

Prof. dr hab. Andrzej Muszyński
Instytut Geologii UAM
ul. Krygowskiego 12
61-680 Poznań
e-mail: anmu@amu.edu.pl

Poznań. 05.10.2023.

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

1/ Uwagi wstępne

Rozprawa napisana jest pod kierunkiem Profesora dr. habilitowanego Tadeusza Przylibskiego z Politechniki Wrocławskiej.

Składa się ona z klasycznego opracowania typu monografii zawierającego 128 stron podstawowego tekstu. Rozprawa jest zawarta w 9 zasadniczych rozdziałach, w których jest 79 różnorodnych figur i 68 tabel. Spis literatury zawiera 49 pozycji, w większości w języku angielskim, z czego 1/3 (13) w języku polskim. Tekst rozprawy jest bardzo starannie zredagowany. Napisany jest poprawną polszczyzną i praktycznie bez większych literówek i błędów. Upakowanie tekstu jest takie, że odstęp między linijkami wynosi 1,5, co powoduje, że całkowita objętość treści dysertacji jest większa niż wskazuje na to ilość stron. Praca doktorska jest wynikiem badań eksperymentalnych, które Doktorant prowadził w Katedrze Górnictwa na Wydziale Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej.

2/ Ocena merytoryczna

Cele i tezy badawcze zostały przedstawione w rozdziale piątym na stronie 43. Celem jest sprawdzenie możliwości pozyskiwania surowców metalicznych na podstawie badania meteorytów jakimi są chondryty zwyczajne. Dlaczego one? Bo 85% obserwowanych spadków meteorytów na powierzchnię Ziemi stanowią chondryty zwyczajne. Dwie tezy zostały postawione tym miejscu. Pierwsza mówi, że w ciałach macierzystych chondrytów zwyczajnych źródłem metali są ziarna wszystkich faz mineralnych stopu FeNi. Druga teza mówi, że najlepszymi metodami wzbogacenia rudy chondrytowej są kruszenie i mielenie w kontrolowanych warunkach oraz flotacja.

Jako materiał badawczy zostały użyte dwa meteoryty z grupy chondrytów zwyczajnych, co zostało krótko opisane w rozdziale szóstym. Meteoryt Tamdakhat sklasyfikowany jako H5, S3, W0, z którego do badań przeznaczono 267 gramów. Meteoryt NWA 6410 sklasyfikowany jako L6, S2, W1, z którego do badań przeznaczono 222 gramów. Kompleksową charakterystykę mineralogiczno-petrograficzną obu chondrytów przedstawiono później w rozdziale ósmym.

Rozdział pierwszy zatytułowany wstęp jest swego rodzaju historycznym tłem nakreślającym rolę górnictwa w rozwoju cywilizacji człowieka. Akcent jest położony na aspekt wyczerpywania się zasobów surowców mineralnych oraz możliwe futurystyczne rozwiązanie tego problemu poprzez górnictwo kosmiczne, albo pozaziemskie.

Rozdział drugi omawia zagadnienie eksploatacji surowców pozaziemskich. Zaczyna się od ogólnej klasyfikacji wszystkich surowców mineralnych, a potem opisuje surowce pozaziemskie. Poza bliskimi planetami skalistymi, potencjalne miejsca surowców

mineralnych w Układzie Słonecznym są związane z perspektywicznymi ciałami macierzystymi dla chondrytów zwyczajnych. Pas planetoid i obiekty bliskie Ziemi (tzw. NEO) są właśnie tymi obiektami zainteresowań przyszłego górnictwa kosmicznego. Uważa się, że badania meteorytów chondrytowych dają informację o budowie i składzie ciał macierzystych w ich całej objętości, bo te ciała mają homogeniczny skład. Dla Księżyca i Marsa badania powierzchni na podstawie meteorytów, daje ograniczoną informację o surowcach mineralnych, gdyż cenne złoża pierwiastków (tak jak na Ziemi) mogą znajdować się pod ich powierzchnią. Ta część dysertacji jest poprawna z punktu widzenia bieżącego paradygmatu naukowego.

Interesujące jest zestawienie średniej zawartości wybranych pierwiastków w skorupie ziemskiej w porównaniu do chondrytów węglistych (CI) oraz chondrytów zwyczajnych H, L i LL w tabeli 2.2. W chondrytach zielonym kolorem zostało wyróżnionych ponad 20 pierwiastków, które mają większą średnią zawartość (120%) niż skorupa ziemska. Wśród nich są głównie pierwiastki metaliczne (Cr, Mn, Fe, Ni, Co, Cu) i grupa platynowców. W tabeli 2.3 zestawiono przeliczone wzbogacenie chondrytów zwyczajnych w wybrane pierwiastki względem średniej zawartości w skorupie ziemskiej. W chondrytach typu H występuje wyraźne wzbogacenie w platynowce o kilka do kilkanaście tysięcy razy, a wzbogacenie w Ni jest rzędu 305 razy i w Fe 6,3 razy. Wskazuje to, że planetoidy macierzyste mogą być źródłem cennych pierwiastków przy wydobywaniu żelaza i niklu. W kolejnej tabeli 2.4 Doktorant przedstawił takie samo wzbogacenie dla typów znanych meteorytów, wykazując, że planetoidy mogą być potencjalnym źródłem wielu pierwiastków chemicznych. Duże obiekty takie jak Księżyc i Mars poznane są głównie na swojej powierzchni i poza regolitem nie przedstawiają złożowych perspektyw, które mogą być ukryte znacznie głębiej.

Podrozdział 2.3 omawia proponowane techniki i technologie przyszłej eksploatacji. Z powodu małej grawitacji i ekstremalnego środowiska zewnętrznego małe księżyce i planetoidy macierzyste stanowią nie lada wyzwanie dla górnictwa kosmicznego.

Rozdział trzeci dysertacji na 10 stronach zawiera zwięzły opis zastosowania procesów wzbogacania i przeróbki rudy chondrytowej. Nie bardzo się znam na tym temacie i ten oraz powyższy wątek zostawiam do oceny innemu specjalście do recenzji.

Ważnym do oceny dysertacji jest rozdział czwarty charakteryzujący skały z planetoid macierzystych dla chondrytów zwyczajnych. Ten 10-cio stronicowy tekst z początku charakteryzuje ciała macierzyste dla chondrytów zwyczajnych, przedstawiając aktualny stan wiedzy oparty na danych z literatury i jest poprawny merytorycznie. Za potencjalne źródło chondrytów zwyczajnych uważa się planetoidy typu S i Q. Te ostatnie są obiektami zwanymi NEO, które mogą być macierzyste dla chondrytów zwyczajnych typu H i L. Budowa chondrytów zwyczajnych została zarysowana krótko i oprócz samych chondr uwaga skupiona została na inkluzjach i na stopach metalicznych. Klasyfikacja chondrytów wg Weisberga i in., 2006 została zaadoptowana przez Doktoranta ze zmianami. Uzupełnia ją określenie typu petrograficznego oraz określenie stopnia szokowego i stopnia zwietrzenia. Rozdział ten zamyka omówienie składu mineralnego i składu chemicznego chondrytów zwyczajnych z wyróżnieniem grup H, L i LL. Ta istotna część dysertacji jest oparta na podstawowych danych literaturowych i jest poprawna merytorycznie. Szczególną uwagę Pan Konrad Blumstein zwrócił na krzemiany, fazę metaliczną i minerały akcesoryczne.

Rozdział siódmy treściwie omawia zastosowane metody badań z wyróżnieniem trzech niezbędnych etapów, tj, przygotowanie danych ilościowych i jakościowych analizowanych faz mineralnych; przygotowanie próbek do testów przeróbczych oraz testy przeróbcze wraz z analizą uzyskanych wyników.

Rozdział ósmy prezentuje wyniki badań i jest to zasadnicza część rozprawy doktorskiej Pana mgr Konrada Blutsteina (str. 55- 125). W dziewięciu podrozdziałach opisane są i udokumentowane poszczególne etapy badań, które zawierają wiele wykresów, tabel i mikrofotografii. Jest to dla mnie bardziej „techniczna” strona omawianej dysertacji. Stąd moja ocena jest tylko ogólna, a sądzę, że recenzent specjalista od zagadnień przeróbki da swoją bardziej dogłębną ocenę.

Oba chondryty H5 i L6 zostały przebadane w warunkach laboratoryjnych przy zastosowaniu tej samej procedury. Na początku pod mikroskopem wykonana została analiza składu mineralnego i ziarnowego na podstawie płytek cienkich. W aspekcie złożowym ważne było określenie zawartości składnika pożytecznego jakim jest stop Fe/Ni oraz określenie zawartości troilitu, który jest składnikiem niepożądanym. Następnie przy pomocy badań w mikroobszarze określony został skład chemiczny zarówno faz krzemianowych jak i faz metalicznych oraz akcesorycznych minerałów. W dalszej kolejności nastąpiło kruszenie i mielenie meteorytów oraz przesiewanie do odpowiednich frakcji. Po takich zabiegach okazało się, że proces rozdrabniania jest już wstępnym wzbogacaniem. Krytyczna wielkość ziarna została ustalona na 100 mikrometrów. Wzbogacanie rozdrobnionej rudy chondrytowej kilkoma metodami nie zawsze dawało pozytywne efekty. Najbardziej efektywną procedurą okazała się flotacja z odpowiednimi zbieraczami. Została wykonana analiza wybranych metali Fe, Ni, Co, Cu oraz siarki.

Rozdział dziewiąty stanowi wnioski z uzyskanych badań. Bogaty w żelazo chondryt Tamdakht (H) oraz ubogi w żelazo chondryt NWA 6410 (L) nadają się do wzbogacania jako ruda Fe/Ni. Ważne jest usuwanie troilitu jako szkodliwego składnika zawierającego siarkę. Występujące różnice między obu typami chondrytów nie są duże, chociaż wyniki badań preferują chondryty typu H. Jednakże uzyskane rezultaty zostały wykonane w warunkach ziemskich, i stąd istnieje potrzeba sprawdzenia działań wzbogacania w warunkach przestrzeni kosmicznej, co wymaga dalszych badań. Doktorant w końcówce przedstawił zarys takich dalszych badań, przeprowadzenia ich na większej ilości materiału oraz na bardziej selektywnym wzbogacaniu wszystkich użytecznych składników.

3/ Uwagi i zagadnienia dyskusyjne

We wstępie pewne postawione uogólnienia mogą prowokować dyskusje. Dla przykładu, wiemy dzisiaj z badań archeologicznych, że istniały przed nami starsze cywilizacje niż 5000 lat temu. Nie zgadam się również ze stwierdzeniem, że dzięki humanizmowi żyjemy dzisiaj w czasach pokoju, bo tylko chociaż w XX wieku w wielu częściach świata toczono wojny, np. Afganistan, Bliski Wschód, Bałkany, ect. A obecnie wojna toczy się tuż za naszą granicą.

Na stronie 32 Doktorant przedstawił zdanie, w którym mówi, że nasze Słońce gdy „...weszło w etap gwiazdy typu T Tauri” to wtedy zaczęły się formować planety naszego Układu Słonecznego. Problem jest w tym, że gwiazdy T Tauri są systemem wielokrotnym, są

bardzo młode i przy tym mają zmienną jasność. To zupełnie nie pasuje do omawianej sytuacji, bo mamy tylko jedną stabilną starą gwiazdę i inny system.

Doktorant nader skromnie podał w rozdziale 7.3 warunki analityczne na mikrosondzie elektronowej oraz jakie wzorce były użyte do poszczególnych grup minerałów. Również chodzi o zakres błędów analitycznych.

Uwaga dotyczy analiz minerałów uzyskanych z mikrosondy elektronowej. Mimo, że nie było to głównym celem pracy doktorskiej, to analizy z mikrosondy powinny w wersji tabelarycznej zawierać sumę (total) i być przeliczone na wzory minerałów. Do publikacji w czasopiśmie o międzynarodowym zasięgu będzie to konieczne. Dotyczy to tabel w podrozdziale 8.2. Niektóre uzyskane analizy z mikrosondy nie są prawidłowe, ponieważ zawierają zanieczyszczenia wynikające z przerostów lub problemów analitycznych (np. tabele 8.7; 8.8). Chodzi o zawartość pierwiastków nie pasujących całkowicie do wzoru danego minerału.

Patrząc na spis literatury zapytuję Doktoranta o to, czy byli inni badacze zagraniczni którzy podjęli się podobnego zadania? Górnictwo kosmiczne jest co prawda jeszcze odległą perspektywą, ale takie pionierskie próby wzbogacania chondrytów zwyczajnych mogły być prowadzone także w innych laboratoriach.

4/ Podsumowanie i konkluzja

Zawarte powyższe uwagi są tylko wątkami szerszej naukowej dyskusji. Moja ogólna ocena rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Konrada Blutsteina jest wysoka. Pionierskie prace eksperymentalne są bowiem zawsze wysoko oceniane zarówno z płaszczyzny naukowej jak i utylitarnej. Bez wątplenia zostały rozwiązane oryginalne cele postawione w rozprawie. Moim zdaniem Doktorant posiada dobrą wiedzę ogólną i umiejętnie łączy aspekty inżynierskie z przyrodniczymi naukami mineralogicznymi.

Opiniowana praca doktorska mieści się w dziedzinie *nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria środowiskowa, górnictwo i energetyka*. Uważam że, Pan magister inżynier Konrad Blutstein posiada już niezbędną wiedzę i umiejętności do prowadzenia samodzielnych badań naukowych i realizowania własnych projektów badawczych.

W konkluzji stwierdzam, iż oceniana przeze mnie dysertacja doktorska dowodzi, że Pan magister inżynier Konrad Blutstein spełniła wymogi stawiane rozprawom doktorskim zgodnie z Art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2018, poz. 1668, z późn. zm.). Wnoszę zatem do Wysokiej Rady o dopuszczenie Pana mgr. inż. Konrada Blutsteina do publicznej obrony.

Andrzej Muszyński