



Wojciech KACZMAREK*, Mariusz DUDEK**,
Katarzyna GOLDA**, Monika WASILEWSKA-BŁASZCZYK***

Charakterystyka stref bezzłozowych w centralnej części złoża rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej

Streszczenie: W artykule opisano wykształcenie litologiczno-facjalne skał złozowych w strefach elewacji stropu białego spagowca oraz relacje między litologią a intensywnością okruszczenia Cu-Ag. Szczególny nacisk położono na charakter enklaw pozbawionych mineralizacji bilansowej (stref bezzłozowych) wewnątrz bryły złozowej. Za strefy bezzłozowe uznaje się przestrzenie, w których mineralizacja siarczkami Cu zazwyczaj występuje, jednak jej ilość nie spełnia kryterium brzeżnego dotyczącego zawartości Cu w kopalinie. Dla zilustrowania zmienności parametrów złozowych ściśle związanych z uwarunkowaniami facjalno-litologicznymi skał goszczących, na podstawie obserwacji terenowych i wyników opróbowania złoża wykonano metodami geostatystycznymi trójwymiarowe modele litologiczne i geochemiczne dla dwóch obszarów badań. Obszary badań obejmują fragmenty Północnej Elewacji Rudnej wraz z otaczającymi elewację depresjami w granicach złóż Sieroszowice i Rudna. Dzięki przekrojom przez modele 3D scharakteryzowano wykształcenie złoża w obszarach elewacji stropu utworów piaskowcowych, gdzie profil litologiczny określany jest jako „nietypowy” z powodu braku serii łupków miedzionośnych, czyli warstwy najbardziej charakterystycznej dla złóż rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej. Potwierdzono dużą zmienność kształtu bryły złozowej oraz nieregularność granic stref mineralizacji bilansowej i enklaw skały płonnej w złożu. Stwierdzono obecność wielkoobszarowych enklaw skały płonnej w całym profilu skał dolnego cechsztynu (obszary pozbawione bilansowego okruszczenia miedzianego) i niewielkich stref płonnych piaskowców wzbogaconych w spoiwa anhydrytowe w sąsiedztwie bloków złoża bilansowego ulokowanego w piaskowcach ilastych. Wskazano na możliwość występowania w obrębie złoża bilansowego płatów skał płonnych w stropowej warstwie białego spagowca, bezpośrednio przy granicy z dolomitem wapienistym i nieregularnych przerostów skał płonnych wewnątrz utworów piaskowcowych. Ponadto zaobserwowano niewielkie strefy silnego wzbogacenia w siarczki Cu w strefach kontaktu spoiw siarczanowych i ilastych w serii piaskowcowej białego spagowca.

Słowa kluczowe: monoklina przedsudecka, złożo rud miedzi, elewacje stropu białego spagowca

* Dr, KGHM Polska Miedz; e-mail: Wojciech.Kaczmarek@kghm.com

** Mgr inż., *** Dr inż., Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Kraków; e-mail: mariuszd@student.agh.edu.pl; goldakatarzyn@gmail.com; wasilews@agh.edu.pl

Characteristics of low mineralization zones in the central part of the copper ore deposit in the Fore-Sudetic Monocline

Abstract: The presented article describes the relationship between lithological and facies development of reservoir rocks in the area of the roof elevation of the Weissliegend sandstones, with a particular emphasis on the influence of elevation on the occurrence of low mineralization zones in the deposit area. To illustrate the variability of the deposit parameters, closely related to the facies and lithological conditions of the host rocks, three-dimensional lithological and geochemical models for two research areas were developed using the geostatistical methods and based on field observations and the sampling of the deposit. The research area includes parts of the Northern Elevation of Rudna and the surrounding depressions within the boundaries of the Sierszowice and Rudna deposits. Based on cross-sections of the 3D models, a different deposit formation in the roof elevation area of sandstone formations has been characterized; the lithological profile is defined as „atypical” due to the absence of a copper-bearing shale series, the most characteristic layer for copper ore deposits in the Fore-Sudetic monocline. Large variations in the shape of the deposit and the irregular boundaries of both balance mineralization and enclaves of gangue have been confirmed. The presence of large-scale enclaves of igneous rock in the entire profile of the Lower Zechstein rocks (areas without the balance copper mineralization) and small areas of gangue (sandstone) enriched with anhydrite binders adjacent to the parts of balance deposit located in argillaceous sandstone has been revealed. The possibility of the occurrence of gangue, in the area of the roof elevation of the Weissliegend sandstones directly adjacent to the border with calcareous dolomite, and irregular gangue partings in sandstone formations in the balance deposit was indicated. In addition, small areas of strong enrichment in Cu sulphides were observed in the contact zones between sulphate and clay binders in the Weissliegend sandstone series.

Keywords: Fore-Sudetic Monocline, copper ore deposit, roof elevation of Weissliegend sandstones

Wprowadzenie

Złoże rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej, opisywane w literaturze jako złoże typu stratoidalnego (sediment hosted copper deposit), charakteryzuje się dużą zmiennością intensywności okruszcowania. Najbogatsza mineralizacja miedziowo-srebrowa związana jest z poziomem cechsztyńskich łupków miedzionośnych *kupferschiefer*. Poniżej w serii piaskowcowej i powyżej w serii węglanowej okruszcowanie jest uboższe. Minerale miedzi spotykane są w osadach najstarszego cechsztynu w interwale osiagającym ponad 40 m miąższości, począwszy od białoszarych piaskowców po osady węglanowe pokrywające serię łupkową (Nieć i Piestrzyński 1996).

Zmienność facjalna wewnątrz głównych odmian litologicznych – węglanów, łupków i piaskowców – jest duża. W obrębie obecnie klasyfikowanych przez geologów w KGHM Polska Miedź szesnastu szczegółowych typów litologicznych obserwuje się zdecydowaną różnorodność wykształcenia zarówno w profilach pionowych, jak i w rozprzestrzenieniu poziomym (Kaczmarek i in. 2017).

Mineralizacja kruszcowa w skali całego obszaru złożowego obejmuje wszystkie wydzielenia litologiczne, ale przebieg granic pionowych i poziomych okruszcowania bilansowego w serii złożowej jest nieregularny. W NW części obszaru złożowego mineralizacja jest obecna jedynie w skałach węglanowych (często nawet kilkadziesiąt metrów ponad stropem białych piaskowców), w części centralnej obszaru LGOM bogato zmineralizowane są piaskowce, łupki i dolomity, natomiast przy SE krawędzi złoża okruszcowanie bilansowe

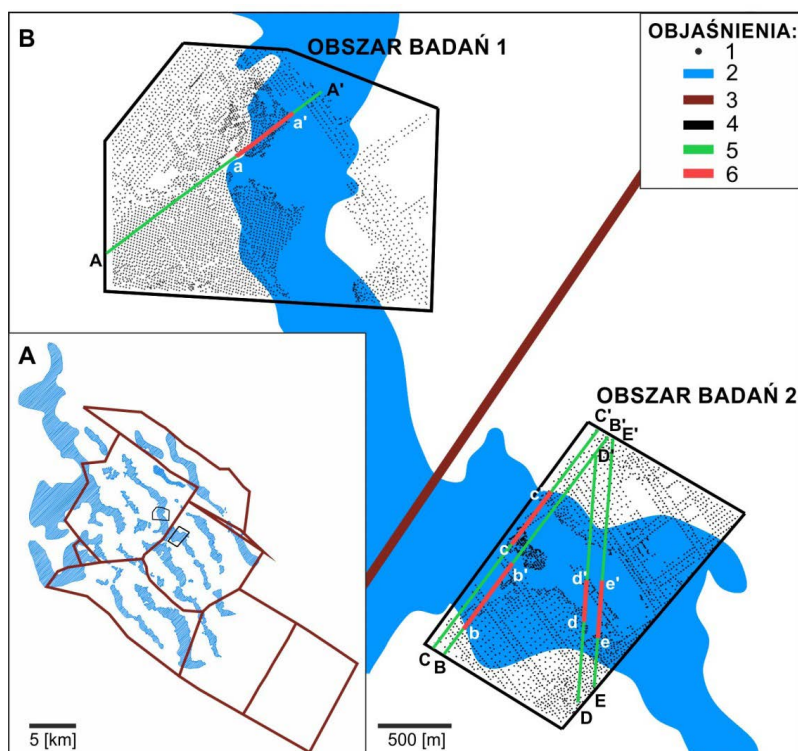
obecne jest tylko w serii piaskowcowej. W konsekwencji bryłę złożową stanowi nieregularna soczewa wzbogacona w minerały Cu-Ag, przecinająca warstwy skalne najstarszego cechsztynu pod niewielkim kątem (Nieć i Piestrzyński 1996). Jak wspomniano – granice złoża bilansowego są nieregularne, a bryła złożowa nie stanowi jednolitego pokładu – w ciągu wieloletniej eksploatacji i systematycznie prowadzonego rozpoznania stwierdzono istnienie wielu enklaw niezawierających mineralizacji spełniającej kryteria bilansowości. Powierzchnia stref bezzłożowych jest bardzo zróżnicowana – od 0,01 do 2 ha obszarów wyłączonych z eksploatacji na skutek braku mineralizacji. W badanych na potrzeby niniejszej pracy fragmentach obszaru miedzionośnego znajdujemy przykłady ilustrujące różnorodne wykształcenie profilu litologicznego: pola, gdzie wszystkie szczegółowe typy litologiczne są reprezentowane (tzw. profil „typowy”) lub obszary, gdzie pewne litologie w profilu nie występują (tzw. profil „nietypowy”). Ponadto w obu przypadkach okruszcowanie bilansowe może nie występować lub dotyczyć tylko części profilu.

W procesie eksploatacji złoża (produkcji górniczej) zmniejszanie miąższości złoża bilansowego poniżej wysokości furty eksploatacyjnej i zjawisko lokalnego zaniku okruszcowania w poziomie złoża negatywnie wpływają na podstawowe parametry urobku: zmniejszenie masy urobku, spadek jakości nadawy (zwartości Cu w urobku), zwiększenie zubożenia i wzrost udziału skały płonnej w urobku. Odpowiednio szybka reakcja służb geologicznych i możliwość prognozowania miejsc wystąpienia stref „kamiennych” mają kapitalne znaczenie dla optymalizacji kosztów jednostkowych całego przedsiębiorstwa. Urabianie, transport poziomy i pionowy, przerób nadawy o niskich parametrach jakościowych drastycznie zwiększa koszt wyprodukowania finalnego produktu, stąd konieczność stałego monitorowania „czystości” wybierania złoża przez służby geologiczne kopalń KGHM Polska Miedź.

1. Materiał podstawowy badań

Dla scharakteryzowania stref bezzłożowych wybrano dwa fragmenty obszarów górniczych Rudna i Sieroszowice, o powierzchniach około 1,7 i 3 km², oddalone od siebie o około 2 km, zlokalizowane w centralnej części obszaru miedzionośnego (rys. 1). Dane wejściowe pochodziły z opróbowania złoża w wyrobiskach górniczych w zachodniej części złoża Rudna (oddział G-17 pola: XV/1 i XV/2) oraz wschodniej części złoża Sieroszowice (oddział G-51).

Opisywane w artykule strefy bezzłożowe są związane z występującymi w obszarze złoża ciągami elewacji i depresji stropu białego spągowca. Elewacjami nazywane są wydłużone struktury w formie wałów piaszczystych stanowiących prawdopodobnie relikty wydm eolicznych z okresu czerwonego spągowca. Obecnie wyrobiskami górniczymi rozpoznano siedem takich struktur oddzielonych od siebie obszarami depresji. W granicach złóż KGHM Polska Miedź elewacje mają długość kilkunastu kilometrów, a szerokość stref bezłupkowych związanych z elewacjami wynosi od kilkuset metrów do około 1,5 km. Depresje oddzielające poszczególne elewacje mają szerokość 2,5–5 km. Zaznaczyć trzeba, że nie zawsze elewacje są widoczne w reliefie stropu serii piaskowcowej, co jest skutkiem proce-



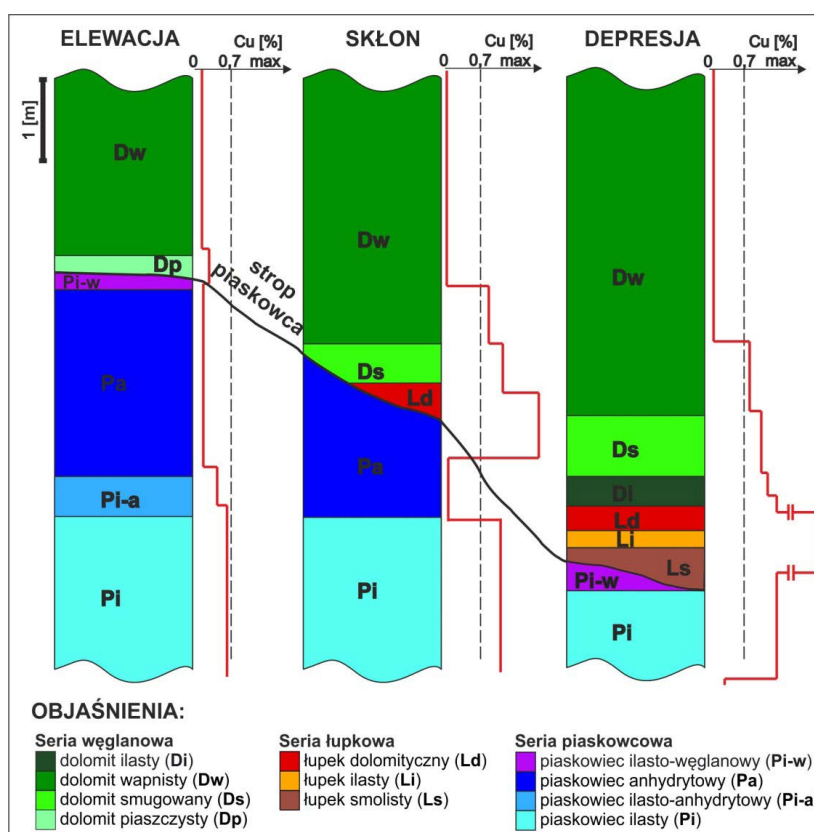
Rys. 1. Lokalizacja obszarów badań na tle granic obszarów górniczych złóż eksploatowanych przez KGHM Polska Miedź (A); mapa lokalizacji punktów opróbowania złoża w wyrobiskach górniczych w obszarach badań z zaznaczonymi liniami przekrojowymi (B) 1 – stanowisko opróbowania złoża, 2 – granice elewacji, 3 – granice obszarów górniczych, 4 – granice obszarów badań, 5 – linie przekrojowe przez modele litologiczne i geochemiczne w obszarach badań, 6 – fragmenty przekrojów, dla których wykonano powiększenie

Fig. 1. The localization of research areas against the boundaries of the mining areas of the deposits exploited by the KGHM Polska Miedź (A); the map of sample collection points in mining excavations located in the research area with marked cross sections (B)

sów resedymacji wywołanej transgresją cechsztyńską i procesami tektonicznymi, które doprowadziły do obecnego nachylenia monokliny przedsudeckiej.

Wybrane do analiz fragmenty obszarów górniczych, charakteryzujące się znaczną zmiennością litologiczną i dużym zróżnicowaniem parametrów złożowych (miąższość złoża, zawartość Cu, zasobność jednostkowa Cu), obejmują strefę Północnej Elewacji Rudnej oraz depresje sąsiadujące z tą elewacją. Oba obszary charakteryzują się niskim stopniem zaangażowania tektonicznego, upad warstw nie przekracza 4 stopni, a zrzuty nielicznych uskoków nie przekraczają 1,5 m. Badane fragmenty Północnej Elewacji Rudnej ilustrują wykształcenie geologiczne złoża w elewacjach położonych poza granicami najbardziej zasobnego w Cu obszaru zlokalizowanego w Południowej i Centralnej Elewacji Rudnej. W najbogatszych obszarach wymienionych struktur elewacyjnych bilansowa mineralizacja obejmuje ilaste

białoszare piaskowce i dolomity wapniste, w depresjach otaczających te elewacje okruszczenie bilansowe jest obecne w stropowych partiach piaskowców (o spoiwach węglanowych i ilastych), we wszystkich odmianach łupków miedzionośnych oraz dolomitów (rys. 2). Północna Elewacja Rudnej, na terenie której prowadzono badania, jest zlokalizowana na północ od najbogatszej partii złoża LGOM. W badanej części tej elewacji opróbowanie geologiczne wskazuje na obecność rozległych stref bezzłożowych, gdzie zarówno seria piaskowcowa, jak i nadległe dolomity wapniste nie posiadają bilansowej mineralizacji miedziowej. W otaczających tę elewację depresjach (ale również na skłonach elewacji) pojawia się okruszczenie związane ze stropową częścią piaskowców, serią łupków miedzionośnych (smolisty, ilasty, dolomityczny) oraz spągowymi warstwami dolomitów (ilasty, smugowany, a lokalnie też wapniste).



Rys. 2. Schemat sekwencji występowania litologii szczegółowych w obszarach elewacji stropu białego spągowca, jej skłonu i depresji między sąsiednimi elewacjami, z orientacyjnym poziomem mineralizacji zawartości Cu

Fig. 2. The scheme of the sequence of occurrence of specific lithologies in the area of roof elevation of Weissliedgend sandstones, its inclination and depression between adjacent elevations, with an indicative level of Cu mineralization

Do badań wykorzystane zostały informacje z 2429 prób „bruzdowych” (w praktyce były to próby punktowe w układzie liniowym), składające się łącznie z 49477 prób cząstkowych w obszarze złoża Rudna i 4366 prób bruzdowych (50610 cząstkowych) w obszarze złoża Sieroszowice (rys. 1). Dane pochodzące z opróbowania zawierały informacje o zawartości miedzi, lokalizacji próbek w przestrzeni oraz litologii głównej i szczegółowej. Średnia odległość między stanowiskami opróbowania wynosiła około 20–30 m. Sieć opróbowania była jednak w części obszarów nieregularna, z widoczną kierunkowością wynikającą z przebiegu wyrobisk górniczych.

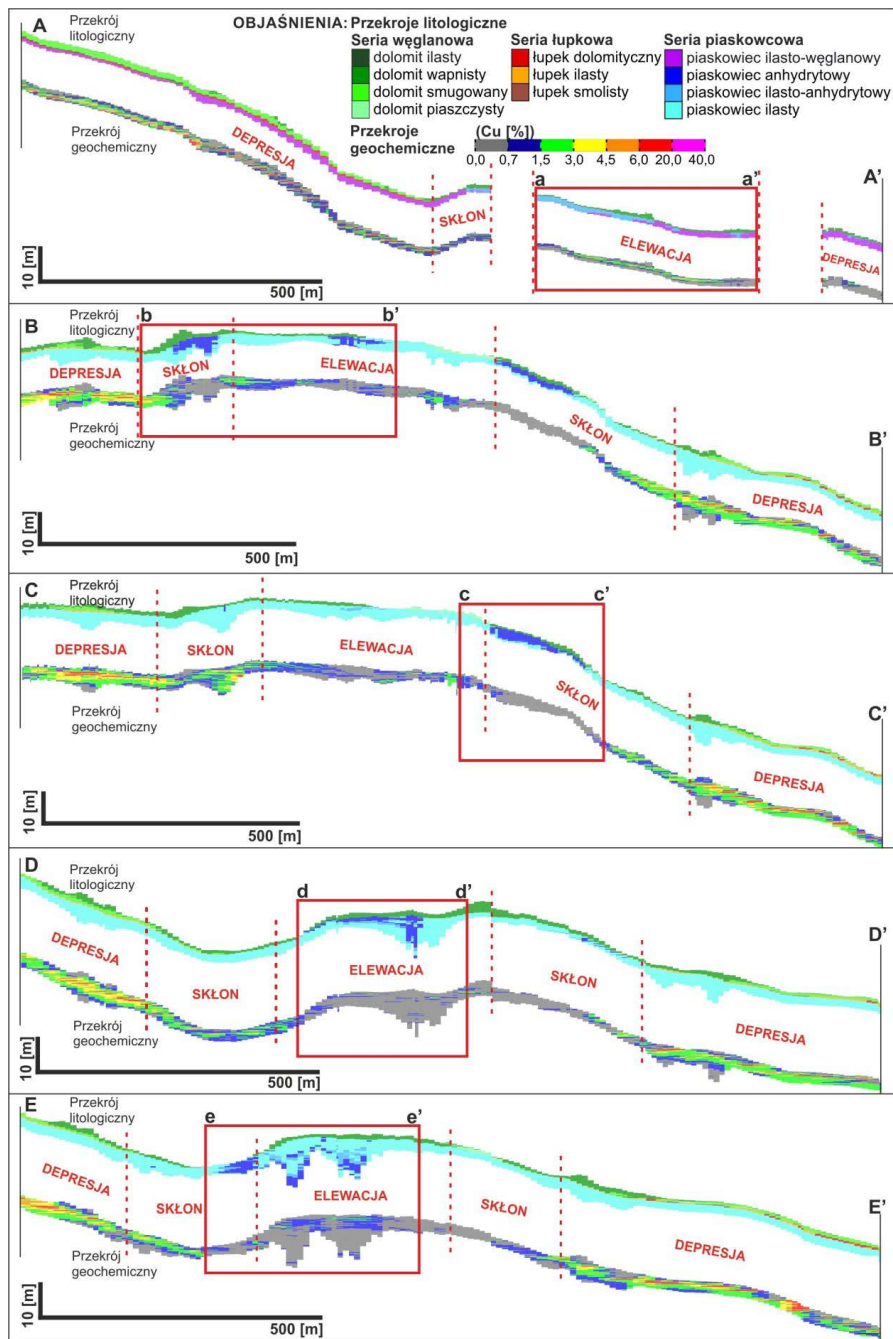
Centralne części obu wybranych do badań obszarów są strefami bezzłożowymi położonymi w elewacjach stropu białego spągowca. Złoże bilansowe występuje po obu stronach elewacji – na skłonach i w depresjach, a jego parametry (miąższość złoża i zawartość Cu) są ściśle zależne od wykształcenia litologicznego skał.

2. Metodyka badań

Charakterystykę stref bezzłożowych w obszarach badań wykonano na podstawie trójwymiarowych modeli litologicznych (litologii szczegółowych) i geochemicznych (zawartość Cu). Oba rodzaje modeli 3D wykonano z wykorzystaniem programu ISATIS (producent – firma Geovariances). Do przestrzennego modelowania litologii szczegółowych wykorzystano geostatystyczną metodę symulacji Plurigaussian uznawaną obecnie za najbardziej kompleksową (Yunsel i Ersoy 2011). Zasadniczą rolę w tworzeniu realistycznych modeli litologicznych tą metodą odgrywa wykorzystanie wzajemnych proporcji między wydzieleniami litologicznymi w profilu pionowym (tzw. pionowe krzywe proporcji), a także dwóch krzywych Gaussa opisujących wzajemne kontakty między litologiami, zarówno sekwencyjne jak i niesekwencyjne (Armstrong i in. 2003). Istotę modelowania z wykorzystaniem symulacji Plurigaussian w warunkach złóż eksploatowanych przez KGHM przedstawiono w artykule Wasilewskiej-Błaszczuk i in. (2017), a w omawianych obszarach badań w pracach Dudka (2017) i Goldy (2017). Modelowanie 3D zawartości Cu przeprowadzono indywidualnie w obrębie podstawowych wydzieleń litologicznych (serie – węglanowa, łupkowa i piaskowcowa) geostatystyczną metodą krigingu zwyczajnego (Dudek 201; Golda 2017). Przekroje przez modele 3D w obszarach badań zestawiono na rysunkach 3–8.

3. Litologia skał złożowych

W obszarach badań stwierdzono obecność większości szczegółowych odmian litologicznych skał złożowych, jednak ich rozmieszczenie jest bardzo nierównomierne. Wyraźna jest zależność wykształcenia litologicznego od przebiegu strefy elewacji białego spągowca (Kaczmarek i in. 2005). W otoczeniu elewacji profil litologiczny złoża obejmuje wszystkie trzy główne typy litologiczne skał: piaskowce, łupki i dolomity (rys. 2). W serii piaskowcowej największy jest udział kwarcowych piaskowców o spoiwach ilastych i węglanowych, seria łupkowa obejmuje łupki smoliste, ilaste i dolomityczne, a górną część serii miedziono-



Rys. 3. Przekroje litologiczne i geochemiczne (Cu) przez Północną Elewację Rudnej w rejonie oddziału G-51 (A) kopalni Polkowice-Sierszowice i oddziału G-17 (B-E) kopalni Rudna

Fig. 3. Lithological and geochemical cross-sections (Cu) through the Northern Elevation of Rudna in the G-51 panel (A) of the Polkowice-Sierszowice mine and G-17 panel (B-E) of the Rudna mine

szej stanowią dolomity: ilaste, smugowane i wapniste. Szczytowe partie elewacji cechują się brakiem utworów łupkowych. Dolną część profilu złoża zajmują piaskowce o bardzo zmiennych spoiwach, często zawierających znaczne ilości anhydrytu (piaskowiec anhydrytowy, ilasto-anhydrytowy) w formie nieregularnych stref. Strefy piaskowców anhydrytowych lokują się w brzeżnych partiach elewacji, rzadziej w ich centralnych częściach. Poszczególne „płaty” piaskowców anhydrytowych oddzielone są od siebie utworami piaszczystymi o identycznym składzie ziarnowym lecz o spoiwach ilastych, ilasto-anhydrytowych lub ilasto-węglanowych. Granice pomiędzy odmianami piaskowców są „rozmyte” – stanowią strefy gdzie stopniowo zmienia się charakter spoiwa. Wyjątek stanowią strefy kontaktowe charakteryzujące się występowaniem masywnych siarczków (najczęściej chalkozynu i kowelinu) podkreślających granicę pomiędzy piaskowcami anhydrytowymi i ilastymi. Zmienność spoiw w piaskowcach obserwować można zarówno w pionie, jak i w poziomie. Piaskowce anhydrytowe zwykle stanowią masywną enklawę w stropowej części serii piaszczystej, choć zdarzają się obszary elewacji, w których piaskowce o podwyższonym udziale spoiwa siarczanowego występują w kilku „warstwach” oddzielonych od siebie piaskowcami ilastymi. Obecność dużych ilości spoiw siarczanowych w piaskowcach ma decydujący wpływ na wykształcenie złoża bilansowego nie tylko w serii piaskowcowej, ale również w wyżejległych skałach węglanowych. Obok piaskowców siarczanowych elewacje zbudowane są z piaskowców o spoiwach ilastych i węglanowych. Piaszczyste utwory białego spągowca bezpośrednio kontaktują się z warstwą skał węglanowych o niskim udziale substancji węglistej i minerałów ilastych, czyli dolomitów wapnistych (rys. 2).

Sklony elewacji stanowią strefę przejściową pomiędzy elewacją i depresją. Ponad skałami piaszczystymi o różnorodnych spoiwach (ilastych, węglanowych, siarczanowych, mieszanych) stopniowo pojawiają się poszczególne odmiany łupków miedzionośnych (smolistych, ilastych, dolomitycznych), które przykryte są dolomitami ilastymi i smugowanymi (nieobecnymi na elewacjach) oraz dolomitem wapnistym, obecnym powszechnie na całym obszarze złożowym (zarówno w depresjach, jak i na elewacjach) (rys. 3).

Granice poszczególnych typów litologicznych piaskowców, wyróżnionych ze względu na skład spoiw, są nieostre i trudne do wychwycenia, a poszczególne spoiwa mieszają się ze sobą w dowolnych proporcjach. Zmienność obserwuje się również w serii łupkowej i węglanowej, w których ku górze profilu zmniejsza się udział ciemnej substancji organicznej i minerałów ilastych. Stopniowo w górę profilu, począwszy od czarnych łupków smolistych, ich barwa staje się jaśniejsza, aż do szarych (niekiedy jasnoszarych) dolomitów wapnistych. Zmienność litologiczna w serii węglanowej bywa też wyraźna – niekiedy kontakty pomiędzy szczegółowymi odmianami litologicznymi dolomitów są podkreślone obecnością cienkich lamin substancji ilastych.

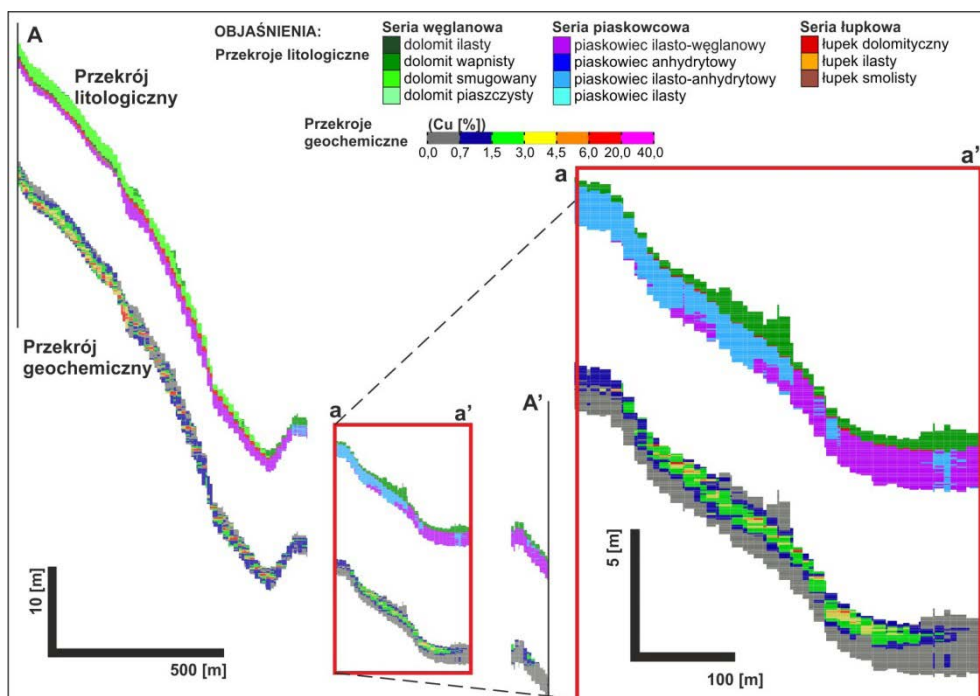
4. Charakterystyka stref bezzłożowych w obszarach elewacji stropu białego spągowca

Obszary badań zostały rozpoznane wyrobiskami górniczymi w ostatnich latach. Eksploatacja prowadzona systemem komorowo-filarowym obejmowała strefy depresji i zatrzyma-

na została na granicy stref bezzłozowych, częściowo pokrywających się z granicami elewacji. Kontury enklaw „kamiennych” są bardzo nieregularne, więc szczytowe partie elewacji pozbawione mineralizacji bilansowej były dokładnie rozpoznawane wiązkami wyrobisk rozpoznawczych i kierunkowymi otworami wiertniczymi.

W obszarach badań obserwować można silną zależność pomiędzy wykształceniem litologicznym skał a parametrami złoża bilansowego. Pierwszy obszar badań (rys. 1) położony w granicach złoża Sieroszowice, obejmuje NW odcinek Północnej Elewacji Rudnej. W środkowej części obszaru badań znajduje się rozległa strefa kamienna związana ze szczytem elewacji. Niewielka zawartość Cu w tej strefie nie spełnia kryteriów bilansowości, jednak wraz z oddalaniem się od elewacji obserwowane jest systematyczne polepszanie się parametrów złoża. Stopniowo na skłonach elewacji (w kierunkach E i W od szczytu), wraz pojawieniem się serii łupkowej, a jeszcze głębiej warstwy dolomitu smugowanego, wzrasta intensywność okruszcowania. Miąższość złoża bilansowego wzrasta stopniowo wraz z oddalaniem się od elewacji (i pojawieniem się łupków) i osiąga w centralnych częściach otaczających elewację depresjach prawie 4 m. W depresjach okruszcowanie bilansowe obejmuje utwory piaskowcowe (piaskowiec ilasty, ilasto-węglanowy), łupkowe (łupki smoliste, ilaste i dolomityczne) i węglanowe (dolomit ilasty, smugowany i wapniste). Na skłonie elewacji w obszarze badań mineralizacja bilansowa obejmuje cienką stropową część piaskowca ilastego i węglanowego, serię łupkową oraz dolomit wapniste. Zawartość Cu w strefie okruszcowanej jest zmienna, zdecydowanie najbogatszą część profilu stanowią łupki miedzionośne, w których zawartość Cu sięga lokalnie kilkunastu procent. Zawartość Cu w skałach piaskowcowych i węglanowych nie przekracza kilku procent. Prezentowane na rysunku 4 przekroje (A-A'), wykonane na bazie modeli blokowych litologicznych i geochemicznych, ilustrują zmienność intensywności okruszcowania Cu w zależności od wykształcenia litologicznego skał w tym rejonie. Środkowa część przekroju (a-a') obrazuje budowę litologiczną szczytowego fragmentu elewacji, gdzie seria łupkowa ulega całkowitemu wyklinowaniu, a wśród utworów węglanowych zaznacza się jedynie obecność dolomitu wapnistego. Lokalnie, w części szczytowej oraz na skłonach elewacji, pojawiają się płyty piaskowców o spoiwach anhydrytowych i ilasto-anhydrytowych, jednak zauważalna jest dominacja piaskowców o spoiwach ilastych (niekiedy z domieszką spoiw węglanowych).

W depresji położonej po zachodniej części elewacji złoża bilansowe wykształcone jest w sposób „typowy”, tj. podwyższona mineralizacja Cu i Ag obejmuje pełny profil litologiczny, w którym kilkuprocentową zawartość Cu odnotowuje się w 3–4-metrowej warstwie piaskowca (bezpośrednio w stropie serii piaskowcowej, przy kontakcie z łupkiem miedzionośnym). Powyżej warstwy rud piaskowcowych występuje bogaty w kruszce łupki miedzionośny o miąższości sięgającej lokalnie nawet jednego metra. Okruszczona bilansowo jest cała seria łupkowa, począwszy od łupków smolistych i ilastych, po łupki dolomityczne. Zawartość Cu w utworach łupkowych w depresjach osiąga lokalnie poziom kilkunastu procent. Rudy łupkowe przykryte są warstwą osadów węglanowych, w których bilansowa mineralizacja rudna lokuje się w spągowej ich partii, z maksimum przypadającym w najciemniejszych odmianach dolomitów – ilastych i smugowanych. Pokrywający cały obszar dolomit wapniste jest okruszczony jedynie w części spągowej, przylegającej do



Rys. 4. Przekroje litologiczne i geochemiczne (Cu) A-A' i a-a' przez Północną Elewację Rudnej w rejonie oddziału G-51 kopalni Polkowice-Sieroszowice (obszar badań 1)

Fig. 4. Lithological and geochemical (Cu) cross-sections (A-A' and a-a') through the Northern Elevation of Rudna in the G-51 panel (A) of the Polkowice-Sieroszowice mine (research area 1)

dolomitu smugowanego. Poziom mineralizacji rudnej w utworach łupkowo-węglanowych systematycznie spada idąc w górę profilu. Zawartość Cu w serii węglanowej rzadko przekracza 2%.

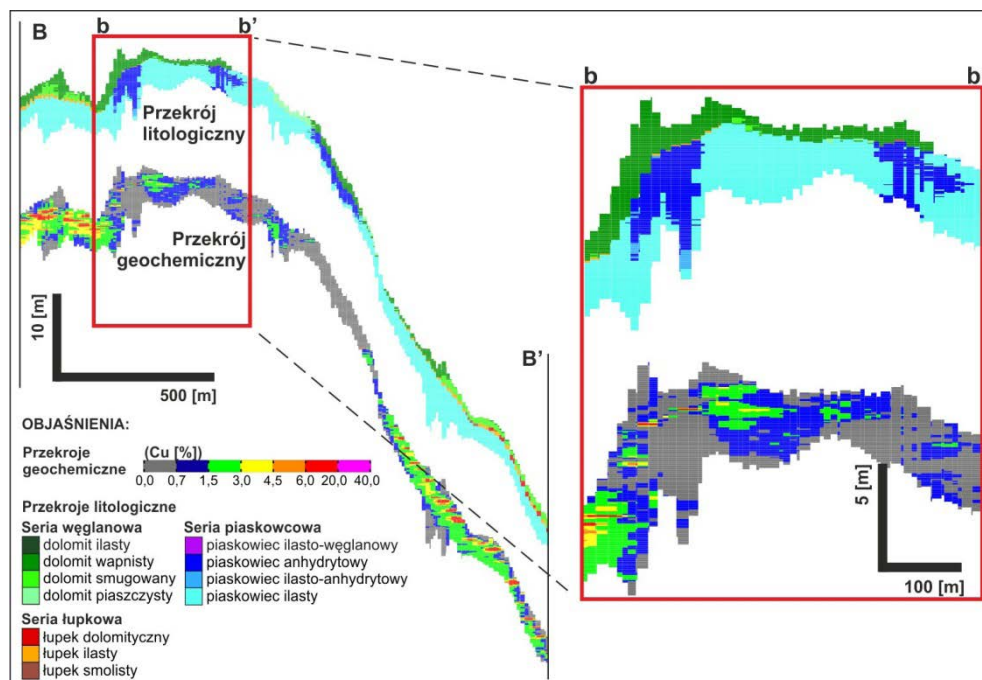
Drugim obszarem badań (rys. 1) jest fragment złoża Rudna, położony w zachodniej jego części. Parametry złoża bilansowego oraz jego wykształcenie litologiczne w tym obszarze są zbliżone do opisywanego wcześniej fragmentu złoża Sieroszowice. Strefa bezzłożowa znajdująca się w granicach wyklinowania łupków na Północnej Elewacji Rudnej jest jednak mniej regularna, a w środkowej części elewacji pośród rozległych płatów płonnych piaskowców anhydrytowych znajduje się blok okruszczowanych bilansowo piaskowców ilastych i węglanowych (przekrój b-b') (rys. 5). Granica strefy złożowej jest nieostra, złożo występuje tylko w skałach piaskowcowych, a wyżej leżące dolomity wapniste są płonne. Na skłonach elewacji i w otaczających ją depresjach następstwo litologiczne i parametry jakościowe złoża są podobne do pierwszego obszaru badań (rys. 4).

Północna Elewacja Rudnej na znacznej części swojej długości jest strefą bezzłożową. Pod względem wykształcenia geologicznego (rys. 2 i 3) w granicach obszarów badań nie odbiega od pozostałych elewacji, gdyż w serii piaskowcowej spotykane są charakterystycz-

ne enklawy piaskowców anhydrytowych, seria łupkowa ulega wyklinowaniu na skłonach elewacji, a seria węglanowa reprezentowana jest przez utwory dolomitu wapnisteo.

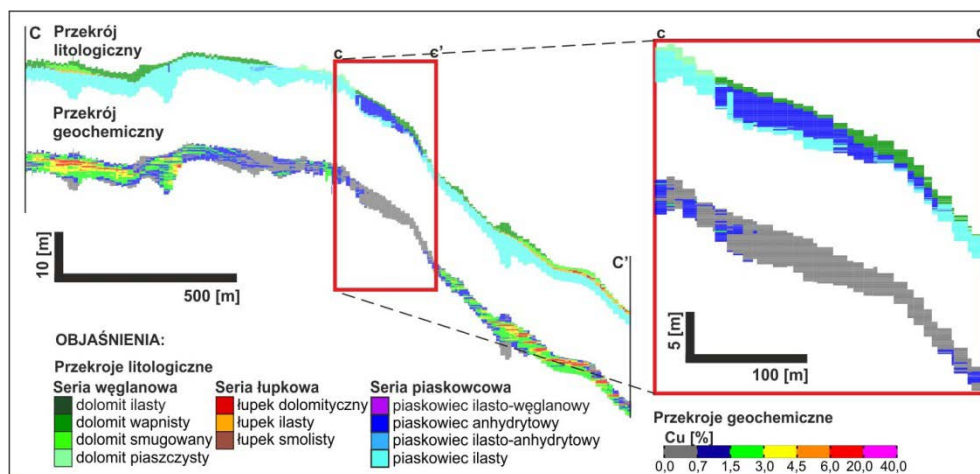
Nietypową sytuację wystąpienia bryły złoża bilansowego na szczycie Północnej Elewacji Rudnej (przekrój B-B' i b-b') zaprezentowano na rysunku 5. Na tej elewacji i kolejnych położonych na NE od niej, nie stwierdzono dotąd podobnej sytuacji występowania bloków złożowych w otoczeniu płonnych płyt piaskowców anhydrytowych. Elewacje w N i NE części obszaru złożowego LGOM są na długich odcinkach zupełnie pozbawione mineralizacji, z wyjątkiem środkowej części OG Rudna, gdzie skały, z których zbudowane są te elewacje są w całości okruszcowane.

Typowy przypadek braku złoża bilansowego spowodowany obecnością w serii piaskowcowej obfitych spoiw siarczanowych zaprezentowano na przekroju C-C' (rys. 6). Powiększony odcinek przekroju (c-c') ilustruje rozległą strefę bezzłożową zlokalizowaną na NE skłonie Północnej Elewacji Rudnej. W opisywanym obszarze utwory piaskowcowe w spągu posiadają spoiwa ilaste, stopniowo ku górze wzrasta w nich udział anhydrytu. W efekcie kilkumetrowa stropowa warstwa białoszarych piaskowców jest przepojona siarczanami, niekiedy udział spoiwa siarczanowego jest większy niż udział kwarcowego szkieletu ziarnowego. Piaskowiec ten nie posiada mineralizacji miedziowej, podobnie jak przykrywający



Rys. 5. Przekroje litologiczne i geochemiczne (Cu) B-B' i b-b' przez Północną Elewację Rudnej w rejonie oddziału G-17 kopalni Rudna (obszar badań 2)

Fig. 5. Lithological and geochemical (Cu) cross-sections (B-B' and b-b') through the Northern Elevation of Rudna in the G-17 panel of the Rudna mine (research area 2)



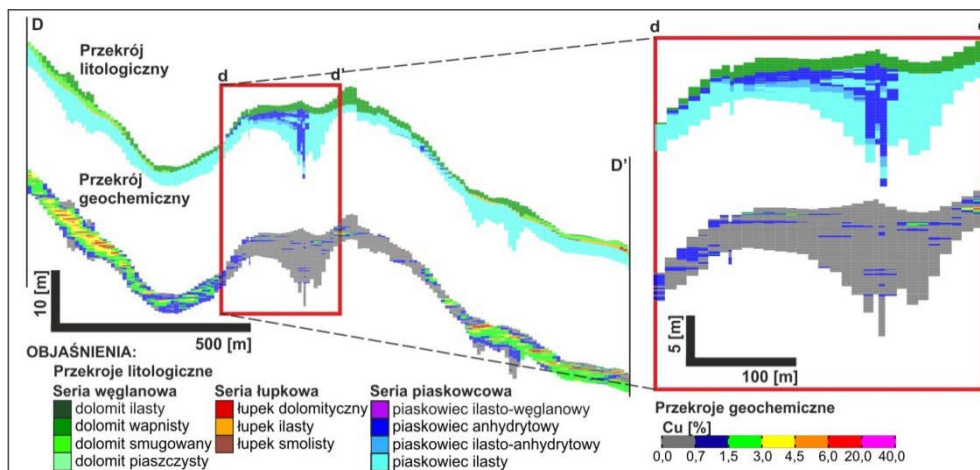
Rys. 6. Przekroje litologiczne i geochemiczne (Cu) C-C' i c-c' przez Północną Elewację Rudnej w rejonie oddziału G-17 kopalni Rudna (obszar badań 2)

Fig. 6. Lithological and geochemical (Cu) cross-sections (C-C' and c-c') through the Northern Elevation of Rudna in the G-17 panel of the Rudna mine (research area 2)

go dolomit wapnisty. Otoczenie opisywanej bezzłożowej enklawy stanowią okruszcowane bilansowo piaskowce o spoiwach ilastych, w których napotyka się lokalne wzbogacenia w siarczki Cu, bezpośrednio przy kontakcie piaskowców o spoiwach anhydrytowych i ilastych. Utwory łupkowe oraz dolomity ilaste i smugowane na elewacji nie występują.

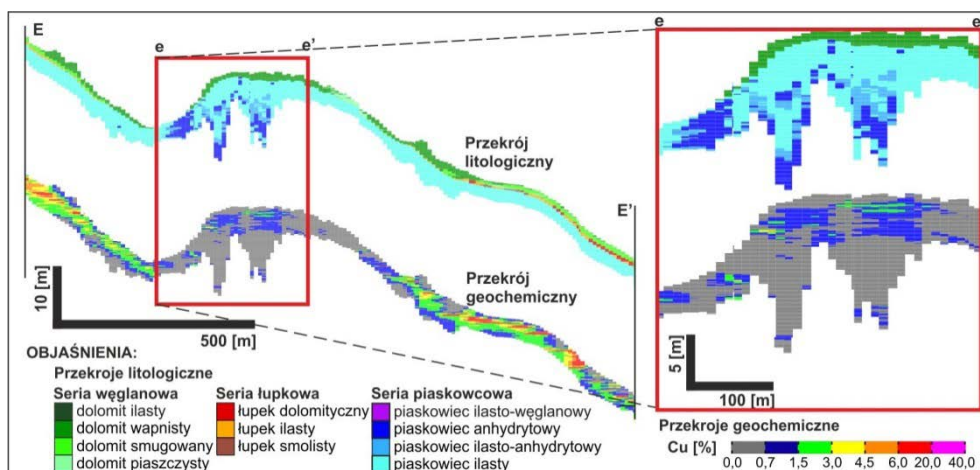
Najbardziej rozległą strefę bezzłożową w obszarze badań ilustruje przekrój D-D' (rys. 7). Strefa związana jest ze szczytową częścią Północnej Elewacji Rudnej, a piaskowce z których jest ona zbudowana charakteryzują się obecnością różnorodnych spoiw: ilastych, ilasto-anhydrytowych, anhydrytowych (przekrój d-d'). Opróbowanie złoża w tej części obszaru badań wskazuje, że cała seria piaskowcowa obecna na szczycie elewacji nie posiada bilansowej mineralizacji, choć pojedyncze izolowane interwały wykazują podwyższone ilości siarczków Cu. Dolomit wapnisty obecny ponad stropem białego spągowca jest, podobnie jak piaskowce, płonny. Pozostałe ciemne odmiany dolomitów oraz łupki miedzionośne na szczycie elewacji nie występują, ich obecność jest stwierdzana sukcesywnie na skłonach elewacji oraz w otaczających depresjach, gdzie miąższość złoża bilansowego oraz zawartość Cu w rudach systematycznie rośnie wraz z oddalaniem się od elewacji.

Ciekawych wyników dostarcza analiza sytuacji geologicznej zaprezentowanej na rysunku 8 (przekrój E-E'), ponieważ zauważalna jest tu zmienność mineralizacji rudnej w kierunkach pionowym i poziomym. Wykształcenie złoża bilansowego jest ściśle związane z charakterem spoiw obecnych w serii piaskowcowej w tej części Północnej Elewacji Rudnej. Podany przykład dobitnie ilustruje zjawisko drastycznego spadku ilości siarczków Cu w piaskowcach o podwyższonych udziałach siarczanów w spoiwie. Na powiększonym odcinku przekroju (e-e') zaobserwować można brak mineralizacji rudnej bilansowej w spągowej warstwie utworów piaskowcowych, gdzie dominującym spoiwem



Rys. 7. Przekroje litologiczne i geochemiczne (Cu) D-D' i d-d' przez Północną Elewację Rudnej w rejonie oddziału G-17 kopalni Rudna (obszar badań 2)

Fig. 7. Lithological and geochemical (Cu) cross-sections (D-D' and d-d') through the Northern Elevation of Rudna in the G-17 panel of the Rudna mine (research area 2)



Rys. 8. Przekroje litologiczne i geochemiczne (Cu) E-E' i e-e' przez Północną Elewację Rudnej w rejonie oddziału G-17 kopalni Rudna (obszar badań 2)

Fig. 8. Lithological and geochemical (Cu) cross-sections (E-E' and e-e') through the Northern Elevation of Rudna in the G-17 panel of the Rudna mine (research area 2)

jest anhydryt i spoiwo mieszane ilasto-anhydrytowe. W warstwie stropowej białoszarych piaskowców zawartość Cu wzrasta powyżej 0,7%, a jednocześnie wyraźnie wśród spoiw obserwuje się przewagę typu ilastego. Mineralizacja rudna serii dolomitowej jest tutaj analogiczna, jak na każdej elewacji. Dolomit wapnisty odgrywa tu rolę marginalną, ale jego spągowa warstwa, bezpośrednio kontaktująca się z rudą piaskowcową, jest okruszczowana.

Przedstawiona w niniejszym rozdziale analiza potwierdza, iż wykształcenie litologiczne utworów pogranicza czerwonego spągowca i cechsztynu w złożach Cu-Ag na monoklinie przedsudeckiej jest najważniejszym czynnikiem wpływającym na parametry złożowe. Najbardziej wyraźny jest związek wyklinowania serii łupkowej wraz z dolomitami ilastymi i smugowanymi w profilu, z redukcją, a nawet zanikiem mineralizacji bilansowej. Duże znaczenie dla formy złoża ma obecność masywnych spoiw anhydrytowych w skałach piaskowcowych, z których zbudowane są skłony lub centralne fragmenty elewacji. Ich występowanie zwykle oznacza brak mineralizacji bilansowej.

Podsumowanie i wnioski

Występujące wewnątrz obszaru złożowego strefy pozbawione bilansowej mineralizacji miedziowej należy rozpatrywać w przestrzeni trójwymiarowej ze względu na dużą zmienność poziomą i pionową obszarów bezzłożowych oraz nieostry charakter granic pomiędzy niektórymi typami litologicznymi. Zaprezentowane w pracy przekroje litologiczne i geochemiczne, wykonane na podstawie obserwacji terenowych i wyników opróbowania złoża, dokumentują obecność różnorodnych płonnych enklaw wewnątrz bryły złożowej. Opisane w artykule płonne strefy związane są z obecnością elewacji stropu białego spągowca w obszarze złoża rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej. Północna Elewacja Rudnej, na obszarze której prowadzono badania, charakteryzuje się brakiem serii łupkowej oraz warstwy dolomitów ilastych i smugowanych w profilu litologicznym. Jednocześnie utwory piaskowcowe, z których zbudowana jest najniższa część elewacji cechują się obecnością masywnych, bogatych spoiw siarczanowych. Wymienione cechy litologiczne tzw. profilu „nietypowego” sprawiają, iż w obszarach elewacji stropu białego spągowca kształt bryły złożowej jest bardzo nieregularny. Stwierdzono obecność wielkoobszarowych enklaw skały płonnej w całym profilu skał dolnego cechsztynu (obszary pozbawione bilansowego okruszczenia miedziowego) i niewielkich stref płonnych piaskowców wzbogaconych w spoiwa anhydrytowe w sąsiedztwie bloków złoża bilansowego ulokowanego w piaskowcach ilastych. Wskazano na możliwość wystąpienia w obrębie złoża bilansowego płonnych płatów w stropowej warstwie białego spągowca, bezpośrednio przy granicy z dolomitem wapnistym oraz nieregularnych płonnych przerostów wewnątrz utworów piaskowcowych. Ponadto zaobserwowano niewielkie strefy silnego wzbogacenia w siarczki Cu w strefach kontaktu spoiw siarczanowych i ilastych w serii piaskowcowej białego spągowca.

Zaznaczyć ponadto należy, iż elewacje nie są jedyną przyczyną występowania stref bezzłożowych w obszarze złóż LGOM. Enklawy pozbawione mineralizacji spotykane są również poza elewacjami, a ich natura jest obecnie trudna do wyjaśnienia.

Prowadzone od wielu lat rozpoznawanie geologiczne złóż rud miedzi na monoklinie przed-sudeckiej wskazuje, że nie każda elewacja stropu piaskowców jest równoznaczna z obecnością w jej obrębie stref bezzłożowych. Elewacje w południowej części złoża Rudna, tj. Centralna Elewacja Rudnej i Południowa Elewacja Rudnej stanowią najbardziej zasobne obszary tego złoża. Faktem jest natomiast, że jakość złoża w elewacjach Polkowic, Żelaznego Mostu i Tarnówka – czyli poza środkową, najzasobniejszą częścią obszaru złożowego KGHM Polska Miedź – drastycznie spada.

Odpowiednio wczesne prognozowanie występowania stref bezzłożowych wewnątrz ciała rudnego LGOM jest kluczowym czynnikiem wpływającym na jakość urobku wydobywanego z kopalń KGHM Polska Miedź SA. Pola eksploatacyjne zlokalizowane w obszarach skłonów elewacji wymagają szczególnej uwagi od obsługującego je geologa. Duża zmienność litologiczna skał złożowych i zmienność parametrów jakościowych złoża powodują konieczność stałego prowadzenia obserwacji w przodkach wyrobisk górniczych, a niekiedy wymagają zagęszczenia sieci opróbowania w płaszczyźnie poziomej i zmniejszenia interwałów w płaszczyźnie pionowej. Istnieją symptomy sugerujące zbliżanie się frontu eksploatacyjnego do granicy elewacji (Kaczmarek 2006), a wnikliwe obserwacje ociosów wyrobisk pozwalają w przybliżeniu prognozować bliskość strefy bezzłożowej. Odpowiednio szybkie reakcje służb geologicznych kopalń KGHM Polska Miedź umożliwiają zmniejszenie negatywnych skutków finansowych urabiania, transportu i przerobu skały pływnej, która może przedostawać się do urobku wraz z kopaliną.

Praca zrealizowana częściowo w ramach badań statutowych Katedry Geologii Żyłowej i Górniczej AGH nr 11.11.140.320 w 2017 roku.

Literatura

- Armstrong i in. 2003 – Armstrong, M., Galli, A., Le, Loc’H.G., Geffroy, F. i Eschard, R. 2003. Plurigaussian Simulations in Geosciences. *Springer Science & Business Media*, Berlin, s. 149.
- Dudek, M. 2017. *Budowa geologiczna wybranych stref bezrudnych w obszarach elewacji stropu białego spągowca w złożu Rudna*. Praca magisterska, oprac. niepubl. Arch. KGZiG AGH.
- Golda, K. 2017. *Budowa geologiczna wybranych stref bezrudnych w obszarach elewacji stropu białego spągowca w złożu Sieroszowice*. Praca magisterska, oprac. niepubl. Arch. KGZiG AGH.
- Kaczmarek, W. 2006. *Zróżnicowanie mineralizacji miedziowej a wykształcenie litologiczne białego spągowca w kopalniach LGOM*. Praca doktorska, niepubl. Arch. ING UW.
- Kaczmarek i in. 2005 – Kaczmarek, W., Rożek, R., Śliwiński, W. 2005. Zależność występowania bilansowego okruszczenia miedziowego od wykształcenia litologicznego serii żyłowej w LGOM (Monoklina przed-sudecka). *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management* t. 21, z. spec. 1, Kraków, s. 217–229.
- Kaczmarek i in. 2017 – Kaczmarek W., Twardowski M., Wasilewska-Błaszczuk M. 2017. Praktyczne aspekty modelowania litologicznych typów rud w złożach Cu-Ag LGOM. *Biuletyn PIG* nr 468, s. 209–226.
- Nieć, M., i Piestrzyński, A. 1996. Forma i budowa złoża [W:] *Monografia KGHM Polska Miedź S.A.*, s. 185–193.
- Yunsel, T.Y. i Ersoy, A. 2011. Geological modeling of gold deposit based on grade domaining using plurigaussian simulation technique. *Natural Resources Research* Vol. 20, No. 4, s. 231–249.
- Wasilewska-Błaszczuk i in. 2017 – Wasilewska-Błaszczuk, M., Twardowski, M., Mucha, J. i Kaczmarek, W. 2017. Model litologiczny 3D przy zastosowaniu technik interpolacyjnych i symulacji geostatystycznej (na przykładzie złoża Cu-Ag LGOM). *Biuletyn PIG* Nr 468, s. 237–245.

