_{Cu}$) przy zawartości miedzi w koncentracji $\beta_{Cu} \geq 7\%$ oraz $\max \varepsilon_{Cu}$ przy $\max \beta_{Cu}$. Obie metody (Minitab i analiza krzywych Fuerstenaua) pokazały ten sam trend.

Dla trzech wybranych testów, próbki nadawy i odpadów poddano analizie mineralogicznej w celu określenia przyczyn występowania strat miedzi w odpadzie końcowym, jak również wpływu stopnia uwolnienia minerałów siarczkowych miedzi na skuteczność wzbogacania.

Pokazano, że negatywne skutki niedostatecznego stopnia uwolnienia minerałów użytecznych można zredukować poprzez odpowiedni dobór prędkości liniowej wirników maszyny flotacyjnej i stopnia napowietrzenia zawiesiny.

Praca kończy się podsumowaniem, które jest także oceną prezentowanych metod oraz wskazaniem najlepszych wyników, jak również sformułowaniem wniosków końcowych.

Przedstawiony problem wpływu dwóch głównych parametrów hydrodynamicznych na skuteczność procesu flotacji głównej został wyczerpująco zbadany metodami statystycznymi, których efekty poparto analizą przebiegu krzywych Fuerstenaua. Zagadnienie wpływu stopnia uwolnienia ziaren nadawy na wielkość strat minerałów siarczkowych w odpadzie rozwiązano częściowo. Jedynie na przykładach pokazano, że istnieje możliwość zmniejszenia strat minerałów w odpadzie, mimo ich niedostatecznego stopnia uwolnienia w nadawie poprzez dobór odpowiednich wartości parametrów hydrodynamicznych maszyny flotacyjnej. Należy mieć nadzieję, że ten problem (bardzo trudny i ważny) będzie przedmiotem dalszych badań Autora.

5. Uwagi i pytania do pracy

1. W pracy Autor wspomina o założeniach analizy wariancji i stwierdza, że są spełnione. Jednak niektóre z nich, jak założenie normalności rozkładu i jednorodności wariancji powinny być udokumentowane.
2. W tabelach 2.1 i 2.10 występuje niezgodność nierówności dla wartości p .
3. Na str. 56 rozprawy, w części literaturowej, nie do końca poprawnie sformułowano hipotezy zerowe w teście Fishera-Snedecora (w części badawczej jest poprawnie).
4. Nasuwa się pytanie, czy nie było możliwości badania wpływu trzech czynników (prędkość liniowa wirnika, aeracja zawiesiny, stopień uwolnienia w nadawie) na poprawę efektywności procesu flotacji głównej, np. z zastosowaniem trzyczynnikowej analizy wariancji.
5. W trakcie czytania natknięto się na nieliczne błędy tekstowe, czyli tzw. „literówki” (np. na stronie 8 zamiast słowa „strat” jest „start”, na stronie 18 – trzynasta linijka od góry jest „produktu” zamiast „produkt”, na stronie 26 – w drugiej linijce od dołu jest „wysokości” zamiast „wysokość”, strona 36 – dwunasta linijka od góry jest „płynów” zamiast „młynów” itp.).

Ponadto Autor stosuje różne oznaczenia na cytowaną literaturę – naprzemiennie występują formy Autor (Rok) lub (Autor, Rok), np. na str. 19 jest (Wills i Napier-Munn,



2006) a poniżej Welsby i in. (2010). Nie wpływają one jednak merytorycznie na wartość naukową rozprawy.

6. Podsumowanie

Rozprawa jest opracowaniem na dobrym poziomie naukowym i zawiera niezbędne elementy do wielostronnej analizy przedstawionego problemu. Układ pracy jest prawidłowy, praca jest napisana poprawną polszczyzną w sposób zwięzły i zrozumiały a zawartość jest ilustrowana tabelami i rysunkami. Stanowi oryginalne i nowatorskie rozwiązanie postawionego zagadnienia. Dotyczy dyscypliny naukowej Górnictwo i Geologia inżynierska i świadczy dobrze o ogólnej wiedzy teoretycznej a także umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej w tej dyscyplinie przez Doktoranta. Po zapoznaniu się z przedstawioną do oceny pracą stwierdzam, że założone cele pracy zostały osiągnięte a postawione tezy zostały w pełni udowodnione.

7. Wniosek końcowy

Na podstawie przedstawionej przez mgr inż. Bartosza Bazana dysertacji doktorskiej pt. „Wpływ warunków operacji głównej flotacji na wzbogacanie rud miedzi” stwierdzam, że przedłożona dysertacja spełnia wymogi Ustawy o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 roku (Dz. U. nr 65, poz. 595 z dnia 16 kwietnia 2003 roku) z późniejszymi zmianami i stawiam wniosek Radzie Wydziału Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

