



Prof. dr hab. inż. Marcin Banach

Kraków, dnia 11 grudnia 2023 roku

## RECENZJA

pracy doktorskiej mgr. inż. Kajetana Witeckiego

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

wykonanej na Wydziale Chemii Politechniki Wrocławskiej

Promotor: dr hab. inż. Izabela Polowczyk

Promotor pomocniczy: dr hab. inż. Przemysław Kowalczyk

Podstawą opracowania recenzji jest uchwała Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Chemiczna Politechniki Wrocławskiej z dnia 11 października 2023 roku w sprawie wyznaczenia recenzentów w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria chemiczna Panu mgr. inż. Kajetanowi Witeckiemu.

Flotacja jest jedną z najczęściej stosowanych metod wzbogacania rud. Jest to złożony proces zależny od licznych parametrów. W procesach flotacji powszechnie stosowane są spieniacze, co umożliwia utworzenia trwałych pian i wzrost efektywności rozdziału. Wzrost efektywności procesu flotacji osiągany jest również przez zastosowanie zasolonych wód czerpanych z wyrobisk podziemnych. Wykorzystanie wód zasolonych w procesach wzbogacania pozwala na ich recyrkulację i ograniczenie zrzutu do cieków wodnych, ma więc charakter prośrodowiskowy. Planowane i kontrolowane wykorzystanie wód zasolonych w procesach technologicznych jest również istotne z ekonomicznego punktu widzenia, ponieważ umożliwia zmniejszenie zużycia spieniaczy i wzrost efektywności prowadzonych procesów wzbogacania.

Podjęta w pracy tematyka związana z procesem modelowania wpływu parametrów wód technologicznych na proces wzbogacania rud miedzi jest ważna z punktu widzenia ochrony środowiska i ekonomii.

Celem prac badawczych, których wyniki zaprezentowano w recenzowanej pracy doktorskiej było określenie wpływu wybranych parametrów wód technologicznych na efektywność wzbogacania rud miedzi. Zagadnienie to rozpatrzone zostało z perspektywy obiegu wód technologicznych KGHM Polska Miedź S.A.

Zakres pracy obejmował analizę ciągu technologicznego gospodarki wodami i odpadami flotacyjnymi, badania flotacji w skali laboratoryjnej, analizę rzeczywistych danych przemysłowych, redukcję wielowymiarowości charakterystyki parametrycznej rejonów Oddziału Zakłady Wzbogacania Rud KGHM Polska Miedź S.A. oraz opracowanie modeli empirycznych pozwalających na predykcję wskaźników technologicznych flotacji w zależności od parametrów jakościowych wykorzystywanych wód.

Tematyka pracy jest aktualna, a postawiony cel jest szczególnie istotny ze względów użytkowych.

Praca doktorska liczy 123 strony, cytuje 101 pozycji literaturowych (52 pozycje opublikowane w ostatnim dziesięcioleciu), 67 rysunków oraz 61 tabel.

Pracę rozpoczyna spis treści oraz wykaz symboli, oznaczeń i skrótów, a następnie jako rozdział 1 Wstęp. Kolejno znajdują się rozdziały prezentujące charakterystykę obiegu wód procesowych zakładów przeróbki rud (Rozdział 2), wpływ jakości wód technologicznych na flotację (Rozdział 3), charakterystykę Systemu Gospodarki Wodami i Odpadami flotacyjnymi KGHM Polska Miedź S.A. (Rozdział 4), bilans wodny SGWO KGHM Polska Miedź S.A. (Rozdział 5), uwarunkowania techniczno-technologiczne Oddziału Zakłady Wzbogacania Rud KGHM Polska Miedź S.A., wyniki badań laboratoryjnych wpływu zasolenia na flotację polskich rud miedzi (Rozdział 7), wpływ parametrów jakościowych wód na współczynniki technologiczne procesu wzbogacania (Rozdział 8), wnioski i rekomendacje (Rozdział 9), spis literatury oraz spisy rysunków i tabel.

Układ pracy nie jest typowy. Szczególnie zauważalny jest brak wyodrębnionej części prezentującej cel i zakres pracy oraz rozdziału zawierającego informacje na temat stosowanych materiałów i odczynników, metodyki badań, technik instrumentalnych i metod badawczych. Metodyka badawcza prezentowana jest fragmentami w poszczególnych rozdziałach. Cel pracy zdefiniowany jest w ostatnim rozdziale prezentującym wnioski.



Praca jest poprawnie zredagowana. W treści znajdują się nieliczne niedociągnięcia językowe dotyczące interpunkcji, gramatyki i składni. Układ i opracowanie graficzne tekstu są poprawne.

Rozdział rozpoczynający pracę stanowi wprowadzenie do podejmowanej w pracy tematyki. Autor nawiązał do wpływu jakości wód technologicznych na procesu wzbogacania rud odnosząc się przy tym do Systemu Gospodarowania Wodami i Odpadami flotacyjnymi KGHM Polska Miedź S.A, bilansu wodnego, obiegów wodnych oraz zmienności jakości wód. Wstęp kończy prezentacja postawionej przez Autora tezy, że zmienność parametrów wód technologicznych wpływa na wskaźniki technologiczne procesu wzbogacania polskich rud miedzi oraz zakresu pracy obejmującego analizę rzeczywistego ciągu technologicznego, badania flotacji w skali laboratoryjnej zmierzające do określenia wpływu parametrów jakościowych wody i dozowania zbieracza oraz spieniacza na efektywność procesu wzbogacania, analizę danych przemysłowych oraz opracowanie modeli empirycznych pozwalających na predykcję wskaźników technologicznych w zależności od parametrów jakościowych wód.

W kolejnych rozdziałach, które można traktować jako elementy części literaturowej pracy, Doktorant zaprezentował informacje dotyczące:

- charakterystyki obiegów wód procesowych zakładów przeróbki rud, obiegów krótkich i długich wód technologicznych,
- wpływu jakości wód technologicznych na flotację, w tym pH, zasolenia, dodatkowych odczynników i innych czynników,
- zarządzania gospodarką wodną i jakością wód.

Rozdziały 4 i 5, w których Autor dokonał charakterystyki Systemu Gospodarki Wodami i Odpadami flotacyjnymi KGHM Polska Miedź S.A. poprzez prezentację rozwiązań w zakresie gospodarki wodami oraz jakości wód krążących w SGWO, a także zaprezentował bilans wodny SGWO (szczegółowe dane prezentujące dopływy i odpływy, wielkości strumieni bilansowych oraz wyniki bilansowania układu) są trudne do zakwalifikowania do jednej z dwóch zasadniczych części pracy doktorskiej: literaturowej albo doświadczalnej. Prezentują bowiem informacje o rzeczywistym systemie i w przypadku typowego układu pracy mogłyby stanowić element rozdziału poświęconego źródłom surowców, ich charakterystyce i zastosowanej w pracy metodyce badawczej albo nawet pierwszy rozdział prezentujący wyniki. Konieczne byłoby jednak bardziej precyzyjne określenie wkładu Doktoranta w opracowaniu tych wyników, w szczególności wykonaniu bilansu. Prezentacja informacji w rozdziale 5 poprzedzona została adnotacją o źródle wyników („szereg prac realizowanych przez KGHM Cuprum Sp. z o.o. Centrum Badawczo-

Rozwojowe”), natomiast brakuje jasnej deklaracji, czy sam bilans wodny SGWO został wykonany przez Doktoranta, czy również stanowi wynik działań Spółki. Jest to istotne, ponieważ zakres pracy obejmuje analizę ciągu technologicznego gospodarki wodami i odpadami flotacyjnymi.

Dotychczas omówioną część pracy oceniam pozytywnie. Doktorant zawarł w niej głównie związane informacje prezentujące tematykę związaną z zagadnieniami flotacji i stosowania w tym procesie wód zasolonych oraz rzeczywisty system gospodarki wodami technicznymi wraz z bilansem tych wód. Zaprezentowane informacje są istotne ze względów praktycznych. Prezentowana treść przesycona jest wiedzą fachową. Szczególnie wartościowe są praktyczne dane bilansowe i sam bilans wodny obrazujące skalę zagadnienia.

Analizując dotychczas omówioną treść recenzowanej pracy, nasunęły mi się pytania dotyczące błędów pomiarowych zestawionych w punkcie 5.3.1.2. pracy. Czy wartości błędów pomiarowych przyjęte zostały arbitralnie, czy są to wielkości oszacowane na podstawie chociażby zmienności w serii pomiarów? Jaka jest niepewność wyników końcowych bilansu dopływów i odpływów prezentowanego w tabeli 5.18 na stronie 42? Autor informuje bowiem w treści pracy o minimalizacji błędu przez algorytm oprogramowania BILCO, ale nie podaje jego ostatecznej wartości.

Typową część doświadczalną pracy rozpoczyna rozdział 6, w którym Doktorant przedstawił technologię przeróbki rud w Oddziale Zakłady Wzbogacania Rud KGHM Polska Miedź S.A., charakterystykę nadawy do procesów przeróbki, sposób obliczania i wartości wskaźników technologicznych wzbogacania, zużycie odczynników flotacyjnych oraz wody w analizowanych procesie. Dane zostały zestawione dla trzech rejonów O/ZWR: Lubin, Polkowice i Rudna.

Rozdział 7 pracy prezentujący wyniki badań laboratoryjnych flotacji rud miedzi, Autor rozpoczął od zestawienia informacji o zastosowanych w procesie flotacji materiałach i metodyce prowadzonych prac (przygotowaniu nadawy do testów flotacji, samego procesu flotacji oraz planowania eksperymentów).

W badaniach procesu flotacji w skali laboratoryjnej wykorzystano rudę miedzi oraz zbieracz (izobutylowi ksantogenian sodu, etylowy ksantogenian sodu) i spieniacz (eter monobutylowy glikolu polietylenowego) wykorzystywane w ciągu technologicznym z rejonu Polkowice. Procesy flotacji prowadzone w maszynie flotacyjnej Denver 911-MPE-D21-A poprzedzone zostały preparatyką nadawy w procesie mielenia. Prędkość obrotowa wirnika, przepływ objętościowy powietrza, gęstość pulpy flotacyjnej i objętość



komory flotacyjnej były parametrami stałymi w prowadzonych testach flotacji. Zmiennymi niezależnymi były dawka zbieracza, dawka odczynnika pianotwórczego oraz stężenie roztworu wodnego chlorku sodu. Jako zmienne zależne w badaniach przyjęto wychód produktów flotacji, zawartość miedzi w produktach flotacji oraz uzysk miedzi w produktach flotacji. Realizację prac badawczych oparto na planie kompletnym  $2^3$  wzbogaconym o jeden punkt centralny.

Plany frakcyjne  $2^{(k-p)}$  stosowane są w przypadkach opisywanych przez czynniki wejściowe przyjmujące dwa poziomy zmienności. Zatem wyznaczane z wykorzystaniem tego planu zależności pomiędzy zmiennymi zależnymi i niezależnymi mają charakter liniowy. Punkt centralny wprowadzany jest do planu w celu wykrycia ewentualnych zależności nieliniowych, ale nie pozwala na stosowanie jawnych modeli nieliniowych, a takie zależności prezentowane są na rysunkach 7.8-7.10. Powinny to być zależności liniowe. Wnioskowanie oparte na graficznej prezentacji wyznaczonych zależności może więc być obarczone błędem.

W wyniku przeprowadzonych badań Doktorant potwierdził istotny wpływ analizowanych parametrów procesu flotacji na właściwości półproduktów jak i uzyskiwanego produktu. Uzyskane rezultaty analizy statystycznej wyników doświadczeń zaprezentowane zostały w postaci graficznej (wykresy konturowe oraz powierzchniowe), a także w postaci równań modelowych. Wyznaczenie adekwatnych równań modelowych wskazuje na możliwość kontroli efektywności procesu wzbogacania poprzez odpowiednie dozowanie odczynników flotacyjnych, w tym zasolonej wody.

Zastrzeżenia budzi opis wyników prezentowanych na rysunkach. Dla przykładu Autor powołując się w tekście na rysunek 7.8 c stwierdza, że „prezentuje dwukierunkowe interakcje pomiędzy stężeniem NaCl, a dawką odczynnika pianotwórczego vs stężenie NaCl” (str. 65). W rzeczywistości rysunek ten (dokładnie dwa wykresy – poziomicowy i powierzchniowy) obrazuje zależność skumulowanego wychodu od stężenia NaCl i dawki odczynnika pianotwórczego.

Na tej samej stronie Autor stwierdza również, że „uzyskane wyniki pokazują, że najwyższe wychody produktów uzyskuje się przy maksymalnych wartościach każdej zmiennej”, podczas gdy wykresy zamieszczone na rys. 7.8 tego nie potwierdzają. Podpisy rysunków wymagają korekty – np. 7.8, 7.10.

W opisie wyników analizy statystycznej Autor używa sformułowania „największy wpływ” (np. str. 64). W pracy nie zostały zaprezentowane efekty eksperymentalne pozwalające określić wielkość wpływu zmiany wartości parametrów niezależnych na zależną, a jedynie wartości poziomów prawdopodobieństwa testowego, stąd ewentualnie uzasadnionym byłoby stwierdzenie o „najistotniejszym wpływie”, choć bez możliwości jego praktycznego wykorzystania.

W rozdziale 8 pracy Doktorant wykorzystując analizę składowych głównych dokonał przekształcenia pierwotnego zbioru dziesięciu zmiennych parametryzujących proces flotacji (tab. 8.1, str. 71) w nowy ortogonalny i zredukowany w wymiarowości zbiór czterech składowych głównych.

Podrozdział 8.1. zatytułowany został jako „Analiza czynnikowa danych przemysłowych”. W treści tego rozdziału Autor zaprezentował jednak podstawowe informacje o analizie składowych głównych i wyniki tej analizy. Analiza czynnikowa i analiza składowych głównych są to dwie różne techniki redukcji wielowymiarowości. Analiza składowych głównych opiera się na ortogonalnym przekształceniu zmiennych pierwotnych w nowy zbiór nieskorelowanych składowych. Analiza czynnikowa prowadzi do dekompozycji zmiennych pierwotnych w nowy zbiór nieskorelowanych zmiennych, wśród których wyróżnia się czynniki wspólne i swoiste.

Wśród zmiennych wykorzystanych do analizy składowych głównych (tab. 8.1, str. 71) nie znalazła się temperatura powietrza, która została wzięta pod uwagę w kolejnej grupie analiz – tworzeniu modeli predykcyjnych, a także inne możliwe do pozyskania zmienne, chociażby wspomniana na stronie 74 pracy „wielkość opadów”. Zmienne takie mogłyby w analizie składowych głównych stanowić grupę zmiennych dodatkowych. Nie byłyby one brane pod uwagę w trakcie obliczeń, ale mogłyby być rzutowane w układzie składowych głównych, co umożliwiłoby pozyskanie ze zgłębiania danych dodatkowych, niezwykle cennych informacji.

W opisie rezultatów analizy składowych głównych byłoby warto również zawrzeć informacje o przyjętym kryterium wyboru ilości składowych głównych.

Interpretując rozmieszczenie przypadków w przestrzeni dwóch pierwszych składowych głównych (strona 74, rys. 8.5) Autor stwierdził, że „wykorzystanie tylko dwóch składowych o łącznej wariancji 63,5%, pozwala na odpowiednie zakwalifikowanie do poszczególnych rejonów”. Graficzna prezentacja tego zagadnienia (rys. 8.5) nie potwierdza jednak tego wniosku, ponieważ przypadki z rejonów Polkowice i Rudna w znacznej części leżą w tej samej przestrzeni cech. W celu ich rozdzielenia konieczna jest jednak obserwacja w przestrzeni innej pary składowych.

W dalszej części rozdziału 8 zaprezentowane zostały dane przemysłowe obrazujące współzmiennność zasolenia wody (stężenia chlorków) i temperatury powietrza oraz zużycia odczynników pianotwórczych i zbieraczy, a także wpływ zasolenia na wskaźniki technologiczne w procesach wzbogacania prowadzonych w rejonach Polkowice, Lubin i Rudna.

Podczas interpretacji wyników prezentowanych w rozdziale 8.2 Autor powołuje się na wartość współczynnika korelacji liniowej Pearsona. Należy jednak zauważyć, że prezentowane w tym rozdziale



zależności nie mają charakteru liniowego, a zatem wartość tego współczynnika w żaden sposób nie odzwierciedla charakteru współzmienności.

W rozdziale 8.2 Autor zaprezentował zmienność ilości stosowanych zbieraczy i spieniacza w zależności od stężenia chlorków w wodzie i od temperatury powietrza. W mojej ocenie trendy liniowy albo wielowymiarowy wykorzystywane do uogólnienia tych zależności stanowią zbyt duże uproszczenie w obrazowaniu analizowanych przypadków, a przyjęta metoda nie pozwala na wykorzystanie informacji niesionych przez dane.

Uważam, że warto byłoby się zastanowić nad możliwością przeprowadzenia analizy zjawiska zmienności zużycia odczynników flotacyjnych w czasie przy znanych stężeniach chlorków w wodzie i temperaturze powietrza metodą opartą na analizie szeregów czasowych. Ponieważ rozpatrywane przypadki nie są procesami stochastycznymi, to analiza szeregów czasowych nie miałaby na celu uzyskania możliwości prognozowania przebiegu zjawiska (w tym celu Autor zastosował inne metody), a pozyskanie odpowiedzi na pytania dotyczące jego mechanizmów oraz możliwości symulacji (nie w pełni sterowalnej, ponieważ zmienna stężenie chlorków w zasolonej wodzie nie jest sterowalna, ale przyjmuje różne poziomy, co pozwala na obserwację efektów). Do analizy można wykorzystać np. wyrównanie wykładnicze albo kilkustopowy proces oparty na analizie trendu, wahań okresowych i reszt modelu całościowego. Można również zastosować metody zgłębiania danych, np. MARS albo sieci neuronowe.

Ostatnia część rozdziału 8 poświęcona została tworzeniu modeli predykcyjnych zużycia odczynników flotacyjnych w zależności od parametrów jakościowych wody oraz temperatury powietrza. Modelowanie prowadzono z wykorzystaniem metod lasu losowego, regresji liniowej oraz regresji logistycznej. Najwyższą zgodność pomiędzy wartościami rzeczywistymi a prognozowanymi otrzymano w przypadku zastosowania metody lasu losowego.

Podpisy rysunków 8.34, 8.37, 8.38, 8.39, 8.42, 8.43, 8.44, 8.47, 8.48 nie są poprawne. Rysunki nie są graficzną prezentacją modeli. Prezentują wykresy rozrzutu wartości przewidywanych względem obserwowanych. Ułożenie punktów na tego typu wykresach potwierdza dobre dopasowanie modelu albo mu zaprzecza.

Autor o adekwatnościach opracowanych modeli predykcyjnych wnioskuje na podstawie wartości współczynnika determinacji. Wyznaczone zostały jednak również błędy średniokwadratowe, których stosowanie w przypadku modeli nieliniowych jest bardziej uzasadnione. Znajduje to odzwierciedlenie we wnioskach Autora o zdolnościach prognostycznych modeli w różnych rejonach. Autor stwierdza bowiem (strona 103), że „zdolności predykcyjne modelu bazującego o las losowy dla zużycia odczynników

pianotwórczych w rejonie Lubin są znacznie mniejsze od pozostałych dwóch rejonów”, albo w przypadku rejonu Rudna, że „zdolności predykcyjne modelu opartego o las losowy są bardzo wysokie, lecz niższe niż dla modelu predykcyjnego opracowanego w O/ZWR rejon Polkowice”. Współczynniki determinacji modelu wyznaczonego dla rejonu Lubin (0,92 dla próby uczącej oraz 0,51 i 0,52 dla próby testowej) rzeczywiście są niższe niż dla rejonów Polkowice (0,96 i 0,97 dla próby uczącej oraz 0,77 i 0,80 dla próby testowej) i Rudna (0,95 i 0,96 dla próby uczącej oraz 0,62-0,67 dla próby testowej) ale wartości błędów średniokwadratowych nie potwierdzają takiej hierarchii zdolności predykcyjnych modeli. W przypadku modeli dla rejonów Lubin i Rudna błędy średniokwadratowe są znacznie niższe niż modelu dla rejonu Polkowice.

Biorąc powyższe pod uwagę należy stwierdzić, że najlepsze zdolności predykcyjne modeli wyznaczonych dla rejonu Rudna osiągnięto przy zastosowaniu 10% udziału próby testowej, a nie jak stwierdził Autor (str. 106) w przypadku 50% udziału tej próby.

Recenzowaną pracę doktorską kończy rozdział 9 zatytułowany Wnioski i rekomendacje. Ogólnie sformułowane wnioski w znacznej części są poprawne. W części dotyczącej modeli predykcyjnych opierają się na wartościach  $R^2$ , które jak wskazano powyżej nie są w pełni odpowiednim miernikiem i powinny zostać zastąpione wartościami błędów średniokwadratowych. Dyskusyjnym są również przeciwstawne w treści wnioski dotyczące wyników analizy składowych głównych i braku korelacji pomiędzy zużyciem odczynników flotacyjnych i parametrami wód.

Autor, jak już wspomniano wcześniej, powołuje się na wartość współczynnika korelacji liniowej Pearsona, a rozpatrywane zależności nie mają charakteru liniowego. Wartość tego współczynnika nie odzwierciedla więc siły współzmienności. Tymczasem Autor wnioskuje o braku istotnej korelacji pomiędzy zmiennymi (testy istotności nie zostały przeprowadzone). Jednocześnie Autor stwierdza, że wyniki analizy składowych głównych potwierdziły możliwość redukcji ilości zmiennych. Analiza składowych głównych pozwala na redukcję wymiarowości tylko w przypadku analizy zmiennych powiązanych – skorelowanych (zależność również powinna być liniowa). W przeciwnym wypadku każda zmienna stanowiłaby osobną składową.

W trakcie studiowania części doświadczalnej przedstawionej mi do recenzji rozprawy zauważyłem pewne nieścisłości, o których wyjaśnienie proszę:

- 1) Na podstawie wyników procesu flotacji utworzone zostały modele empiryczne tego procesu. Pozwoliło to na ocenę istotności wpływu zmiennych niezależnych na zmienne zależne.



W prezentowanych modelach (tab. 7.10 str. 70) znajdują się również parametry stałe, których potwierdzenia istotności nie zaprezentowano. Czy stałe w tych modelach są istotne statystycznie przy przyjętym poziomie istotności? Czy modele są adekwatne? Potwierdzeniem mogłyby być chociażby wyniki analizy wariancji.

- 2) Przekształcenia zmiennych pierwotnych w nowe, wzajemnie ortogonalne zmienne można dokonać stosując analizę głównych składowych. Podstawą celowości jej przeprowadzenia jest jednak fakt, że tylko część informacji wnoszonej przez każdą ze zmiennych pierwotnych jest swoista, a reszta jest powtórzeniem informacji wnoszonej przez inne zmienne. Analiza ta powinna więc zostać poprzedzona analizą korelacji w zbiorze zmiennych pierwotnych.

Analiza składowych głównych jest efektywna w przypadku zastosowania jej do analizy danych, które wcześniej zostały odpowiednio przygotowane. Celowym jest, aby wartości średnie wszystkich zmiennych pokrywały się z początkiem układu współrzędnych. Ponadto PCA bazuje na analizie wariancji zmiennych, więc wyniki zależą od zasobu zmienności każdej zmiennej, a on zależy m.in. od jednostek, w jakich wyrażane są zmienne. Przed wykonaniem analizy składowych głównych należy, więc zapewnić wyrównanie zasobów zmienności w każdej ze zmiennych. Uzyskuje się to przez odpowiednią transformację zmiennych. Najczęściej stosowanym zabiegiem jest autoskalowanie (standaryzacja) zmiennych, która łączy w sobie centrowanie i skalowanie wariancyjne.

Czy zmienne wykorzystane do PCA zostały odpowiednio przygotowane do przeprowadzenia tej analizy?

- 3) Jaki był cel analizy danych w krótkich okresach (str. 79)? W krótkich okresach nie jest zauważalny trend.
- 4) W podrozdziale 8.1 (str. 98) Autor stwierdził, że „informacje pozyskane w ramach określania trendów zmiany wskaźników technologicznych w zależności od parametrów jakościowych wód technologicznych wykorzystane zostały do wyodrębnienia przypadków, w których trend wskazywał na możliwość opracowania modeli predykcyjnych”. Proszę o bardziej szczegółowe przedstawienie założeń takiego postępowania. Podczas analizy trendów rozpatrywano współzmiennność parametrów w określonych okresach, a podczas modelowania wydaje się, że czas potraktowano jako zmienną o charakterze ciągłym.
- 5) Dlaczego zdecydowano się wykorzystać analizy regresji liniowej i logistycznej do modelowania prognostycznego? Obserwowane zależności nie mają charakteru liniowego ani zmienna zależna nie jest dychotomiczna.

- 6) Do opracowania modeli predycyjnych (podrozdział 8.1) wykorzystano cztery zmienne (trzy spośród zmiennych analizowanych metodą składowych głównych oraz temperaturę powietrza). Potwierdzono istotność wpływu tych zmiennych na zdolność predykcji opracowywanych modeli. Czy możliwym, a może celowym byłoby wykorzystanie do tworzenia modeli predycyjnych zmiennych ortogonalnych otrzymanych metodą składowych głównych? Wyeliminowanie współzmienności mogłoby polepszyć zdolności predycyjne modeli.

Podsumowując ocenę pracy doktorskiej mgr. inż. Kajetana Witeckiego stwierdzam, że wstęp do pracy oraz zaprezentowane dane literaturowe wskazują na aktualność podejmowanej tematyki badawczej, zaplanowane eksperymenty oraz dobór metod badawczych i analizy wyników świadczą o tym, że Doktorant posiada odpowiednią wiedzę w dyscyplinie inżynieria chemiczna.

Postawiony cel pracy, przyjęty zakres badań oraz wykonane badania i analizy potwierdzają umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez mgr. inż. Kajetana Witeckiego. W recenzowanej rozprawie doktorskiej Autor podjął się trudnego zadania zastosowania podstawowych oraz zaawansowanych technik chemometrycznych do analizy wyników skomplikowanego procesu technologicznego i oceny możliwości zastosowania osiągniętych rezultatów w praktyce przemysłowej, co stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i technologicznego.

Stwierdzam, że przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr. inż. Kajetana Witeckiego pt. „Wpływ zmienności parametrów jakościowych wód technologicznych na wzbogacalność polskich rud miedzi” spełnia warunki określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2023 r., poz. 742 z późn. zm.). Wnoszę o dopuszczenie mgr. inż. Kajetana Witeckiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

