

Prof. dr hab. inż. Marek Nieć

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej pani Agaty Sokalskiej

pt. „Uwarunkowania zmienności zawartości miedzi w łupku miedzionośnym w wybranych fragmentach złóż Rudna i Sieroszowice”

Recenzja opracowana na wniosek Rady Wydziału Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki we Wrocławiu i zlecenie Dziekana tego Wydziału (umowa 8/09/W6/2018).

Rozprawa jest dziełem bardzo obszernym, zawiera 239 stron tekstu. Szczegółowa dokumentacja wykonanych badań przedstawiona została w załącznikach: 8 obszernych tabelarycznych i 19 graficznych (w tym 6 mapach w skali 1: 25000) zestawionych w odrębnym tomie. Dodatkowo przedstawione zostały 232 fotografie na płycie c.d. Część tekstowa rozprawy składa się z 8 rozdziałów z wieloma podrozdziałami, w których omawiane są kolejno: budowa geologiczna złoża, metodyka badań, wykształcenie łupku miedzionośnego, wykształcenie litologiczne łupku miedzionośnego w depresjach stropu białego spągowca, okruszczowanie w łupku miedzionośnym w depresjach stropu białego spągowca, analiza zmienności zawartości miedzi łupku miedzionośnym w depresjach stropu białego spągowca, interpretacja wyników w nawiązaniu do genezy łupku i złoża oraz wnioski praktyczne. Obszerny wykaz wykorzystanej literatury zawiera 242 pozycje.

Cała rozprawa jest niezręcznie zredagowana, redakcyjnie niedopracowana. Rozbudowanie tekstu utrudnia jego lekturę. Jest on obciążony szczegółowymi opisami wykonanych obserwacji, które można było pominąć lub ująć je w formie syntetycznej lub tabelaryzowanej. Powoduje to też wielokrotne powtarzanie niektórych stwierdzeń, niekiedy nawet w kolejnych wierszach. Częste są potknięcia stylistyczne lub niewłaściwe sformułowania np. we wstępie: „paleogeografia stropu” (chyba morfologia), „przebieg granic...zmieniał się”, „zarys został wyznaczony.... jako izopachyta” (str. 10), „wybrane lokalizacje” (str. 36), „...miąższości zgodnie z literaturą kształtują się...”, „...miąższości profiluw które intrudowały te struktury....” (str. 83), „... dajki ... tworzą w spągu formy zaokrąglone” (str. 83), „wydzielenie zalegające poniżej” (tab. 5.4.1.3), „miejsce akumulacji wyższej miąższości łupku” (str. 105), „profil okruszczowany obniża się” (str. 110), „ładunek zawartości metali” (str. 200).

Błędnie użyty został (str. 58) termin miąższość pozorna"- odnosi się on do mierzonej w linii skośnej do stropu i spągu warstwy, a Autorka określa tak miąższość niepełną. Zdarzają się też sformułowania naiwne np. (str. 61) „...cechy depresji białego spągowca- obecność obniżeń stropu..”!

Rażącym uchybieniem jest stosowanie terminologii żargonowej, slangu zawodowego, w szczególności wielokrotnie używanego terminu „litologia”. Przykładowo: „pozbawione tej litologii” (str. 42), „litologie...zostały przedstawione..”(str. 52), „...brak oznaczeń tej litologii..” (str. 57), „kompakcja w obrębie litologii” (str. 85), „wystąpienia pojedynczych litologii” (str. 99), „skategoryzowane litologie” (str. 136), „...każda z litologii powinna być rozpatrywana oddzielnie”.(str. 147), „litologia została podzielona” (str. 158).

W przypadku załączników kartograficznych nie jest jasne w jakim stopniu są one dziełem autorki, a w jakim zaczerpniętymi z bazy KGHM. Jest to ważne gdyż niektóre nie są przedstawione w sposób prawidłowy. Przykładowo: na zał. 2 nie wiadomo, czy pokazane zostały wszystkie, czy tylko wybrane wyrobiska górnicze. Mapa strukturalna (zał. graf. 3) i mapy izarytm parametrów łupków (zał. graf. 4,5,6) wykonane zostały przy użyciu krigingu punktowego, zastosowanego do interpolacji danych. W takim przypadku niezbędne jest załączenie wariogramów empirycznych i ich modeli dla oceny poprawności zastosowania tej procedury. Na mapach tych powinny być też przedstawione punkty w których wykonane były obserwacje parametrów, których zróżnicowanie jest na mapie przedstawiane. Są one niezbędne dla oceny wiarygodności map.

Tekst rozprawy jest nadmiernie rozbudowany o informacje zbędne z punktu widzenia jej celu. Przykładowo: w obszernym rozdziale 2, liczącym 30 strony, autorka przedstawia budowę geologiczną obszaru badań, w większości niemającej bezpośredniego związku z tematem pracy (budowa od podłoża monokliny aż po czwartorzęd). Jest to popis znajomości literatury, ale zbędny z punktu widzenia tematyki rozprawy. Z powodzeniem mógł być ograniczony do przedstawienia budowy badanych złóż z uwypukleniem tych elementów ich budowy które mają związek z celem badań.

Niewątpliwą zaletą rozprawy, decydującą o jej wartości są wszechstronne, skrupulatne obserwacje łupków miedzionośnych i ich mineralizacji, dobrze udokumentowane, oraz ich badania przy zastosowaniu właściwie dobranych metod. Ukierunkowane są na poszukiwanie prawidłowości zróżnicowania zawartości miedzi w łupku w zależności od jego położenia, w szczególności od morfologii jego podłoża, której szczególną cechą jest występowanie barier piaskowcowych. Przedstawiona autorska interpretacja wyników badań może być niekiedy dyskusyjna. Sumiennie zebrane i przedstawione dane pozwalają także na prezentowanie wniosków odmiennych, co jest również wartościowym osiągnięciem. Rozprawa wzbogaca stan wiedzy o złożach rud miedzi na monoklinie przedusudeckiej, w szczególności o prawidłowości ich budowy. Stanowi wkład do dyskusji na temat ich genezy. Te walory rozprawy równoważą jej liczne niedociągnięcia i uchybienia, przeważnie natury redakcyjnej oraz błędy w stosowaniu metod statystycznych, nieistotne z punktu widzenia formułowanych wniosków.

Cel rozprawy jest jasno określony: poszukiwanie zależności pomiędzy cechami litologicznymi skał łupkowych, ich miąższością i położeniem w depresjach stropu piaskowców, a mineralizacją miedziową. Tezy pracy sformułowane zostały w postaci stwierdzeń:

1. warunki sedymentacji łupku i jego wykształcenie litologiczne uzależnione są od położenia w stosunku do elewacji stropu białego spągowca,
2. wykształcenie litologiczne łupku i jego położenie w stosunku do elewacji stropu białego spągowca miały wpływ na rozmieszczenie mineralizacji (miedziowej),
3. wykształcenie litologiczne łupku, jego miąższość i położenie w stosunku do elewacji stropu białego spągowca oraz dominujące minerały kruszcowe miały wpływ na przestrzenną zawartość miedzi i zasobność złoża.

Autorka nie podaje podstawy dla takiego sformułowania tych stwierdzeń, które ma wpływ na sposób przedstawiania wniosków rozprawy.

Podstawą dla przeprowadzonych badań są dwa zbiory próbek i obserwacji:

- własne autorki,
- zaczerpnięte z bazy danych KGHM.

Zbadane zostały 42 profile łupków i pobrane do badań 150 próbek (informacja kilkakrotnie powtarzana –str. 36 i 51). Wyniki ich badań przedstawiane są w kolejnych rozdziałach. Wykorzystanych zostało dodatkowo 15237 profili z bazy danych KGHM. Ich analiza przedstawiona jest oddzielnie, co jest uzasadnione, tym że były wykonywane według innej metodyki postępowania niż badania Autorki rozprawy.

W badaniach profili własnych Autorka rozpatruje indywidualnie poszczególne odmiany litologiczne łupku. Wyróżnia je na podstawie obserwacji w wyrobiskach kopalnianych oraz na wynikach badań pobranych próbek. Określa ich miąższość jako „miąższość pobranych próbek” (str. 153). Dane KGHM dotyczą pełnych profili łupku miedzionośnego, niezależnie od jego zróżnicowania w profilu. Rozpatrywane są zatem dwa zbiory różnych danych, bezpośrednio nieporównywalne, co ilustrują średnie wartości rozpatrywanych parametrów:

Źródło danych	Rodzaj danych	Wartości średnie		
		Miąższość m	Zawartość Cu %	Zasobność t/m ²
Badania Autorki Tab. 7.2.1.1	Pobrane próbki łupku (odmian łupku)	0,15	9,24	32,37
KGHM str. 161, 163, 164	Pełne profile łupków	0,31	9,79	64,87

Celem praktycznym rozprawy jest próba dostarczenia danych dla wydzielenia części złoża (określanych jako „domeny”) o różnych właściwościach rudy z punktu widzenia właściwości przerobczych (w szczególności flotacyjnych) określanych jako „metalurgiczne”.

Brak jest zwartego omówienia stanu wiedzy dotyczącej występowania łupka miedzionośnego i wyników wcześniejszych badań oraz relacji badań podjętych przez Autorkę w stosunku do tego stanu wiedzy. Szczegółowe omówienie wyników starszych badań i poglądów poprzedzają dopiero kolejne rozdziały (4.1, 5.1, 6.1, 7.1). Nie daje to całościowego jednolitego poglądu na stan wiedzy o prawidłowościach wykształcenia łupków miedzionośnych i ich mineralizacji. Utrudnia też ocenę celowości badań podjętych przez Autorkę rozprawy i zakresu zaplanowanych badań. Przykładowo mapy miąższości łupku, zawartości miedzi i zasobności przedstawione w zał. 4,5,6 ilustrują wyraźnie zależność tych parametrów od morfologii podłoża łupku. Sens badań tych zależności przez Autorkę na podstawie danych z bazy KGHM nie jest w związku z tym zrozumiały, a rozmieszczenie badanych profili w stosunku do obrazu na tych mapach sugeruje, że pominięte zostały obszary w których łupek osiąga największą miąższość, a zatem obraz jego zróżnicowania przedstawiony w Rozprawie jest niepełny. Szereg wniosków formułowanych przez Autorkę wynika wprost z analizy map przedstawionych w załącznikach i robi wrażenie nie potrzebnego potwierdzenia wniosków oczywistych. Nowym jest oszacowanie wpływu morfologii podłoża łupków na ich zróżnicowanie litologiczne oraz zmienność ich parametrów.

Badania realizowane były przez autorkę w trzech etapach obejmujących:

- I. obserwacje w wyrobiskach górniczych w szczególności struktur sedymentacyjnych i tektonicznych łupków miedzionośnych, oraz badania pobranych próbek (petrograficzne, chemiczne), a także analizę danych z bazy KGHM,
- II. badania mikroskopowe mineralizacji kruszcowej oraz badania statystyczne współzależności mineralizacji od cech litologicznych łupków i lokalizacji badanych próbek,

III. badania statystyczne zależności zawartości i zasobności miedzi od położenia w stosunku do elewacji białego spągowca oraz cech litologicznych łupków.

Sposób wykonania obserwacji kopalnianych i badań kameralnych został w sposób obszerny przedstawiony, ale zawiera pewne luki:

- nie wyjaśniono na czym polegały „analizy sedymentologiczne” (str. 37),
- nie podano wielkości badanych preparatów mikroskopowych zwłaszcza w świetle odbitym, a ma to istotne znaczenie dla oceny ilościowej udziału minerałów kruszczowych jeśli nie występują w formie drobno rozproszonej.

Prace kameralne dotyczyły prezentacji kartograficznej (na przekrojach i mapach) wykonanych obserwacji z uwzględnieniem danych z bazy KGHM. Opis ich zawiera wiele niejasności. Nie jasne jest:

- „przesuwanie osi każdej depresji o 500 m”; stwarza to wrażenie nieuzasadnionej manipulacji danymi (str. 40),
- „wykonano model ..powierzchni ...powierzchnię trendu.. wychyloną zgodnie z kątem upadu monokliny..” (str. 40). Jak określano ten trend?
- odstępstwa od generalnego trendu okazały się zbyt wysokie... aby uznać powierzchnie trendu.....i przedstawić je jako wiarygodne wyniki” (str. 41). Jakie były kryteria tej „wysokości”?

Ważną część pracy stanowią wyniki badań statystycznych. W rozdziale poświęconym metodom badań (3.4.2) nie przedstawiono zastosowanych metod i uzasadnienia ich doboru (omawiane są dopiero w rozdz. 7). Wymienione zostały tylko zastosowane programy komputerowe (str. 42). Szkoda, że nie zostały one przedstawione tabelarycznie zamiast wyliczanki opisowej w tekście.

W opisie metodyki badań nie jasne jest:

- na czym polegała „analiza gęstości sieci opróbowania” (str. 41),
- przyczyny usunięcia profili w których stwierdzono zawartości Cu lub miąższości (łupków?) za znacznie odbiegające od pozostałych. „Odbieganie” nie jest argumentem wystarczającym.

Głównym przedmiotem zainteresowania autorki rozprawy jest łupek miedzionośny. Ogólne jego cechy omawiane są w rozdziale 4. Szczegółowo, na podstawie wcześniejszych badań, zostały przedstawione cechy litologiczne łupku. Zamiast mało przejrzystego opisu lepsze by było zestawienie i porównanie poglądów w zestawieniu tabelarycznym. Przegląd ten nie jest wolny od drobnych nieścisłości np. różne podawane zawartości węgla organicznego w łupku: na str. 46 od 0,5 do 12,88 % i... dochodząc do 30 %?? Na str. 44 od 2 do 16 %. Nie wydaje się potrzebny nadmiar szczegółowych informacji zbędnych z punktu widzenia celu rozprawy, np. odnośnie składu chemicznego łupków; wystarczające jest jego tabelaryczne przedstawienie. Ważniejsze było by przedstawienie parametrów przeróbczych łupku gdyż jednym z deklarowanych celów rozprawy jest próba dostarczenia danych dla wydzielenia części złożach o różnych właściwościach rudy z punktu widzenia tych właściwości.

W rozprawie, na podstawie przeprowadzonych obserwacji i badań, zaproponowany został uporządkowany, własny podział łupków miedzionośnych na dające się wyróżnić odmiany. W opisie wyróżnianych odmian częste są odwołania do badań innych autorów, wcześniej omówionych. Takie powtórzenia nie służą przejrzystości prezentacji badań własnych. W rozprawie wykorzystane zostały także dane z bazy KGHM. Porównania ich z danymi własnymi Autorki rozrzucone są w różnych częściach rozprawy (np. także w rozdz. 5.4.4). Brak zwięzłego całościowego ich porównania np. w rozdziale poświęconym metodyce badań.

W rozdz. 4.2.2.1 Autorka zwraca uwagę na liczne deformacje tektoniczne w poziomie łupków, zwłaszcza smolistych (opisane szczegółowo w rozdz.5.3.2 i dokumentowane fotografiami), ale w dalszych rozważaniach bagatelizuje ich znaczenie dla rozmieszczenia mineralizacji. Być może zaburzenia tektoniczne są powodem zaburzeń sekwencji odmian litologicznych w obrębie łupków (przedstawionych w rozdz. 5.4.3), kilkakrotnego pojawiania się łupków smolistych w profilu i drastycznych zmian miąższości oraz następstwa wyróżnianych odmian łupku na krótkim dystansie trudnych do wyjaśnienia warunkami sedymentacji a możliwymi jako efekt nisko kątowych ścięć.

Zasadnicza część rozprawy stanowią rozdziały 5, 6 i 7- w których autorka przedstawia wyniki własnych badań odnośnie wykształcenia łupku miedzionośnego (rozd. 5), jego okruszczenia (rozd. 6) i zmienności zawartości miedzi (rozd. 7) w depresjach stropu białego spągowca. Częste w tych rozdziałach są powtórzenia fragmentów treści wcześniejszych rozdziałów. Autorka przedstawia w nich krótko wyniki starszych badań i bardzo szczegółowy, ale mało przejrzysty opis własnych obserwacji. Przykładowo rozdział 5.2 zawiera opisy badanych profili. Autorka, w sposób bezlitosny dla czytelnika, starała się przedstawić pełną dokumentację wykonanych obserwacji. Idea chwalebna ale nagromadzenie różnych faktów utrudnia porównywanie poszczególnych profili. Lepsze by było jakieś tabelaryczne ich zestawienie z odwołaniem do załączników graficznych. Syntetyczny opis zróżnicowania wykształcenia łupków zawiera rozdz. 5.4 i byłby on wystarczający. Osobno przedstawione są profile litologiczne (rozd. 5.2) i obserwowane struktury sedymentacyjne i tektoniczne (rozd. 5.3) . Powoduje to rozproszenie informacji odnośnie wykształcenia łupku w depresjach piaskowca.

Istotne znaczenie dla poszukiwania prawidłowości zróżnicowania litologicznego łupków i ich mineralizacji ma rekonstrukcja paleomorfologii stropu piaskowców białego spągowca. Rekonstrukcja ta nie jest w pełni jasna. Co oznacza „nie uwzględniano osobno oddziaływania uskoków” (str. 88) ?. Czy eliminowany był wpływ uskoków? Brak bliższych informacji jak wyznaczono powierzchnię trendu nachylenia warstw („spągu cechsztynu”). Wielkość tego nachylenia i wielkopromienne deformacje ciągłe mogą decydować o interpretacji lokalnego zróżnicowaniu nachylenia skłónów SW i NE wałów piaskowcowych.

W rozdziale 5.5 przedstawione jest podsumowanie wykonanych analiz litologicznych. Zbędna jest część tytułu „ i wnioski w odniesieniu do literatury i I tezy” oraz powtarzanie brzmienia tezy I. Rozdział powtarza też wiele stwierdzeń zawartych w poprzednich rozdziałach („autorka analizowała...łupek miedzionośny na podstawie linii przekrojowych.....”, „Przeanalizowano morfologię powierzchni spągu cechsztynu...” itp.) . W treści rozdziału powtarzane są te same stwierdzenia (np. „Oba skłony rewelacji Rudnej stanowiły uprzywilejowane miejsce akumulacji wyższych miąższości łupku” na str. 105 i 107). Zasadniczą treścią rozdziału jest prezentacja podstawowych prawidłowości wykształcenia łupku miedzionośnego i ich interpretacja w nawiązaniu do warunków sedymentacji. Niektóre poglądy autorki są dyskusyjne. Np. związek miąższości łupku z kierunkami falowania (str. 105) gdyż cechy litologiczne łupku wskazują raczej na bardzo spokojną sedymentacji. Nowym i ważnym i nowym jest:

- potwierdzenie, że elewacje stropu białego spągowca miały wpływ na warunki sedymentacji łupku i jego wykształcenie litologiczne,
- stwierdzenie, że zmienność litologiczna łupku jest różna w granicach różnych depresji, a także w poszczególnych częściach tej samej depresji.

Ostatecznie Autorka rozprawy uznaje, że „elewacje stropu białego spągowca miały znaczący wpływ na wykształcenie litologiczne łupku i warunki jego sedymentacji”. Jednakże równocześnie wykazuje, że stworzenie jednolitego modelu litologicznego dla większego obszaru jej zdaniem „byłoby znacznie

utrudnione”. Przedstawione przez nią dane wskazują raczej, że jest to niemożliwe, co też jest ważnym wnioskiem jaki na podstawie jej pracy można sformułować.

Rozdział 6 poświęcony jest okruszczeniu łupku miedzionośnego w depresjach białego spągowca. W podrozdziale 6.1. Autorka omawia wyniki wcześniejszych badań. Ich szczegółowe przedstawienie w ujęciu historycznym wydaje się zbędne. Wystarczające mogło być odwołanie do najnowszych syntetycznych badań (np. J. Pieczonki) nawiązujących także do wcześniejszych.

W rozdz. 6.2 przedstawione są wyniki badań petrograficznych wykonanych przez autorkę rozprawy. Cel jest jasny, ale przedstawiony w sposób zawity we wstępie rozdziału.

Opis minerałów kruszczowych jest nieuporządkowany. Oddzielnie przedstawiony został opis form występowania poszczególnych minerałów (str. 114 – 117), typów mineralizacji na podstawie form występowania skupień kruszców (str. 119) i rodzajów mineralizacji wyróżnionych na podstawie dominujących minerałów (str. 120-128). Opisy są bardzo szczegółowe i przez to mało przejrzyste. Wskazane by było ich przedstawienie w sposób bardziej syntetyczny. Badania Autorki ilustrowane są bardzo licznymi fotografiami. Często przedstawiane są na nich podobne zjawiska i z bardzo wielu, zwłaszcza mało czytelnych można było zrezygnować.

Niepodane zostały wymiary preparatów mikroskopowych. Domniemywać można, że wynosiły 4-6 cm². Są to wymiary zbyt małe by można uznać za reprezentatywne oceny zawartości minerałów na podstawie ich planimetrowania. Wyniki te mogą być obarczone niepewnością z powodu lokalnej zmienności, która nie była badana.

Wyróżnionych zostało kilka typów mineralizacji: CC lub CC_{ogółem} z dominacją chalkozynu (23,3 – 100%), CC_{mono} chalkozynowa (51-100% chalkozynu), CC+ chalkozynowa (23,3 – 78,8% chalkozynu z domieszkami innych minerałów ponad 20 %, BN bornitowa (31,7 – 69,8% bornitu), CPY chalkopirytowa (33,4 – 74,5 % chalkopiryty), CV kowelinowa (46,3 % kowelinu), SF sfalerytowa (32,8 – 81,7% sfalertytu), GA galenowa (36,8 – 43,5% galeny), PY pirytowa (41,2 – 84,9% piryty). Nie jasne są kryteria wyznaczania wartości granicznych zawartości minerałów w wyróżnianych typach mineralizacji, gdyż jest to podział nierozłączny.

Autorka wykazuje ogólną zgodność wyników jej badań zróżnicowania przestrzennego mineralizacji z wynikami wcześniejszych badań. Zwraca uwagę, że istnieją różnice mineralizacji w zależności od typu łupku oraz na skłonach elewacji jego podłoża i w depresjach. Zróżnicowanie to nie jest w pełni oczywiste i bada jego istotność za pomocą testu χ^2 o braku różnic. Zastosowanie tego testu przedstawione jest w sposób nieprzejrzysty. Wynik testu oznacza, że nie ma podstaw do akceptacji braku różnic na określonym poziomie istotności, a zatem można przyjąć hipotezę alternatywną. Autorka stwierdza zatem, że skład mineralny kruszców jest powiązany z odmianami litologicznymi łupku i jego lokalizacją w obrębie depresji stropu białego spągowca. Obliczony współczynnik V Cramera wskazuje, że zależność ta jest „umiarkowana” lub nawet słaba.

W rozdziale 6.5 przedstawione jest podsumowanie wykonanych analiz petrograficznych. Część tytułu „i wnioski w odniesieniu do literatury i II tezy” jest zbędna, a także powtarzanie brzmienia tezy II. Rozdział ten z powodzeniem mógłby zastąpić szczegółowe opisy zawarte w rozdziałach 6.1.–6.4. gdyż powtarza stwierdzenia w nich zawarte.

W konkluzji wykonanych badań Autorka rozprawy wykazuje, że „mineralizacja kruszczowa nie jest jednoznacznie powiązana z wyróżnianymi odmianami łupku (str. 141), ale równocześnie podkreśla, że „Mineralizacja kruszczowa jest jednak powiązana z wykształceniem litologicznym łupku miedzionośnego” gdyż w łupku smolistym i ilastym dominującą jest mineralizacja chalkozynowa.

Stwierdza także zależność pomiędzy dominującymi minerałami kruszcowymi a położeniem w obrębie depresji stropu białego spągowca. Na skłonach elewacji mineralizacja chalkozynowa występuje częściej niż w obrębie depresji stropu białego spągowca. Stwierdza też, że „położenie łupku miedzionośnego w obrębie depresji stropu białego spągowca wraz z litologią miały przynajmniej umiarkowany wpływ na rozmieszczenie mineralizacji kruszcowej”. Odnosi się wrażenie, że na taki sposób formułowania wniosków wynika z chęci uzasadnienia słuszności przyjętej tezy, że wykształcenie łupku oraz jego położenie w obrębie depresji białego spągowca miały wpływ na rozmieszczenie mineralizacji kruszcowej w łupku. Z badań Autorki wynika, że wpływ ten był niezbyt wyraźny.

Rozdział 7 jest zasadniczy z punktu widzenia tytułu całej rozprawy. W obszerny sposób przedstawia stan znajomości zmienności zawartości miedzi i wyniki starszych badań tej zmienności. Referuje wyniki poszczególnych prac bez próby zwięzłego syntetycznego ujęcia ich wyników. Cenne jest zestawienie wyników starszych prac. Przedstawienie ich w sposób często chronologiczny nie daje jednak jasnego obrazu stanu wiedzy i poglądów na temat zmienności zawartości miedzi w stosunku do których można by ocenić wyniki nowszych badań przedstawione w rozprawie.

Zbędna jest dyskusja zróżnicowania zawartości miedzi między poszczególnymi minerałami kruszcowymi w których jest ona podstawowym składnikiem, bo jest ono stechiometrycznie oczywiste, łatwo przeliczalne i kuriozalne jest powoływanie się na dane serwisów internetowych (str. 143).

Badania zmienności zawartości miedzi Autorka rozprawy przeprowadza na podstawie dwóch zbiorów danych, wyników:

- własnego opróbowania,
- opróbowania rutynowego wyrobisk górniczych, z bazy danych KGHM.

Różniły się one sposobem opisu łupków. Nie zwraca uwagi, że globalne wyniki tych dwóch rodzajów opróbowania nie są porównywalne gdyż dotyczą różnych danych.

Badania własne autorki rozprawy dotyczą wyróżnianych odmian łupku. Nie jest w tym jasne czemu mają służyć dane o średnich parametrach próbek obejmujących również częściowo warstwy ponad łupkiem (str. 152 -153). Zbędne jest wymienianie szczegółowe wartości miedzi, bo nic z tego nie wynika po za stwierdzeniem dużego ich zróżnicowania. Związek zawartości miedzi z rodzajem dominujących minerałów kruszcowych jest oczywista bo wynika ze składu tych minerałów. Zestawienie parametrów charakteryzujących zawartości Cu w zależności od typu mineralizacji (tabela 7.2.1.2) dostatecznie wyraźnie to pokazuje.

Na str. 154 mowa jest o „standardowym rozkładzie zawartości miedzi” nie jasne jest co Autorka przez to rozumie w odniesieniu do zawartości miedzi w odmianach litologicznych łupku.

Zróżnicowanie miąższości łupku, zawartości Cu i zasobności w zależności od jego cech litologicznych, składu mineralnego i lokalizacji na tle morfologii stropu piaskowców bada autorka za pomocą analizy wariancyjnej. Wyniki tej analizy mają istotne znaczenie dla oceny zróżnicowania mineralizacji łupków. Przedstawione są one w sposób mało przejrzysty. W tabelach 7.2.2.2 do 7.2.2.5 powinny być podane raczej wartości wariancji, a nie błędu standardowego. Udział wariancji wyjaśnionej η^2 jest wystarczającą miarą „efektu” analizy wariancyjnej. Podanie jego wartości w procentach wystarczająco informuje o stopniu wyjaśnienia zróżnicowania wariancji. Posługiwanie się dodatkowo współczynnikiem r jest zbędne, a zastosowana skala dyskusyjna. W analizie Autorka uwzględnia, że rozkłady rozpatrywanych parametrów nie są normalne, ale nie dostarcza na to dowodów. Analiza rozkładów przedstawiona jest dopiero w rozdziale 7.3.2. Dla uzyskania rozkładu zbliżonego do normalnego do dalszej analizy przyjmuje dane po usunięciu 10 % wartości ekstremalnych

i zastosowaniu metody „bootstrapu”. Może to wpływać na ocenę wyników analizy. Brak jest danych o wartości usuniętych danych (maksymalne czy minimalne?). Z porównania danych tab. 7.2.1.1 i 7.2.2.4 wynika, że w przypadku zawartości Cu w łupku smolistym usunięto aż 14 danych to jest 34%? Ocena wpływu czynnika litologicznego może budzić wątpliwości, bo rozpatrywane były łącznie odmiany litologiczne łupku i dolomitów stropowych, w których zawartość Cu jest w sposób ewidentny mniejsza a ich miąższość sztucznie ograniczona. Niezbyt krytycznie ocenia też Autorka wynik analizy wariacyjnej. W badaniach geologicznych przyjmuje się zwykle poziom istotności 0,05 (5% możliwość popełnienia błędu w ocenie wyników testu). Zróżnicowanie zawartości chalkozynu i innych minerałów łącznie, w zależności od miąższości łupku (tab. 7.2.2.3), jest na granicy istotności ($p=0,049$), a przy bardziej szczegółowym wyróżnieniu minerałów dominujących jest statystycznie nieistotna na poziomie istotności 0,05 (tab. 7.2.2.4, $p=0,194$).

W efekcie zastosowania analizy wariacyjnej Autorka stwierdza, że zróżnicowanie miąższości i zasobności łupku w zależności od położenia w obrębie depresji stropu białego spągowca jest statystycznie nieistotne, a zawartości Cu na granicy istotności, mimo że różnice jej średniej zawartości są wyraźne (odpowiednio 7,56% w centrum depresji i 10,23% na skłonach). Przyczyną może być duża zmienność zawartości miedzi. Współczynniki zmienności (nieobliczane przez Autorkę) wynoszą odpowiednio 76,3% i 50,1%. Wynikać to też może z położenia badanych profili.

W rozdziale 7.3 przedstawione są wyniki badań zróżnicowania zawartości Cu, miąższości i zasobności łupku wykonanych na podstawie danych z bazy KGHM dla 15237 pełnych prób bruzdowych w 6 obszarach. Rozpatrywane były dane dotyczące pełnej miąższości łupku. Szczegółowe dane dla profili łupku wzdłuż badanych linii przekrojowych zestawione są w załączniku tabelarycznym 1, oraz przedstawione w załączniku graficznym 7-19.

Opis zróżnicowania odpowiednich parametrów łupku jest mało przejrzysty, lepszy by był w formie tabelaryzowanej. Występuje ono zarówno między obszarami w kop. Rudna i Sieroszowice jak również w zależności od morfologii stropu piaskowców białego spągowca. Wzdłuż linii przekrojowych badanych przez Autorkę rozprawy stwierdzone zostały wyższe zawartości miedzi w łupku na skłonach depresji niż w jej centrum (odpowiednio 10,69-10,81% i 8,27%) oraz większe miąższości łupku w centrum i mniejsze na skłonach (odpowiednio 0,36 w centrum, 0,20-0,26 na skłonach). Autorka na podstawie korelacji współczynników zmienności obu tych parametrów stwierdza, że w zależności od sposobu porównywania wyróżnianych obszarów ich współzależność jest słaba lub jej brak. Współczynnik determinacji 0,053 wskazuje że co najwyżej 5% zmienności miąższości i zawartości miedzi może być tłumaczone ich współzależnością.

Zasobność łupku jest zróżnicowana w podobny sposób jak jego miąższości gdyż jest w większym stopniu od niej uzależniona niż od zawartości miedzi.

Zróżnicowanie poszczególnych obszarów w granicach kopalń Autorka przedstawia metodą rankingową (tab. 7.3.1.1.) i stwierdza niższe wartości rozpatrywanych parametrów w złożu Rudna niż w złożu Sieroszowice.

Uzupełnieniem analizy zróżnicowania zakresu zmienności i średnich wartości miąższości łupku, zawartości miedzi i zasobności są badania rozkładów tych parametrów przedstawionych za pomocą histogramów w zał. tabelarycznym 6-8. Autorka stara się opisać rozkłady empiryczne za pomocą rozkładów: normalnego, lognormalnego i χ^2 . Ich zgodność sprawdza za pomocą testów: Smirnowa-Kołmogorowa, χ^2 i Lilieforsa. Stwierdza, że w większości przypadków brak podstaw dla stwierdzenia zgodności rozkładu empirycznego i teoretycznego. Przegląd histogramów w zał. tabelarycznym 6-8 pokazuje bardzo duże ich zróżnicowanie i niewłaściwe postępowanie z dopasowywaniem rozkładów teoretycznych, na co wskazuje duża rozbieżność obrazu histogramów i teoretycznych krzywych

rozkładu, nieraz bardzo drastyczna. Przykładowo zawartość Cu w łupku w obszarze „ob. 10, domenie sk2” ma wizualnie rozkład ujemnie lognormalny a próbowano go opisać za pomocą normalnego, lognormalnego i χ^2 . Autorka padła ofiarą programów STATISTICA stosowanych w sposób zbyt sformalizowany. Niektóre rozkłady są dwu lub nawet wielomodalne, złożone. W takich przypadkach aproksymacja ich za pomocą rozkładów jednomodalnych jest bezsensowna. Histogramy konstruowane były na podstawie bardzo dużych zbiorów obserwacji (po kilkaset) i wskazane by było stosowanie węższych przedziałów klasowych przy ich konstrukcji.

Wbrew stwierdzeniu, że brak podstaw dla stwierdzenia zgodności rozkładu empirycznego i teoretycznego Autorka bada różnicowanie rozkładów empirycznych na podstawie wyników testowania ich zgodności z rozkładem teoretycznym za pomocą testu d Smirnowa-Kołmogorowa. Do dalszych rozważań wybiera te rozkłady teoretyczne, dla których wartość testu jest najniższa, to znaczy te, dla których najmniejsza jest różnica między dystrybuantą empiryczną i teoretyczną (zał. tab. 5). Tak wybierane wartości „d” dla poszczególnych rozkładów są zróżnicowane od 0,05 do 0,47, a zatem w szerokich granicach. Przy wartościach $d > 0,1$ rozkłady empiryczne i teoretyczne wyraźnie się różnią a zwłaszcza przy wartościach $d > 2$ i wskazują że opisywanie ich za pomocą sztucznie, formalnie dobieranych rozkładów teoretycznych jest bezsensowne. W związku z tym pozbawiona jest sensu tabela 7.3.2.1 i oparte na niej rozważania (str. 166 – 168). Rozkłady empiryczne miąższości i zasobności łupku w niektórych obszarach są wyraźne odmienne na skłonach i w centrum depresji stropu białego spągowca. Rozkłady zawartości miedzi są mniej zróżnicowane. Duża różnorodność rozkładów sugeruje że być może do ich opisu lepszymi były by rozkłady Γ (gamma). Zamiast wątpliwej interpretacji testowania zgodności z rozkładami teoretycznymi, wystarczające by było opisowe rozróżnienie rozkładów symetrycznych i asymetrycznych (często wyraźnie widoczne) oraz dających się zauważyć wielomodalnych. Wydaje się, że lepszą metodą od zastosowanej przez Autorkę było by też wzajemne porównywanie rozkładów i badanie tego zróżnicowania za pomocą testu d Smirnowa-Kołmogorowa (łatwe także do wykonania przez przedstawienie dystrybuant na siatce probabilistycznej).

Analiza rozkładów parametrów złóż, mimo pozornej prostoty jest zagadnieniem trudnym. Wykazano już dawno (Ianovici i Dumitriu), że rozkłady jednomodalne, nawet symetryczne mogą powstać z nakładania się kilku rozkładów o różnych parametrach. Postać rozkładu empirycznego zależy w dużej mierze od przyjętej szerokości klas. Problemem nie do końca rozwiązany jest interpretacja rozkładów wielomodalnych i wydzielanie rozkładów składowych. Sformalizowane próby interpretacji rozkładów są często drogą prowadzącą na manowce.

Zróżnicowanie parametrów łupków wyraźnie zaznacza się na mapach (zał. graf. 4, 5, 6). Autorka rozprawy dodatkowo zbadała je wzdłuż wybranych linii przekrojowych na podstawie danych z bazy KGHM także przy zastosowaniu analizy wariancyjnej (rozdz. 7.3.3). Stwierdzone zostało istotne, zróżnicowanie zawartości miedzi między badanymi obszarami kopalń i strefami morfologii podłoża łupków, ale stopień jego wyjaśnienia jest niewielki, 12% zróżnicowania między obszarami kopalń i tylko 7% w zależności od morfologii podłoża łupku oraz łącznie 20%. Równie istotne jest zróżnicowanie miąższości łupku, ale w większym stopniu wyjaśnione przez morfologię jego podłoża (12%) niż w zależności od położenia w granicach kopalń. Zróżnicowanie zasobności jest w niewielkim stopniu wyjaśnione odpowiednio 5 i 4% (i łącznie 10%).

Badaniu zależności miąższości łupku i zawartości miedzi poświęcony jest rozdz. 7.3.4. Autorka przedstawia je za pomocą „histogramów zależności”. Są one niezrozumiałe, w szczególności opis osi zawartości Cu [%]. Należało raczej przedstawić wykresy korelacyjne (zbiorczo przedstawione na rys. 7.3.5.1 i 7.3.5.2). Wyliczone współczynniki korelacji w poszczególnych badanych obszarach wynoszą -0,147 do -0,59 i dla całości -0,435. Interesujące jest stwierdzenie odwrotnej korelacji miąższości łupki

i zawartości miedzi. Jest to jednak korelacja bardzo słaba (wyjaśnia 2 do 35 % współzależności miąższości łupku i zawartości miedzi).

Badania korelacji miąższości łupku i zawartości miedzi w centrum i na skłonach depresji piaskowców białego spągowca (prawdopodobnie przedstawione w tabeli 7.3.4.2. bo w jej opisie nie podano co jest korelowane) pokazują, że jest ona zróżnicowana niezależnie od położenia, od jej braku lub stwierdzanej bardzo słabej (współczynnik determinacji 0,3 %) do słabej (do 30 % wyjaśnienia). Niezależnie od tej ujemnej korelacji wysokie zawartości Cu stwierdzane były wyjątkowo przy bardzo dużej miąższości łupku ponad 0,8m) co może być związane ze zjawiskami tektonicznymi.

Zastosowane hierarchiczne modelowanie regresji potwierdziło wyniki uzyskane przy wykorzystaniu innych metod. Wykresy korelacyjne pokazują jednak bardzo duże zróżnicowanie zawartości Cu w poszczególnych klasach miąższości, w szczególności gdy jest ona niewielka.

W podsumowaniu badań statystycznych w rozdz. 7.4 niepotrzebnie powtórzony jest opis wyników badań (str. 181 – 190) przed zwięzłym ich podsumowaniem, w nawiązaniu do tezy III rozprawy. W wyniku przeprowadzonych badań Autorka rozprawy stwierdza, że:

1. zróżnicowanie litologiczne łupku jest odpowiedzialne za 50% wariacji zawartości miedzi,
2. zaznacza się ujemna korelacja między zawartością miedzi a całkowitą miąższością łupku (wg. danych KGHM), ale współzależność tą należałoby uznać za słabą (współczynnik determinacji tylko 19 %) i jest bardzo zróżnicowana w zależności od położenia w nawiązaniu do morfologii podłoża łupku, silniejsza w centrum depresji niż na jej skłonach,
3. zawartość miedzi jest uzależniona od zawartości minerałów kruszcowych, w szczególności chalkozynu (co jest oczywiste z uwagi na jego skład),
4. zawartości miedzi zależą od położenia w granicach rozpatrywanych kopalń ale niezależnie od tego są nieco mniejsze w centrum depresji niż na jej skłonach, a ich zmienność większa w centrum niż na skłonach,
5. zróżnicowanie litologiczne łupku jest odpowiedzialne za 29 % wariacji zasobności miedzi,
6. zróżnicowanie zasobności jest bardzo wyraźnie uzależnione od rodzaju mineralizacji (dominujących minerałów kruszcowych),
7. średnie zasobności odmian litologicznych łupku są wyższe w strefie centralnej depresji stropu białego spągowca niż na jej skłonach, a w tym nieco wyższe na skłonach SW niż NE a zmienność zasobności jest zróżnicowana odwrotnie; jest to odzwierciedleniem przede wszystkim odpowiedniego zróżnicowania miąższości łupku,
8. zróżnicowanie zasobności pełnych profili łupków (na podstawie danych KGHM) w zależności od położenia w granicach rozpatrywanych kopalń oraz w zależności od morfologii podłoża łupków jest bardzo słabo zaznaczone (odpowiada odpowiednio za 5 i 4 % jej wariacji i łącznie za 10 %).
9. Zróżnicowane są rozkłady parametrów łupku w zależności od położenia w stosunku do morfologii ich podłoża. Sposób opisu tego zróżnicowania nie jest poprawny, ale można stwierdzić, że w strefach depresji podłoża łupków rozkłady ich miąższości są symetryczne, a na ich skłonach skośne, natomiast zawartości miedzi symetryczne na skłonach depresji, a skośne w ich centrum.

Podsumowującym rozprawę jest rozdział 8, w którym Autorka próbuje interpretować wyniki wykonanych badań w nawiązaniu do koncepcji genezy złoża oraz z punktu widzenia ich wykorzystania do celów praktycznych.

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzone zostało zróżnicowanie litologiczne łupków i częste następstwo w ich profilu odmian o zmniejszającym się udziale substancji organicznych. Potwierdzone

zostało stopniowe wypływanie zbiornika (kończące się ostatecznie sedymentacją ewaporatów). Stwierdzone zostało znaczne zróżnicowanie miąższości poszczególnych odmian łupku w poziomie. Tłumaczone jest ono zmianami warunków sedymentacji. Zmiany te są niezbyt zrozumiałe w przypadku występowania na odcinku kilkunastu metrów. Kwestia wyjaśnienia tego zróżnicowania jest dyskusyjna. Być może zaznaczył się tu wpływ zaburzeń tektonicznych syn sedymentacyjnych lub późniejszych wśród warstwowych poślizgów, które Autorka rejestrowała (i dokumentowała fotografiami), ale nie uwzględniła w swojej interpretacji zróżnicowania cech łupków. Takie zaburzenia mogą być powodem pojawiania się nietypowego następstwa odmian litologicznych i kilkakrotnego pojawiania się ich w profilu. Opisywane „intraklasty węglanowe” i „piaskowcowe” mogą być również porwakami tektonicznymi. Dla wyjaśnienia tego konieczne by były bardziej szczegółowe obserwacje wykształcenia łupków w poziomie. Cechy litologiczne łupku wskazują na spokojną sedymentację między wałami piaszczystymi. Przypuszczenie o udziale wód sztormowych niszczących szczyty tych wałów wydaje się wątpliwe, co sugerują rozważania autorki oparte na przeglądzie wyników wcześniejszych badań.

Dużą zmienność litologiczną łupku stwierdza Autorka w granicach depresji ich podłoża. Nie stwierdza zależności następstwa wyróżnianych odmian litologicznych łupka od położenia w centrum lub na skłonach tych depresji, natomiast występują pewne różnice w zależności od położenia w granicach badanych kopalń. Próba wyjaśnienia obserwowanego zróżnicowania wykształcenia łupków nie doprowadziła do jednoznacznego poglądu (str. 196). Istotnym wnioskiem jest jednak stwierdzenie, że stworzenie jednolitego modelu zróżnicowania litologicznego łupku jest bardzo utrudnione. Na tej podstawie można domniemywać, że przyczyną są lokalnie zróżnicowane warunki ich sedymentacji (w czasie i przestrzeni), i stworzenie takiego jednolitego modelu jest chyba praktycznie niemożliwe, co jest ważnym wnioskiem jaki można sformułować na podstawie recenzowanej rozprawy.

Wyniki wykonanych badań Autorka konfrontuje z poglądami na genezę złoża. Zakłada, zgodnie z panującą obecnie modą, ascensyjny dopływ roztworów mineralizujących. Nie rozpatruje możliwości synsedymentacyjnej akumulacji kruszców w warunkach euksynicznych (także doprowadzanych ascensyjnie), która tłumaczyłaby zmienność mineralizacji w profilu pionowym i w poziomie. W licznych badaniach wykazywana jest wielofazowość mineralizacji i możliwość wielokrotnej jej redystrybucji. Badania Autorki wzbogacają dyskusję na temat genezy mineralizacji o wniosek, że dopływ roztworów mineralizujących miał prawdopodobnie miejsce przede wszystkim w strefach skłonów depresji podłoża łupków miedzionośnych. Łupki, zgodnie z przypuszczeniami innych autorów, stanowiły barierę geochemiczną dla migracji roztworów.

Stwierdzone prawidłowości okruszczenia łupku stara się Autorka także zinterpretować w nawiązaniu do poszukiwania sposobu wyróżniania w złożu części (domen) o określonych właściwościach rud z punktu widzenia wymagań ich przeróbki (właściwości flotacyjnych). Mniema, że wyniki jej pracy mogą wspomóc opracowanie zasad ich wydzielania. W szczególności znaczenie ma rozróżnienie: skłonów i centrów depresji podłoża łupków, znajdujące wyraz w zróżnicowaniu zawartości miedzi i rodzaju dominujących minerałów kruszczowych, oraz znane już wcześniej zróżnicowanie łupków smolistych (bogatych w substancje organiczną) i dolomitycznych.

W podsumowaniu rozprawy brak jest zbiorczego wskazania, co jest istotnym nowym wynikiem wykonanych badań w stosunku do wcześniejszego stanu wiedzy na temat łupków miedzionośnych.

Zdaniem recenzenta najciekawsze to:

- opis zróżnicowania litologicznego łupków i ich mineralizacji w stosunku do morfologii ich podłoża.

- określenie stopnia współzależności miąższości łupku oraz jego odmian litologicznych, zawartości miedzi i zasobności i stwierdzenie, że zaznacza się ona w sposób niezbyt wyraźny,
- stwierdzenie dużego zróżnicowania zmienności parametrów łupków, które powoduje, że stworzenie jednolitego modelu zróżnicowania litologicznego łupku jest bardzo utrudnione i na obecnym etapie badań niemożliwe.
- koncepcja dopływu roztworów mineralizujących w strefach skłonów depresji podłoża łupków miedzionośnych.

Wyniki badań Autorki potwierdzają duże zróżnicowanie cech złoża i wykazują trudności wykazania ich prawidłowości. Pokazują, że warunki formowania złoża były bardzo zróżnicowane i niezależnie od ich wielofazowości były też zapewne modyfikowane przez lokalne czynniki. Rozprawa ma też doniosłe znaczenie praktyczne. Obserwowane zróżnicowanie i współzależność parametrów złoża i jego mineralizacji powinny być uwzględnione w próbach wydzielania jego części (domen) jednorodnych z uwagi na właściwości flotacyjne rudy. Zarazem można wysnuć wniosek, że próby ich wydzielenia na większych obszarach mogą kończyć się niepowodzeniem, a właściwszym było by poszukiwanie metod przeróbki rudy odpornych na zróżnicowanie jej składu mineralnego. Rozprawa skłania do takich rozważań.

W recenzowanej rozprawie Autorka wykazała się dobrą znajomością wcześniejszych badań potwierdzoną obszerną bibliografią. Cel pracy i jej tezy zostały wyraźnie określone. Bardzo sumiennie wykonane zostały odpowiednie, wszechstronne badania: obserwacje terenowe i badania petrograficzne. Do opracowania wyników obserwacji zastosowane zostały właściwie dobrane metody statystyczne. Niewłaściwy jest co prawda sposób opisu krzywych rozkładów parametrów złożowych, ale nie wpływa to na sposób sformułowania wniosków. Wyniki te wzbogacają stan wiedzy o złożach rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej, mogą być punktem wyjścia dla bardziej zaawansowanych badań. Słabą stroną pracy jest jej niedopracowanie i uchybienia redakcyjne.

Na podstawie przedstawionej analizy i oceny rozprawy doktorskiej można stwierdzić, że:

- stanowi ona oryginalne rozwiązanie właściwie sformułowanego problemu naukowego,
- wyniki pracy mają zarówno znaczenie poznawcze w odniesieniu do warunków powstania złóż rud miedzi jak i praktyczne dla kierowania racjonalną gospodarką eksploatowanym złożem; rozprawa w pełni mieści się w obszarze dyscypliny górnictwo i geologia inżynierska,
- doktorantka wykazała rozległą wiedzę teoretyczną w zakresie tematyki swoich badań i umiejętność jej wykorzystania w ich realizacji,
- wszechstronność zastosowanych metod badawczych wskazuje, że nabyła umiejętność samodzielnego prowadzenia badań naukowych.

Na tej podstawie można stwierdzić, że pani mgr Agata Sokalska spełnia wymagania niezbędne dla uzyskania stopnia doktora, a w szczególności, że przedstawiona przez nią rozprawa doktorska spełnia wymagania określone w art. 13 Ustawy z dn. 14 marca 2003 o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz. 595 z późn. zmianami).



Kraków, 10.11.2018