

Dr hab. inż. Marcin Lutyński, prof. PŚ
Katedra Eksploatacji Złóż
Wydział Górnictwa i Geologii
Politechnika Śląska, Gliwice

RECENZJA

pracy doktorskiej mgra inż. Bartosza Bazana

pt.: „Wpływ warunków operacji głównej flotacji na wzbogacanie rud miedzi”

1. Przedmiot recenzji

Przedmiotem recenzji jest praca doktorska pt.: „Wpływ warunków operacji głównej flotacji na wzbogacanie rud miedzi”. Autorem pracy jest mgr inż. Bartosz Bazan, ubiegający się o stopień doktora Nauk Technicznych przed Radą Wydziału Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej. Promotorem pracy doktorskiej jest dr hab. inż. Andrzej Łuszczkiewicz, prof. nadzw. Politechniki Wrocławskiej.

Podstawą formalną opracowania recenzji jest pismo nr W61/1972/2017 Dziekana Wydziału Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej z dnia 12 grudnia 2017.

2. Ogólna charakterystyka recenzowanej pracy

Recenzowana praca liczy, wraz z załącznikami, 131 stron. Składa się z trzech głównych rozdziałów tj. części literaturowej, części badawczej i opisie oraz analizie wyników badań. Przed rozdziałami zasadniczymi pracy znajduje się wprowadzenie oraz cel i zakres pracy. Na końcu pracy, zaraz po spisie literatury, znajduje się spis rysunków, a także numerowany jako kolejny rozdział spis załączników na który składają się wyniki obliczeń Minitab oraz wyznaczone krzywe Furstenau'a. Spis literatury liczy 96 pozycji, z czego 19 (20%) pozycji, nie licząc instrukcji do programu Minitab, wydanych zostało w okresie ostatnich 5 lat.

We wprowadzeniu Doktorant szeroko opisuje problem związany z celem realizacji tejże pracy, a mianowicie zmiennością właściwości mineralogiczno-petrograficznych rud miedzi wydobywanych obecnie w LGOM i związanych z tym trudnościami w utrzymaniu wymaganej jakości

koncentratów miedziowych, wielkości ich produkcji oraz stopnia odzysku metali z rudy. Dlatego też konieczne staje się poszukiwanie nowych rozwiązań technologicznych lub modyfikacji stosowanych technik wzbogacania w celu poprawy stopnia wykorzystania rudy szczególnie na etapie jej rozdrabniania i wzbogacania. We wstępie Doktorant zaznaczył, że jednym z ważniejszych czynników wpływających na efektywność procesów wzbogacania jest stopień uwolnienia minerałów metali ze skały płońskiej. Uwolnienie ziaren minerałów użytecznych wymaga głębokiego rozdrobnienia rudy. Następnie najdrobniejsze ziarna powinny być kierowane do osobnych układów flotacji, które zapewniłyby ich skuteczne oddzielenie. W praktyce przemysłowej wymagałoby to zupełnej przebudowy ciągów technologicznych, dlatego też często optymalizacja taka ogranicza się głównie do możliwości zmiany szeregu czynników takich jak reżim odczynnikowy, selektywna agregacja drobnych ziaren, oddzielna przeróbka ziaren drobnych, zastosowanie specjalnych konstrukcji flotowników lub zmiana parametrów hydrodynamicznych procesu. W swojej pracy Doktorant skupił się na ostatnim czynniku, a mianowicie na optymalizacji parametrów hydrodynamicznych procesu flotacji.

Celem głównym pracy jest określenie możliwości poprawy efektywności procesu przemysłowej flotacji miedzi przez dobór odpowiednich warunków hydrodynamicznych procesu, które miałyby ograniczyć negatywny wpływ niedostatecznego stopnia uwolnienia minerałów użytecznych w nadawie badanego procesu. W pracy Doktorant skupił się wyłącznie na parametrach hydrodynamicznych procesu tj. prędkości liniowej wirników oraz stopniu napowietrzenia nadawy przy założeniu stałych innych parametrów procesu takich jak: reżim odczynnikowy, liczba pracujących układów mielenia i klasyfikacji. W rozdziale dotyczącym celu i zakresu pracy ukryta jest niejako teza pracy, która brzmi: istnieje możliwość optymalizacji parametrów hydrodynamicznych maszyn flotacyjnych w relacji do stopnia uwolnienia minerałów miedzi jaki gwarantują obecnie stosowane układy mielenia i klasyfikacji.

Pierwszym głównym rozdziałem pracy jest część literaturowa, która opisuje podstawy procesu flotacji oraz wybrane czynniki wpływające na efektywność procesu flotacji. Ze względu na zakres pracy Doktorant skupił się głównie na opisie parametrów hydrodynamicznych flotacji oraz wpływie uziarnienia i stopnia uwolnienia na proces flotacji. W kolejnych podrozdziałach dokonał przeglądu literaturowego badań przemysłowych procesu flotacji, opisał metody analizy wariancji, a także szczegółowo opisał proces technologiczny ZWR Rudna i podał charakterystykę rud LGOM, które trafiają do tego zakładu.

W części badawczej pracy Doktorant opisał metodykę badawczą tj. Planowanie i przygotowanie badań, gdzie rozważał analizę czterech scenariuszy realizacji eksperymentu i dokonał wyboru właściwego. W kolejnym podrozdziale opisał szczegółowo zastosowaną w pracy analizę wariancji. Następnie, w kolejnym podrozdziale opisał badania w skali przemysłowej wraz z analizami mineralogiczno-chemicznymi.

Trzeci rozdział pracy dotyczy wyników badań. Kolejne podrozdziały dotyczą wpływu podstawowych parametrów pracy maszyny flotacyjnej na proces flotacji, wyników analizy wieloczynnikowej i miary siły efektu tj. współczynnika η^2 . Osobne podrozdziały poświęcone są analizie wyników za pomocą krzywych wzbogacania Furstenau'a, wpływu interakcji badanych parametrów na wynik flotacji, optymalizacji badanych parametrów, a także analizom mineralogicznym, chemicznym i granulometrycznym.

Załącznikami są wyniki analizy wieloczynnikowej w programie Minitab i krzywe Furstenau'a dla każdej próby (w sumie 10).

Na podstawie przyjętego celu pracy i postawionego problemu badawczego oraz ustalonego zakresu pracy uważam, że przyjęty temat pracy doktorskiej jest trafny, a rozważane w niej zagadnienia mają znaczenie przede wszystkim praktyczne.

3. Merytoryczna ocena pracy

Problem podjęty przez Doktoranta w recenzowanej pracy dotyczy możliwości poprawy efektywności procesu operacji głównej flotacji w ZWR Rudna poprzez optymalizację warunków hydrodynamicznych. Optymalizacja ta ma także cel dodatkowy, którym jest określenie możliwości zminimalizowania negatywnego wpływu niedostatecznego uwolnienia minerałów użytecznych miedzi na operację główną flotacji. Należy podkreślić, że badania wykonane w pracy mają charakter przemysłowy i były realizowane w Zakładzie Wzbogacania Rud Rudna w węźle flotacji głównej rudy węglanowej w maszynie flotacyjnej typu IF-57 podczas normalnego ruchu zakładu. Niewątpliwie, przeprowadzenie badań w skali przemysłowej jest mocną stroną pracy, gdyż podobne doświadczenia nie są szeroko opisane w literaturze. Przeprowadzenie tego typu badań w skali przemysłowej ma wysoki walor poznawczy i użyteczny. Na korzyść przeprowadzonych badań przemawia także fakt ich dokładnego zaplanowania poprzez użycie oprogramowania Minitab, które wspomaga statystyczną kontrolę procesów technologicznych. Doktorant rozważył cztery scenariusze, gdzie uwzględnił ilość badanych zmiennych, ograniczenia wynikające z realizacji

eksperymentów w skali przemysłowej oraz konieczność spełnienia podstawowego kryterium badań jakim jest statystyczna reprezentatywność wyników z przeprowadzonych testów. W przypadku badań przemysłowych istnieją ograniczenia liczby testów, które związane są ściśle z kosztami prowadzenia takich badań. Dokonany przez Doktoranta wybór scenariusza pozwolił na przeprowadzenie wieloczynnikowej analizy wariancji i określenie wartości badanych parametrów tj. prędkości liniowej wirników oraz przepływu powietrza. Wpływ zmienności tych parametrów pozwolił na ocenę uzysku Cu w koncentracji i strat w odpadach przy porównywalnej zawartości tego pierwiastka w nadawie. W sumie wykonano 10 testów dla trzech wartości prędkości wirnika (4,43; 5,41 oraz 6,40 m/s) i dla trzech wartości przepływów powietrza (5,0; 6,0 i 7,0 m³/min) w różnych konfiguracjach tych zmiennych. Pobrano po 7 prób w każdym teście, co łącznie dało 70 prób. Dla każdej z prób analizowano zawartość Cu w nadawie, koncentracji i w odpadach. Wyboru próbek do analiz mineralogicznych, spośród wszystkich serii testów, dokonano dla dwóch skrajnych warunków przepływu powietrza i prędkości liniowej wirników oraz dla warunków jakie obecnie są stosowane do prowadzenia procesu flotacji. Na tej podstawie (w sumie trzech prób) dokonano próby oceny wpływu stopnia uwolnienia minerałów siarczkowych na zastosowane warunki hydrodynamiczne procesu.

Wnioski jakie wysnuto na podstawie wykonanych badań są istotne z punktu widzenia prowadzenia procesu flotacji rud miedzi z LGOM, gdyż udowadniają główną tezę pracy, iż możliwa jest poprawa procesu flotacji poprzez optymalizację warunków hydrodynamicznych tj. prędkości liniowej wirników oraz wielkości przepływu powietrza. Odpowiednia kombinacja analizowanych parametrów pozytywnie wpływa na uzysk miedzi w koncentracji i minimalizację strat tego pierwiastka w odpadzie. Wnioski, które wynikają z pracy mają przede wszystkim wymiar praktyczny i udowadniają główną tezę postawioną w pracy.

Praca prezentuje ogólnie bardzo dobry poziom edytorski i napisana jest poprawnie stylistycznie. Doktorant potrafi dobrze formułować problemy badawcze i prowadzić dyskusję wyników.

Wobec powyższego, poziom merytoryczny pracy oceniam pozytywnie.

4. Uwagi szczegółowe

Mimo pozytywnie ocenianej rozprawy doktorskiej mam kilka uwag/pytań do przedstawionych treści pracy, które wymagają wyjaśnienia:

1. Uważam, że podrozdziały w pierwszym rozdziale pracy (Cześć literaturowa) powinny mieć nieco inne nazwy. Np. nazwa podrozdziału „Podstawy procesu flotacji” nie jest precyzyjna, gdyż omawia wybrane czynniki wpływające na proces flotacji. Myślę, że bardziej precyzyjna byłaby nazwa „Wpływ wybranych czynników na proces flotacji”.
2. W podrozdziale „Wpływ hydrodynamiki na proces flotacji” przedstawiono jeden wzór, który wydaje się przypadkowy wstawiony w tym miejscu pracy. Nie ma zastosowania w dalszej części pracy. Podobnie jest z podrozdziałem „Kinetyka flotacji”, który bardzo pobieżnie traktuje ten problem i nie odwołuje się do bieżącej literatury (np. prace prof. K. Małysy)
3. Pewne wątpliwości budzi uzasadnienie wniosku dotyczącego największego uzysku miedzi w teście o najniższym stopniu uwolnienia minerałów w nadawie. Z całkowitej liczby wykonanych testów do szczegółowych badań mineralogicznych i stopnia uwolnienia skierowano nadawę i odpady z trzech prób (nr 2, 4 i 5). Uzasadnienie wyboru przedstawiono w rozdziale 2.2.1. Porównanie wyników w postaci zestawienia trzech krzywych Furstenau’a przedstawiono na Rys. 3.11. Wyniki wskazują, że całkowity uzysk miedzi był najwyższy dla testu 2 (91,22%), następnie testu 5 (89,57%) i najmniejszy dla testu 4 (72,69%). Każdy z testów prowadzony był w innych warunkach i najlepsze wyniki uzyskano dla testu o największym przepływie powietrza i prędkości liniowej. Oznacza to, że warunki nie były jednakowe dla każdego testu, a zatem na podstawie porównania trudno jest jednoznacznie stwierdzić czy to stopień uwolnienia minerałów faktycznie wpłynął na zwiększony uzysk czy też może nieco odmienny skład ziarnowy i mineralogiczny. W przypadku testu 2 zawartość klasy ziarnowej 0,045-0,100 mm jest wyższa (22,36%) aniżeli dla testu 4 i 5, odpowiednio 21,05% oraz 17,88%, zawartość ziarn najdrobniejszych (<0,045mm) jest dla natomiast dla tego testu nieznacznie niższa. Należy również zauważyć, że zawartość siarczków miedzi najlepiej flotowalnych jest również największa dla nadawy z testu 2 tj. występuje tutaj największa zawartość chalkozynu, chalkopiryty i bornitu. Największa zawartość siarczków najlepiej flotowalnych mogła wpłynąć na uzyskane wyniki pomimo mniejszego ich stopnia uwolnienia. Przeprowadzone próby nie dają jednoznacznej odpowiedzi na wysnutą tezę, tym bardziej, że różnice w uzyskach dla testów 2 i 5 są minimalne (choć oczywiście biorąc pod uwagę stopień uwolnienia w teście 2, wynik jest zauważalny).

4. Myślę, że dobrze byłoby lepiej uzasadnić przedstawione wyniki pracy porównując je do wyników uzyskanych przez innych naukowców, także uzyskanych w skali laboratoryjnej. Doktorant nie odniósł wyników swojej pracy do innych badań (np. doktorat A. Potulskiej, Paiva i Rubio 2016, Albijanic i inni 2015)
5. W spisie literatury występują pozycje, które nie znajdują się w tekście np. publikacja i rozprawa doktorska Aleksandry Potulskiej.
6. W Tabeli 3.15 porównano „Źródła występowania strat minerałów miedzi w odpadach dla testów 3,4 i 2. Porównanie to jest dla klas $<20 \mu\text{m}$; $20-150 \mu\text{m}$; $>150 \mu\text{m}$. Skąd te przedziały skoro we wcześniejszych tabelach (3.10 do 3.12) przedziały te są inne?

Wątpliwości te winny być wyjaśnione przed dalszym publikowaniem wyników pracy.

7. Wniosek końcowy

Przedstawione powyżej uwagi krytyczne nie umniejszają wartości recenzowanej pracy doktorskiej, która posiada duże znaczenie praktyczne. Jej wyniki, a także zaprezentowany sposób analizy problemu mogą być przydatne w dalszym udoskonalaniu procesu flotacji w zakładach wzbogacania rud KGHM Polska Miedź S.A.

Podsumowując stwierdzam, że rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Doktorant podejmując zadanie badawcze wykazał się umiejętnością formułowania problemów naukowych, prowadzenia badań oraz dokonywania analiz wyników statystycznych i eksperymentalnych w celu rozwiązania tegoż problemu badawczego. Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska dotyczy dyscypliny naukowej górnictwo i geologia inżynierska, stanowi samodzielne rozwiązanie problemu, a Doktorant wykazał się dobrym poziomem wiedzy teoretycznej w dyscyplinie naukowej, w której prowadził badania. Mgr inż. Bartosz Bazan dowiódł tym samym, że spełnia wymagania do otrzymania stopnia naukowego doktora nauk technicznych.

Stwierdzam, że praca doktorska mgr inż. Bartosza Bazana pt. „Wpływ warunków operacji głównej flotacji na wzbogacanie rud miedzi” w pełni odpowiada warunkom określonym w art. 13 ustęp 1 Ustawy z dnia 14 marca 2003 o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2016 r. poz. 882) i wnoszę o dopuszczenie jej przez Radę Wydziału Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej do publicznej obrony.


Gliwice 30.01.2018