

dr hab. **Krzysztof Szopa**, prof. UŚ  
Wydział Nauk Przyrodniczych  
Instytut Nauk o Ziemi  
Uniwersytet Śląski w Katowicach  
ul. Będzińska 60  
41-200 Sosnowiec  
Tel: +48 603 813 074  
e-mail: krzysztof.szopa@us.edu.pl

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. inż. Konrada Blutsteina  
pt.: „Pozyskiwanie wybranych surowców metalicznych z ciał macierzystych chondrytów  
zwyczajnych”**

**Podstawa prawna**

Recenzję rozprawy doktorskiej mgr. inż. Konrada Blutsteina pt.: „Pozyskiwanie wybranych surowców metalicznych z ciał macierzystych chondrytów zwyczajnych” przygotowano na prośbę Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka na Politechnice Wrocławskiej z dnia 12 lipca 2023 r., która jest zgodna z § 1 ust. 11, § 19 ust. 5 w zw. z § 7 ust. 1 Regulaminu nadawania stopni naukowych na Politechnice Wrocławskiej (Uchwała nr 372/31/2020-2024 Senatu PWr. z dnia 30 marca 2023 r.).

**Struktura pracy**

Przedstawiona do recenzji dysertacja została zrealizowana pod kierunkiem Pana prof. dr. hab. Tadeusza Przylibskiego. Recenzowana rozprawa jest dziełem naukowym traktującym o praktycznym pozyskiwaniu wybranych surowców metalicznych pochodzących z ciał macierzystych chondrytów zwyczajnych. Praca zbudowana jest ze 129 stron maszynopisu, na których znajduje się: 79 rysunków, 42 tabel oraz 49 pozycji literaturowych.

Rozprawa zbudowana jest z 8 rozdziałów zasadniczych, do których zaliczam: *Procesy wzbogacania i przeróbki, Skąły reprezentujące planetoidy macierzyste chondrytów zwyczajnych, Cele pracy i teza*, kolejnymi rozdziałami zasadniczymi są: *Materiał badawczy, Metody badań, Analiza sitowa, Wyniki badań*, oraz *Wnioski*. Do rozdziałów uzupełniających dysertację zaliczam

krótkie wprowadzenie, rozdzielone na dwa rozdziały: *Wstęp* i *Eksploatacja surowców pozaziemskich*. Dodatkowo na końcu rozprawy umieszczony został *Spis literatury*.

Pierwszy rozdział pracy zatytułowany *Wstęp* jest krótkim opisem istotności i roli surowców, w tym metalicznych, podczas rozwoju naszej cywilizacji. W tym, zaledwie 2,5 stronicowym przekazie dowiadujemy się także o futurystycznej, choć nie tak daleko odległej potrzebie uzysku wybranych złóż metali poza naszą planetą.

Rozdział drugi *Eksploatacja surowców pozaziemskich* wprowadza czytelnika w charakterystykę podziału surowców pozaziemskich i przedstawia technologiczne ujęcie ich potencjalnej eksploatacji. Kolejny rozdział, zatytułowany *Procesy wzbogacania przeróbki*, w sposób wyczerpujący charakteryzuje metody separacji faz mineralnych tworzących złoża metali. Odmienność złóż pozaziemskich od ziemskich została przedstawiona w czwartym rozdziale o tytule *Skąty reprezentujące planetoidy macierzyste chondrytów zwyczajnych*. Rozdział *Cele pracy i teza* jasno precyzuje przekaz Autora jeśli chodzi o rozwiązanie przedstawionego problemu eksploatacji złóż metali pozaziemskich. W kolejnym rozdziale omówiono dwa meteoryty będące materiałem, z którego Doktorant pozyskuje minerały rudne. Następny rozdział omawia *Metodologię badań*. Jest ona złożona gdyż, ilość i zakres przeprowadzonych badań jest znaczny.

Kluczowym rozdziałem jest rozdział 8- *Wyniki badań*. Jest to kluczowa część pracy, stanowiąca objętościowo ponad 70% objętości całej dysertacji. Ostatnim rozdziałem zawartym bezpośrednio przed spisem literatury są *Wnioski*, w którym podsumowano w sposób logiczny i wyczerpujący uzyskane dane.

### **Zalety pracy**

Cel pracy i tezy zostały sprecyzowane w kilku zdaniach i mają dużo bardziej uniwersalne znaczenie niż Autor chciał im nadać. Zdaję sobie sprawę, że ograniczeniem tej rozprawy doktorskiej były same meteoryty.

Badanie meteorytów, które zostały znalezione na Ziemi jest obecnie najtańszym i najefektywniejszym (i póki co jedynym) sposobem określania zasobów geologicznych (rozumianych jako całość kopaliny w złożu) surowców poza naszą planetą. Z uwagi na to, że najliczniejszą grupę odnajdywanych meteorytów stanowią chondryty zwyczajne, najwięcej dostępnych informacji jest właśnie odnośnie tej grupy meteorytów i ich ciał macierzystych. Chondryty H i L, badane w ramach tej pracy, pochodzą z dwóch ciał macierzystych, którym jest planetoida 6 Hebe dla meteorytu Tamdakht i Rodzina Flory dla NWA 6410. Cieszę się, że Autor wybrał akurat te typy meteorytów, które są jednocześnie niezwierteżone (W0 Tamdakht i W1 NWA 6410) i prawie niezmiennione szokowo (S3- Tamdakht, S2- NWA 6410). Mam nadzieję, że był to zabieg celowy, gdyż reprezentują one różnego typu „złoża”, których rozkruszanie, separacja i flotacja mogą przebiegać inaczej ze względu na ich petrogenezę, skład mineralogiczny i cechy teksturalne składników. Porównanie tych typów meteorytów jako potencjalnych kandydatów do eksploatacji złoża metalicznego uważam za wielką wartość pracy. Mało tego, nikt wcześniej nie dokonał tak kompleksowej próby uzysku i rozdzielenia faz metalicznej FeNi od troilitu FeS<sub>2</sub>, wskazując, że już samo rozdrobnienie chondrytu połączone z analizą sitową, w celu wyodrębnienia grubszej frakcji może być wystarczającym procesem wzbogacania rud chondrytowych w stop FeNi.

Meteoryt Tamdakht oraz NWA 6410, które zostały użyte do eksperymentów badawczych stanowiły łącznie masę nie przekraczającą 500 g. Meteoryt jako materiał badawczy jest droгим obiektem do analizy, zwłaszcza kiedy musimy go zniszczyć, w rozumieniu wartości materialnej.

Chcąc robić eksperymenty na/z meteorytami, nie można pozwolić sobie na próby badawcze o masie kilku-, kilkudziesięciu- czy nawet kilkuset kilogramów, tak aby uzyskane wyniki reprezentowały proces flotacji czy wzbogacania złoża jakie występuje w dużych kombinatach górniczo-hutniczych. Patrząc na to zagadnienie z drugiej strony, nawet gdybyśmy mieli wystarczającą ilość wsparcia finansowego, nie jesteśmy w stanie kupić jednego typu chondrytu w ilości kilkunastu kilogramów. Takie meteoryty znajduje się relatywnie rzadko. Mając na uwadze powyższe, Autor z tak limitowanym materiałem wykonał bardzo dużą ilość analiz składu mineralnego, ziarnowego oraz chemicznego, zarówno przed rozkruszeniem meteorytów, jak i po aplikacji różnych typów separacji, flotacji i wzbogacania materiału wyjściowego. W pracy wykorzystano m.in. analizy składu chemicznego minerałów uzyskane za pomocą mikrosondy elektronowej (EMP). Są one zestawione w tabelach, które zawierają dane w trzech kolumnach (wartość średnia, maksymalna oraz średnia) dla każdego minerału (np. s. 80, tabela 8.3- troilit). Po zliczeniu ilości punktów analitycznych tylko dla jeden grupy minerałów (np. krzemiany; rozdział 8.2.1) okazuje się, że tak naprawdę wykonano 25 analiz punktowych dla tych minerałów. Zliczając wszystkie punkty analityczne przedstawione w pracy otrzymujemy ponad 219 pojedynczych analiz minerałów! Jest to ogromna praca i trud, ponieważ każdy gatunek mineralny potrzebuje innych parametrów pomiarowych, zestawów kryształów analitycznych, wzorców czy też parametrów fizycznych urządzenia (np. natężenia prądu czy wielkości wiązki pomiarowej). Dane, o których jest mowa stawiają doskonałą bazę mineralogiczną, która może być tłem do dalszych dywagacji geochemicznych, zarówno dla materiału „świeżego” i po ekstrakcji.

### ***Uwagi krytyczne***

Praca pozbawiona jest poważnych uchybień. Poniżej przedstawione błędy głównie o naturze technicznej nie wpływają na merytoryczną jej część, a jedynie mają na celu pomóc w przerehabilitowaniu tekstu (np. na potrzeby artykułu).

Dla osoby, która wykonuje analizy minerałów pochodzących z różnych skał (także i pozaziemskich) zastosowanie mikrosondy elektronowej jest esencjonalne. Różnorodność minerałów, ich skład chemiczny i struktura może wpływać na wynik analizy, tak samo jak dobrane parametry samej analizy. W pracy, poza średnicą wiązki (2  $\mu\text{m}$ ), napięciu przyspieszającym (20 kV) oraz intensywności wiązki (20 nA) nie podano nic więcej. W opisie metody powinny znaleźć się także rodzaje kryształów analitycznych, czasy zliczenia, zakres tła, standardy i to, co najważniejsze- limity detekcji. W pracy przedstawiono dwa typy analiz: kationowe (bez tlenu)- dla np. stopów FeNi, siarczków oraz „tlenowe” dla krzemianów czy fosforanów. Paradoksem stała się forma prezentacji wyników, która może wskazywać, że niektóre pierwiastki wydają się być pomierzone poniżej limitów detekcji. Jeśli spojrzymy np. na Tabelę 8.2. (Skład chemiczny stopu FeNi w meteorycie Tamdakht), to takie pierwiastki jak np. Al, P, Ti, Mn, Zn najprawdopodobniej nie występowały w podanych analizach (punktach analitycznych). Podobną sytuację widzimy także w przypadku podawanych danych dla minerałów, będących z chemicznego punktu widzenia wyższymi solami kwasów tlenowych (np. fosforany). Tabela 8.5 przedstawia skład apatyty i merillitu, w których na pewno nie ma większości REE, Th, czy U. Możemy także na tym przykładzie tabeli wskazać, że Autor trochę z rutyny pozostawił takie pierwiastki, którym przypisał 0% wag. Uważam, że należy usuwać takie wartości. Jeśli ich pozostawienie miało wskazać, że dany składnik (pierwiastek) był analizowany, ale jego zawartość jest poniżej pewności urządzenia, to powinien być usunięty.

Chcę w tym miejscu zachęcić Autora, żeby w przyszłości przeliczył analizę z %wag. na komórkę elementarną (*apf- atoms per formula*). Jest to często pomocne (stosunki pierwiastków pozostają takie same), ale można wtedy „zobaczyć” czy pierwiastek realnie występuje w strukturze minerału. W analizach jest brak podania sum analitycznych. Jest to nieprzydatne z kilku powodów. Jednym z nich jest to, czy dobrze analizujemy dany minerał. Wiemy, czy suma jest bliska 100%. Jeśli ciągle brakuje nam kilku procent może to być znak, że mamy jakiś pierwiastek poza deklaracją analityczną lub np. materiał jest utleniony. Jedną z przyczyn takiej analizy mogą być źle dobrane warunki analityczne.

Jestem zdumiony ilością zastosowanych metod separacji minerałów z badanych meteorytów. Jest to wyzwanie, ponieważ zarówno fazy metaliczne i siarczki mają wysoką i dość podobną gęstość. Powoduje to, że można je łatwo rozdzielić z pozostałych składników skały, ale ciągle pozostaną razem w jednej populacji „gęstościowej”. O ile wskazanie, że dalsza separacja w cieczach ciężkich jest bezpodstawna, to separacja na stole kondensacyjnym typu Wilfley’a może (ale nie musi) przynieść lepsze rezultaty. Autor użył tylko jednego typu błatu (tzw. do szlamowania), a jest ich więcej. Można, na zasadzie *ad experimentum*, zmniejszyć wielkość ziarna, zmienić błat i zobaczyć jaki będzie uzysk. Rozdzielenie minerałów według gęstości za pomocą tego stołu uzależnione jest od wielkości ziarna, kształtu minerałów, strumienia wody i częstości drgań błatu.

### **Podsumowanie**

Podkreślam bardzo wysoki poziom naukowy recenzowanej dysertacji doktorskiej i istotność podjętego wysiłku badawczego, zarówno dla problematyki charakterystyki wybranych surowców metalicznych pochodzenia pozaziemskiego, jak i samego procesu, w którym ów surowce mogą zostać wyseparowane i rozdzielone.

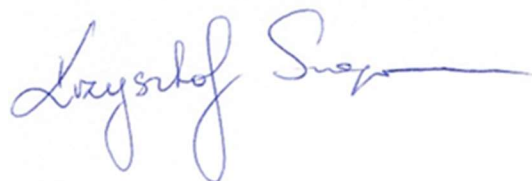
Przedstawiono rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka oraz jest poświadczeniem jego samodzielnego prowadzenia warsztatu pracy naukowej.

Mając na uwadze powyższe, stwierdzam, że niniejsza rozprawa doktorska **odpowiada warunkom określonym w art. 187 ust. 1 i 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2023 r., poz. 742)**. Wnioskuje do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Wrocławskiej do dalszego postępowania w przewodzie doktorskim.

Ponadto wnoszę o wyróżnienie rozprawy doktorskiej mgr. inż. Konrada Blutsteina. Sięganie po złoża pierwiastków znajdujących się poza Ziemią, jeszcze 10-20 lat temu było fantastyką. Natomiast dzisiaj staje się realną potrzebą przyszłości, która zaczyna się już dzisiaj. Autor pracy pokazał kierunek, narzędzia i metodologię, aby wejść w przyszłość eksploatacji złóż pozaziemskich. Zawarte dane literaturowe, charakterystyka materiału badawczego, dobór metod analitycznych oraz krytyczna dyskusja i interpretacja otrzymanych wyników wskazuje, że niniejsza rozprawa doktorska jest oryginalnym rozwiązaniem problemu naukowego mogącym mieć zastosowanie w sferze gospodarczej lub społecznej. Nic nie stoi na przeszkodzie, aby na podstawie wniosków i danych zawartych w niniejszej pracy stworzyć technologię pozyskania koncentratów pierwiastków chondrytowych gotowych do otrzymania metali.

Recenzowana rozprawa doktorska mgr. inż. Konrada Blutsteina jest dojrzałym, ciekawym, oryginalnym i ważnym dziełem naukowym z zakresu mineralogii meteorytów oraz eksploatacji i górnictwa ciał pozaziemskich. Autor umiejętnie wykorzystał szereg nowoczesnych metod

badawczych, dokonał wyboru eksperymentów związanych z separacją złoza, realizując tym założony cel pracy. Praca jest swoistą bazą danych-repetytorium, która powinna stanowić przyczynek do dalszych przemyśleń i testowania nowych metod separacji, flotacji i wzbogacania złóż metali meteorytowych.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Łucyśka Szep" with a long horizontal flourish extending to the right.