

dr hab. inż. Leszek Piotr Jurdziak
profesor uczelni

Wrocław 21.02.2019 r.

Wydział Geoinżynierii Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej
ul. Na Grobli 15, 50-421 WROCLAW
tel. 0-71 320 68 30, 697 80 40 55, leszek.jurdziak@pwr.edu.pl

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr. inż. Justyny Auguścik

**pt.: "Struktura zmienności oraz metodyka szacowania zasobów wytypowanych
pierwiastków towarzyszących złożom Cu–Ag LGOM"**

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawę formalną opracowania recenzji stanowi pismo prof. dr hab. inż. Jacka Matyszkiewicza, Dziekana Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie, z dnia 13 grudnia 2018 r. informujące o powołaniu mnie w dniu 3 grudnia 2018 r. przez Radę Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH na recenzenta w/w rozprawy.

1. Przedmiot i zawartość rozprawy

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr. inż. Justyny Auguścik pt.: "***Struktura zmienności oraz metodyka szacowania zasobów wytypowanych pierwiastków towarzyszących złożom Cu–Ag LGOM***".

Pracę jest bardzo obszerna. Składa się z dwóch tomów: *Rozprawy doktorskiej* liczącej 150 ponumerowanych stron oraz *Załączników rysunkowych i tabelarycznych* zajmujących 73 nieponumerowane strony.

Zasadniczą rozprawę rozpoczyna krótkie *Wprowadzenie* (rozd. 1), w którym Doktorantka uzasadniła wybór pierwiastków do badań. Potem w rozdziale 2. przedstawiła od razu *Cel i zakres pracy* (rozd. 2). Kolejne 13 rozdziałów (od rozdz. 3 do rozdz. 15) tworzy zasadniczą część rozprawy. W rozdziale 3 Doktorantka przedstawiła *charakterystykę obszaru badań*, omawiając *położenie geograficzne i administracyjne* (rozd.3.1) i *zarys budowy geologicznej rejonu badań* (rozd. 3.2). *Dotychczasowy stan badań nad występowaniem pierwiastków towarzyszących w złożach Cu–Ag LGOM* omówiony został w rozdziale 4 (liczącym 9 stron). Rozdział 5 zawiera *charakterystykę materiału podstawowego badań*, który stanowiły wyniki opróbowania złoża w wyrobiskach górniczych na obszarze złoża Rudna wykonanych do połowy 2016 roku oraz baza danych dla arsenu, którą zawierała wyniki oznaczeń zgromadzonych do grudnia 2017 roku. W kolejnym rozdziale (6.) Doktorantka przedstawiła *metodykę badania zmienności zasobności miedzi i pierwiastków towarzyszących złożom Cu–Ag LGOM* omawiając najpierw *badanie zmienności w ujęciu probabilistycznym* (rozd. 6.1) i *geostatystycznym*

(rozdz. 6.2) oraz zastosowane metody interpolacji punktowej i blokowej (rozdz. 6.3). W rozdziale 7 Doktorantka przedstawiła analizę statystyczną zmienności parametrów zasobowych miedzi i zasobności pierwiastków towarzyszących w złożu bilansowym Cu-Ag Rudna. Omawiając najpierw miąższość złoża bilansowego, zawartość i zasobność miedzi (rozdz. 7.1) a następnie zasobność badanych pierwiastków towarzyszących (rozdz. 7.2). Korelację pomiędzy zasobnościami miedzi i pierwiastków towarzyszących złożom Cu-Ag LGOM Doktorantka przedstawiła w rozdziale 8. Następny rozdział (9.) Autorka poświęciła analizie geostatystycznej zmienności zasobności miedzi i pierwiastków towarzyszących w złożu bilansowym Cu-Ag Rudna, przy czym najpierw omówiono zasobność miedzi (rozdz. 9.1), a potem zasobność badanych pierwiastków towarzyszących (rozdz. 9.2). W rozdziale 10 omówiono zmienność lokalną zasobności badanych pierwiastków towarzyszących w złożu Rudna w świetle badań eksperymentalnych (na 12 stronach). A zmienność pionową zawartości pierwiastków towarzyszących w świetle wyników opróbowania eksperymentalnego w rozdziale 11 (na 12 stronach). Zidentyfikowane prawidłowości rozmieszczenia zasobności pierwiastków towarzyszących (As, Co, Ni, Pb i V) w złożu Rudna Doktorantka przedstawiła w rozdziale 12, liczącym 7 stron. Rozdział 13 poświęciła Doktorantka opracowanej metodyce szacowania zasobów pierwiastków towarzyszących złożom Cu-Ag LGOM. Autorka omówiła w nim problemy szacowania zasobów pierwiastków towarzyszących złożom Cu-Ag LGOM (rozdz. 13.1), klasyczne metody szacowania zasobów pierwiastków śladowych oraz proponowana metodyka szacowania zasobów pierwiastków towarzyszących złożom Cu-Ag LGOM (rozdz. 13.2) i zastosowaną metodyką szacowania zasobności i zasobów pierwiastków towarzyszących w złożu Rudna (rozdz. 13.3). W ostatnich dwóch podrozdziałach Autorka przedstawiła ranking dokładności oszacowań średniej zasobności i zasobów badanych pierwiastków towarzyszących (rozdz. 13.4) i badanie wiarygodności punktowego oszacowania zasobności niklu i ołowiu dla fragmentu złoża Rudna (rozdz. 13.5). Rozprawę Doktorantka zakończyła podsumowaniem (rozdz.14) i wnioskami (rozdz. 15) stanowiącymi odrębne rozdziały. W podsumowaniu opisała zidentyfikowaną strukturę zmienności zasobności pierwiastków towarzyszących złożu Cu-Ag Rudna (LGOM) w ujęciu statystycznym (rozdz. 14.1) i geostatystycznym (rozdz.14.2) oraz zmienność lokalną zasobności pierwiastków towarzyszących w serii łupkowej złoża Cu-Ag Rudna (na podstawie opróbowania eksperymentalnego) (rozdz. 14.3). Przedstawiła też szacowanie zasobności pierwiastków towarzyszących złożu Cu-Ag Rudna (LGOM) metodami geostatystycznymi (rozdz. 14.4). Wnioski końcowe Autorka podzieliła na wnioski o charakterze poznawczym (rozdz. 15.1), metodologicznym (rozdz. 15.2) i praktycznym (rozdz. 15.3).

Rozprawę kończy rozbudowane spisy obejmujące:

- bogatą literaturę liczącą 169 pozycji (rozdz. 16),
- spis ustaw liczący tylko 1 pozycję (rozdz. 17),
- spis stron internetowych liczących tylko 3 pozycje (rozdz. 18),
- spis rysunków liczący ponad 4 strony (rozdz. 19),
- spis tabel liczący 2 strony (rozdz. 20),
- spis załączników rysunkowych liczący prawie 5 stron (rozdz. 21) oraz
- spis załączników tabelarycznych liczący (rozdz. 22)

Dwa ostatnie spisy powtórzone są na początku załącznika. Przedstawione są w nieco innej formie, gdyż podzielone je na rozdziały, do których się odnoszą. Brak numeracji stron i wskazań położenia rysunków i tabel utrudnia ich lokalizację w tekście rozprawy i załączniku. Praca jest bardzo bogata ilustrowana oraz starannie i elegancko edytowana, co stanowi jej ogromną zaletę. Duże, kolorowe rysunki i tabele doskonale przedstawiają trudną i złożoną tematykę ułatwiając czytelnikowi zrozumienie treści i przestrzennych powiązań analizowanych danych.

2. Ocena merytoryczna rozprawy

Celem rozprawy pt. *”Struktura zmienności oraz metodyka szacowania zasobów wytypowanych pierwiastków towarzyszących złożom Cu–Ag LGOM”* było pogłębienie wiedzy o przestrzennym rozmieszczeniu wybranych pierwiastków towarzyszących (arsenu -As, kobaltu - Co, niklu - Ni, ołowiu - Pb i wanadu - V) w granicach złoża bilansowego Rudna. Materiał podstawowy stanowiły wyniki opróbowań złoża w wyrobiskach kopalnianych na obszarze złoża Rudna wykonanych do połowy 2016 roku oraz baza danych dla arsenu z danymi zebranymi do grudnia 2017 roku.

Autorka w rozprawie zweryfikowała 4 tezy. Pierwsza dotyczyła konieczności zastosowania nietypowych estymatorów semiwariogramu by móc właściwie oddać skomplikowany charakter zmienności analizowanych pierwiastków towarzyszących. Druga wskazywała na dominację losowego składnika zmienności i na mały zasięg statystycznie istotnej autokorelacji w strukturze zmienności pierwiastków towarzyszących. Trzecia wskazywała na niewystarczalność aktualnego opróbowania złóż Cu–Ag LGOM w wyrobiskach górniczych do szacowania zasobów pierwiastków towarzyszących z racjonalną dokładnością, spełniającą wymagania minimum kategorii C2 rozpoznania zasobów. W czwartej Doktorantka wskazała, że zastosowanie zaawansowanych metod geostatystycznych (krigingu nieparametrycznego i symulacji geostatystycznej) wpłynie na znaczące podwyższenie dokładności oszacowania zasobów pierwiastków towarzyszących w złożach Cu–Ag LGOM.

Przedmiotem długiego ciągu rozbudowanych analiz statystycznych i geostatystycznych była zasobność jednostkowa pierwiastków wiodących i towarzyszących. Z uwagi na to, że analiza zawartości pierwiastków nie daje dostatecznej informacji do szacowania ich zasobów. Przedmiotem badania była zasobność jednostkowa, która obejmuje informacje o miąższości i gęstości przestrzennej głównych wydzieleni litologicznych, co pozwala na pełną ocenę ich zasobności.

Doktorantka podjęła udaną próbę opracowania wiarygodnej metodyki szacowania zasobów tych pierwiastków przy obecnym systemie opróbowania złoża stosowanym w kopalniach KGHM. Badania obejmowały analizę struktury zmienności zasobności pierwiastków towarzyszących złożom miedzi w ujęciu probabilistycznym i geostatystycznym. By wywiązać się z zadania Doktorantka wykorzystwała całą gamę różnorodnych typowych i mniej typowych estymatorów semiwariogramów, w tym kriging zwyczajny (punktowy i blokowy), kriging poligonowy i indyktorowy oraz kriging lognormalny i metody symulacji geostatystycznej *Turning Bands*. Opracowane przez nią modele struktury zmienności zasobności badanych pierwiastków posłużyły do oceny dokładności prognozowania ich zasobności w punktach i blokach. Wyniki badań pozwoliły na ocenę wpływu struktury zmienności zasobności analizowanych pierwiastków na wyniki i dokładność szacowania ich zasobów. Doktorantka zobrazowała wyniki szacowania tworząc rankingi dokładności oszacowania zasobności pierwiastków towarzyszących wyrażonej za pomocą różnych miar błędu względnego krigingu blokowego oraz metodą statystyczną dla kwadratowych parcel obliczeniowych.

Umożliwiło to potwierdzenie hipotezy, że zastosowanie metod geostatystycznych wpływa istotnie na podwyższenie wiarygodności oszacowań. Doktorantka wykazała, że dotychczasowe metody szacowania zasobów pierwiastków towarzyszących w złożach Cu–Ag LGOM (metodą wieloboków Bołdyriewa dla zasobów kobaltu, niklu i wanadu oraz metodą wieloboków Bołdyriewa i bloków eksploatacyjnych dla zasobów ołowiu) są nieoptymalne.

Wyniki estymacji geostatystycznych umożliwiły pozyskanie dodatkowej wiedzy o rozmieszczeniu metali w złożu. Ma to wymiar ekonomiczny z uwagi na duże koszty

przewodzenia analiz rozszerzonych obejmujących oznaczenia innych pierwiastków niż Pb, Cu i Ag.

Stosowane techniki Doktorantka poprzedzała definicjami pojęć, podawała zastosowane wzory oraz wyjaśniała poszczególne kroki przetwarzania danych, co nadało rozprawie walor dydaktyczny. Szkoda, że Doktorantka nie korzystała ze schematów blokowych pokazujących przepływ i kolejne etapy przetwarzania danych i przyjęte założenia w opracowanych procedurach badawczych i metodach szacowania zasobów badanych pierwiastków.

Zastosowanie metod statystycznych oraz geostatystycznych umożliwiło szczegółowe opisanie struktury zmienności zasobności jednostkowej wybranych pierwiastków, zbadanie ich przestrzennego rozmieszczenia, sprawdzenie czy obecnie stosowana sieć opróbowania na pierwiastki towarzyszące jest wystarczająca do szacowania ich zasobów z dokładnością odpowiadającą przynajmniej kategorii C2 rozpoznania zasobów złoża.

Wymiar aplikacyjny ma wykazać, że bardzo duża lokalna zmienność zasobności analizowanych pierwiastków wynika głównie z naturalnego zróżnicowania ich zawartości w małej skali obserwacji i w znacznie mniejszym stopniu z błędów procesu opróbowania. Podwyższenie dokładności procedur opróbowania nie spowoduje więc znaczącego obniżenia wariancji zmienności lokalnej (C_0), a w konsekwencji obniżenia błędów oszacowań zasobów pierwiastków towarzyszących. Wariancję zmienności lokalnej zasobności pierwiastków można byłoby obniżyć zwiększając wielokrotnie masę pobieranych prób, co wpłynęłoby na podwyższenie dokładności szacowania ich zasobów. Z przyczyn organizacyjno-technicznych i ekonomicznych jest to jednak nierealistyczne. Ma to istotne znaczenie dla praktyki opróbowania złoża stosowanej w KGHM Polska Miedź S.A..

W tym miejscu oprócz pochwał dla Doktorantki należy podkreślić wzorcową rolę jaką firma ta odegrała w realizacji doktoratu. Nie tylko udostępniła bazy danych, zorganizowała zjazdy do kopalni, lecz zapewniła również opiekę merytoryczną dr. Wojciecha Kaczmarka doskonale znającego genezę i budowę złoża. Nie bez znaczenia jest też wsparcie finansowe dla Doktorantki, gdyż cały czas środki na badania naukowe z budżetu państwa są niewystarczające (1% PKB na sferę B&R) i daleko nam do celów strategii liżbońskiej (3% PKB). Mam nadzieję, że naukowe i praktyczne efekty doktoratu przyczynią się do zwiększenia tej formy współpracy firm górniczych z uczelniami w Polsce.

3. Uwagi krytyczne

W pracy brakuje streszczenia. Wydaje się, że krótki opis zawartości rozprawy w języku polskim i angielskim powinien stanowić osobną część rozprawy. Streszczenie mogłoby wraz np. ze spisem treści, wprowadzeniem i literaturą być publikowane na różnych portalach stanowiąc element marketingu naukowego dokonań autorki, bez konieczności udostępnienia pełnej treści. Nie jest więc to do końca zarzut, lecz raczej sugestia i dobra rada. W dobie ocen pracowników naukowych poprzez liczbę cytowań warto swoje dokonania zaprezentować w tej formie. Abstrakty i streszczenia w bazach i na portalach naukowych są przeszukiwane, dlatego warto przygotować i upublicznić swoje dokonania w takiej formie, by zwiększyć szanse na zwrócenie uwagi na swoje publikacje. Dotyczy to zwłaszcza rozprawy doktorskiej, która rzadko dostępna jest w pełnej formie, a szczególnie gdy zawiera wrażliwe dane z przedsiębiorstwa górniczego.

Brak wyodrębnionego streszczenia rozprawy powoduje pewne negatywne konsekwencje. Autorka w kilku miejscach wyprzedza tok badań umieszczając tezy już we wprowadzeniu lub opisując uzyskane rezultaty w rozdziale prezentującym cel i zakres pracy. Rozdział ten staje się przez to czymś na kształt streszczenia. Oczywiście pewne hipotezy badawcze można już stawiać po przeglądzie literatury, ale najlepiej formułować je dopiero po wstępnej analizie

danych. Tymczasem sformułowano je już na 5 stronie we *Wprowadzeniu*. Nie oznacza to, że Doktorantka prowadziła badania pod z góry przyjęte tezy, lecz wyprzedziła bieg zdarzeń w trakcie pisania rozprawy.

Kolejność prowadzonych badań, a było ich bardzo dużo, można było zademonstrować na schemacie blokowym, który graficznie zilustrowałby całą procedurę badawczą i procesy przetwarzania danych wskazując logiczne powiązania pomiędzy nimi, przyjęte założenia, przekazywane dane i uzyskiwane rezultaty. Przygotowanie takiego schematu uporządkowałoby całą pracę i zapobiegło drobnym niekonsekwencjom logicznego ułożenia tekstu i działań badawczych. Oczywiście w pewnym sensie rolę tę spełnia spis treści, ale nie prezentuje on przepływu danych i wyników pomiędzy kolejnymi etapami przetwarzania danych, a mają one zasadnicze znaczenie w tej rozprawie. Oczywiście brak takiego schematu nie umniejsza wagi dokonań Doktorantki, ale znacznie ułatwiłby czytelnikom szybkie zrozumienie procesu badawczego i przetwarzania danych na każdym etapie. Jest to ważne z punktu widzenia ewentualnej optymalizacji postępowania przy wdrożeniu tych badań do codziennej praktyki zbierania i przetwarzania danych z opróbowania w kopalni stanowiąc swoisty *wizard* pokazujący, co i jak się przetwarza w kolejnych krokach.

Kilka spraw nasuwa jednak wątpliwości co do poprawności przyjętej metodyki postępowania. Dotyczą one:

- **Ograniczenia wykorzystywanych informacji wyłącznie do granic bilansowego złoża ZG Rudna.** Doktorantka sama napisała na str. 26, że „*powszechnie wiadomo, że pierwiastki towarzyszące złożom Cu-Ag LGOM bardzo często występują poza granicami złoża bilansowego Cu-Ag, jednak badania statystyczne i geostatystyczne ich zasobności przedstawione w pracy, przeprowadzono tylko w obrębie złoża bilansowego. W związku z tym, ze zbiorów danych usunięto próby cząstkowe znajdujące się poza dolną i górną granicą złoża bilansowego ustalonego zgodnie z obowiązującymi indywidualnymi wartościami brzeżnymi definiującymi granice złóż Cu-Ag LGOM (dawniej kryteria bilansowości) zagospodarowanych przez KGHM Polska Miedź S.A.*”. O ile ograniczenie obszaru modelowania mogło być arbitralnie przyjęte, to jednak niewykorzystanie istniejących w bazach danych informacji może wprowadzić trudne do przewidzenia błędy i niedokładności (nie zbadano skali wykluczeń) w pasie przy granicach obszaru (pominięcie danych poza obszarem) oraz w jego obrębie (pominięcie danych pod i ponad strefą bilansową złoża).
- **Arbitralnie przyjmowanie niektórych parametrów modelowania** bez przeprowadzenie pełnej analizy otoczenia krigingu (*Kriging Neighborhood Analysis – KNA*). Przykładowo na stronie 62 Doktorantka napisała „*Dla zasobności miedzi przyjęto w teście krzyżowym następujące ustawienia dla procedury krigingu: promień koła wyszukiwania danych - 200 m oraz maksymalnie 4 najbliższe punkty wyszukiwania danych. W przypadku pierwiastków towarzyszących zwiększono promień wyszukiwania danych do 500 metrów ze względu na znacznie większe odległości pomiędzy próbami i nieregularność sieci opróbowania.*” Nie odniosła przyjętych wartości do zasięgu semiwariogramu, ani w inny sposób nie zbadała, które parametry są najlepsze. W innym miejscu (na str. 122) napisała „*Oszacowania średniej zasobności pierwiastków w blokach obliczeniowych 0.5x0.5 km i 1x1 km (ograniczających powierzchniowo obszary rocznej eksploatacji złóż w LGOM) cechują się medianami błędu standardowego krigingu (od 44% do 136% dla $P=0.95$) pozwalającymi na formalne zakwalifikowanie ich rozpoznania jedynie do kategorii D, w której nie stawia się wymagań odnośnie do dokładności oszacowania*”. Być może zastosowano niewłaściwe wymiary bloków, ale i w tym wypadku zabrakło analizy otoczenia krigingu (*KNA*). Pewne

rozważania o konieczności różnicowania podejścia Doktorantka zawarła w 5. punkcie wniosków o charakterze praktycznym (rozdz.15.3).

- **Traktowanie wartości zerowych i anomalnych.** Przykładowo na str. 36 Doktorantka napisała: „Eliminacja wartości anomalnych znajdujących się w centrach „pajęczków” powoduje nawet kilkukrotne obniżenie amplitudy semiwariogramu oraz może ujawnić niewidoczną przed ich usunięciem nielosową strukturę zmienności parametru”. Na stronie 48 zaś: „Opis ten został przeprowadzony po usunięciu wartości zerowych oraz wartości anomalnie wysokich wyznaczonych na podstawie tzw. chmury punktów semiwariogramu”. Co Doktorantka uważała za wartości zerowe? Brak danych, czy też brak możliwości oznaczenia tej wartości w laboratorium? Czy najpierw nie powinno się wyznaczyć stref jałowych zawartości danego pierwiastka/zasobności i modelować je jedynie w pozostałej (niejałowej) części złoża bez usuwania danych? Czy Doktorantka zbadła, czy wartości anomalne nie są konsekwencją błędów wprowadzania danych? Czy zbadła znaczenie usuwanych punktów anomalnych w całym zbiorze danych np. w zakresie ich procentowego udziału w łącznej liczbie danych, czy też ich wpływu na zawartość pierwiastka, zasobność jednostkową i zasoby? Czy uwzględniono wszystkie konsekwencje tych działań dla dokładności szacowania i jak wyznaczano dokładność po usunięciu wartości anomalnych? Jest to bardzo złożone zagadnienie wymagające ostrożnej interpretacji i badania jego poprawności. Doktorantka pozostawia w wielu miejscach wybór czytelnikowi przedstawiając wyniki analiz bez i z usunięciem tych danych, bez wskazania, które podejście jest w danym przypadku lepsze i dlaczego.
- Podany opis sposobu faktycznego zastosowania symulacji geostatystycznej *Turning Bands* jest zbyt skrótowy. Doktorantka nie podała szczegółów związanych z konkretnym sposobem realizacji krignigu lognormalnego, który wymaga stosowania transformacji danych źródłowych i w konsekwencji odwrotnej transformacji wyników. Procesy te znacząco wpływają na sposób: oszacowania błędów estymacji, realizacji symulacji (etapów określonych we wcześniejszym rozdziale), realizacji krignigu (w jednym i drugim przypadku), np. promienia wyszukiwania, wymaganej minimalnej/optymalnej liczby prób, deklasteryzacji itd. Schemat blokowy ilustrujący sposób przetwarzania danych z przyjętymi założeniami i parametrami jednoznacznie pokazałby całą procedurę symulacyjną od pobrania danych wejściowych poprzez ich przekształcanie i przetwarzanie, po generowania wyników.

Inne pytania i uwagi do treści rozprawy:

W trakcie zapoznawania się z rozprawą doktorską czytelnikom mogą się nasunąć dalsze pytania:

Na stronie 6 Doktorantka napisała: „przeprowadzono badanie przydatności do tego celu metod geostatystycznych: krignigu zwyczajnego, krignigu indyktorowego, krignigu lognormalnego oraz symulacji geostatystycznej *Turning Bands*”. Czy rozważała również cokriging? Stwierdziła bowiem, że: „obliczone współczynniki korelacji rang Spearmana (r_s) wskazują na istnienie wyraźnej korelacji ($0.7 < r_s < 0.9$) jedynie między zasobnościami: Cu i Ni, As i Co, Co i Ni, Ni i V w serii łupkowej oraz zasobnościami: Co i Ni, Ni i V, Ni i Pb w serii węglanowej”. Czy zastosowanie cokringingu w tej sytuacji nie poprawiłoby prognoz?

Na stronie 28 Doktorantka napisała: „Dodatkowo podczas badań własnych wykonano dwa opróbowania eksperymentalne złoża Rudna w wyrobiskach górniczych (Rys. 5.1). Pierwsze (I) opróbowanie przeprowadzono w siedemnastu różnych częściach złoża Rudna. Opróbowanie to miało na celu zweryfikowanie wcześniejszych oznaczeń laboratoryjnych badanych pierwiastków oraz pokazanie zmienności badanych pierwiastków w profilu pionowym”. Jaka metodą wykonano badanie zawartości? Jakie były wyniki porównania i jaki miały wpływ na modelowanie i zasoby?

Na stronie 29 Doktorantka stwierdziła: „W przypadku złóż Cu-Ag LGOM gęstość objętościowa kopaliny przyjmowana jest dla podstawowych wydzieliń litologicznych jako wielkość stała i wynosi ona dla serii: piaskowcowej - 2.3 [Mg/m³], łupkowej - 2.5 [Mg/m³], węglanowej 2.6 [Mg/m³]”. Jaka jest zmienności gęstości rudy piaskowcowej w złożu Rudna? Czy oszacowano wpływ tej zmienności na dokładność szacowania zasobów?

Na stronie 60 Doktorantka napisała: „W niektórych przypadkach stwierdzono wyższe wartości współczynnika korelacji rang Speramana niż korelacji liniowej Pearsona (Rys. 8.1, Rys. 8.2), co można tłumaczyć występowaniem wartości odstających i anomalnych zasobności oraz znaczącymi odstępstwami rozkładów empirycznych zasobności od rozkładu normalnego.” Większa wartość współczynnika korelacji rang od współczynnika korelacji Pearsona może świadczyć o nieliniowej zależności pomiędzy zmiennymi.

Na stronie 79 napisano: „Analizę chemiczną pobranych prób przeprowadzono w jednym z krajowych laboratoriów techniką XRF.” O jakie laboratorium chodziło? Czy wyznaczono błąd oszacowania metody dla poszczególnych składników? Jakie procedury kontroli jakości pomiarów stosowano w przypadku oznaczania zawartości tych pierwiastków? Czy były np. weryfikowane dwoma metodami pomiarowymi np. XRF i analizą chemiczną?

Na str. 87 Doktorantka stwierdziła: „Podsumowując, przeprowadzona analiza zmienności lokalnej wskazuje, że zmienność naturalna (geologiczna) ma większy wpływ na zmienność lokalną niż błędy opróbowania. W związku z tym nawet radykalne podwyższenie dokładności procedury opróbowania nie spowoduje znaczącego obniżenia wariancji zmienności lokalnej (C_0) a w konsekwencji obniżenia błędu oszacowań średnich zasobności i zasobów niklu, ołowiu a przede wszystkim wanadu w blokach eksploatacyjnych. Z teoretycznego punktu widzenia wariancję zmienności lokalnej zasobności pierwiastków ... zwiększając znacząco masę (objętość) pobieranych prób”. Jaka teoria stanowiła podstawę tego twierdzenia i jakie znaczące zwiększenie masy wchodzi w grę? Czy przeprowadzenie badania zmienności wzdłuż pionowych prób było możliwe i czy nie wpłynęłoby na obniżenie zmienności lokalnej?

Na str. 96 Doktorantka napisała: „Wybór tej metody podyktowany był jej prostotą oraz wynikami wcześniejszych badań (Auguścik, Mucha 2018), które wykazały, że błędy punktowego oszacowania zasobności pierwiastków towarzyszących metodami geostatystycznymi i tą metodą deterministyczną były na zbliżonym poziomie, ze względu na wyraźnie zaznaczony udział składnika losowego zmienności”. W jaki sposób określono błąd punktowego oszacowania zasobności pierwiastków towarzyszących metodą deterministyczną?

Na rys. 13.5 pojawia się błąd G i ST. Doktorantka nie podała jak wyznaczono te błędy. Czy przy wyznaczeniu wartości metodą krigingu blokowego uwzględniano próbki także z otoczenia bloku? Które n próbek uwzględniono przy wyznaczeniu błędu ST dla bloku?

Na stronie 120 umieszczono stwierdzenie: „Najwyższą zmiennością charakteryzuje się zasobność As i Pb, co wynika z faktu, że minerały tych pierwiastków wykazują tendencje do koncentrowania się w charakterystycznych „wyspach lub lokalnych strefach o nieregularnym przebiegu”. Czy jednym z wniosków nie powinna więc być analiza domen np. w odniesieniu do „wysp”?

Na stronie 120 napisano: „Dyskwalifikuje to metodę korelacyjną jako pośrednią metodę szacowania zasobów pierwiastków towarzyszących w złożu Rudna”. Poza jednym pierwiastkiem.

Doktorantka przeprowadziła badanie anizotropii zmienności parametrów złożowych. Napisała, że *geostatystycznie anizotropia prezentowana jest w postaci map semiwariogramów kierunkowych (indykatrysy zmienności) oraz semiwariogramów sporządzanych w różnych kierunkach, najczęściej w kierunku minimalnego i maksymalnego zróżnicowania badanych parametrów. Wyróżniła też dwa rodzaje anizotropii: geometryczną i zonalną, co nie wyczerpuje wszystkich jej rodzajów. Zauważyła też, że w przypadku stwierdzenia silnej anizotropii zmienności szacowanego parametru w układzie równań krigingu należy wykorzystywać modele anizotropowe semiwariogramów, zamiast modeli semiwariogramów uśrednionych (str. 43). Jednak z uwagi na to, że w zdecydowanej większości przypadków anizotropia jest praktycznie nieznacząca z uwagi na wysoką zmienność lokalną reprezentowaną przez duże udziały efektu samorodków (Mucha, Wasilewska-Błaszczuk 2015), to uwzględnienie semiwariogramów anizotropowych w oszacowaniach wartości średniej zasobności i zasobów analizowanych pierwiastków nie przyczyni się do obniżenia błędów ich estymacji. W niektórych przypadkach anizotropia jest jednak znacząca. Przykładowo Co w serii węglanowej cechuje się wyraźną anizotropią już od 1000 m (rys. 9.9), w serii łupkowej i piaskowcowej od początku (rys. 9.11, 9.12). Podobnie Ni w serii węglanowej (rys. 9.14), Pb w serii węglanowej i łupkowej, V w serii łupkowej i piaskowcowej. W pracy a priori zrezygnowano z wykorzystania modeli anizotropowych, nawet w przypadkach, gdy zostały zidentyfikowane.*

4. Wnioski końcowe

W recenzowanej rozprawie doktorskiej mgr. inż. Justyna Auguścik rozwiązała oryginalny problem naukowy związany z pogłębieniem wiedzy o przestrzennym rozmieszczeniu wybranych pierwiastków towarzyszących (arsenu -As, kobaltu - Co, niklu - Ni, ołowiu - Pb i wanadu - V) w granicach złoża bilansowego Rudna oraz dobraniu właściwych estymatorów do najlepszego oszacowania zasobności jednostkowej pierwiastków towarzyszących oraz opracowaniem metod szacowania ich zasobów.

Bogaty przegląd literatury dotyczącej pierwiastków towarzyszących złożom rud miedzi i srebra oraz opracowane zestawienia zidentyfikowanych wcześniej zawartości i zasobów analizowanych pierwiastków i szczegółowe podsumowanie pokazują, że Doktorantka wykazała się dobrą znajomością aktualnego stanu wiedzy w zakresie przedmiotu rozprawy.

Autorka w trakcie rozprawy korzystała ze środowiska programu *Isatis v.16, Statgraphics® Centurion XVII, Statistica 12 i Surfer 12* do prowadzenia analiz numerycznych, statystycznych i geostatystycznych oraz modelowania. Wykazana biegłość w posługiwaniu się tymi programami potwierdza, że dysponuje ona bardzo dobrym warształem badawczym i jest w pełni przygotowana do prowadzenia samodzielnych badań naukowych oraz potrafi dobierać i wykorzystywać odpowiednie narzędzia informatyczne do potrzeb badawczych. W zakresie poruszanej w rozprawie tematyki nie da się obecnie pracować nie korzystając ze wspomaganie informatycznego, gdyż zazwyczaj pracuje się z ogromną liczbą danych przestrzennych wymagających numerycznego przetwarzania. Sama znajomość narzędzi oczywiści sprawy nie ułatwia i ich operator powinien posiadać dogłębną wiedzę teoretyczną oraz znać wszystkie ograniczenia stosowanych metod.

Łatwość korzystania z narzędzi informatycznych stwarza jednak pewne zagrożenia. Można łatwo mnożyć ilość analiz ze stratą dla ich jakości. Doktorantka bardzo ambitnie postanowiła przeanalizować zmienność wielu pierwiastków towarzyszących jednak w kilku miejscach ujednoliciła podejście (np. co do zakresu przeszukiwań, wymiarów bloków). Zrezygnowała z uwzględnienia anizotropii, choć stwierdziła jej istnienie w kilku przypadkach. Przyjęła arbitralnie parametry jednakowe dla wszystkich pierwiastków nie starając się dobrać je indywidualnie np. stosując KNA.

Uwagi krytyczne wymienione w punkcie 4 i drobne wątpliwości nie obniżają przyzwoitego poziomu merytorycznego i ogólnej dobrej oceny dysertacji. Uwagi mają charakter ogólny a seria pytań wynika jedynie z chęci doprecyzowania podanych w dysertacji stwierdzeń. Część z uzyskanych w rozprawie rezultatów była już opublikowana w recenzowanych czasopismach i na międzynarodowych konferencjach (łącznie 5 prac), co potwierdza ich poziom naukowy zweryfikowany przez zewnętrznych recenzentów.

Oceniam, że rozprawa stanowi rozwiązanie oryginalnego zagadnienia naukowego oraz potwierdza, że Doktorantka posiada ogólną wiedzę teoretyczną i umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Rozprawa jest opracowana na przyzwoitym poziomie naukowym i redakcyjnym oraz wnosi w przedmiotowym zagadnieniu wkład w rozwój wiedzy w dyscyplinie „górnictwo i geologia inżynierska”. Ma również istotne znaczenie praktyczne.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska autorstwa mgr. inż. Justyny Auguścik pt.: „*Struktura zmienności oraz metodyka szacowania zasobów wytypowanych pierwiastków towarzyszących złożom Cu–Ag LGOM*” spełnia wymogi stawiane pracom doktorskim określone w Ustawie z dnia 14.03.2003 roku ”O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” (Dz.U. Nr 65, poz. 595) oraz Rozporządzenia Ministra Edukacji Narodowej i Sportu z dnia 15.01.2004 roku (Dz.U. Nr 15, poz. 128) z późniejszymi zmianami. W związku z tym stawiam wniosek o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Zauważone drobne błędy, nieścisłości i literówki

- W opisie tabeli 10.1 na stronie 78 zabrakło serii węglanowej i piaskowcowej.
- W nagłówku tabeli 13.1 na stronie 111 „W=Pb-r” występuje dwukrotnie. Zapewne jedna z kolumn dotyczyła wanadu.
- Sugeruję zastąpienie stwierdzenia „*Mała wiarygodność szacowania zasobów pierwiastków towarzyszących złożom Cu-Ag LGOM...*” zastąpić zdaniem “*Uzyskana w pracy mała wiarygodność...*”