

Prof. dr hab. inż. Marcin Lutyński  
Katedra Geoinżynierii i Eksploatacji Surowców  
Wydział Górnictwa, Inżynierii Bezpieczeństwa  
i Automatyki Przemysłowej  
Politechnika Śląska, Gliwice

## RECENZJA

**pracy doktorskiej mgra inż. Kajetana Witeckiego**

**pt.: „*Wpływ zmienności parametrów jakościowych wód technologicznych na  
wzbogacalność polskich rud miedzi*”**

### 1. Przedmiot recenzji

Przedmiotem recenzji jest praca doktorska pt.: „*Wpływ zmienności parametrów jakościowych wód technologicznych na wzbogacalność polskich rud miedzi*”. Autorem pracy jest mgr inż. Kajetan Witecki ubiegający się o stopień doktora nauk technicznych przed Radą Dyscypliny Inżynieria Chemiczna Politechniki Wrocławskiej. Promotorami pracy doktorskiej są Dr hab. inż. Izabela Polowczyk i Dr hab. inż. Przemysław Kowalczyk.

Podstawą formalną opracowania recenzji jest pismo Przewodniczącej Rady Dyscypliny Inżynieria Chemiczna Pani Prof. dr. hab. inż. Grażyny Gryglewicz z dnia 17.10.2023 r.

### 2. Ogólna charakterystyka recenzowanej pracy

Recenzowana praca liczy, wraz ze spisem literatury, rysunków i tabel 123 strony. Praca składa się z dziewięciu rozdziałów, tj. (1) Wstępu; (2) Charakterystyki obiegów wód procesowych zakładów przeróbki rud; (3) Wpływu jakości wód technologicznych na flotację; (4) Charakterystyki Systemu Gospodarki Wodami i Odpadami flotacyjnymi (SGWO) KGHM Polska Miedź SA; (5) Bilansu wodnego SGWO KGHM Polska Miedź S.A.; (6) Uwarunkowań techniczno-technologicznych Oddziału Zakłady Wzbogacania RUD KGHM Polska Miedź S.A.; (7) Badania laboratoryjne nad wpływem zasolenia na flotację polskich rud miedzi; (8) Wpływu parametrów jakościowych wód na współczynniki technologiczne procesu wzbogacania; (9) Wniosków i rekomendacji; (10) Spisu literatury; Po spisie literatury znajduje się spis rysunków i tabel, natomiast po spisie treści umieszczono wykaz symboli,

oznaczeń i skrótów. Spis literatury liczy 101 pozycji z czego 31 (30%) pozycji zostało opublikowanych w okresie do 5 lat.

Pierwszy rozdział pracy stanowi krótki Wstęp, w którym Doktorant podał genezę i motywację podjęcia tematu pracy. Na końcu rozdziału zawarta jest teza pracy oraz jej zakres. Szkoda, że cel, teza i zakres pracy nie stanowią odrębnego rozdziału, gdyż praca zyskałaby na przejrzystości.

W drugim rozdziale Doktorant opisał charakterystykę obiegu wód procesowych w zakładach przeróbki podając zalety i wady poszczególnych typów obiegu (krótkich i długich).

Rozdział trzeci stanowi przegląd stanu wiedzy dotyczący wpływu jakości wód technologicznych na proces flotacji. W poszczególnych podrozdziałach scharakteryzowano wpływ takich czynników jak pH, zasolenie, obecne odczynniki oraz inne czynniki, które mogą mieć wpływ na proces flotacji (np. zawartość drobnych części stałych i azotanów). W rozdziale tym ciekawe jest sumaryczne zestawienie wpływu poszczególnych parametrów jakościowych wód na flotację.

Kolejny rozdział opisuje charakterystykę Systemu Gospodarki Wodami i Odpadami flotacyjnymi (SGWO) w KGHM Polska Miedź S.A. Doktorant kompleksowo opisał system z podziałem na wody kopalniane, technologiczne oraz zrzutowe. Dokonał także analizy bilansu wodnego SGWO w oparciu o rzeczywiste dane historyczne odpływów i dopływów z lat 2017-2020. Ostatni podrozdział jest bilansem wodnym SGWO obliczonym za pomocą programu BILCO.

W rozdziale szóstym Doktorant krótko opisał technologię przeróbki rud w O/ZWR KGHM PM S.A., opisał charakterystykę nadawy oraz podał wskaźniki technologiczne uzyskiwane w latach 2014-2021 w O/ZWR. Ponadto, porównał zużycie odczynników flotacyjnych w tym okresie oraz zużycie wód w procesie technologicznym w latach 2017-2019.

Rozdział siódmy dotyczy badań laboratoryjnych nad wpływem zasolenia na flotację rud miedzi. Doktorant wykonał badania na próbce pozyskanej z ciągu technologicznego KGHM PM S.A. O/ZWR rejon Polkowice. Badania zaplanował przy pomocy metodyki Design of Experiments dla pełnej rozdzielczości testów na poziomie V.

Rozdział ósmy jest kluczowym rozdziałem w pracy i dotyczy analizy wpływu parametrów jakościowych wód na współczynniki technologiczne procesu wzbogacania. W rozdziale tym Doktorant dokonał analizy czynnikowej parametrów przemysłowych za pomocą analizy składowych głównych (Principal Component Analysis – PCA) dla wszystkich trzech oddziałów ZWR. Następnie dokonał analizy danych przemysłowych i opisał korelacje związane z wpływem zasolenia (stężenia chlorków) na zużycie odczynników flotacyjnych oraz na wskaźniki technologiczne, także przeanalizował wpływ temperatury na zużycie odczynników flotacyjnych. W podrozdziale 8.1

Doktorant zastosował skrypt do uczenia maszynowego w celu analizy istotności wpływu zmiennych tj. temperatury powietrza, stężenia chlorków, stężenia substancji rozpuszczonych oraz stężenia siarczanów na zużycie odczynnika pianotwórczego.

Rozdział dziewiąty stanowią wnioski i krótkie rekomendacje, które w ocenie recenzenta są nieco zbyt ogólnikowe.

Układ pracy jest logiczny, aczkolwiek zawartość rozdziałów pracy mogłaby lepiej korespondować z tytułami rozdziałów. Czytając prace odnosi się także wrażenie, że dane analizowane w poszczególnych rozdziałach pracy nie są w pełni spójne z tytułami rozdziałów, np. tytuł rozdziału 8.1 „Zastosowanie uczenia maszynowego do analizy wpływu parametrów jakościowych wód technologicznych na parametry technologiczne” dotyczy *de facto* istotności wpływu temperatury powietrza, stężenia chlorków, substancji i siarczanów na zużycie odczynnika pianotwórczego, a więc nie są to pełne parametry technologiczne. Doktorant nie jest też konsekwentny w stosowaniu terminów technicznych np. w rozdziale 8.1 raz używa pojęcia zużycie odczynnika pianotwórczego, a raz odczynników flotacyjnych (być może są to odrębne dane ale powinno to być zaznaczone). Szczegółowe uwagi dotyczące tego problemu przedstawione są także w dalszej części recenzji. Doktorant odpowiednio przedstawia wprowadzenie do zastosowanych metod badawczych i dobrze je opisuje. Przygotowanie pracy pod względem edytorskim i graficznym jest poprawne, aczkolwiek niektóre rysunki powinny mieć większą czcionkę (np. Rys. 5.2). W pracy zdarzają się błędy literowe i interpunkcyjne oraz powtórzenia. Niektóre zdania są niezrozumiałe np. str. 23 „Analizy składu jakościowego wód technologicznych w O/ZWR wykonywane są nieregularnie i wyłącznie na potrzeby aktualnie prowadzonych projektów. Natomiast wody te są codziennie badane podczas prowadzenia ich zrzutów do rzeki Odry”; Str. 71 „Zużycie odczynnika pianotwórczego i zbieracza są ujemnie skorelowane z pierwszą i drugą składową główną, a zatem czym wyższe ich wartości tym mniejsza ich wartość.”

**Przyjęty cel pracy jest dobrze uzasadniony i proponuje zastosowanie nowatorskiego podejścia do rzeczywistego problemu, który obserwowany jest w warunkach przemysłowych. Przyjęta w pracy metodologia jest prawidłowa i pomimo tego, że nie wykazano istotnych korelacji pomiędzy zużyciem odczynników flotacyjnych a parametrami wód (głównie stężeniem chlorków oraz temperaturą) w warunkach KGHM PM S.A., może być zastosowana po zmianie układów technologicznych lub też w innych zakładach wzbogacania, także innych surowców. Metodologia ta pozwala na stosunkową szybką ocenę zależności i posiada duży wymiar praktyczny.**

**Zastosowane metody badawcze posiadają walory naukowe i pod tym względem praca w pełni spełnia warunki pracy doktorskiej.**

### **3. Merytoryczna ocena pracy**

Poprawa efektywności procesu wzbogacania rud miedzi jest tematem, który jest bardzo istotny i stanowi przedmiot badań na całym Świecie. Niewielka poprawa uzysku metalu w koncentracie pozwala w dłuższej perspektywie czasowej uzyskać wymierne korzyści ekonomiczne. Jednocześnie obniżenie kosztów operacyjnych, związanych między innymi z redukcją ilości zastosowanych odczynników flotacyjnych, również przyczyniają się do obniżenia kosztów końcowych przeróbki miedzi. Węzły operacji głównych są decydującymi punktami układu technologicznego wzbogacania, gdyż tu wydzielane są końcowe odpady flotacyjne i powstają główne straty metalu, rzutujące na ekonomikę procesu wzbogacania w KGHM PM S.A. Istnieje oczywiście wiele sposobów zwiększenia skuteczności wzbogacania, gdzie zazwyczaj największą uwagę skupia się na procesach przygotowania nadawy do procesu flotacji (mielenia) lub też poprawienie skuteczności samego procesu flotacji poprzez optymalizację jego parametrów. W recenzowanej pracy Doktorant skupił się na problemie, któremu zazwyczaj poświęca się mniej uwagi, a mianowicie wpływie jakości wód technologicznych na proces wzbogacania. Problem ten, ze względu na wysoki stopień skomplikowania procesu fizykochemicznego wzbogacania rud miedzi, jest złożony i Doktorant w celu udowodnienia swojej tezy musiał przyjąć odpowiednie założenia, które pozwalałyby na realizację tematu pracy w zakresie odpowiadającym ramom pracy doktorskiej. Zastosowane metodyki badawcze oraz zakres przeprowadzonych badań i analiz pozwoliły w pełni na osiągnięcie tego celu. Zastosowana metodyka badawcza i analiza stanu obecnego Systemu Gospodarki Wodami i Odpadami KGHM PM S.A. pozwoliła na dobre uzasadnienie genezy pracy. Część eksperymentalna pracy dotycząca badań laboratoryjnych flotacji potwierdza, że Doktorant potrafi zaprojektować i przeprowadzić eksperyment badawczy. Z kolei w rozdziale dotyczącym analizy wpływu parametrów jakościowych wód na współczynniki technologiczne procesu udowodnił, że potrafi analizować duże zbiory danych rzeczywistych i obserwować korelacje, które zachodzą pomiędzy różnymi czynnikami. Doktorant wykazał się dobrą znajomością metod statystycznych, a także umiejętnością ich zastosowania w inżynierii mineralnej. Zastosowane metody badawcze są adekwatne do postawionego problemu badawczego. Uważam, że omówienie wyników analiz, chociaż momentami nieco lapidarne, oraz wysnute na tej podstawie wnioski dotyczące zachodzących zależności mają wymiar praktyczny.

**Na tej podstawie stwierdzam, że poziom merytoryczny pracy jest wysoki.**

#### **4. Uwagi szczegółowe**

Pomimo pozytywnej oceny pracy mam uwagi i pytania do przedstawionych treści, które wymagają wyjaśnienia:

- 1. W pracy nie znalazłem streszczenia w języku angielskim, który to element jest wymagany ustawowo (art. 187, pkt. 4 Ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym),**
2. Powołanie 29 jest źle opisane w spisie literatury. W tekście na stronie 7 znajduje się stwierdzenie dotyczące wód kopalnianych „W wodach tych mogą występować zanieczyszczenia w postaci wycieków diesla, oleju (...)”. Czy mogę prosić o dane dotyczące zanieczyszczenia tymi substancjami wód dołowych?
3. We wstępie pracy (rozdział 3.3) Doktorant opisał wpływ pozostałych czynników na flotację i odnosi się do „drobnych części stałych”. W rozdziale 8 natomiast (Tabela 8.1) zidentyfikowano substancje rozpuszczone ogółem (Total Dissolved Solids – TDS, jak mniema recenzent) jako główne współczynniki mające wpływ na składowe główne. Dlaczego we wstępie nie opisano wpływu zawartości Całkowitych rozpuszczonych substancji stałych jako czynników mających wpływ na proces flotacji. Pomiar taki jest bardzo prosty i często właśnie ten parametr wykorzystywany jest do oceny jakości wód.
4. Na str. 23 w podrozdziale dotyczącym wód technologicznych pada stwierdzenie „(...) Wody deszczowo-przemysłowe dostarczane są do sieci okresowo i w tak małych ilościach, że nie mają większego wpływu na charakterystykę jakościową wód technologicznych”. Na stronie 29 Doktorant twierdzi „Drugim, co do wielkości strumieniem wód wprowadzanych do SGWO są opady atmosferyczne.” Na stronie 21 opisując dopływy pierwotne zaznacza, że ostatnim źródłem dopływów są wody opadowe, których ilości w skali roku szacowane są na ok. 5,6-8,0 mln m<sup>3</sup> wobec dopływu wód kopalnianych na poziomie 27,5 mln m<sup>3</sup>. Proszę o jednoznaczne wyjaśnienie.
5. Nie do końca jest zrozumiałe, na jakiej podstawie dobrano stężenia chlorku sodu w badaniach laboratoryjnych flotacji na poziomie maksymalnym 82 g/dm<sup>3</sup> jeśli najwyższa wartość stężenia chlorków sodu w wodach technologicznych O/ZWR Rudna na przestrzeni lat 2014-2020 wyniosła 48,2 g/dm<sup>3</sup>. Punkt centralny przyjęty dla testów to stężenie 41 g/dm<sup>3</sup> czyli nieco poniżej dawki maksymalnej. Jak te badania mają się do warunków rzeczywistych i skąd przyjęta wartość maksymalna?
6. Na rys. 8.21 brakuje opisu osi odciętych. W pierwszej części wykresu zależność stężenia chlorków od temperatury powietrza nie jest szczególnie widoczna. Skąd te rozbieżności?

7. Podrozdziały 8.2.3.1 mają złą numerację.

## **8. Wniosek końcowy**

Powyższe uwagi mają charakter porządkowy i powinny zostać zastosowane przed dalszą publikacją wyników pracy. Jednoznacznie stwierdzam, że rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Doktorant wykazał się umiejętnością formułowania problemów naukowych, samodzielnego prowadzenia badań oraz dokonywania analiz wyników. Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mieści się w dyscyplinie naukowej Inżynieria chemiczna, a Doktorant wykazał się bardzo wysokim poziomem wiedzy teoretycznej i praktycznej.

Stwierdzam, że praca doktorska mgr inż. Kajetana Witeckiego pt. „Wpływ zmienności parametrów jakościowych wód technologicznych na wzbogacalność polskich rud miedzi” w pełni odpowiada warunkom określonym ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2023, poz. 742 z późn. zmianami) i wnoszę o dopuszczenie jej przez Radę Dyscypliny Naukowej Inżynieria Chemiczna Politechniki Wrocławskiej do publicznej obrony.

Gliwice 22.12.2023 r.

A handwritten signature in green ink, appearing to read 'Marcin Julek', is written over the date.