

Prof. dr hab. inż. **Zbigniew Sawłowicz**
Uniwersytet Jagielloński
Wydział Geografii i Geologii
Instytut Nauk Geologicznych
Zakład Mineralogii, Petrologii i Geochemii

Kraków, 31 grudnia, 2023.

Recenzja

pracy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Adama Foltyna

zatytułowanej

“Selected trace and minor elements in sulfides from the Cu-Ag Kupferschiefer deposit in Poland - implications for silver, rhenium and germanium enrichment”

Przedstawiona do zaopiniowania praca doktorska została wykonana w Katedrze Geologii Żyłowej i Górniczej Wydział Geologii Geofizyki i Ochrony Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica pod kierunkiem prof. dr. hab. inż. Adama Piestrzyńskiego.

Praca zawiera: 120 stron tekstu (w tym 30 figur, 7 tabel, przeszło 200 pozycji cytowanej literatury) i załączniki (32 strony z rozbudowanymi tabelami).

Analiza treści pracy doktorskiej

Przedstawiona do oceny praca jest nowatorska w kontekście badań siarczków z przedsudeckiego złoża miedzi. Głównym narzędziem badań była LA-ICP-MS. Jej tajniki Autor poznał bardzo dobrze, stąd wyniki uzyskane z jej wykorzystaniem są bardzo wartościowe.

Praca z całą pewnością spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim. Autor swobodnie porusza się w problematyce złóż miedzi w skałach osadowych, poznał w wystarczającym stopniu mikroskopię kruszców, zapoznał się z rozległą literaturą przedmiotu i potrafi korzystać z niej w krytyczny sposób. Świadczy to o bardzo dobrym przygotowaniu mgr inż. Foltyna do dalszej, miejmy nadzieję, pracy badawczej. Wykonane badania są

interesujące, a ogrom pracy w nie włożony jest imponujący i budzi szacunek. Badany materiał stanowi wyzwanie dla LA-ICP-MS, któremu to wyzwaniu Doktorant dobrze podolał i dlatego badania w tym kierunku z całą pewnością powinny być kontynuowane. Warto zwrócić uwagę na pobyty badawcze w bardzo dobrych ośrodkach analitycznych za granicą, granty otrzymane na te badania oraz umiejętność współpracy z zagranicznymi badaczami, czego efektem są publikacje (lub złożone do druku) w bardzo dobrych czasopismach.

Na szczególną pochwałę zasługuje wyraźne postawienie celów badawczych i związanych z tym hipotez, a następnie próby ich weryfikacji. Autor niezwykle ambitnie podszedł do tych założeń, co należy bezwzględnie mu zapisać na plus. Stosunkowo niewielkie doświadczenie Autora w badaniach złóż miedzi wydaje się jednak skutkować jego zbyt optymistycznym założeniem, że niewielka ilość próbek, reprezentująca jedynie wybrane typy mineralizacji, pozwoli na wyciągnięcie globalnych wniosków genetycznych. Odnoszę wrażenie, iż skupienie się Autora na aspektach metodycznych, mineralogicznych i geochemicznych byłoby z większym pożytkiem dla tej pracy i badań nad złóżami typu Kupferschiefer.

Podkreślenie w tytule pracy Ag, Re i w mniejszym stopniu Ge, nie do końca znalazło swoje odzwierciedlenie w treści pracy.

Brak jest streszczenia pracy, co moim zdaniem szkodzi tej pracy.

Spis treści

Poprawny i dostatecznie szczegółowy.

Chapter 1: Introduction

Tło badań przedstawione wyczerpująco.

Rozdział dobrze wprowadza w treść pracy. Godne podkreślenia jest konkretne i stosunkowo zwięzłe przedstawienie celów i założeń pracy.

Dobra, jak na zbiór częściowo opublikowanych (lub w druku) artykułów, jest organizacja tej pracy doktorskiej. Zachęcam w przyszłości, nawet jeśli przepisy wewnętrzne tego nie wymagają, bardziej szczegółowe określenie udziału autora w prezentowanym dziele lub opublikowanych artykułach.

Na początku pracy powinien znaleźć się mini słownik terminów użytych w pracy. W wielu wypadkach w podpisach zdjęć lepiej byłoby użyć terminów opisowych, a nie genetycznych.

Uwagi różne

Str. 7 – „Research thesis that trace elements in sulfides are a reflection of hydrothermal fluids from which they crystallized and are considered as a proxy for both metal source and mineralizing processes, as well as that copper minerals are responsible for Re enrichment fueled the main idea behind the project. “ – Nie bardzo wiem, skąd Autor wziął to przekonanie.

Str.7 - “...hydrothermal ore systems where redox conditions play a dominant role ...”

“Rhenium ... is likely carried by sulfides,...” – Skąd takie przypuszczenie?

Str.7 - “...it was revealed that the epigenetic sulfide veins were extremely rich in germanium.” – Skąd takie przypuszczenie?

Chapter 2: Geological settings

Generalnie dobry i zwięzły rozdział.

Uwagi różne

Str.9 - „As a result of transgression, the uppermost part of the Rotliegend was locally reworked and redeposited and forms gray white sandstone called Weissliegend (Jerzykiewicz et al., 1976; Błaszczuk, 1981; Glennie and Buller, 1983) “ – Pominięto tu ważną pracę habilitacyjną Michalik (2001).

Str.9 – “...organic-bearing shale” – Wolałbym “organic-rich”.

Str.10 – “ In the areas of so-called “sandstone elevations” (Błaszczuk, 1981), which represent paleodunes, ...” – Pominięto istotne prace w tym temacie, np. W. Kaczmarek i spółka.

Zamiast “reduced” ‘reduced in thickness”.

Str. 10 – “ Epigenetic veins were not abundant and significant enough to be distinguished as a separate group but can be considered as a subgroup of “massive” mineralization in such descriptive (non-genetic) approach.” - Te epigenetyczne żyły nie są wcale opisane, mimo, że były dość szczegółowo badane. Czy Autor ma na myśli tzw. Ruecken czy też jakieś inne?

Str. 10 – „...”tonnes...” - Jeśli US English (np. sulfides) to lepiej "tons".

Str.11 – „The depositional age of the Kupferschiefer ...” akapit – konieczna jest tu przeglądowa praca Mikulski & Stein (2017).

Str.11 – “The main mineralizing process was the migration of low-temperature, oxidizing, metalliferous chloride brines sourced from the paleo-depressions filled with Rotliegend red bed sediments, through the anoxic basal sediments of the Zechstein Group (Jowett, 1986, Oszczepalski 1999).” – Dalece zbyt uproszczone. Prosiłoby się coś więcej w tym temacie,

szczególnie gdy Autor poświęca w swojej pracy tak wiele miejsca genezie, choć zdaje sobie jednocześnie sprawę, że łatwo się tu rozpędzić, bowiem to temat rzeka.

Figury 1 i 2 powinny być wklejone wcześniej, zaraz po cytowaniu.

Chapter 3: Methods

Rozdział ten generalnie przybliży opis metod w stopniu wystarczającym. Dobrze i wyczerpująco opisana jest podstawowa metoda badań. Nie wiadomo jednak, skąd wzięto poziomy wykrywalności prezentowane w dalszych tabelach.

Podstawowym minusem, generalnie całej pracy, jest brak listy i szczegółowego opisu badanych próbek.

Uwagi różne

Str. 18 – „...micro-beam X-ray fluorescence M4 TORNADO PLUS spectrometer.” – Gdzie były prowadzone te badania?

Chapter 4: Trace elements in sulfides from the Kupferschiefer deposit in Poland - insight from LA-ICP-MS trace element study

Jest to moim zdaniem najciekawszy i najlepszy rozdział tej pracy. Próba zastosowania ablacji laserowej do niezwykle trudnego materiału, jakim jest okruszcowanie Kupferschiefer, jest udana, a badania w tym kierunku powinny być kontynuowane. Muszę tu jednak zaznaczyć, że te ciekawe wyniki, ale wykonane na niewielkim materiale, na razie w niewielkim stopniu mogą się przyczynić do lepszego poznania genezy badanego złoża. W przypadku złóż, które charakteryzują się tak bardzo zróżnicowanymi typami rud, powstałymi w tak wielu różnych procesach, jakiegokolwiek porównywanie pojedynczych próbek minerału, który na dodatek pochodzi z nieznanego typu rudy, wydaje się nie mieć większego sensu.

Ogrom pracy włożony w te badania jest imponujący. Wyniki są generalnie dobrze zaprezentowane. Należy też podkreślić, iż Autor uczciwie wskazuje, że w wielu wypadkach jego pomiary są obarczone błędem z uwagi na niewielkie rozmiary badanego obszaru i wpływ otoczenia.

Głównym zastrzeżeniem jest brak szczegółowego opisu badanych próbek i typów genetycznych (jak wspomniano wcześniej - brak ilości, dokładnego opisu, zdjęć, etc.), co w znaczący sposób utrudnia ocenę efektów badań.

Autor dał się trochę ponieść tzw. literaturomanii, która często niewiele wyjaśnia w konkretnej sprawie, natomiast znacząco utrudnia wyłapanie istoty rzeczy. Jest to rzecz naturalna u osób młodych i ambitnych i sam niegdyś jej ulegałem.

Uwagi różne

Str. 21 – Liczba próbek – 21 czy 24?

Str.22 – „When compared with other measured sulfides...” - Nie rozumiem tego porównania - względem czego ma być to wzbogacenie/zubożenie?

Tab.1- Zbyt duża i źle podzielona, co powoduje trudności w jej czytaniu. Jaki jest poziom wykrywalności? Co oznacza „n.a.=not measured” i „na”? Co oznaczają puste pola?

Fig. 6 – Z pewnością ciekawa i szczegółowa figura, która dobrze ilustruje metodyczny upór Autora, choć nie jestem przekonany, czy „warta skórka za wyprawkę”. Dlaczego dla kowelinu i pirytu jest tylko mediana? Niezbyt rozumiem relacje pomiędzy zakresem zawartości a medianą DL.

Str. 37 – „Data for chalcopyrite split according to ore texture (Fig. 7) show clear contrast.” - Odmiana mineralizacji, czy raczej jej forma, nie jest równoznaczna z teksturą rudną.

Str. 37 – „Epigenetic chalcopyrite veins have high concentrations of Ge and As (or In, Sb and Bi instead of Ge and As in sample LB-6) while chalcopyrite...” – Niejasny opis.

Fig. 8 – Bardzo istotna figura, nie do końca moim zdaniem wykorzystana. Interesująca byłaby próba oceny głębokości penetracji lasera, bowiem dość zaskakujący jest równy (a nie zmniejszający się) poziom intensywności sygnału w czasie, czyli z głębokością. Brak jest wyjaśnienia, dlaczego w różnych próbkach były mierzone różne pierwiastki.

Fig. 9 – Bardzo interesujące porównanie dla górnej próbki!

Fig. 10 - Nie bardzo rozumiem, co jest przedstawione na tej figurze, do czego ma ona prowadzić (porównanie Cpy z Kpf) i skąd zostało wzięte. Gdzie podział się ren?

Tab. 2- Skąd te wybiórcze analizy dla niektórych pierwiastków i próbek?

Str. 43 – „Fig. 6 reveals a clear pattern for Ag “ - Wcześniejsze szeroko zakrojone badania występowania srebra w polskich złożach miedzi (N.B. wykonane w Zakładzie doktoranta) pokazują, że jego występowanie jest silnie zależne od goszczącego minerału, dlatego zaobserwowana tu "prawidłowość", oparta na różnych minerałach i strefach redox, jest moim zdaniem przypadkowa lub sztucznie stworzona!

Str. 44 –„that particular trace element signatures seem to be linked to a certain mineralization style as well (Fig. 13).” – Być może tego nie zrozumiałem, ale zupełnie nie zostałem do tego przekonany. Może trzeba to rozwinąć?

Fig.13 – Wydaje się zgrabnie podsumowywać rozdział, nie zrozumiałem jednak niektórych informacji z niej płynących. Co oznacza pozycja kresek w kolumnie SOS system i epigenetic veins? Nastęstwo czasowe? Skąd Autor to wie? Niezbyt rozumiem, co Autor próbuje

przekazać tym przekrojem. Z pewnością po uzupełnieniu może być ona bardzo ważna.

Przekaz graficzny jest ważniejszy niż tysiąc słów.

Str. 45 – “DOS, diagenetic oxidation stage” – to jest wyjątkowo enigmatyczny opis tego bardzo istotnego (i zapewne długotrwałego) wydarzenia. Jednocześnie przyznaję, że podobne podejście cechuje wielu wybitnych badaczy naszych złóż.

Str. 45 – “We consider sample CC-P-1 to represent high-grade Cu mineralization adjacent to the oxidized (SOS) areas and formed by the remobilization of copper ore via an influx of oxidizing fluids and a moving redox front.” - To jest jeden z przykładów, które bez rozwinięcia, praktycznie niczego nie wnoszą.

Str. 45 – „These results are consistent with increasing U, Co, V, Bi, Hg, Se and Tl in the direction of the oxidized zone (Oszczepalski and Rydzewski, 1997).” - Nie jestem pewien o jakich wynikach (l.mn.) mówi Autor. Nie powinien się także podierać nieudokumentowanymi obserwacjami/ wnioskami? Zdanie takie rzeczywiście wyrażają wspomniani autorzy, ale nie wiadomo, na jakiej podstawie.

Str. 46 – „...nano-inclusions rather than microinclusions...” - Warto byłoby zdefiniować te dwa przedziały wielkościowe. Poza tym, nie wiadomo jak to jest dowiedzione (powołanie się na fig. 8f niczego nie tłumaczy).

Str. 46 – „In this regard sulfides from oxidized areas (SOS) are remarkably different from those found in the reduced part of ore-bearing series (Fig. 7).” - Tego typu stwierdzenia zdecydowanie wymagają rozwinięcia!

Str.46 – „Results presented here indicate that sulfides in the “red spots” zones exhibit a trace elements pattern that is clearly distinct from the bulk Cu-Ag mineralization (Fig. 7) and supports the idea that these two types should be treated separately.” - Przypuszczam, że Autor ma rację, ale znowuż wymaga to szerszego uzasadnienia. Czy mam rozumieć, że siarczki w obu obszarach tworzyły się w różny sposób? Jeśli tak, to jak powstawały te w strefie RF?

Str.46 – “...epigenetic veins crosscutting lithology...” - Niestety nie mam zielonego pojęcia o czym Autor pisze! Kolejny raz okazuje się, że bez dobrego opisu podstawowego badanych próbek jakiegokolwiek interpretacje wyników są trudne lub wręcz niemożliwe.

Str. 46 – „Clear differences in trace element data between these two styles of mineralization (Fig. 7) are due to the group of epigenetic Ge-As-Sb rich chalcopyrite veins (samples RUG-3a, RU-W2, WZ-20) and epigenetic vein with chalcopyrite enriched in Zn (median 1467 ppm), Sn (median 334 ppm), Bi (median 304 ppm) and In (median 180 ppm) (sample LB-6, Fig. 7e).” - Nie rozumiem o co chodzi w tym zdaniu.

Str. 46 – „...chalcopyrite veinlets parallel to shale lamination...” - Czy to są te epigenetyczne żyły? Jeśli nie, to dlaczego ich wieki są tutaj wspomniane? Niestety jestem całkowicie zagubiony.

Str. 47 – „Temperature estimations” - Ciekawa próba sugerująca być może potrzebę przyszłych badań w tym kierunku.

Str. 48 – “Melcher and Buchholz (2014) evaluated it as “medium”,...”- Dlaczego? Brak wyjaśnienia.

Str. 49 – „...the notion that the correlation between Re and Cu is stronger than between Re and Mo ($R^2 = 0.738$ and 0.34 respectively) and a speculation that Re enrichment might be connected with chalcocite. *I dalej...*” - Rozważania z wykorzystaniem wyłącznie wartości "r" i przypisywanie jej odpowiedniego znaczenia, bez wzięcia pod uwagę wielu czynników (np.. liczby próbek) od których może ona zależeć, ma niewielką wartość.

Str. 50 – „Kijewski and Jarosz (1987...” - Niezwykle ważne byłoby podanie, w jaki sposób ci autorzy uzyskali te wyniki. W przeciwnym wypadku ocena ich wiarygodności jest bardzo trudna.

Str. 51 – „Pašava et al. (2010)... In these samples, rhenium strongly correlates with molybdenum and is concentrated in the lower part of the black shale.” – Nie wiem co to za próbki, więc trudno ocenić wniosek.

Str. 51 – „ Mikulski and Stein... Chalcopyrite and bornite analyzed by them contain very little rhenium (5.71-12.12 ppb Re), two orders of magnitude lower than the usual rhenium content in the deposit.” – I jaki wniosek z tego płynie? Każde stwierdzenie powinno czemuś służyć!

Str. 52 – “Reversible phase transitions from djurleite to high digenite and hexagonal "high chalcocite" at 93°C (Roseboom, 1966; Potter, 1977; Evans, 1979) might play a role.” - Jaką rolę?

Table 3. Median concentration ...- Podanie liczby pomiarów/próbek jest tu niezbędne.

Str. 53 – „Future studies need to pay particular attention to mineral paragenesis as coexisting phases could constitute a sink for selected trace elements and affect the trace element partitioning into copper sulfides.” – Trafna uwaga!

Chapter 5: Germanium enriched chalcopyrite from the Kupferschiefer deposit in Poland

Rozdział z pewnością ciekawy i inspirujący, szczególnie w kontekście różnych form i procesów tektonicznych. Autor porusza się w temacie swobodnie. Próba wykorzystania pierwiastków śladowych w tym obszarze badawczym jest bardzo interesująca i należą się Autorowi podziękowania za jej podjęcie. Moim zdaniem nie jest to jednak kierunek wart

kontynuacji, bowiem wykorzystanie z sensem pierwiastków śladowych dla zrozumienia procesów złożowych tej skali jest zadaniem tytanicznym.

Uwagi różne

Str. 54 – „...epigenetic, sulfide-calcite veins...” - "Epigenetyczny" może znaczyć cokolwiek, dlatego należałoby zdefiniować, co on oznacza wg Autora.

Str. 54 – „...” - Epigenetic veins, with a thickness from a few mm up to 1.5 m (typically 1-20 cm thick)...” - Zakres grubości tych żył jest tak duży, że można by tu włożyć większość mineralizacji kruszcowej Kpf. Czemu mają służyć takie badania, bo o genezie z pewnością nie rozstrzygną?

Str. 54 – „They are typically steeply dipping (60-90°),...” - Czy należy rozumieć, że wg Autora żyły horyzontalne w łupku nie są epigenetyczne? Zob. komentarz wyżej.

Str. 54 – „, They are most commonly found in carbonate units, rarely in sandstone (Banaś et al., 1998) which could be related to the rheological properties of the rocks.” - Nie ma ich w łupkach?

Str. 54-55 – “ Typical examples of these calcite-dominated veins are shown in Figure 15... - Typowym przykładem epigenetycznych żył są wypełnienia brekcji???

Fig. 15 – Nie wiadomo jakie skały goszczą te brekcje.

Str. 58 – „The proportion of carbonates to sulfides in epigenetic veins in the Polish Kupferschiefer deposit can range from practically exclusively calcite with no sulfides to massive sulfide veins with minor carbonates.” - To prawda, że żyły takie zawierają dowolne proporcje siarczków (różnych!) i kalcytu, przy czym większość siarczków zastępuje w nich kalcyt. Z tego powodu ich bardziej szczegółowy opis przed badaniami pierwiastków śladowych jest niezbędny.

5.3 Samples and methods – Nie wiadomo ile próbek zbadano. I dlaczego wybrano takie, a nie inne.

Str. 59 – „...,MA370 (multi acid ICP-MS) + GC204 (Ge or Ga by ICP-MS) packages...” - Niezrozumiały jest opis preparatyki w tych dwóch procedurach.

Str. 60 – „... representative samples of both Cu as well as Zn & Pb rich ores have been selected for whole rock geochemical analyses.” - Jak tego dokonano???

Tab. 4 - Nie rozumiem, dlaczego Ge raz w ppm a raz w %, dlaczego nie we wszystkich próbkach i jak w takim razie można porównywać zawartości.

Str. 60 – „N.A. – not included in the analyzed set of elements” – Dlaczego?

Str. 61 – „...that brecciation played a major role as formation mechanism.” - Wszystkich żył epigenetycznych???

Fig. 17 – Ładna i ciekawa figura!

Tab.5 – „Not measured.” - Nie mierzone czy nie zmierzone? Dlaczego?

Fig. 25 - Zbyt mało jest map innych pierwiastków, aby można było się lepiej ustosunkować do dystrybucji (i jej zasad) germanu.

Str. 75 – “The first consists of an oscillatory zoning-like feature where composition varies cyclically from core to rim, producing concentric zones of lower and higher germanium content visible in chalcopyrite crystals (e.g. sample SPW10, Fig. 25A). “ - Dla mnie nie jest to takie oczywiste.

Str. 77 – “Electron microprobe map of germanium-rich chalcopyrites shows higher contrast when K_{α} is chosen instead of L_{α} .” - Przydałoby się wyjaśnienie.

Fig. 28 - Czy ta figura ma tłumaczyć opisywane brekcje?

Fig. 30 i dyskusja – bardzo ciekawe, niestety oparte jedynie na dwóch żyłkach.

“It means steep veinlet must have formed from fluids under higher pressure than those responsible for horizontal chalcopyrite.” – Ciekawe!!!

Str. 84 – „The role of overpressured fluids in the formation of germanium-rich ore, ...” - Niestety nadal nie jestem pewien, jaka jest rola tych fluidów w kontekście Ge.

Chapter 6: Source of metals for the Kupferschiefer deposit – insight from the trace elements analysis of sulfides from Lubin-Sieroszowice district

Dyskusja jest generalnie bez większych zastrzeżeń co do jej poprawności. Oczekiwałem jednak od tego rozdziału znacznie więcej i jestem nieco rozczarowany. Oczywiście wielu kwestii nie da się wyjaśnić w świetle zastosowanej metodyki badań. Podsumowując, rozdział ten jest interesującym przeglądem literatury, który jednak w kontekście źródeł metali niewiele skorzystał na przeprowadzonych badaniach.

Chapter 7: Conclusions

“Namely, the successful application of laser ablation inductively-coupled plasma mass spectrometry (LA-ICP-MS) to sulfides from the Kupferschiefer deposit in Poland provides an opportunity to solve the following research questions.” – Z całą pewnością zastosowanie tej techniki było sukcesem, który należy mocno podkreślić. Odpowiedzi na zadane pytania i stawiane w pracy hipotezy w naturalny sposób są dyskusyjne, dlatego nie chcę ich komentować. Ważne, że zaistniały, a czas pokaże, co dalej.

Drobne uwagi

Research question 1 & 2:

- Nie jestem przekonany, że "...redox conditions play a dominant role and can overshadow factors such as temperature, salinity and pH in controlling trace element partitioning" w relatywnie niskich temperaturach.

- "Rhenium... is likely carried by sulfides..." – Nie jestem do tego przekonany, bowiem szereg badań wskazuje na silne jego związki z materią organiczną.

"Sulfides from the Cu-Ag Kupferschiefer deposit present certain challenges for LA-ICP-MS measurements. ...Even though careful petrographic observations, precise spot selection and repeating spots within a given sample help to minimize the effects of inclusions..." – Bardzo cenne uwagi!

Str. 91 – "The data evaluation leads to the following provisional classification of elements: Cu, Fe, S, Ag, Tl, Sb, Pb are strongly affiliated with chalcopyrite; Ni, V, Ga, Sn, Co, Mo are strongly affiliated with Kupferschiefer matrix; In, Cd are indifferent, while Hg, Se, Bi, Ge, Mn and As are somewhere in between these extremes." - A gdzie miejsce na Re?

Str. 92 – „This suggest that djurleite could be a preferential host for rhenium in the orebody..." – A materia organiczna?

Research question 3

"The distribution of germanium in chalcopyrite is heterogeneous and visually resemble dendrite/spherulite-like features suggesting that dispersal of this element preserves morphological history of the crystal and testify to fast crystallization (Fig. 26)." – Autor nie przekonał mnie do tego.

Research question 4

Porównywanie złóż typu Kupferschiefer i Afrykańskiego Pasa Miedzionośnego w kontekście pierwiastków śladowych jest moim zdaniem bardzo karkołomnym i zbytecznym zadaniem.

Figury są generalnie dobrze przygotowane, choć nie zawsze ich treść jest czytelna. Jakość fotografii jest bardzo dobra, a ich opisy zazwyczaj wystarczające, natomiast powinno ich być więcej, jako część opisów badanych próbek.

Tabele, zarówno w samej pracy, jak i w załącznikach są niezbędne i budzą podziw swoimi zasobami. Główna tabela powinno jednak być zmodyfikowana, bowiem poruszanie się po niej jest trudne.

Język pracy

Praca napisana jest dobrym i zrozumiałym językiem angielskim, co jest warte podkreślenia. Ortografia i gramatyka są w zasadzie bez zarzutu.

Literatura

Przeszło 200 publikacji. Cytowania są w większości wypadków poprawne. Do wielu cytowanych nowych prac dobrze byłoby dodać „i cytacje tamże”. Przy tak rozległej tematyce drobne braki literaturowe są naturalne.

Załączniki

Liczne i generalnie dobrze przygotowane uzupełniają i rozszerzają informacje z tabel w głównej części pracy.

Podsumowanie i wniosek

Obowiązkiem recenzenta jest przede wszystkim wskazanie niedociągnięć w pracy, które mogą zostać poprawione na etapie ewentualnie korekt złożonych do druku manuskryptów, stąd też nierównowaga pomiędzy uwagami „za” i „przeciw”. Praca jest nowatorska w kontekście szerokiego zastosowania techniki LA-ICP-MS w badaniach próbek z przedsudeckich złóż miedzi, a zakres badań iście tytaniczny. Wiele problemów naszkicowanych w pracy nie udało się moim zdaniem rozwiązać, głównie z powodu niedostatecznej ilości próbek i ich opisów, ale z pewnością wytyczono kierunki przyszłych badań, a zaangażowanie, wiedza i umiejętności Autora dobrze wróżą tym badaniom i ich interpretacjom.

Reasumując, całość pracy oceniam pozytywnie. Uważam, że opiniowana praca spełnia wymagania Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r., Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2023 r. poz. 742) i może stanowić podstawę do ubiegania się jej Autora o stopień naukowy doktora zgodnie z obowiązującymi przepisami.

Złoty Sarnowski