

WPŁYW ZMIENNOŚCI LITOLOGICZNEJ SKAŁ ZŁOŻOWYCH NA PARAMETRY JAKOŚCIOWE ZŁOŻA RUD MIEDZI LGOM

THE IMPACT OF LITHOLOGICAL VARIABILITY OF RESERVOIR ROCKS ON THE QUALITY PARAMETERS OF THE Cu-Ag DEPOSIT, LUBIN-GŁOGÓW COPPER DISTRICT (LGCD)

WOJCIECH KACZMAREK¹, MONIKA WASILEWSKA-BŁASZCZYK², MARIUSZ DUDEK²

Abstrakt. W artykule opisano wykształcenie litologiczno-facjalne złoża rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej, w strefach tzw. depresji stropu białego spągowca. Szczególny nacisk położono na wzajemne relacje między sąsiadującymi ze sobą odmianami litologicznymi a wykształceniem złoża bilansowego we fragmencie obszaru górniczego Sieroszowice. Badaniem objęto fragment depresji stropu białego spągowca położonej między Centralną i Północną Elewacją Rudnej. W celu zilustrowania zmienności parametrów złożowych ściśle związanych z uwarunkowaniami facjalno-litologicznymi skał goszczących, na podstawie obserwacji terenowych i wyników opróbowania złoża, wykonano metodami geostatystycznymi trójwymiarowe modele litologiczne i geochemiczne. Na podstawie map izolinowych miąższości utworów piaskowcowych, łupkowych i węglanowych oraz przekrojów przez modele 3D, opisano wykształcenie złoża w obszarze depresji białego spągowca, gdzie profil litologiczny jest określany jako „typowy”, tj. w profilu złoża są obecne wszystkie główne typy litologiczne rud miedzi charakterystyczne dla złóż LGOM. W artykule scharakteryzowano zmienność kształtu bryły złożowej, nieregularność granic stref mineralizacji bilansowej, czym potwierdzono liczne odstępstwa od ogólnie przyjętego modelu złoża. W badanym polu eksploatacyjnym, rozpoznanym gęstą i regularną siecią opróbowania, stwierdzono wyraźną zależność między miąższością łupków miedzionośnych a obecnością w nich bilansowej mineralizacji miedziovej. Opisano również wpływ obecności utworów łupkowych o znacznej miąższości na obecność i wykształcenie bilansowej mineralizacji w leżących wyżej utworach węglanowych. Scharakteryzowano ponadto zaobserwowane w obszarze badań zróżnicowane formy wykształcenia złoża wynikające ze zmienności sekwencji litologicznej.

Słowa kluczowe: złożo rud miedzi, litologia, elewacje stropu białego spągowca, monoklina przedsudecka.

Abstract. The article discusses the lithological and facies development of the copper ore deposit in the Fore-Sudetic Monocline in the so-called depression at the top of the Weissliegend. The lithological variability and quality parameters of the deposit in the exploitation field located between the Central and Northern elevations of Rudna, where the deposit profile is described as “typical”, *i.e.* the Cu-Ag mineralization occurs in all three basic lithological types of copper ore, is analyzed. The lithological variability of ores in depression zones is the reason why the degree of mineralization and the parameters of the economic deposit are highly variable. The authors focused on the mutual relationships between the neighbouring lithological units and the development of the economic deposit. To illustrate the variability of deposit parameters closely related to the lithological and facies development of the host rocks, three-dimensional lithological and geochemical models and isoline maps of the thickness of individual specific copper ore types were made using geostatistical methods and based on field observations and sampling of the deposit.

Key words: copper ore deposit, lithology, top-Weissliegend elevations, Fore-Sudetic Monocline.

¹ KGHM Polska Miedź S.A. Centrala Spółki, ul. M. Skłodowskiej-Curie 48, 59-300 Lubin; e-mail: Wojciech.Kaczmarek@kgbm.com.

² AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; e-mail: wasilews@agh.edu.pl, mariuszd@agh.edu.pl.

WSTĘP

Złoże rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej, opisywane w literaturze jako złoże typu *strata-bound (sediment hosted copper deposit)*, charakteryzuje się dużą zmiennością miąższości serii miedzionośnej i intensywności okruszcowania w profilu pionowym złoza. Mineralizacja miedziowo-srebrowa jest związana z serią osadowych skał cechsztyńskich, obejmujących utwory klastyczne białego spągowca, węglanowe dolomitu granicznego (Ca0), ilasto-węgliste łupku miedzionośnego (T1) i węglanowe wapienia cechsztyńskiego (Ca1) (Peryt, Oszczepalski, 1996). Najbogatsza mineralizacja miedziowo-srebrowa jest związana z poziomem cechsztyńskich łupków miedzionośnych „Kupferschiefer”. Poniżej w serii piaskowcowej i powyżej w serii węglanowej okruszcowanie jest uboższe. Minerale miedzi są spotykane w osadach najstarszego cechsztynu w interwale osiagającym ponad 40 m miąższości, począwszy od białoszarych piaskowców po osady węglanowe pokrywające serię łupkową (Nieć, Piestrzyński, 1996).

Mineralizacja kruszcowa w skali całego obszaru złożowego obejmuje wszystkie wyodrębnione 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 złoza okruszcowanie bilansowe jest obecne tylko w serii piaskowcowej. W konsekwencji bryłę złożową stanowi nieregularna soczewa wzbogacona w minerale Cu-Ag, przecinająca warstwy skalne najstarszego cechsztynu (Nieć, Piestrzyński, 1996).

Obszar złoza rud miedzi użytkowanego przez KGHM Polska Miedź S.A. obejmuje SW część monokliny przedsudeckiej. Począwszy od granicy z blokiem przedsudeckim warstwy skalne budujące monoklinę zapadają ku NE pod niewielkim kątem. Przyjmuje się, że wynosi on ok. 2–4 stopni. W strefie kontaktu monokliny z blokiem przedsudeckim upady serii skalnych są większe i silnie zmienne z powodu znacznego zaangażowania tektonicznego tej części obszaru. W dalszej odległości od krawędzi monokliny kąt upadu warstw ulega zmniejszeniu, na większości obszaru miedzionośnego nie przekracza on 3 stopni. Niewielki i stały kąt upadu warstw monokliny pozwala na zaobserwowanie lokalnych nieregularności w morfologii stropu białego spągowca, który nie jest powierzchnią płaską, lecz charakteryzuje się obecnością ciągów elewacji i depresji. Elewacjami nazywane są wydłużone struktury w formie wałów piaszczystych, stanowiących prawdopodobnie relikty wydm eolicznych z okresu czerwonego spągowca. Obecnie wyrobiskami górniczymi rozpoznano 7 takich struktur oddzielonych od siebie obszarami depresji. Granice elewacji i depresji stropu białego spągowca obserwowane w złożach rud miedzi LGOM są wyznaczane przez geologów kopalnianych na podstawie zespołu kryteriów. Należy do nich nietypowe wy-

kształcenie profilu litologicznego serii złożowej, czyli nieobecność utworów łupkowych „Kupferschiefer” oraz ciemnych, ilastych odmian dolomitów cechsztyńskich. W granicach złóż KGHM Polska Miedź S.A. elewacje mają długość kilkunastu kilometrów, a szerokość stref bezłupkowych związanych z elewacjami wynosi od kilkuset metrów do ok. 1,5 km. Depresje oddzielające poszczególne elewacje mają szerokość 2,5–5,0 km. Wykształcenie sekwencji litologicznej w depresjach jest określane w literaturze mianem „profilu typowego”, w którym wszystkie szczegółowe typy litologiczne są reprezentowane. W niniejszym artykule autorzy dokonali szczegółowej analizy budowy geologicznej złoza w depresji położonej w centralnej części obszaru miedzionośnego LGOM.

Decydującym czynnikiem kształtującym obraz litologii były warunki sedymentacji eolicznej utworów czerwonego spągowca (Rydzewski, Śliwiński, 2007). Nie sposób więc mówić o wykształceniu złoza bez zwrócenia uwagi na bezpośrednie podłoże serii miedzionośnej, będące kilkusetmetrowej miąższości pustynnym osadem piaszczystym. Eoliczne piaskowce cechują się znaczną miąższością, obecnością przekątnych warstwowań wielkoskalowych i dość monotonną budową geologiczną. Powierzchnia pustynnego ładu czerwonego spągowca, na obszarze, gdzie obecnie występuje złoże Cu-Ag, była pokryta wydmami, a ich przebieg, kształt i wysokość zdecydowały o wykształceniu następnych serii skalnych. Zaznaczyć trzeba, że nie zawsze elewacje są widoczne w reliefie stropu serii piaskowcowej. Częściowe zniszczenie pierwotnej powierzchni czerwonego spągowca jest skutkiem procesu redepozycji luźnego osadu piaszczystego, spowodowanej transgresją cechsztyńską i procesami tektonicznymi, które doprowadziły do obecnego nachylenia monokliny przedsudeckiej.

MATERIAŁ BADAŃ

Autorzy analizowali fragment złoza rud miedzi Sieroszowice (KGHM Polska Miedź S.A. Oddział Zakłady Górnicze Polkowice–Sieroszowice) w rejonie jednej z depresji stropu białego spągowca (fig. 1). Analizowano zmienność litologiczną skał oraz parametry jakościowe złoza w polu eksploatacyjnym położonym między Centralną Elewacją Rudnej i Północną Elewacją Rudnej, gdzie profil złoza określany jest jako „typowy”, tj. bilansowe okruszcowanie Cu-Ag występuje we wszystkich trzech podstawowych typach litologicznych rud miedzi. Zmienność litologiczna rud w depresjach sprawia jednak, że stopień okruszcowania i parametry złoza bilansowego są zróżnicowane.

Do badań wykorzystano informacje z 3501 próbek „bruzdowych” (w praktyce były to próbki punktowe w układzie liniowym), składające się łącznie z 38 918 próbek cząstkowych w obszarze złoza Sieroszowice (fig. 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 ok. 20–30 m. Roboty górnicze

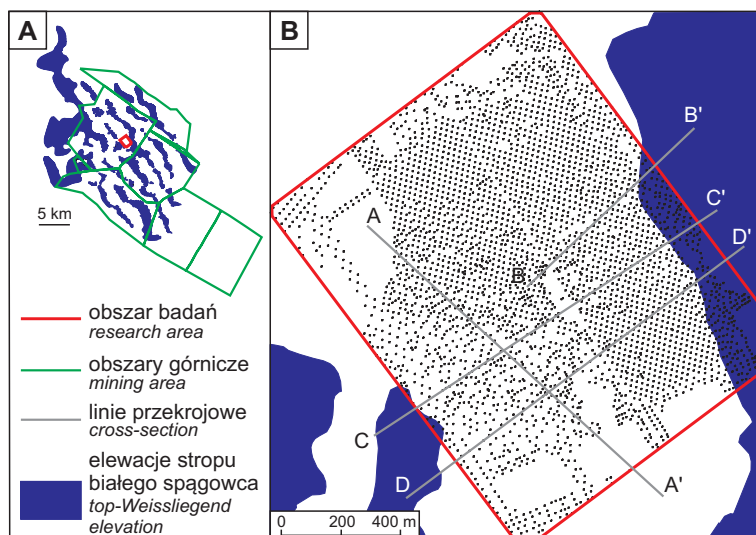


Fig. 1. A. Lokalizacja obszaru badań na tle granic obszarów górniczych złóż eksploatowanych przez KGHM PM S.A. B. Mapa lokalizacji punktów opróbowania złoża w wyrobiskach górniczych w obszarze badań z zaznaczonymi liniami przekrojowymi

A. Location of research area against the boundaries of mining areas of the deposits exploited by KGHM PM S.A.

B. Map of sampling sites in mining excavations of the research area with marked cross-sections

w badanym polu eksploatacyjnym zakończono, więc sieć opróbowania pokrywa prawie całość analizowanego obszaru. Na znakomitej większości obszaru była ona regularna.

Wykonane mapy izoliniiowe miąższości litologicznych typów rud w interwale opróbowania, mapy miąższości złoża bilansowego w podziale na typy litologiczne, modele 3D litologiczne i jakościowe umożliwiły wykazanie zróżnicowania mineralizacji w profilach pionowych oraz zmienność poziomą parametrów złożowych.

METODY BADAŃ

W celu stwierdzenia zależności poziomu mineralizacji od przebiegu granic litologicznych sporządzono mapy izoliniiowe miąższości wszystkich szczegółowych serii litologicznych obecnych w badanej depresji (w granicach opróbowania) oraz mapy miąższości złoża bilansowego w tych seriach skalnych. Charakterystykę wykształcenia złoża bilansowego na obszarze badań wykonano na podstawie trójwymiarowych modeli litologicznych (litologia szczegółowa) 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, 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 PM S.A. przedstawiono w artykule Wasilewskiej-Błaszczyk i in. (2017). Modelowanie 3D zawartości Cu przeprowadzono indywidualnie w obrębie podstawowych wydzieleni litologicznych (serie węglanowa, łupkowa i piaskowcowa) geostatystyczną metodą krigingu zwyczajnego.

LITOLOGIA SKAŁ ZŁOŻOWYCH

Najstarszą część profilu stratygraficzno-litologicznego serii złożowej badanego obszaru stanowią utwory piaskowcowe określane jako biały spągowiec. Osady białego spągowca są utworem o złożonej genezie, w górnej części profilu, powstałym na skutek redepozycji luźnych piasków pustynnych w warunkach płytkomorskich, a w dolnej – w wyniku odbarwienia czerwonych osadów. Tę serię skalną stanowią piaskowce o jasnoszarych i białych barwach. Skały zaliczane do białego spągowca są obecnie na całym obszarze złożowym, choć ich miąższość jest bardzo zmienna. Kolejne warstwy skał cechsztyńskich zalegające na klastycznych osadach białego spągowca są nieciągłe, ich wykształcenie jest bardzo nieregularne, poszczególne ogniwa litologiczne ulegają wyklinowaniu na elewacjach stropu białego spągowca (fig. 2). Bezpośrednio ponad białoszarymi utworami piaskowcowymi, głównie we wschodniej części obszaru złożowego, zalega masywny dolomit graniczny, którego miąższość jest zmienna. W centralnej i zachodniej części złoża dolomit graniczny jest praktycznie nieobecny, sporadycznie tworzy niewielkie, nieregularne płyty. Zalegająca ponad dolomitem granicznym (lub ponad piaskowcem, w przypadku braku dolomitu), seria łupków miedzionośnych występuje tylko w depresjach stropu białego spągowca, a szczyty elewacji są jej pozbawione. Na podstawie cech litologicznych skały łupkowe podzielono na trzy typy szczegółowe: łupek smolisty, ilasty i dolomityczny. Najbardziej skomplikowaną budową charakteryzują się, tworzące stropową część złoża, osady węglanowe – w nomenklaturze kopalnianej, podobnie jak łupki miedzionośne, rozdzielane na trzy szczegółowe typy litologiczne. Obecne w spągu serii węglanowej dolomity ilaste i smugowane są spotykane jedynie w środkowych i brzeżnych strefach depresji stropu białego spągowca. Najwyższą część cechsztyńskiej węglanowej serii miedzionośnej – dolomit wapnisty – pokrywa cały obszar i wyrównuje relief odziedziczony po wydmach.

Wykształcenie litologiczne skał budujących złożo rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej jest jednym z kluczowych czynników decydujących o występowaniu i charakte-

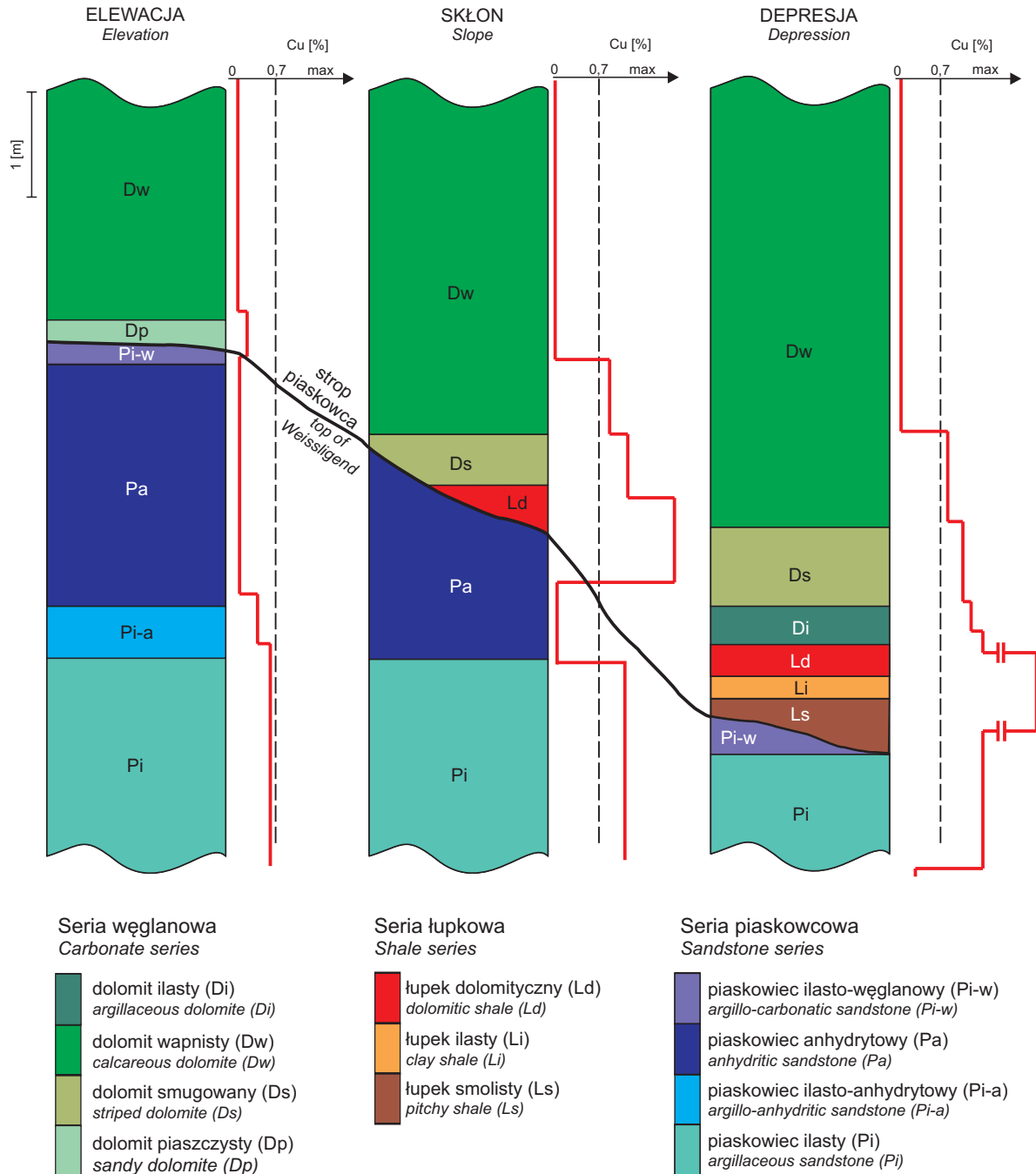


Fig. 2. Schemat sekwencji występowania litologii szczegółowych na obszarach elewacji stropu białego spągowca, jej skłonu i depresji między sąsiednimi elewacjami, z orientacyjnym poziomem mineralizacji zawartości Cu (Kaczmarek i in., 2017a)

A scheme of the sequence of occurrence of specific lithologies in the area of top-Weissligend elevation, its slope and a depression between adjacent elevations, with an approximate level of Cu mineralization (Kaczmarek *et al.*, 2017a)

rze mineralizacji metalami użytkowymi. Wykształcenie litologiczne, skład mineralny, struktury i tekstury cechsztyńskich skał osadowych, charakter granic między poszczególnymi typami litologicznymi, miąższość i ciągłość warstw oraz przestrzenne relacje między nimi mają decydujący wpływ na kształt bryły złożowej i na podstawowe parametry eksploatacyjne złoża. Związek mineralizacji bilansowej z charakterystycznymi odmianami rud miedzi powoduje konieczność stosowania w praktyce geologicznej kopalń KGHM Polska

Miedź S.A. ścisłej terminologii szczegółowych typów litologicznych skał złożowych. Podstawowe trzy typy litologiczne rud (piaskowcowa, łupkowa, węglanowa) dzieli się na kilkanaście szczegółowych odmian litologicznych, zróżnicowanych w takim stopniu, że możliwa jest ich identyfikacja makroskopowa w warunkach dołowych, w wyrobiskach górniczych.

Serię piaskowcowa stanowią białe, białoszare, jasnoszare, ciemnoszare, droбноziarniste piaskowce kwarcowe. Du-

żą różnorodnością charakteryzują się spoiwa piaskowców, która sprawia, że wśród skał piaskowcowych geolodzy górniczy wydzielają kilka specyficznych typów piaskowców. Zmienność spoiw jest skutkiem zmienności środowiska depozycji i ewolucji basenu sedymentacyjnego na przełomie czerwonego spągowca i cechsztynu oraz późniejszych procesów diagenetycznych. Mineralizacja miedziowa w typowym profilu złoża obejmuje stropową partię serii piaskowcowej, choć istnieje wiele odstępstw od przyjętego typowego modelu złoża i modelu litologicznego. Miąższość utworów miedzionośnego białego spągowca jest bardzo zmienna, maksymalnie sięga kilkudziesięciu metrów, ale stwierdza się również obszary, gdzie bezpośrednio pod serią łupkową lub węglanową występują piaskowce płonne. W typowym przypadku okruszcowanie bilansowe obejmuje stropową część białych piaskowców (0–22 m), dolna część profilu białego spągowca zawiera niewielkie ilości siarczków Cu. Okruszcowanie rud piaskowcowych jest zmienne również pod względem typów mineralizacji, dominującymi siarczkami Cu są: chalkozyn, digenit, bornit, kowelin i chalkopiryt, udziały poszczególnych siarczków są zmienne. Powszechnym typem okruszcowania w piaskowcach są formy rozproszone (chalkozyn, digenit, chalkopiryt), masywne (chalkozyn, digenit, kowelin), rzadziej gniazdowe. Lokalnie spotykane są specyficzne formy lamin kruszczowych „rytmików” zbudowanych głównie z drobnych ziaren chalkozynu (Sawłowicz, Wedepohl, 1992). Na badanym obszarze depresji stropu białego spągowca zdecydowanie dominującym typem rudy piaskowcowej są piaskowce ilaste, węglanowe i mieszane ilasto-węglanowe. Terminem piaskowców ilastych określono białe i białoszare skały piaskowcowe charakteryzujące się wysoką zawartością spoiwa ilastego, będącego w przewodzie nad innymi spoiwami. Piaskowce ilaste są zwykle bogato okruszcowane siarczkami miedzi. Głównymi składnikami spoiwa piaskowców węglanowych są dolomit i kalcyt. Piaskowce o spoiwach węglanowych są spotykane w różnych częściach profilu złożowego, najczęściej w stropie serii piaskowcowej. Piaskowce o spoiwach węglanowych są skałami związłymi, twardymi i dźwięcznymi o szarobieżowych, kremowych i beżowych barwach. Spoiwa ilaste i węglanowe są bardzo rozpowszechnione w piaszczystych osadach białego spągowca. Proporcje minerałów ilastych i węglanowych, cementujących terygeniczne ziarna kwarcowe, są zmienne, ale można zaobserwować wzrost udziału kalcytu i/lub dolomitu w warstwie piaskowców bezpośrednio podścielającej leżące wyżej osady łupkowe lub dolomitowe.

Na badanym obszarze depresji średnia miąższość białych piaskowców wynosi ok. 6,0 m. Dolna granica białych piaskowców i ich kontakt z piaskowcami barwy czerwonej nie jest potwierdzony we wszystkich stanowiskach opróbowania. Prezentowana mapa (fig. 3A) przedstawia izolinie miąższości osadów piaskowcowych barwy białej, ale tylko w zakresie opróbowanego interwału. Mapa izoliniowa miąższości bilansowej rudy piaskowcowej (fig. 3B) wskazuje na nieregularny przebieg granicy występowania złoża bilansowego w serii piaskowcowej. Miąższość interwału okruszcowane-

go bilansowo jest bardzo zmienna, zauważalny jest zupełny brak mineralizacji miedziowej w najgłębszej części depresji stropu białego spągowca. Wzrost zawartości siarczków i ich przestrzenne rozmieszczenie, związane z brzeżnymi strefami depresji, zostały zamodelowane i zaprezentowane na przekrojach geochemicznych w dalszej części artykułu.

Na skłonach elewacji, otaczających obszar badań, miąższość białoszarej serii piaskowcowej wzrasta. Zwiększa się również udział spoiw siarczanowych. Rozmieszczenie stref występowania spoiwa anhydrytowego i związanej z nim mineralizacji przedstawiono na przekrojach litologicznych i geochemicznych. Skały, w których przeważają cementy siarczanowe, wśród których dominuje anhydryt, określa się mianem piaskowca anhydrytowego. Jest on, podobnie jak piaskowiec anhydrytowo-ilasty, skałą bardzo twardą, cechującą się barwą ciemnoszarą i zwykle nie stanowiącą bilansowej rudy miedzi.

Utwory zaliczane do poziomu łupku miedzionośnego są zróżnicowane, charakteryzują się zmiennym udziałem podstawowych składników, do których należą: minerały ilaste (illit, montmorylonit, chloryt), substancja organiczna, węglany (dolomit, kalcyt) oraz siarczki metali i materiał detrytyczny w postaci kwarcu, rzadziej skaleni, muskowitu, okruchów skał i pojedynczych ziaren minerałów ciężkich (Konstantynowicz, 1971; Oszczepalski, 1985, 1986, 1988; Oszczepalski, Rydzewski, 1987; Speczik, Püttmann, 1987; Vaughan i in., 1989; Kucha, 1990; Śliwiński, 2000). W kierunku stropu zmniejsza się w nich zawartość minerałów ilastych, substancji organicznej oraz kwarcu, natomiast wzrasta ilość węglanów (Jarosz, 1968). W utworach serii łupkowej występują liczne odstępstwa od podanego schematu, bowiem poszczególne odmiany litologiczne łupku spotyka się w różnej kolejności z częstymi powtórzeniami sekwencji łupkowej, a niekiedy niektóre odmiany litologiczne łupków nie występują. To właśnie zmienne proporcje poszczególnych składników oraz zróżnicowanie teksturalne pozwalają wyróżnić kilka odmian łupku (Śliwiński, 2000, Kaczmarek i in., 2017b). W rudzie łupkowej są obecne główne minerały miedziowe: chalkozyn, digenit, bornit, chalkopiryt, a nieco rzadziej kowelin i tetraedryt. W typowej rudzie łupkowej dominuje rozproszony typ okruszcowania, choć charakterystyczne dla łupków są również licznie występujące bardzo zróżnicowane żyłki i soczewki kruszczowe, niespotykane w innych rodzajach rud (Harańczyk, 1972; Mayer, Piestrzyński, 1985; Piestrzyński i in., 1996).

Występowanie łupków miedzionośnych na obszarach udokumentowanych złóż jest ograniczone do stref depresji stropu białego spągowca. Typowa sekwencja osadów łupkowych w najniższej części jest wykształcona w postaci cienkiej warstewki łupków smolistych, które charakteryzują się czarną barwą, tłustym połyskiem i przewagą materii ilasto-organicznej nad mikrytem i materiałem okruchowym. Łupek smolisty jest bardzo kruchy, złuskowany ze względu na dużą podatność na wpływy deformacji tektonicznych. Ponad łupkiem smolistym z reguły występuje łupek ilasty lub ilasto-dolomityczny o wyraźnej oddzielności płytkowej, drobniejszej w spągu, grubszej w stropie. Są to utwory

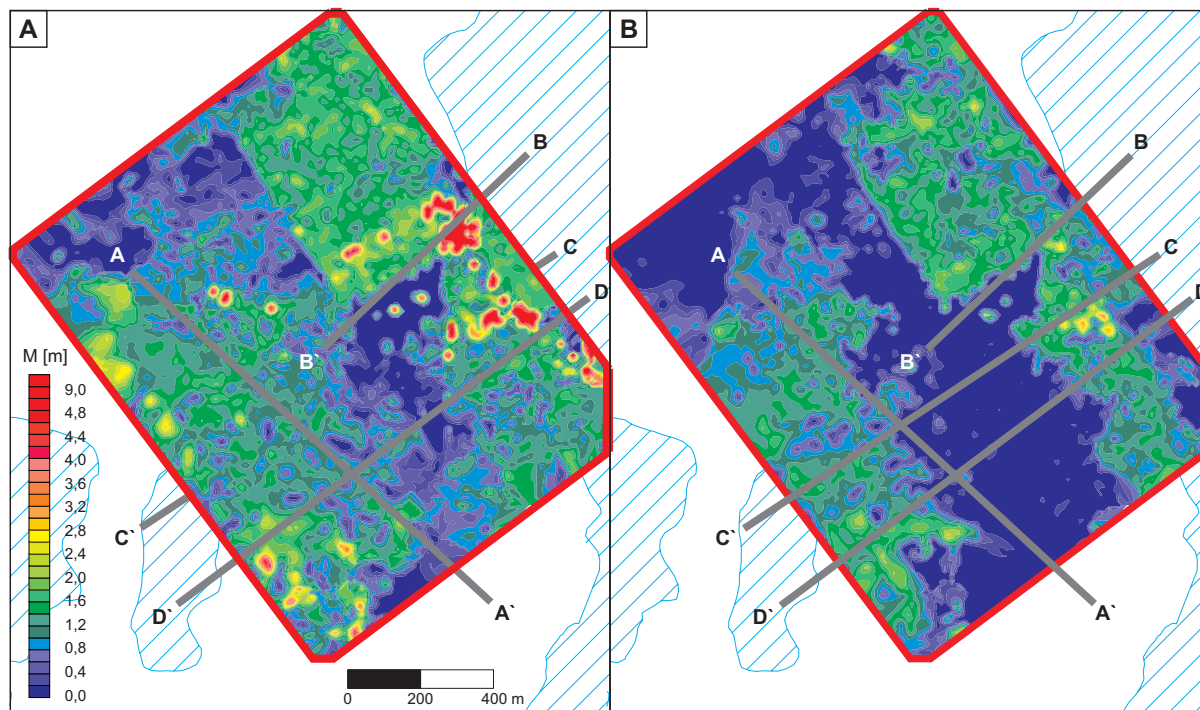


Fig. 3. A. Mapa izoliniowa miąższości białego spągowca w granicach opróbowanego interwału. B. Mapa izoliniowa miąższości bilansowej rudy piaskowcowej

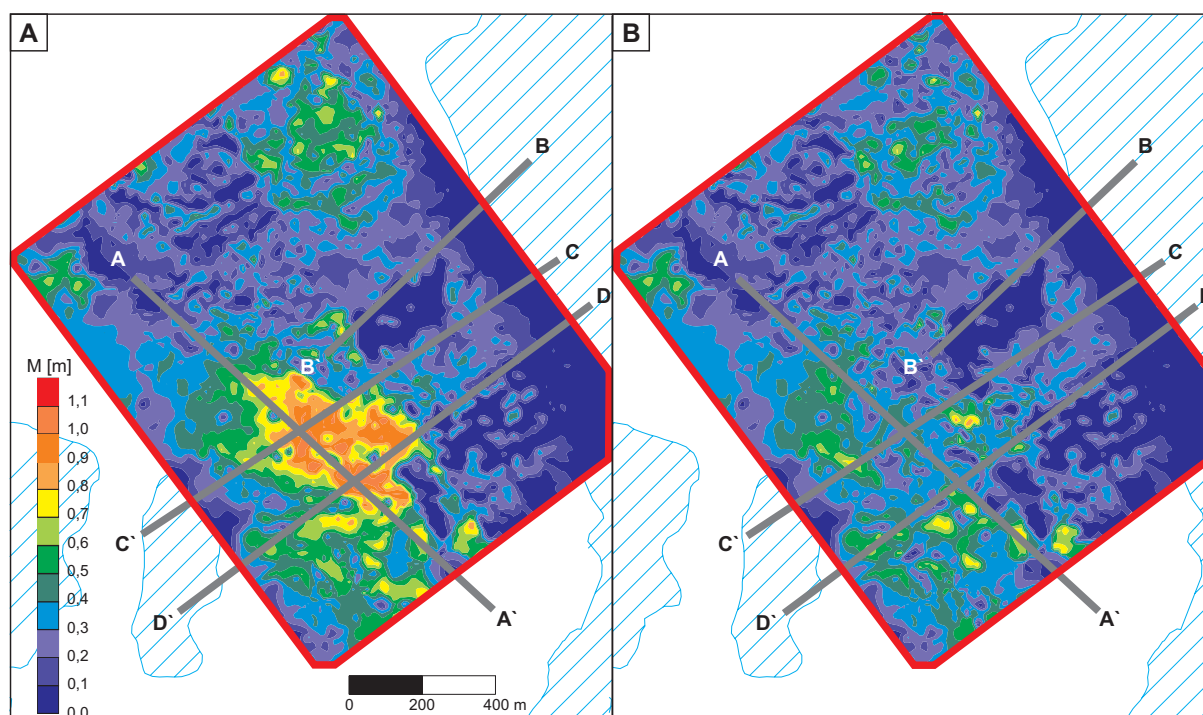
A. Isoline map of the Weissliegendes thickness within the range of the sampled interval.
B. Isoline map of the thickness economic sandstone ore

o czarnym zabarwieniu, bardziej zbite od spągowych łupków smolistych, z większym udziałem węglanów (głównie dolomitu), a zmniejszonym detrytu, substancji ilastej i węglistej. Miąższość tej partii skał jest zmienna od kilkunastu do kilkudziesięciu centymetrów. W niniejszym artykule, ze względu na podobieństwo obu wymienionych typów skał łupkowych oraz ich znikomą miąższość, warstwy łupku smolistego i ilastego potraktowano razem. Sekwencję skał łupkowych kończy, obecny w warstwach stropowych, łupek dolomityczny, zachowujący wewnętrzną laminację równoległą i podzielność, mniej jawną niż w przypadku łupku ilastego, choć wciąż wyraźną. Barwa tych utworów jest nieco jaśniejsza – ciemnoszara, a miąższość waha się od kilku do kilkudziesięciu centymetrów. W składzie łupku dominuje dolomit (głównie mikryt) przewarstwiony minerałami ilastymi. W granicach obszaru badań stwierdzono ogromne zróżnicowanie miąższości osadów łupkowych. Na badanym obszarze stwierdzono strefy występowania płonno łupku dolomitycznego (fig. 4A, B). Miąższość łupków dolomitycznych w badanej części depresji wynosi od kilku centymetrów do 1,05 m. Maksymalną miąższość warstwa łupku dolomitycznego osiąga w południowo-centralnej części depresji, tworząc strefę o nieostrych granicach i owalnym kształcie. W tym rejonie bardzo wyraźnie uwidacznia się podział serii łupków dolomitycznych na dwie warstwy: bogato okruszczowaną siarczkami Cu oraz drugą – płonną. Miąższość interwału bilansowo okruszczowanego nie przekracza tu 0,6 m, co oznacza, że jedynie połowa skał łupkowych stanowi rudę miedzi spełniającą brzeżne kryteria bilansowości.

Modele litologiczne i geochemiczne sporządzone na podstawie danych pochodzących z analizowanego obszaru umożliwiły identyfikację płonnych warstw łupku dolomitycznego w przestrzeni złoża. Zaprezentowane w dalszej części artykułu przekroje obrazują zmienność pionową mineralizacji rud łupkowych oraz ich wpływ na wykształcenie złoża w zalegającej powyżej warstwie rud węglanowych.

Utwory wapienia cechsztyńskiego stanowiące rudę węglanową charakteryzują się znaczną zmiennością litologiczną wywołaną nie tylko zmianami warunków sedymentacyjnych (Peryt, 1978, 1981, 1984; Błaszczuk, 1981), ale również różnymi procesami przemian wtórnych tj. dolomityzacji, kalcytyzacji i dedolomityzacji (Lorenc, 1975; Niśkiewicz, 1980). Okruszczowanie bilansowe w serii dolomitowej jest obserwowane jedynie w jej spągowej części – przy kontakcie z łukiem miedzionośnym (profil typowy). W zachodniej części złoża, na skutek działania późniejszych procesów, mineralizacja miedziowa jest notowana w wyższych częściach profilu serii węglanowej. Podobnie jak w pozostałych typach rud, dominującymi minerałami miedziowymi są: chalkozyn, digenit, bornit, chalkopiryt, niekiedy kowelin, tennantyt i tetradryt. Okruszczowanie rudy węglanowej ma przede wszystkim charakter rozproszony, rzadziej gniazdowy, a lokalnie spotyka się również typ żyłkowy i soczewkowy. W praktyce kopalnianej wyróżnia się 6 szczegółowych typów litologicznych węglanowych rud miedzi. Wystąpienia trzech z nich stwierdzono na obszarze badanej depresji stropu białego spągowca.

Typową sekwencję dolomitową rozpoczyna dolomit ilasty. Barwą i budową jest zbliżony do leżącego niżej łupku

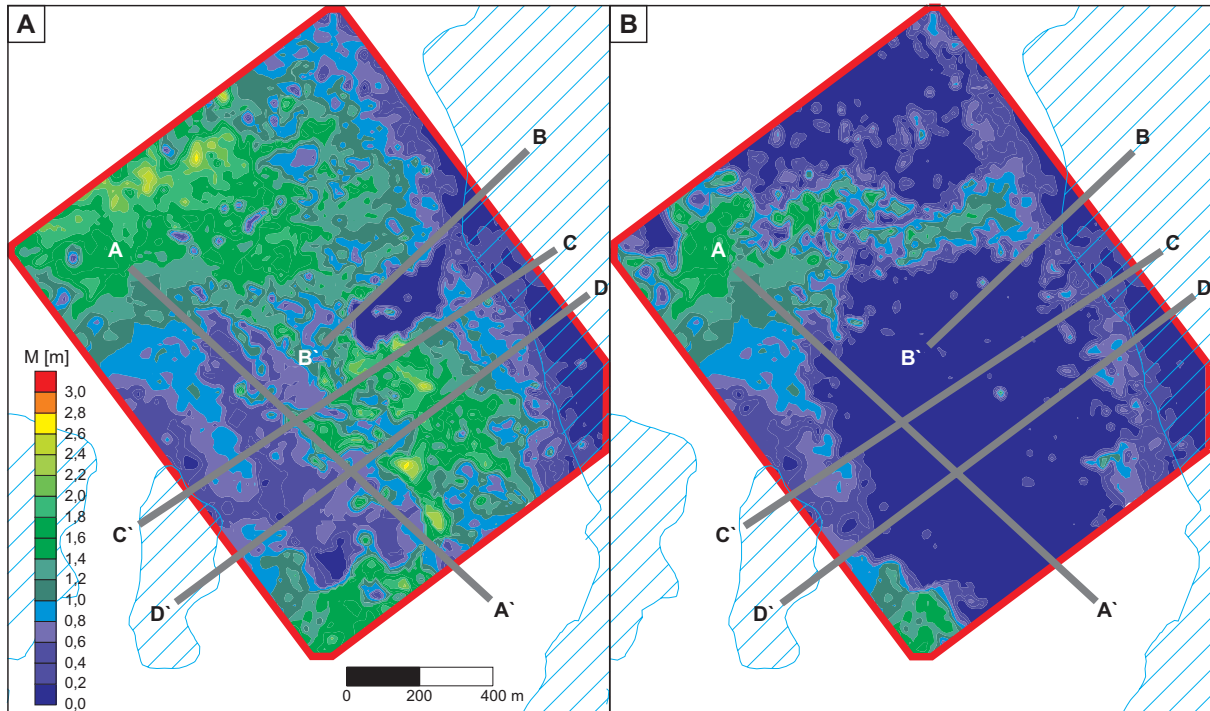


**Fig. 4. A. Mapa izoliniowa miąższości łupku dolomitycznego.
B. Mapa izoliniowa miąższości złoża bilansowego w łupku dolomitycznym**

A. Isoline map of the thickness of the dolomitic shale series.
B. Isoline map of the thickness of economic dolomitic shale deposit

dolomitycznego, jednak charakteryzuje się zanikiem laminacji ciągłych, a obecne domieszki substancji ilastej i organicznej układają się w postaci rozproszonej w mikrytowych, rzadziej sparytowych, węglanach (częściej dolomit niż kalcyt) lub tworzą krótkie, nieciągłe smugi i soczewki. W niewielkich ilościach jest obecny pelit kwarcowy, łuski łuszczaków i okruchy skał (Śliwiński, 2000). Dolomit ilasty nie tworzy ciągłej warstwy, stwierdzany jest tylko w granicach depresji stropu białego spągowca. Powyżej serii dolomitów ilastych, w depresjach białego spągowca, zalega dolomit smugowany o miąższości do 2,0 m i barwie wyraźnie jaśniejszej – szarej. Charakteryzuje się budową gruboławicową, kierunkową, podkreśloną kilkucentymetrowymi smugami materii ilasto-organicznej. Ciemnoszare, ilasto-węgliste smugi są nieregularnie rozmieszczone w skale, różnica w odcieniu szarego dolomitu i ciemniejszej smugi jest niekiedy bardzo subtelna. Substancja ilasta jest również obecna w postaci rozproszonej. Najwyższe ogniwo litologiczne cechsztyńskiej serii miedzionośnej jest reprezentowane przez dolomity wapniste, drobnoziarniste, cienkoławicowe z charakterystycznymi gniazdowymi wtrąceniami gipsu, anhydrytu, grubokrystalicznego kalcytu, a czasami fluorytu i halitu. Skały te, barwy jasnoszarej lub szarej, posiadające często odcień kremowoszary lub brunatnoszary, zawierają stosunkowo małe ilości substancji ilasto-organicznej i detrytu kwarcowo-łuszczakowego. Warstwa dolomitów wapnistych jest obecna na całym obszarze złoża w przeciwieństwie do nieregularnie wykształconych pozostałych odmian skał węglanowych.

Analiza danych z wybranego obszaru badań wskazuje, że obecność poszczególnych typów skał węglanowych jest zależna od położenia względem granic depresji i elewacji stropu białego spągowca. W centralnej części depresji miąższość dolomitu ilastego oraz dolomitu smugowanego jest maksymalna, w obu przypadkach ich warstwy lokalnie osiągają miąższość bliską 1,0 m. Na szczytach elewacji otaczających depresję, ciemne dolomity ilaste i smugowane nie występują. Dolomit wapnisty zalega powyżej dolomitów smugowanych i ilastych, a w przypadku ich braku, kontaktuje bezpośrednio z utworami łupkowymi lub piaskowcowymi (np. na szczytach elewacji stropu białego spągowca). Zjawisko zmiennej miąższości skał węglanowych (fig. 5A) oraz nieregularności okruszcowania (fig. 5B) najbardziej wyraźnie uwidacznia się w przypadku warstwy dolomitu smugowanego. Maksymalną miąższość dolomitu smugowanego (ponad 2,0 m) stwierdzono w pasie przebiegającym przez środek depresji, w najgłębszej jej części. Na zewnątrz od centrum depresji, w kierunku skłonów sąsiednich elewacji stropu białego spągowca miąższość dolomitu smugowanego systematycznie spada, aż do całkowitego wyklinowania na elewacjach. Znaczna miąższość dolomitów osadzonych w depresjach oznacza (podobnie jak w przypadku łupku dolomitycznego) wystąpienie zjawiska zróżnicowania poziomu mineralizacji miedziowej, tylko część profilu serii dolomitowej posiada bogatą mineralizację. Lateralny zasięg zaniku okruszcowania w dolomitach smugowanych zaprezentowano na mapie miąższości warstwy bilansowej (fig. 5B). Czynnikiem mającym niebagatelny wpływ na charakter



**Fig. 5. A. Mapa izoliniowa miąższości dolomitu smugowanego.
B. Mapa izoliniowa miąższości złoŜa bilansowego w dolomicie smugowanym**

A. Isoline map of the thickness of the striped dolomite series.

B. Isoline map of the thickness of economic striped dolomite deposit

okruszcowania rud węglanowych jest wykształcenie cechsztyńskich utworów podścielających: łupków miedzionośnych i/lub piaskowców. Trójwymiarowe modele litologiczne i geochemiczne umożliwiły przestrzenną charakterystykę przebiegu granic złoŜa bilansowego w poszczególnych szczegółowych typach litologicznych rud miedzi oraz interpretację zależności między wykształceniem litologicznym a formą złoŜa w analizowanym polu eksploatacyjnym (fig. 6–9).

WYKSZTAŁCENIE ZŁOŜA NA OBSZARZE BADAŃ

Poddany badaniom fragment depresji stropu białego spągowca jest połoŜony w centralnej części obszaru miedzionośnego LGOM, od strony NE i SW jest otoczony Centralną Elewacją Rudnej i Północną Elewacją Rudnej. W profilu litologicznym stwierdzono obecność wszystkich typowych szczegółowych odmian litologicznych, tj. spągowc \acute{e} część profilu buduj \acute{a} piaskowce kwarcowe o spoiwach ilastych, ponad nimi występuje w pełni wykształcona seria łupkowa w postaci łupków smolistych, ilastych i dolomitycznych, a strop profilu stanowią utwory węglanowe – dolomit ilasty, smugowany i wapnisty. ZłoŜe na obszarze bada \acute{n} charakteryzuje si \acute{e} znaczn \acute{a} pionow \acute{a} i poziom \acute{a} zmiennośc \acute{i} intensywnośc \acute{i} okruszcowania, mimo niewielkiego zróżnicowania litologicznego, wynikaj \acute{a} cego z połoŜenia w depresji stropu białego spągowca.

Przekrój litologiczny i geochemiczny A–A' (fig. 6) wprowadzono przez centraln \acute{a} część depresji, wzdłuż jej bie-

gu. Wszystkie główn \acute{e} typy litologiczne skał złoŜowych, tj. rudy piaskowcowe, łupkowe i węglanowe, s \acute{a} w jej granicach w pełni wykształcone. Skały białego spągowca s \acute{a} reprezentowane przez piaskowce kwarcowe o spoiwach ilastych, węglanowych oraz mieszanych ilasto-węglanowych. Udział minerałów ilastych i węglanowych w spoiwach piaskowców jest bardzo zmienny, jednak na badanym obszarze daje si \acute{e} zaobserwowa \acute{c} wzrost udziału cementów węglanowych (głównie dolomitowych) w stropowej, kontaktuj \acute{a} cej z seri \acute{a} łupkow \acute{a} , warstwie piaskowca. Całkowita miąższość białych piaskowców na obszarze bada \acute{n} nie przekracza 5,7 m, przy czym ich doln \acute{a} , nieostr \acute{a} granic \acute{e} stwierdzono nielicznymi otworami wiertniczymi, si \acute{e} gaj \acute{a} cymi poniżej strefy zmineralizowanej bilansowo. Kontakt utworów białego spągowca z pokrywaj \acute{a} cymi go łupkami miedzionośnymi jest ostr \acute{y} , dodatkowo cienka – nie wi \acute{e} ksza niŜ kilkucentymetrowa – warstwa stropowa piaskowca jest silnie wzbogacona w materię ilasto-węglist \acute{a} oraz minerały z grupy węglanów. Serię piaskowcow \acute{a} przykrywa ci \acute{a} gła warstwa łupków miedzionośnych, zdominowana przez łupek dolomityczny o zmiennej miąższośc \acute{i} , wynoszącej od kilku centymetrów do 1,05 m. Lokalnie w sp \acute{a} gu serii łupkowej występuje nieci \acute{a} gła, cienka warstewka łupków ilastych i smolistych o miąższośc \acute{i} tak nikłej, ŷe nie jest widoczna na figurze (fig. 6). Cechsztyńskie osady węglanowe na obszarze prezentowanym na przekroju A–A' s \acute{a} zdominowane przez dolomity smugowane, wykształcone w postaci warstwy o zmiennej miąższośc \acute{i} . Dolomit ilasty tworzy soczewki o niewielkiej powierzchni i miąższośc \acute{i} , oddzielaj \acute{a} c lokalnie utwory łupkowe od masywnej

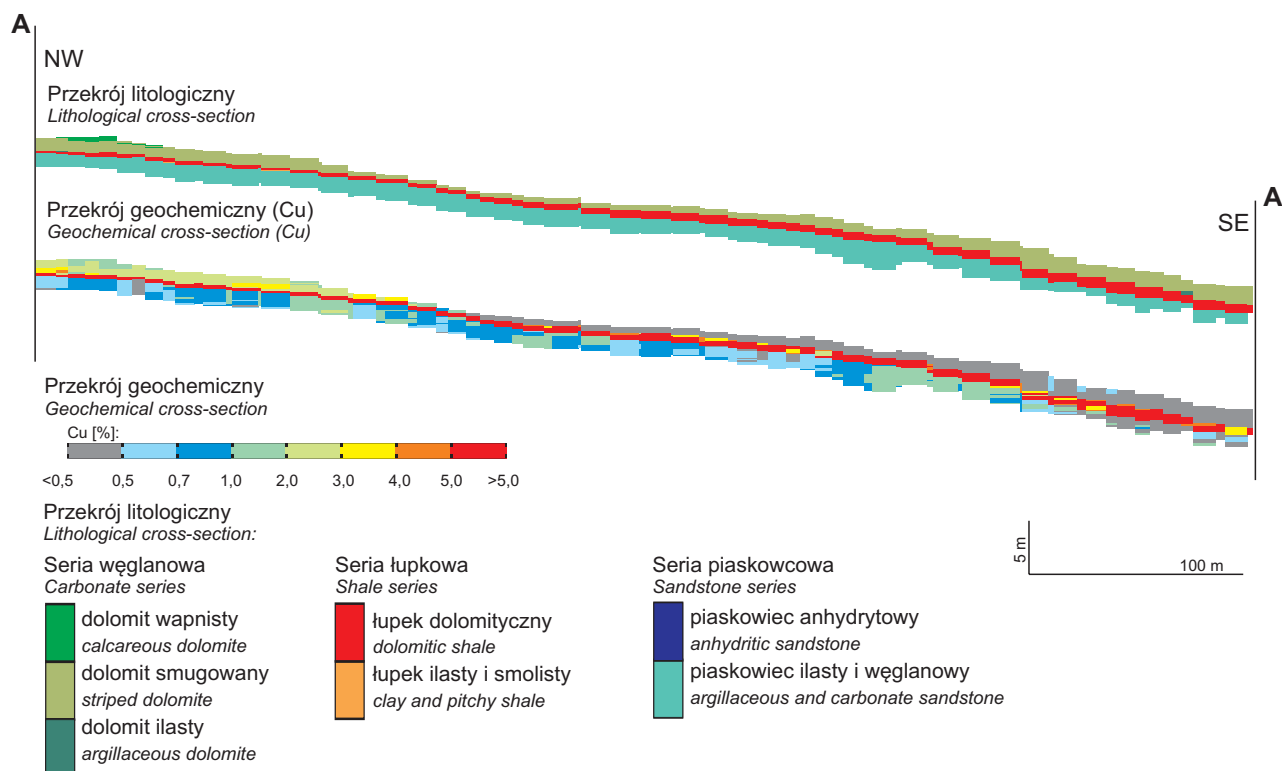


Fig. 6. Przekrój litologiczny i geochemiczny (Cu) A–A' przez depresję między Centralną a Północną Elewacją Rudnej

Lithological and geochemical (Cu) cross-section (A–A') through the depression between Central Elevation of Rudna and Northern Elevation of Rudna

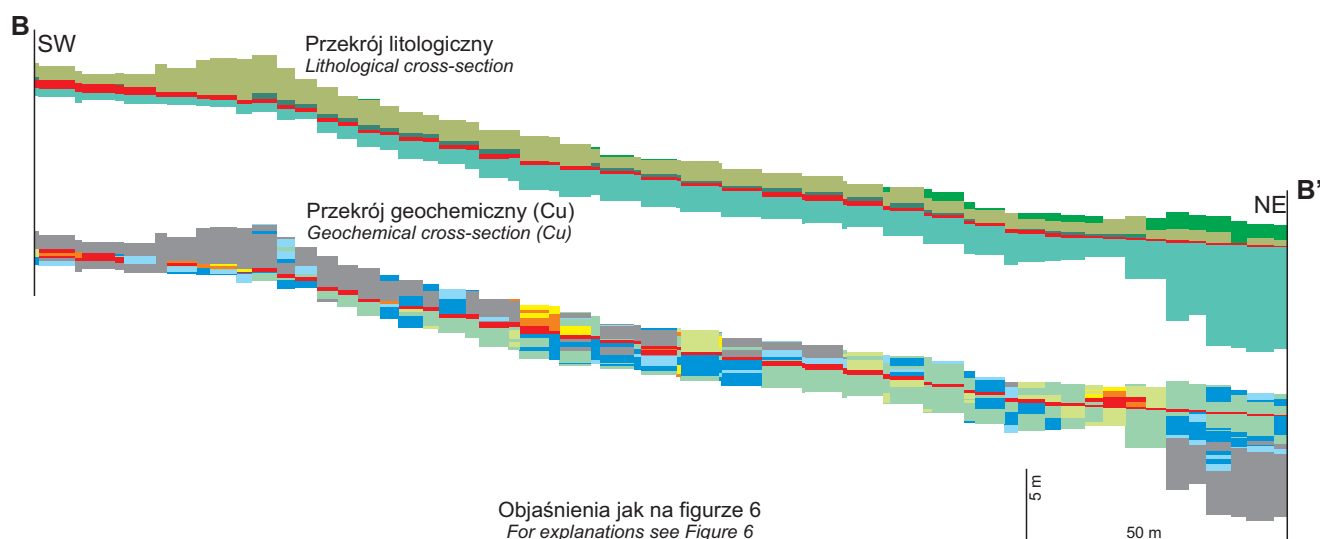
ciągłej warstwy dolomitu smugowanego w SE części obszaru. Najwyżej w profilu serii węglanowej występuje kilkunastometrowej miąższości warstwa dolomitu wapnistego. Dolomit wapnisty jest obecny na całym obszarze badanej depresji, mimo że na przekroju A–A' jego obecność, opróbowaniem geologicznym, potwierdzono tylko na krótkim odcinku w NW fragmencie obszaru.

Budowa geologiczna prezentowana na przekroju A–A' wydaje się być dość monotonna, dominujące warstwy piaskowców ilasto-węglanowych, łupków dolomitycznych i dolomitów smugowanych są obecne wzdłuż całej linii przekrojowej. Mimo niewielkiej zmienności litologicznej można zaobserwować duże różnice wykształcenia przebiegu złoża bilansowego. W części NW przekroju okruszczenie bilansowe obejmuje wszystkie trzy główne wydzielenia litologiczne, tj. mineralizacja miedziowa występuje w utworach piaszczystych, łupkowych i węglanowych. W obecnej tu rudzie piaskowcowej zawartość Cu jest niska, nie przekracza bowiem 1% – stanowi jednak rudę bilansową. Maksymalny poziom okruszczenia, sięgający nawet 17% Cu, stwierdzony jest w warstwie łupku dolomitycznego (ruda łupkowa). Warto zauważyć, że w tej części depresji mineralizacja jest obecna w całym interwale łupkowym. Seria węglanowa zbudowana w tej części z cienkiej, nieciągłej warstwy dolomitu ilastego oraz ponadmetrowej miąższości warstwy dolomitu smugowanego, ma bilansowe okruszczenie o stosunkowo

wysokiej zawartości Cu – sięgającej w spągu serii węglanowej powyżej 4%. Najwyższą zawartość Cu wykazują niewielkie soczewki dolomitu ilastego (3–4%). Dolomit smugowany ma bilansową zawartość Cu (2–3%) w całym swoim przekroju, a przylegająca do dolomitu smugowanego nadległa warstwa dolomitu wapnistego ma okruszczenie Cu na poziomie nie większym niż 2%.

Wraz z głębokością depresji można zaobserwować wzrost miąższości łupku dolomitycznego, co wydaje się być kluczowym czynnikiem wpływającym na przestrzenne rozmieszczenie mineralizacji miedziowej. W środkowej części przekroju, gdzie miąższość łupku stopniowo wzrasta, zauważalny jest spadek zawartości Cu poniżej 0,5% w leżącej powyżej serii dolomitycznej. Zwiększanie się całkowitej miąższości serii łupkowej powoduje wyraźne zmniejszenie zawartości Cu w stropowej warstwie łupków, co wskazuje dobitnie na związek pionowego rozkładu mineralizacji z miąższością serii litologicznej, zwłaszcza serii łupkowej. Okruszczenie rudy piaskowcowej w środkowej części przekroju jest tylko nieznacznie niższe niż w części NW.

Zależność poziomu mineralizacji miedziowej od miąższości warstw jest jeszcze bardziej widoczna w części SE obszaru, gdzie utwory łupkowe, osiągające miąższość ok. 1 m, są bardzo bogato okruszczone w swojej dolnej części, a środkowa i górna część profilu łupku dolomitycznego cechuje się o połowę niższą zawartością Cu. O ile stropowe



Rys. 7. Przekrój litologiczny i geochemiczny (Cu) B–B' przez depresję między Centralną a Północną Elewacją Rudnej

Lithological and geochemical (Cu) cross-section (B–B') through the depression between Central Elevation of Rudna and Northern Elevation of Rudna

partie łupków o znacznej miąższości charakteryzują się jedynie niższym okruszcowaniem, o tyle utwory węglanowe podścielone takim łupkiem są pozbawione bilansowej mineralizacji Cu. W części SE depresji stopniowo zanika również bilansowe okruszcowanie w serii piaskowcowej.

Przekrój B–B' (fig. 7) obrazuje zmienność wykształcenia geologicznego poprzecznie do przebiegu depresji. Część SW (B) przekroju przedstawia centralną, najgłębszą strefę depresji, stopniowo przechodząc na skłon Północnej Elewacji Rudnej w NE części przekroju (B').

Podobnie jak na przekroju A–A', utwory białego spągowca są reprezentowane wyłącznie przez piaskowce o spoiwach ilastych i ilasto-węglanowych, a serię cechsztyńskich łupków miedzionośnych reprezentują prawie wyłącznie łupki dolomityczne. Cienka (poniżej 0,01 m) warstewka łupku smolistego występuje jedynie we wschodniej części depresji, w bezpośredniej bliskości skłonu elewacji (z powodu znikomej miąższości warstewka nie jest widoczna na przekroju). Najniższą warstwę skał węglanowych stanowią czarne dolomity ilaste tworzące cienką, maksymalnie 20-centymetrową warstewkę wyklinowującą się w najgłębszej – centralnej i najpłytszej – peryferyjnej części depresji. Dolomit smugowany osiąga maksimum miąższości w środkowej części depresji i jego miąższość zmniejsza się w kierunku skłonu elewacji. Nadległe dolomity wapienste w przekroju są reprezentowane jedynie we wschodniej części obszaru depresji, gdzie zastępują one wycieniające się dolomity smugowane.

Przekrój geochemiczny wskazuje, że minimalna miąższość złoża bilansowego jest związana z centralną częścią depresji stropu białego spągowca (SW część obszaru). Mineralizacja bilansowa jest ograniczona do półmetrowej war-

stwy rudy łupkowej, w której rozmieszczenie minerałów miedziowych jest bardzo nierównomierne. Zawartość miedzi w stwierdzonym tu łupku dolomitycznym waha się w szerokich granicach od 0,7 do 12,0% Cu. Opróbowanie geologiczne wykonane w rejonie występowania najbardziej miąższej warstwy łupku wykazało obecność płonnych przerostów wewnątrz łupkowej serii oraz liczne przejawy braku bilansowej mineralizacji miedziowej w stropowej partii czarnych łupków. Podobnie jak w przekroju A–A', obecność warstwy łupku o znacznej miąższości negatywnie wpływa na intensywność okruszcowania utworów węglanowych. Dolomity (ilasty, smugowany i wapienste) nie posiadają mineralizacji bilansowej.

Odmienne wykształcenie litologiczne złoża udokumentowano w środkowej i wschodniej części obszaru prezentowanego na przekroju, gdzie utwory łupkowe ulegają stopniowemu zmniejszaniu miąższości, związanemu z bliskością skłonu Północnej Elewacji Rudnej. W tym rejonie bilansowe okruszcowanie siarczkami miedzi, oprócz serii łupkowej, występuje także w skałach piaskowcowych i węglanowych. Miąższość złoża bilansowego lokalnie jest większa niż 3 m. Okruszcowanie miedziowe w rudzie piaskowcowej, sięgające nawet 3% Cu, jest notowane do głębokości 2 m poniżej stropu białego spągowca. Wysoką zawartość Cu (maks. 3,5%) stwierdzono również w rudzie węglanowej, zalegającej powyżej utworów łupkowych.

Linie przekrojową C–C' (fig. 8) poprowadzono poprzecznie do depresji. SW część przekroju sięga skłonu Centralnej Elewacji Rudnej, a część NE została oparta o skłon Północnej Elewacji Rudnej. Dolną część profilu złoża budują piaskowce o spoiwach ilastych i ilasto-węglanowych, udział spoiwa węglanowego wzrasta ku górze profilu kosztem ilości

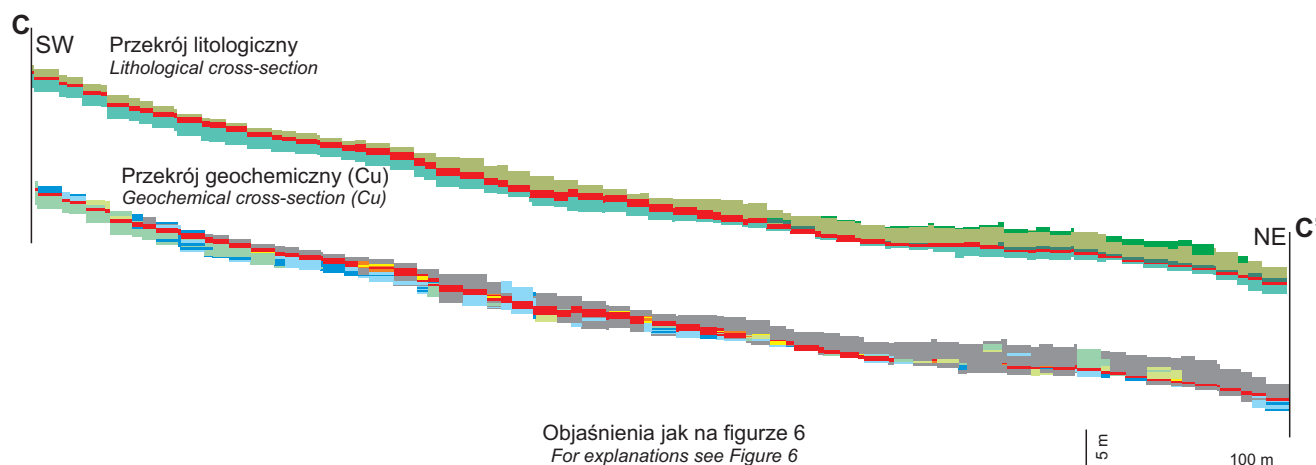


Fig. 8. Przekrój litologiczny i geochemiczny (Cu) C–C' przez depresję między Centralną a Północną Elewacją Rudnej

Lithological and geochemical (Cu) cross-section (C–C') through the depression between Central Elevation of Rudna and Northern Elevation of Rudna

ci minerałów ilastych. Warstwa łupków miedzionośnych, ciągła na całym obszarze prezentowanym na przekroju, jest mało zróżnicowana pod względem litologicznym. Serię tę stanowi łupek dolomityczny, czarny, o słabo widocznej podzielności. W centralnej części badanego obszaru miąższość łupku jest największa, na znacznej przestrzeni wynosi ok. 1 m. Natomiast w peryferyjnych częściach depresji, w bezpośredniej bliskości elewacji stropu białego spągowca, miąższość osadów łupkowych stopniowo się zmniejsza. Elewacje otaczające obszar badań są strefami, w których serii łupkowej nie stwierdzono, a utwory białego spągowca kontaktują bezpośrednio z serią skał węglanowych. Rudy węglanowe obecne na obszarze badań pod względem wykształcenia litologicznego są złożone z nieciągłej warstewki dolomitów ilastych, stwierdzonej w centralnej, najgłębszej części oraz w NE części depresji, tuż przy skłonie Północnej Elewacji Rudnej. Ich występowanie charakteryzuje się dużą nieregularnością, a miąższość nie przekracza 0,5 m. Występujący powyżej dolomitu ilastego, jaśniejszy dolomit smugowany stanowi warstwę ciągłą, choć jej miąższość jest zróżnicowana (od 0,7 do 2,2 m). Sekwencję litologiczną kończy, obecny w stropie na całości obszaru, dolomit wapnisty. Opróbowanie geologiczne nie obejmuje całości interwału tego typu litologicznego ze względu na brak okruszczenia miedziowego.

Przekrój geochemiczny C–C' bardzo wyraźnie obrazuje zmienność zawartości Cu w utworach piaskowcowych w opisywanym rejonie. Bilansowe okruszczenie rudy piaskowcowej występuje powszechnie w SW części depresji, gdzie mineralizacją miedziową jest objęta stropowa 2–3-metrowa warstwa białego spągowca. W kierunku NE zawartość Cu w rudzie piaskowcowej obniża się, a ponadto wewnątrz ciała rudnego są obecne płonne warstwy białych piaskowców. Najwyższe parametry jakościowe na badanym obszarze ma ruda łupkowa, reprezentowana przez łupki dolomityczne. Zawartość Cu na większości obszaru występowania łupków

przekracza 5%, choć pionowa zmienność zawartości jest znaczna. Wahania poziomu mineralizacji są wynikiem zmienności miąższości rud łupkowych, wynikającej z położenia względem centralnych i brzeżnych rejonów depresji. W części NE obszaru stwierdzono ponadto niewielką enklawę płonnych łupków, co jest zjawiskiem rzadko spotykanym w centralnej części obszaru miedzionośnego. Okruszcowanie serii węglanowej, we fragmencie depresji zaprezentowanym na przekroju C–C', ma charakter nieciągły. Obecny w NE części obszaru dolomit ilasty ma bilansowe okruszczenie miedziowe jedynie w kilkucentymetrowej warstewce przylegającej bezpośrednio do serii łupkowej, a mineralizacja w leżących powyżej utworach węglanowych (stropowa część dolomitu ilastego, dolomit smugowany i dolomit wapnisty) ma formę „wyspawą”.

Płaszczyzna przekrojowa D–D' (fig. 9) jest równoległa do przekroju C–C'. Mimo niewielkiej odległości obu przekrojów (ok. 200 m) i niewielkich różnic w budowie litologicznej złoża między przekrojami, przestrzenne rozmieszczenie mineralizacji w prezentowanych obszarach jest odmienne.

Wykształcenie litologiczne serii piaskowcowej oraz węglanowej jest prawie identyczne między płaszczyznami przekrojowymi C–C' i D–D'. W piaskowcach kwarcowych dominują spoiwa ilaste i ilasto-węglanowe, natomiast cechsztyńskie osady węglanowe są wykształcone w formie trzech typowych odmian szczegółowych (dolomit ilasty, smugowany i wapnisty). Większym stopniem skomplikowania budowy litologicznej charakteryzuje się seria łupkowa, gdzie oprócz utworów łupku dolomitycznego stwierdzono, w NE części depresji, kilkudziesięciocentymetrową warstwę łupków ilastych i smolistych. Podścielają one serię łupków dolomitycznych, a lokalnie nawet je zastępują. Ich obecność w profilu litologicznym powoduje zmniejszenie miąższości łupków dolomitycznych. Wszystkie typy litologiczne łupków miedzionośnych są okruszczone bilansowo, zawar-

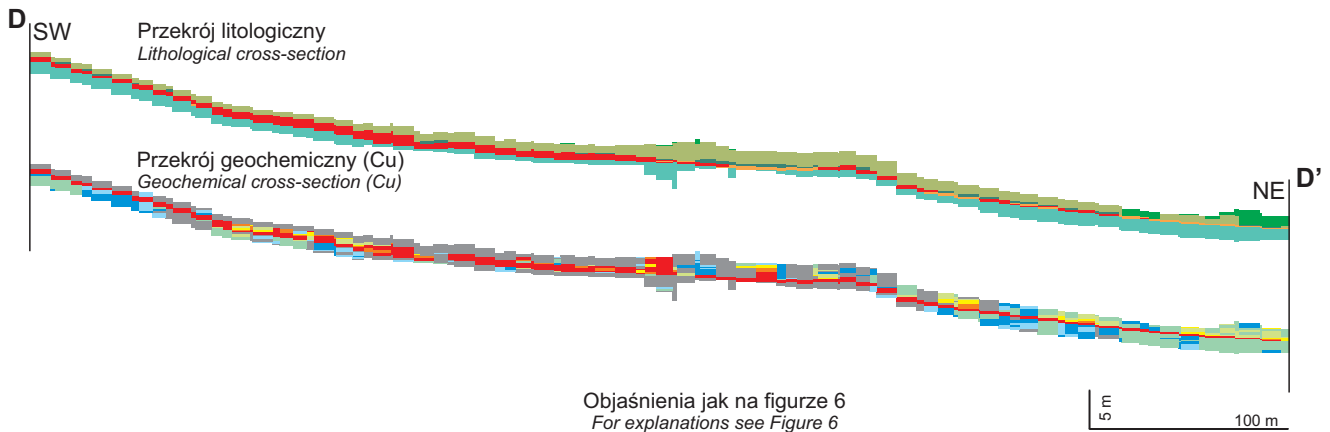


Fig. 9. Przekrój litologiczny i geochemiczny (Cu) D–D' przez depresję między Centralną a Północną Elewacją Rudnej

Lithological and geochemical (Cu) cross-section (D–D') through the depression between Central Elevation of Rudna and Northern Elevation of Rudna

tość Cu w tej serii jest bardzo wysoka, na znacznej części obszaru przekracza 10% Cu. Poziom okruszcowania jest jednak zależny od miąższości rudy łupkowej, gdyż znaczna miąższość tych utworów powoduje wewnętrzną zmienność intensywności mineralizacji. Miąższość utworów łupkowych ma również decydujący wpływ na obecność siarczoków Cu w skałach otaczających: obecność rud łupkowych o miąższości większej niż ok. 0,5 m sprawia, że nadległe skały węglanowe nie stanowią bilansowych rud miedzi. Złoże bilansowe kilkumetrowej miąższości, w serii węglanowej i piaskowcowej, występuje tylko w NE części obszaru, gdzie utwory łupkowe są zredukowane do cienkiej, kilkunastocentymetrowej warstwy. Zmniejszenie miąższości rud łupkowych i związane z tym zwiększenie miąższości złoża bilansowego w skałach piaskowcowych i węglanowych jest w NE fragmencie depresji związane z bliskością skłonu Północnej Elewacji Rudnej.

Opisane w niniejszym rozdziale zależności między wykształceniem litologicznym szczegółowych typów rud miedzi LGOM, a występowaniem bilansowej mineralizacji miedziowej mają zastosowanie przy prognozowaniu parametrów jakościowych złoża w sąsiednich depresjach stropu białego spągowca. Zaznaczyć jednak należy, że w przestrzeni całego obszaru LGOM odnotowano wiele lokalnych odstępstw od zaprezentowanego modelu. Depresje położone na S i SW od struktury opisywanej w niniejszym artykule charakteryzują się odmienną formą złoża (**mimo licznych podobieństw litologiczno-facjalnych skał cechsztynu**), gdyż w tym kierunku maksimum zawartości Cu lokuje się w coraz wyższych warstwach skał węglanowych. W tym samym kierunku można zaobserwować stopniowy zanik mineralizacji w skałach piaskowcowych. Depresje położone na N i NE od obszaru analizowanego w artykule cechują się mniejszym stopniem skomplikowania granic złoża bilansowego. W głębszych strefach obszaru miedzionośnego zarówno elewacje, jak i depresje stropu białego spągowca mniej wyraźnie zaznaczają się w morfologii stropu utworów piaszczystych.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

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 (zwarłości Cu w urobku), zwiększenie zubożenia i wzrost udziału skały płonnej w urobku. W artykule dokonano analizy parametrów jakościowych złoża położonego w depresji, **charakteryzującego się niewielką miąższością** – często znacznie poniżej wysokości furty eksploatacyjnej. Przy wykorzystaniu obecnie istniejących technik eksploatacji złóż nie ma możliwości eksploatacji złoża o tak małej miąższości bez konieczności przybierania dużych ilości skał płonnych otaczających złoże bilansowe. Własności fizyczne skał otaczających serię złożową decydują jedynie o tym czy przybierane są skały płonne obecne w stropie czy spągu złoża.

Na znacznej części obszaru wytypowanego do badań stwierdzono okruszcowanie bilansowe ograniczone do skał serii łupkowej. Mineralizacja bilansowa obejmuje lokalnie spągową część serii węglanowej: dolomit ilasty oraz najniższą warstwę dolomitu smugowanego. Utrzymanie bezpiecznego stropu wyrobisk górniczych w utworach dolomitu smugowanego jest w praktyce niemożliwe, stąd konieczność urabiania skał płonnych, aż do osiągnięcia warstw stropu zasadniczego – zazwyczaj stanowi go spąg dolomitu wapnistego. Podobnie – ze względów technologicznych – konieczne bywa przerywanie ciągłości stropu serii piaskowcowej (na badanym obszarze często płonnej) w celu zabezpieczenia stabilności wyrobisk. Konieczność ta powoduje dodatkowy wzrost udziału skały płonnej w urobku.

W artykule dokonano szczegółowej analizy wykształcenia litologicznego skał na obszarze depresji stropu białego spągowca zlokalizowanej między Centralną i Północną Elewacją Rudnej. Autorzy sporządzili przestrzenne modele litologiczne i geochemiczne oraz mapy miąższości szczegóło-

wych typów litologicznych rud miedzi, które umożliwiły opis zależności między budową geologiczną serii złożowej a obecnością okruszcowania miedziowego.

Profil skał złożowych w badanym obszarze składa się z trzech głównych serii litologicznych (rudy piaskowcowe, łupkowe, węglanowe), które tworzą tzw. „profil typowy”. W praktyce geologicznej KGHM Polska Miedź S.A., stosuje się określenia szczegółowych typów litologicznych, których zróżnicowanie opisano w artykule. Stwierdzono, że na obszarze depresji maksymalna zawartość Cu jest obecna w serii łupków miedzionośnych, wśród których dominuje łupek dolomityczny. Utwory łupkowe są obecne w całym obszarze badań, gdzie tworzą warstwę o zmiennej miąższości, wahającej się od kilku centymetrów do ponad 1 metra. Warstwę łupków miedzionośnych podścielają osady klastyczne białego spągowca, w których mineralizacja miedziowa jest spotykana tylko lokalnie. Ponad stropem serii łupkowej występują zróżnicowane pod względem petrograficznym skały węglanowe. Mineralizacja rud węglanowych jest ograniczona jedynie do spągowego, przylegającego do rud łupkowych, interwału dolomitów ilastych i smugowanych. Intensywność okruszcowania skał węglanowych jest związana z wykształceniem leżących niżej utworów łupkowych. Zaobserwowano, że wraz ze wzrostem miąższości skał łupkowych następuje zmniejszenie zawartości Cu w górnych częściach profilu złożowego. Taka forma wykształcenia złoża bilansowego jest typowa dla obszarów depresji stropu białego spągowca, położonych w centralnym rejonie złoża rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej. Depresje zlokalizowane w innych częściach obszaru miedzionośnego wykazują wiele podobieństw, zwłaszcza w zakresie wykształcenia litologicznego, więc zaprezentowany w artykule model depresji może ułatwić interpretację granic innych depresji i elewacji stropu białego spągowca. Przebieg granic mineralizacji bilansowej w poszczególnych depresjach należy jednak rozpatrywać indywidualnie, dokładnie analizując lokalne warunki geologiczne. Odpowiednio szybka reakcja służb geologicznych i możliwość prognozowania zmiennych parametrów jakościowych serii złożowej 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 S.A.

Praca została zrealizowana częściowo w ramach działalności statutowej Katedry Geologii Złożowej i Górniczej (nr 11.11.140.161) w 2018 r.

LITERATURA

ARMSTRONG M., GALLI A., LE LOC'H G., GEFFROY F., ESCHARD R., 2003 – Plurigaussian Simulations in Geosciences. Springer Science & Business Media, Berlin.

- BŁASZCZYK J.K., 1981 – Wpływ paleomorfologii stropu białego spągowca na zmienność facjalną serii złożowej w Zagłębiu Lubinińskim. *Geol. Sudet.*, **16**, 1: 195–215.
- HARAŃCZYK C., 1972 – Mineralizacja kruszcowa dolnośląskich osadów euksynicznych monokliny przedsudeckiej. *Arch. Mineral.*, **30**: 13–171.
- JAROSZ J., 1968 – Charakterystyka mineralogiczno-petrograficzna złoża Lubin. *Rudy i Metale*, **13**, 12: 625–634.
- KACZMAREK W., DUDEK M., GOLDA K., WASILEWSKA-BŁASZCZYK M., 2017a – Charakterystyka stref bezzłożowych w centralnej części złoża rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej. *Zesz. Nauk. Inst. Gosp. Surow. Mineral. Energ. PAN*, **100**: 79–93.
- KACZMAREK W., TWARDOWSKI M., WASILEWSKA-BŁASZCZYK M., 2017b – Praktyczne aspekty modelowania litologicznych typów rud w złożach Cu-Ag LGOM. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **468**: 209–226.
- KONSTANTYNOWICZ E. (red.), 1971 – Monografia przemysłu miedziowego w Polsce. Wydaw. Geol., Warszawa.
- KUCHA H., 1990 – Geochemistry of Kupferschiefer, Poland. *Geol. Rundsch.*, **79**: 387–399.
- LORENC S., 1975 – Petrografia i zróżnicowanie facjalne wapieni i anhydrytów Werra monokliny przedsudeckiej. *Geol. Sudet.*, **10**, 1: 59–99.
- MAYER W., PIESTRZYŃSKI A., 1985 – Ore minerals from lower Zechstein sediments at Rudna Mine, Fore-Sudetic Monocline, SW Poland. *Pr. Mineral. PAN*, **75**: 7–72.
- NIEĆ M., PIESTRZYŃSKI A., 1996 – Forma i budowa złoża. *W: Monografia KGHM Polska Miedź S.A. Cuprum, Wrocław*: 185–193.
- NIŚKIEWICZ J., 1980 – Zjawiska metasomatozy w cechsztyńskich złożach rud miedzi Dolnego Śląska. *Geol. Sudet.*, **15**, 2: 7–119.
- OSZCZEPALSKI S., 1985 – Sedymentacja utworów cechsztyńskich wapienia podstawowego w rejonie Wrocławia. *Prz. Geol.*, **4**: 192–198.
- OSZCZEPALSKI S., 1986 – On the Zechstein Copper Shale lithofacies and paleoenvironment in SW Poland. *Spec. Pub. Geol. Soc. London*, **22**: 171–182.
- OSZCZEPALSKI S., 1988 – Środowisko sedymentacji cechsztyńskiego łupku miedzionośnego w południowo-zachodniej Polsce. *Prz. Geol.*, **4**: 223–130.
- OSZCZEPALSKI S., RYDZEWSKI A., 1987 – Paleogeography and sedimentary model of the Kupferschiefer in Poland. *Lect. Notes Earth Sci.*, **10**: 189–205.
- PERYT T.M., 1978 – Charakterystyka mikrofacjalna cechsztyńskich osadów węglanowych cyklotemu pierwszego i drugiego na obszarze monokliny przedsudeckiej. *Stud. Geol. Pol.*, **54**: 88.
- PERYT T.M., 1981 – Cechsztyń w otoczeniu bloku przedsudeckiego. *Kwart. Geol.*, **25**, 1: 75–91.
- PERYT T.M., 1984 – Sedymentacja i wczesna diageniza utworów wapienia cechsztyńskiego w Polsce zachodniej. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, **109**: 1–80.
- PERYT T.M., OSZCZEPALSKI S., 1996 – Stratygrafia serii złożowej. *W: Monografia KGHM Polska Miedź S.A. (red. A. Piestrzyński)*, Lubin: 132–136.
- PIESTRZYŃSKI A. (red.), 1996 – Monografia KGHM Polska Miedź S.A. Lubin CBPM Cuprum: 73–396.
- PIESTRZYŃSKI A. (red.), 2007 – Monografia KGHM Polska Miedź S.A. Lubin: 67–308.
- RYDZEWSKI A., ŚLIWIŃSKI W., 2007 – Litologia skał złożowych. *W: Monografia KGHM Polska Miedź S.A. (red. A. Piestrzyński)*. Lubin: 111–115.

- SAWŁOWICZ Z., WEDEPOHL K.H., 1992 – The origin of rhythmic sulphide bands from the Permian sandstones (Weissliengendes) in the footwall of the Fore-Sudetic „Kupferschiefer” (Poland). *Miner. Deposita*, **27**: 242–248.
- SPECZIK S., PÜTTMANN W., 1987 – Origin of Kupferschiefer mineralization as suggested by coal petrology and organic geochemical studies. *Acta Geol. Pol.*, **37**, 3/4: 167–187.
- ŚLIWIŃSKI W., 2000 – Rozwój mineralizacji miedziowej w utworach permu monokliny przedsudeckiej – uwarunkowania sedymentacyjno-diagenetyczne. *Acta Univ. Wratisl. Pr. Geol.-Miner.*, **68**: 7–36.
- VAUGHAN D.J., SWEENEY M., FRIEDRICH G., DIEDEL R., HARAŃCZYK C., 1989 – The Kupferschiefer: An Overview with an Appraisal of the Different Types of Mineralization. *Econ. Geol.*, **84**: 1003–1027.
- WASILEWSKA-BŁASZCZYK M., TWARDOWSKI M., MUCHA J., KACZMAREK W., 2017 – Model litologiczny 3D przy zastosowaniu technik interpolacyjnych i symulacji geostatystycznej (na przykładzie złoża Cu-Ag LGOM). *Biul. Państ. Inst. Geol.*, **468**: 237–245.
- YUNSEL T.Y., ERSOY A., 2011 – Geological modeling of gold deposit based on grade domaining using plurigaussian simulation technique. *Natur. Resour. Res.*, **20**, 4: 231–249.

SUMMARY

The copper ore deposit in the Fore-Sudetic Monocline is characterized by a complex geological structure. The decisive factors shaping the lithological composition of the host rocks were the Rotliegend eolian sedimentation and the subsequent changes caused by the Zechstein Sea transgression. The final form of the copper-bearing layer is as a result of later diagenetic and tectonic processes. The formation of a wide range of useful minerals was also a multi-stage process started already at the moment of sedimentation. This process took place in stages, while the subsequent stages of the mineralization process overlapped with the previous ones, often modifying the effects of previous mineralization. The high complexity of the form and structure of the deposit observed today is, among others, the result of the presence of Weissliengend sandstones at the top, which are relics of aeolian desert dunes that developed in dry conditions during the Rotliegend sedimentation. Weissliengend sandstones are the oldest rocks of the deposit series in the study area. Unlike the Rotliegend, they are shallow-marine deposits that accumulated as a result of resedimentation of loose desert sands. Their distinctive feature is light grey and white colours. The Weissliengend sandstones can be found throughout the ore deposit area, although their thickness is very variable. The overlying clastic sediments are discontinuous and irregular, while individual lithological units peter out at the top of the Weissliengend sandstones. Directly above the white-grey sandstones, mainly in the eastern part of the deposit area, massive boundary dolomite of variable thickness is observed. The copper-bearing shale series, overlying the boundary dolomite (or sandstone in the absence of dolomite), appears only in the depressions at the top of the Weissliengend, not reaching the uppermost parts. Based on the lithological features, the shales have been divided into three types: pitchy, clay, and dolomitic shale. The carbonate series forming the top part of the deposit are characterized by the most complicated structure and, like the copper-bearing shales, are divided into three detailed lithological types. The argillaceous and streaky dolomites present at the base of the carbonate series are found only in the central and marginal zones of the depression at the top of the Weissliengend sandstones. The uppermost part of the Zechstein carbonate copper-bearing series is represented by argillaceous dolomite that covers the entire area and levels the relief inherited

from the dunes. The lithological development of rocks building the copper ore deposit in the Fore-Sudetic Monocline is one of the key factors determining the occurrence and character of base metal mineralization. The lithological development, mineral composition, structures and textures of Zechstein sedimentary rocks, the boundaries between particular lithological types, thickness and continuity of layers, and spatial relations between them have a decisive influence on the shape and basic exploitation parameters of the deposit.

The article discusses the lithological and facies development of the copper ore deposit in the Fore-Sudetic Monocline in the so-called depression in the top of the Weissliengend. The lithological variability of the rocks and quality parameters of the deposit in the exploitation field located between the Central Elevation of the Rudna and the Northern Elevation of Rudna were analyzed. In this area, the deposit profile is described as “typical”, i.e. the Cu-Ag mineralization occurs in all three basic lithological types of copper ore. The lithological variability of ores in depression zones is the reason why the degree of mineralization and the parameters of the economic deposit are highly variable. The authors focused on the mutual relationships between the neighbouring lithological units and the development of the economic deposit. To illustrate the variability of deposit parameters closely related to the lithological and facies development of the host rocks, three-dimensional lithological and geochemical models and isoline maps of the thickness of individual specific copper ore types were made using geostatistical methods and based on field observations and sampling of the deposit. Geological sampling and observation of geological phenomena in mining excavations have confirmed that the profile of host rocks in the analyzed area consists of three main lithological series (sandstone, shale and carbonate) that form the so-called “typical profile”. The authors identified the individual lithological types of copper ore in the exploitation field according to the standards of the KGHM Polska Miedź S.A. The variability of specific lithologies, their mutual relations, parameters of copper mineralization, and the distribution of host rocks are discussed in the article. It has been found that the maximum Cu content in the depression area is observed in the copper-bearing shale series dominated by dolomitic shale. Shale deposits are present throughout the research area and form a layer of vari-

able thickness, ranging from a few centimetres to over 1 m. The copper-bearing shale layer is underlain by Weissliedend clastic sediments, in which copper mineralization is found only locally. The top of the shale series is overlain by carbonate rocks of variable petrographic composition. The mineralization in carbonate ores is limited only to the basal interval of dolomites and streaky dolomites, adjacent to shales. The intensity of mineralization in carbonate rocks is associated with the development of underlying shale formations. It has been confirmed that the Cu content in the upper parts of the deposit profile decreases with increasing thickness of

shale rocks. Such development of the economic deposit is typical for the depression at the top of the Weissliedend, located in the central area of copper deposits in the Fore-Sudetic Monocline. The depressions in other parts of the copper-bearing area show many similarities, especially in terms of lithological development; hence, the presented depression model can be used when analyzing boundaries between depressions and the top of the Weissliedend. The boundaries of economic mineralization in individual depressions, however, should be considered individually, while carefully analyzing the local geological conditions.

