

Prof. dr hab. inż. Krzysztof Galos
Instytut Gospodarki Surowcami
Mineralnymi i Energią PAN, Kraków
Email: krzysztof.galos@min-pan.krakow.pl

Kraków, 4.10.2023

RECENZJA

pracy doktorskiej mgr. inż. Wojciecha Kaczana pt. „Identyfikacja, metody pozyskania i wykorzystanie metali krytycznych na Dolnym Śląsku”

1. Podstawa formalna recenzji

Przedmiotową recenzję rozprawy doktorskiej mgr. inż. Wojciecha Kaczana pt. „Identyfikacja, metody pozyskania i wykorzystanie metali krytycznych na Dolnym Śląsku” opracowałem jako recenzent wyznaczony przez Radę Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Wrocławskiej. Zlecenie w tej sprawie wystosował do mnie Przewodniczący Dyscypliny – dr hab. inż. Robert Król, prof. PWR w dniu 21 lipca 2023 r. (data otrzymania 7.08.2023).

Recenzja została wykonana zgodnie z wymogami obowiązującej Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce. Zgodnie z ustawą (art. 187 ust. 1 i 2) rozprawa doktorska powinna „prezentować ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie albo dyscyplinach oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej”, natomiast przedmiotem rozprawy doktorskiej powinno być „oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej lub społecznej albo oryginalne dokonanie artystyczne”.

Zdaniem Recenzenta przedstawiona rozprawa pod względem merytorycznym mieści się w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

2. Ogólna charakterystyka rozprawy

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr. inż. Wojciecha Kaczana pt. „Identyfikacja, metody pozyskania i wykorzystanie metali krytycznych na Dolnym Śląsku”. Promotorami pracy są prof. dr hab. inż. Herbert Wirth oraz prof. dr hab. inż. Adam Piestrzyński.

Praca składa się z dziewięciu rozdziałów, jak również ze spisu załączników, słownika wykorzystanych pojęć, spisu tabel, spisu obrazów i wykresów, spisu literatury, streszczeń w języku polskim i angielskim oraz załączników. Praca liczy 190 stron, w tym główna część pracy – 142 strony. Zawiera 64 obrazy i wykresy, 23 tabele oraz 7 załączników. W spisie literatury znajduje się 191 pozycji literatury.

Struktura pracy jest poprawna, choć jej ostateczna zawartość i struktura mogłaby być lepiej usystematyzowana. Strona formalna pracy jest właściwa. Praca jest napisana dobrym językiem pod względem stylistycznym. Pod względem redakcyjnym praca jest przygotowana starannie. Bez wątplenia można stwierdzić, że autor rozprawy wykazał się umiejętnością pisania prac o charakterze naukowym.

3. Charakterystyka tematu oraz celu rozprawy

Tematyka rozprawy doktorskiej mgr. inż. Wojciecha Kaczana pt. „Identyfikacja, metody pozyskania i wykorzystanie metali krytycznych na Dolnym Śląsku” jest ważna zarówno z naukowego, jak i – potencjalnie – z praktycznego punktu widzenia. Praca proponuje pewne rozwiązania metodyczne dotyczące w szczególności oceny potencjału do produkcji ważniejszych metali krytycznych na terenie Dolnego Śląska, przy czym chodzi tu zarówno o potencjał w obszarze geosfery (tzw. zasoby geogeniczne, inaczej: geologiczne), jak i antroposfery (tzw. zasoby antropogeniczne). W mniejszym zakresie propozycje te dotyczą rozwiązań w zakresie technologii pozyskiwania tych metali, marginalnie – w zakresie ich użytkowania, ale uwzględnienie tych aspektów pozwala zobaczyć pewien zarys obrazu cyklu życia analizowanych metali krytycznych na Dolnym Śląsku. Tematyka ta w takim szerokim – zwłaszcza pod względem stosowanych metod – ujęciu do tej pory nie była w Polsce podejmowana.

Doktorant w rozprawie nie przedstawił w sposób jasny celów tej pracy. Zdefiniował jednak jeden główny problem badawczy:

Czy na Dolnym Śląsku występują potencjalne źródła metali krytycznych w utworach geogenicznych i antropogenicznych?

a także dwa szczegółowe problemy badawcze:

Czy znane obszary wystąpień mineralizacji polimetalicznych na Dolnym Śląsku mogą stanowić potencjał złożowy metali krytycznych?

Czy potencjał metali krytycznych w utworach antropogenicznych na Dolnym Śląsku jest określany przy wykorzystaniu systematycznych prac poszukiwawczo-rozpoznawczych?

Do tak postawionych problemów badawczych Doktorant sformułował hipotezę ogólną:

Na Dolnym Śląsku występują nagromadzenia metali krytycznych w utworach geogenicznych i antropogenicznych, które w przyszłości mogą stać się przedmiotem eksploatacji.

a także dwie hipotezy szczegółowe:

Systematyczna analiza znanych wystąpień utworów polimetalicznych na Dolnym Śląsku, oparta o zasady gospodarki o obiegu zamkniętym i analizę ekonomiczną, pozwala na określenie ich potencjału metali krytycznych.

Systematyczna metodyka poszukiwawczo-rozpoznawcza, oparta o analizę historyczną i ekonomiczną, pozwala na wyselekcjonowanie obszarów podwyższonego potencjału metali krytycznych na Dolnym Śląsku.

Aby odpowiedzieć na w/w problemy badawcze oraz potwierdzić postawione hipotezy badawcze, Doktorant w pierwszej kolejności poddał szczegółowej analizie pojęcie surowców krytycznych (w tym w szczególności metali krytycznych), metody ich poszukiwania i rozpoznawania w geosferze i antroposferze, kierunki wykorzystania tych metali i kształtowanie się ich cen, jak również wstępną ocenę potencjału metalogenicznego Dolnego Śląska. W dalszej kolejności rozważył i przedstawił główne metody badawcze do prowadzenia analiz pod kątem udowodnienia w/w hipotez, proponując także własne, oryginalne podejścia metodyczne w tym względzie. Prezentując rezultaty badań przy uwzględnieniu zaproponowanego zespołu metod badawczych, Doktorant w pierwszej kolejności poddał analizie wybrane aspekty ekonomiczne oceny potencjalnych źródeł niektórych metali krytycznych na Dolnym Śląsku (w szczególności dotyczące cen, w tym cen ekwiwalentnych), a także podstawowe wyzwania dla potencjalnych projektów geologiczno-górnictwa w odniesieniu do zasobów metali krytycznych na każdym etapie cyklu życia projektu. Główne rezultaty wykonanych prac dotyczyły oceny potencjału geosfery i antroposfery Dolnego Śląska do produkcji wybranych metali krytycznych, częściowo także pod kątem niezbędnych metod ich pozyskiwania. W marginalny tylko sposób zasygnalizował on natomiast zagrożenie wykorzystania gospodarczego metali krytycznych na Dolnym Śląsku. Przedstawione na końcu pracy – dyskusja, podsumowanie i wnioski - pozwoliły na potwierdzenie postawionych hipotez badawczych, choć co do niektórych aspektów wyniki pracy pozostawiają pewien niedosyt (o czym poniżej).

Bez wątplenia jednak zaproponowane w niniejszej pracy kompleksowe rozwiązania metodyczne w zakresie oceny potencjalnych źródeł metali krytycznych w utworach geogenicznych i antropogenicznych mogą stanowić ważny, być może nawet wzorcowy zestaw wytycznych pod kątem określenia

potencjału do pozyskiwania metali krytycznych na danym obszarze. Kwestia ta jest aktualna i ważna, gdyż zaproponowanie właściwych rozwiązań metodycznych mających na celu optymalną ocenę zasobów geogenicznych i antropogenicznych będących źródłem metali krytycznych może okazać się ważnym elementem prac przygotowawczych do potencjalnego przyszłego wykorzystania takich źródeł. Na tej podstawie można stwierdzić, iż właśnie głównie dzięki tym cechom rozprawa doktorska zawiera oryginalne rozwiązanie postawionego problemu, mając potencjalnie także i istotny wymiar praktyczny.

4. Ogólne omówienie pracy

Jak już wcześniej wspomniano, rozprawa doktorska składa się z dziewięciu rozdziałów.

W rozdziale wprowadzającym Doktorant przedstawia, jakie czynniki stały się inspiracją do podjęcia tematu rozprawy, poddaje wstępnej analizie znaczenie tej tematyki, wstępnie prezentuje zakres i strukturę pracy, wreszcie – stawia pytania i hipotezy badawcze.

Bardzo obszerny rozdział drugi poświęcony jest studium literatury przedmiotu, w szczególności w zakresie surowców krytycznych (pojęcie surowców krytycznych, metodyka ich wyznaczania, występowanie ich źródeł w skorupie ziemskiej, główni producenci), globalnych wyzwań branży surowcowej (m.in. łańcuchy dostaw, decoupling, rozwój gospodarki o obiegu zamkniętym, cele zrównoważonego rozwoju ONZ), metod poszukiwania i rozpoznawania metali krytycznych w geosferze i antroposferze, kierunków wykorzystania i cen metali krytycznych, wreszcie – potencjału metalogenicznego Dolnego Śląska (z koncentracją na 4 najważniejszych obszarach metalonośnych).

W rozdziale trzecim Doktorant prezentuje wykorzystane materiały źródłowe (dotyczy to głównie analiz rynkowych oraz materiałów do oceny potencjału geogenicznego i antropogenicznego), a następnie omawia zastosowane w pracy metody badawcze. Te ostatnie są wysoce zróżnicowane. Zwracają uwagę autorskie propozycje Doktoranta dotyczące metodyki analizy utraty metali w procesie górniczym oraz metodyki historycznego poszukiwania i rozpoznawania kopalin. Omówiono także zastosowane w pracy metody analizy geostatystycznej, badań mineralogicznych pod mikroskopem kruszcowym i mikrosondą elektronową, metoda ustalania zawartości ekwiwalentnej metali, wreszcie metodyka gęstościowo-przestrzennego grupowania danych oraz metodyka obliczania objętości hałd (także częściowo autorska).

Rozdział czwarty prezentuje wstępne rezultaty badań Doktoranta. W rozdziale tym omówiono proponowaną przez Doktoranta metodykę identyfikacji potencjałów. W

dalszej części przedstawiono elementy analizy ekonomicznej, na którą składają się analizy cen metali krytycznych i trendów tych cen, propozycja wzoru na tzw. wartość metalu ekwiwalentnego, wreszcie proponowane podejście do szacowania wartości potencjalnego zasobu antropogenicznego. Ostatnim elementem tego rozdziału jest analiza wpływu czynników ekonomicznych, środowiskowych, prawnych, technicznych i społeczno-zarządczych dla oceny potencjalnych projektów geologiczno-górnictwa dotyczących zasobów antropogenicznych na poszczególnych etapach cyklu życia projektu.

Kolejne dwa rozdziały – piąty i szósty – dotyczą oceny potencjału geosfery i antroposfery Dolnego Śląska pod kątem możliwości pozyskiwania metali krytycznych. Treść tych rozdziałów bazuje m.in. na wcześniejszych publikacjach z tego zakresu tematycznego, których autorem lub współautorem był Doktorant. W zakresie oceny potencjału geosfery (rozdział 5) Doktorant skoncentrował się na przygotowaniu bazy danych miejsc występowania metali krytycznych na Dolnym Śląsku wraz z selekcją obszarów do dalszych analiz, a następnie w przypadku dwóch wybranych obszarów - Szklary i Niemstów-Wielowieś – na identyfikacji potencjału złożowego i możliwych metod pozyskania, przy czym pierwszy aspekt miał znaczenie dominujące. Jest to widoczne szczególnie w odniesieniu do obszaru Niemstów-Wielowieś, gdzie analiza danych z otworów była bardzo szeroka – geostatystyczna, mineralogiczna, geochemiczna oraz przestrzennego występowania metali. W zakresie oceny potencjału antroposfery (rozdział 6) Doktorant skoncentrował się na przygotowaniu bazy potencjalnych zasobów antropogenicznych będących źródłem metali krytycznych na Dolnym Śląsku wraz z selekcją obszarów do dalszych analiz. Następnie w przypadku trzech obszarów – Stare Zagłębie Miedziowe, Krobica-Gierczyn-Przecznica oraz Szklary – Doktorant dokonał oszacowania objętości hałd odpadów górniczo-przerobczych lub hutniczych. Dodatkowo w przypadku hałdy żużla w Szklarach wykonał także badania mineralogiczno-geochemiczne, próbę oszacowania wartości tej hałdy, analizę SWOT potencjalnego jej zagospodarowania oraz dokonał oceny metod pozyskiwania metali z tej hałdy.

Rozdział siódmy dotyczy wykorzystania 14 analizowanych metali krytycznych na Dolnym Śląsku. Niestety, jest to rozdział bardzo krótki (jedna strona!), właściwie sygnalizujący tylko ten temat.

Równie krótki rozdział ósmy ma nazwę Dyskusja, ale analizując jego treści można uznać, iż w większości nie jest to klasyczna dyskusja otrzymanych wyników, ale rodzaj podsumowania niektórych z tych wyników.

Wreszcie ostatni rozdział dziewiąty to Podsumowanie i wnioski. W obszarze oceny potencjału geosfery wnioski te dotyczą głównie dwóch analizowanych obiektów – Niemstów-Wielowieś oraz Szklary, w tym głównie aspektów ekonomicznych i do

pewnego stopnia także technologicznych. W obszarze oceny potencjału antroposfery wnioski te z jednej strony mają charakter wniosków co do rekomendowanych podejść metodycznych do oceny tego potencjału, jak również wniosków dotyczących wielkości (objętości) hałd w trzech analizowanych obszarach.

5. Oryginalne osiągnięcia pracy

Wyniki własnych prac badawczych Doktoranta, mających odpowiedzieć na postawione na początku pytania badawcze, przedstawiono w rozdziałach czwartym, piątym, szóstym oraz marginalnym rozdziale siódmym. Należy jednak zauważyć, że elementy oryginalnego dorobku Doktoranta znajdują się także w rozdziale trzecim (metodycznym).

Za oryginalne osiągnięcia Autora pracy uznaję:

- ***Autorskie propozycje Doktoranta dotyczące metodyki analizy utraty metali w procesie górniczym oraz metodyki historycznego poszukiwania i rozpoznawania kopalin;***
- ***Szczegółowe analizy wartości i zmienności cen analizowanych metali krytycznych na przestrzeni ostatnich 15 lat, także pod kątem obliczenia zawartości ekwiwalentnej metalu głównego;***
- ***Przygotowanie autorskiej bazy danych o udokumentowanych wystąpieniach analizowanych metali krytycznych na Dolnym Śląsku;***
- ***Oryginalna metodyka obliczania objętości obiektów antropogenicznych poprzez wykorzystanie odpowiedniego oprogramowania oraz analizy starych map dla określenia morfologii obszaru przed powstaniem hałdy.***

Bardzo interesujące poznawczo są także tabele 13 i 14, w których przedstawiona jest ocena istotności wyzwań w odniesieniu do potencjalnych projektów geologiczno-górniczych dotyczących zasobów antropogenicznych na poszczególnych etapach cyklu życia projektu.

Warto też pokreślić, że Doktorant w trakcie realizacji pracy doktorskiej opublikował – głównie we współautorstwie - 3 publikacje w czasopiśmie, 5 publikacji w materiałach pokonferencyjnych oraz przedstawił 2 referaty konferencyjne, które były związane z poszczególnymi elementami pracy.

6. Uwagi krytyczne i kwestie dyskusyjne

Pomimo przedstawionych wyżej walorów pracy Recenzentowi nasuwają się istotne uwagi natury merytorycznej, a także drobniejsze uwagi natury redakcyjnej, terminologicznej czy językowej.

Najważniejsze kwestie dyskusyjne i uwagi krytyczne są następujące:

- Zawartość merytoryczna pracy nie w pełni odpowiada jej tytułowi, bowiem główne rezultaty wykonanych prac dotyczyły oceny potencjału geosfery i antroposfery Dolnego Śląska pod kątem produkcji wybranych metali krytycznych, podczas gdy dość marginalnie został potraktowany obszar metod ich pozyskiwania, a zupełnie sygnałnie tylko - zagadnienie wykorzystania gospodarczego metali krytycznych na Dolnym Śląsku. Kwestię tą sygnalizuje także sam Doktorant, choć stwierdza, iż: *„Pozostałe dwa człony tytułu, czyli metody pozyskania oraz wykorzystanie, pozwalają zobaczyć pełen obraz cyklu życia metali krytycznych na Dolnym Śląsku.”* I z takim stwierdzeniem należy się zgodzić, dyskutując tylko, czy ów „obraz cyklu życia” jest tu wystarczająco czytelny.
- Podejście metodyczne do poszczególnych analizowanych zagadnień jest niezwykle bogate. Z drugiej jednak strony zastosowanie tych metod badawczych wydaje się Recenzentowi często niejednorodne czy niejednolite. Bo przykładowo: Dlaczego identyfikacja potencjału geogenicznego dla obszaru Szklary ma charakter bardzo ogólny, a dla obszaru Niemstów-Wielowieś bardzo szczegółowy? Podobnie w przypadku identyfikacji potencjału antropogenicznego spośród trzech analizowanych obiektów przedmiotem pogłębionej analizy jest tylko obiekt Szklary. Dlaczego? Czy wynikało to ze zróżnicowanej dostępności danych? Nie widać w pracy wyraźnego komentarza w tym względzie. Dodam jeszcze, iż niejasne są dla mnie kryteria wskazania do dalszych badań akurat tych dwóch obszarów geogenicznych, podczas gdy z wydzielonej klasy A obiektów (strona 92) lista takich obiektów jest znacznie szersza.
- Biorąc pod uwagę tematykę i zakres pracy, zdaniem Recenzenta punkt 4.1 Proponowana metodyka identyfikacji potencjałów, jako element metodyczny powinien być się znaleźć w rozdziale 3, gdzie przedstawiono inne podejścia metodyczne stosowane w pracy.
- Operowanie pojęciem wartości metali w obiekcie (strona 127) oraz – w nawiązaniu do niej - potencjalnej wartości hałdy jako sumy wartości metali w obiekcie, wartości działki i wartości kopalin towarzyszących jest zdaniem Recenzenta niewłaściwe i mylące. Nieuwzględnione są tu bowiem – co najmniej - nakłady inwestycyjne i koszty operacyjne działalności mającej na celu odzysk metali oraz wykorzystanie żużli do produkcji kruszyw, nie jest również uwzględniony koszt pieniądza w czasie wraz z ryzykami projektu, które powinny się odzwierciedlać w stopie dyskontowej. W tym kontekście mylące jest także stwierdzenie zawarte w ostatnim rozdziale, iż potencjalna wartość hałdy Szklary wynosi 130 milionów złotych.

Wśród najważniejszych aspektów redakcyjnych, terminologicznych czy językowych wymienić należy:

- Nie do końca uporządkowany tematycznie układ rozdziału 2: podpunkt „Wykorzystanie i ceny metali krytycznych” powinien być wcześniej, zaraz po pierwszym podpunkcie dotyczących surowców krytycznych;
- Złe cytowanie niektórych pozycji literatury - większość jest dobrze cytowana, tj. w indeksie górnym i z dobrym numerem; jednak często niektóre prace są cytowane w nawiasach kwadratowych i z numerem niezgodnym z numerem w spisie publikacji; przykłady m.in. na stronach: 29, 30, 43, 49-54, 56, 58, 62;
- Strona 33 – nazwa tabeli 2 nie w pełni odpowiada jej zawartości (brak Kanady, W. Brytanii i Indii);
- Strona 54 – cena cynku na pewno nie wynosiła około 33 500 US\$/t;
- Strona 55 – Państwowy Instytut Geologiczny, a nie Polski Instytut Geologiczny;
- Strona 56 – podpunkt ma niewłaściwą numerację (nie 2.3.1, tylko 2.6.1 ewentualnie 2.7);
- Strona 58 – niewłaściwe powołanie na ryc. 1 (powinno być: rys. 31);
- Strona 75 – niewłaściwe podanie głównych obecnych kierunków użytkowania złota (jest to głównie środek tezauryzacji, a nie metal dla mennictwa);
- Strona 76 – tabela byłaby bardziej czytelna niż zaprezentowany tu rys. 24;
- Strona 79 i następne – w Polsce używa się raczej terminu: zawartość ekwiwalentna danego metalu, a nie: wartość metalu ekwiwalentnego;
- Strona 81 – niepełny opis rysunku 27;
- Strona 97 – na rysunku 34 dla pełnego obrazu w urobku z trzech ZG poza miedzią powinna być też podana zawartość srebra;
- Strona 107 – brak jednostki w opisie tabeli 17;
- Strona 109 – nie podano wcześniej skąd pochodzą dane dla obszaru górniczego Lubin-Małomice na rysunkach 46 i 47.

7. Ocena pracy jako rozprawy doktorskiej

Biorąc pod uwagę zawartość pracy stwierdzam, że Doktorant w sposób właściwy sformułował problemy badawcze, a także postawił i potwierdził hipotezy badawcze, wykorzystując do tego liczne i zróżnicowane metody badawcze. Należy jednak zauważyć, iż zastosowanie metod badawczych do poszczególnych badanych obiektów było niejednolite.

Lektura rozprawy skłania do wniosku, że Doktorant posiada bardzo dobre opanowanie techniki pisania prac naukowych oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia prac naukowych.

Zakres wiedzy Doktoranta w zakresie dyscypliny naukowej, której dotyczy praca, wydaje się być bardzo obszerny. Na szczególną uwagę zasługuje jego

znajomość geologii i mineralogii złóż rud polimetalicznych, rynków metali, podstaw oceny ekonomicznej zasobów geogenicznych i antropogenicznych będących potencjalnym źródłem metali, jak również analiz geostatystycznych oraz kompleksowego szacowania objętości hałd z zastosowaniem autorskiego podejścia.

8. Wniosek końcowy

Opracowana rozprawa, przy uwzględnieniu dotychczasowego stanu wiedzy w analizowanym obszarze tematycznym, prezentuje oryginalne wyniki badań własnych Doktoranta, stanowiące samodzielne rozwiązanie postawionego problemu naukowego w zakresie dyscypliny naukowej inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka, w szczególności w zakresie geologii gospodarczej i złożowej. Praca bez wątpienia posiada też możliwości praktycznego wykorzystania jej wyników, ma zatem potencjalny walor aplikacyjny, pod warunkiem korekty czy uzupełnienia niektórych założeń metodycznych.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska **mgr. inż. Wojciecha Kaczana pt. „Identyfikacja, metody pozyskania i wykorzystanie metali krytycznych na Dolnym Śląsku”** dzięki wartości poznawczej i potencjalnej wartości aplikacyjnej spełnia ustawowe wymagania dotyczące rozpraw doktorskich zawarte w art. 187 ust. 1 i 2 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce. Prezentuje bowiem ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta w dyscyplinie naukowej inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Przedmiotem rozprawy doktorskiej jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, dotyczącego przede wszystkim kompleksowego podejścia do oceny potencjału zasobów geogenicznych i antropogenicznych jako źródeł metali krytycznych, co może mieć również walor możliwości przyszłego zastosowania wyników tych prac w sferze gospodarczej.

Stawiam wniosek o przyjęcie rozprawy oraz dopuszczenie Doktoranta do publicznej obrony.

Krzysztof Galus