

WYKSZTAŁCENIE ZŁOŻA RUD MIEDZI W STREFACH WYSTĘPOWANIA FACJI ROTE FÄULE W ZACHODNIEJ CZĘŚCI ZŁOŻA SIEROSZOWICE (KGHM POLSKA MIEDŹ S.A.)

CHARACTERISTIC OF THE COPPER ORE DEPOSIT WITHIN AREAS OF ROTE FÄULE OCCURRENCE IN THE WESTERN PART OF SIEROSZOWICE DEPOSIT (KGHM POLSKA MIEDŹ S.A.)

Ariel Wojciszewicz, Wojciech Kaczmarek – KGHM Polska Miedź S.A.

Złoże rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej tworzą skały osadowe zdeponowane na przelomie czerwonego spągowca i cechsztynu (perm). Powstanie mineralizacji miedziowo-srebrowej jest związane z długotrwałymi i kilkietapowymi procesami geologicznymi. Zagadnienie genezy złożeń jest szeroko opisywane w literaturze jako zbiór następujących po sobie procesów sedymentacyjnych, diagenetycznych i tektonicznych. Parametry geologiczne złożeń charakteryzują się znaczną zmiennością pionową i poziomą wynikającą ze zróżnicowania wykształcenia litologicznego skał złożowych oraz intensywności okruszczenia. Jednym z głównych czynników, które zdecydowały o poziomym rozprzestrzenieniu siarczków miedzi w piaskowcach, łupkach i dolomitach miedzionośnych były warunki geochemiczne w jakich następowały kolejne fazy diagenetyzacji skał osadowych. Obserwowane obecnie granice facji utlenionej i redukcyjnej (niekiedy wyróżniana jest też facja przejściowa) są nieregularne i nieostre. Prowadzenie racjonalnej gospodarki zasobami złożeń w strefach kontaktu facji geochemicznych wymaga stałego dozoru geologicznego oraz bardzo szczegółowego opróbowywania i kartowania przodków i ociosów wyrobisk. Autorzy podjęli próbę scharakteryzowania fragmentu obszaru złożeń bilansowego oraz sąsiadującej z nim strefy bezzłożowej, związanej z obecnością czerwonych plam (rote Fäule) w południowej części złożeń Sieroszowice.

Słowa kluczowe: złoże rud miedzi, facje geochemiczne, czerwone plamy, dokumentowanie złóż

The copper ore deposit of Foresudetic Monocline comprise the sedimentary rocks formed in the turn of Rotliegend and Zechstein (Permian). The origin of copper-silver mineralisation is involved with long and multistage geological processes. The issue of origin is widely described in literature as the series of sequential sedimentary, diagenetic and tectonic processes. The ore body is variable in horizontal and vertical direction which caused by different lithology of hosting rocks and mineralisation intensity. One of the main factors which determine the horizontal spread of mineralisation in sandstones, shales and dolomites is geochemical variability. The boundaries of oxidized and reduced facies are irregular and indistinctive. The mining extraction of the deposit in areas of the contact of oxidized and reduced facies requires the permanent geological supervision and detailed sampling and surveying. The authors make the attempt to document the deposit boundaries in area of red staining (Rote Fäule) in the southern part of Sieroszowice deposit.

Keywords: copper ore deposit, geochemical facies, red staining, deposit documentation

Wstęp

Sposób opróbowania złożeń rud miedzi użytkowanego przez KGHM Polska Miedź S.A. jest unormowany przez instrukcje opróbowania złożeń. Obecnie obowiązującą jest „Instrukcja opróbowania złożeń rud miedzi i oznaczania składników towarzyszących w KGHM Polska Miedź S.A.” [1] wprowadzona do stosowania w 2011 roku. Przedmiotem tejże instrukcji są zasady jednolitego sposobu opróbowania złożeń, oznaczania chemicznych, organogenicznych, geochemicznych, petrograficznych składników i wskaźników złożeń oraz sposobu ich dokumentowania w zakładach górniczych KGHM Polska Miedź S.A.

Próby złożowe dla wykonania standardowych badań laboratoryjnych pobiera się w wyrobiskach górniczych z ociosów lub rdzeni otworów wiertniczych - rozpoznawczych. Próby złożowe do analiz chemicznych pobierane są metodą punktową

w układzie liniowym, tworząc ciągły profil litologiczny. Masa pojedynczej próbki cząstkowej wchodzącej w skład profilu nie może być mniejsza niż 200 g. Przy pobieraniu próbek cząstkowych uwzględniane są występujące w profilu wyrobiska odmiany litologiczne wraz z odmianami facjalnymi, barwami, cechami strukturalnymi i sedymentacyjnymi. Za podstawowy interwał próby cząstkowej przyjmuje się przedział od 0,2 do 0,5 m. Gęstość sieci opróbowania uzależniona jest od lokalnej zmienności złożeń, w praktyce próby pobierane są w odległości nie większej niż 30 m.

W celu scharakteryzowania granic mineralizacji miedziowej w obszarze badań opróbowano 8 profili złożowych (próbki specjalne) w strefie granicznej facji utlenionej oraz wykorzystano dane pochodzące ze standardowego opróbowania geologicznego złożeń. W pobranych próbkach specjalnych

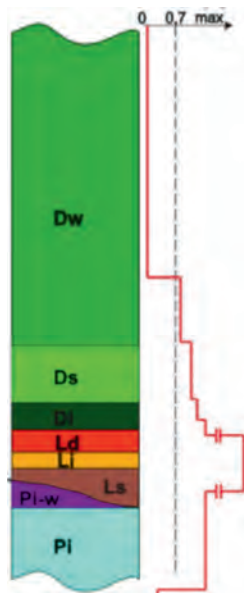
oznaczono zawartość Cu, Ag, Fe i S. Wszystkie pierwiastki chemiczne zostały oznaczone metodą WD-XRF w laboratoriach CBJ Sp. z o.o. w Polkowicach. Wyniki oznaczeń zawartości metali w próbkach specjalnych przedstawiono na diagramach (profile litologiczne i geochemiczne – rys. 5).

Budowa geologiczna złoża

Złoże rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej, opisywane w literaturze jako złożo typu stratoidalnego (sediment hosted copper deposit), charakteryzuje się dużą zmiennością intensywności okruszcowania. Najbogatsza mineralizacja miedziowo-srebrna związana jest poziomem cechsztyńskich łupków miedziowych „kupferschiefer”. 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 [2,3,4].

Zmienność faćalna wewnątrz głównych odmian litologicznych – węglanów, łupków i piaskowców – jest duża. W obrębie obecnie klasyfikowanych przez geologów w KGHM Polska Miedź S.A. 16-tu szczegółowych typów litologicznych obserwuje się zdecydowaną różnorodność wykształcenia zarówno w profilach pionowych jak i w rozprzestrzenieniu poziomym [5].

Mineralizacja kruszcowa w skali całego obszaru złoża rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej 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



Rys. 1. Schematyczny profil litologiczny serii złożowej, tzw. profil typowy wykształcony w postaci rud piaskowcowych, łupkowych i węglanowych. Objaśnienia symboli: Dw – dolomit wapienisty; Ds – dolomit smugowany; Di – dolomit ilasty; Ld – łupek dolomityczny; Li – łupek ilasty; Ls – łupek smolisty; Pi-w – piaskowiec ilasto-węglanowy; Pi – piaskowiec ilasty [8]
Fig. 1. Schematic lithological profile of orebody, e.i. typical profile of sandstone, shale and carbonate ore. Symbols explanation: Dw – calcareous dolomite; Ds – streakly dolomite; Di – clay dolomite; Ld – dolomitic shale; Li – silty shale; Ls – organic shale; Pi-w – silty-carbonate sandstone; Pi – silty sandstone.

są piaskowce, łupki i dolomity, natomiast przy SE krawędzi złoża okruszcowanie bilansowe obecne jest tylko w serii piaskowcowej. W konsekwencji bryła złożowa stanowi nieregularna soczewa wzbogacona w minerale Cu-Ag, przecinająca warstwy skalne najstarszego cechsztynu pod niewielkim kątem [4,6,7].

W badanym obszarze profil litologiczny serii miedziowej jest określane jako „profil typowy” tj. sekwencję skalną stanowią: piaskowce białego spągowca w dolnej części profilu, następnie zróżnicowane utwory łupków miedziowych i skały węglanowe o barwach czarnych i szarych (rys. 1). Obecność wszystkich typowych odmian litologicznych świadczy o wykształceniu złoża w rejonie tzw. depresji stropu białego spągowca.

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. Pola powierzchni poszczególnych stref bezzłożowych w obszarze badań są bardzo różne. Obok kilkunastohektarowych, ciągłych obszarów pozbawionych mineralizacji bilansowej znajdują się różnokształtne, izolowane enklawy bezzłożowe o powierzchni kilkunastu metrów kwadratowych. Podobnie jak zmienność litologiczna skał złożowych oraz zmienność procentowej zawartości miedzi, do czynników modyfikujących typowy model złoża należy strefowość występowania poszczególnych siarczków miedzi i innych metali [6,7,9]. Przebieg granic stref dominacji poszczególnych siarczków jest najczęściej południkowy. Strefa utleniona (Rote Fäule) zlokalizowana jest w zachodniej części obszaru złożowego KGHM – obejmuje marginalne rejony złóż Polkowice i Sieroszowice [10,11,12]. Ze strefą utlenioną – pozbawioną okruszcowania miedziowego – graniczy obszar miedziowy, w którym dominującymi siarczkami miedzi są chalkozyn i kowelin. Strefa ta jest bardzo rozległa i obejmuje znaczne obszary złóż Sieroszowice, Rudna i Polkowice. W kierunku wschodnim zauważa się spadek udziału kowelinu, a zamiast niego (wraz z chalkozynem) występuje bornit oraz chalkopiryt. Wschodnia część obszaru złożowego na monoklinie przedsudeckiej (wschodnie rejony złoża Lubin) jest uboga w siarczki miedzi. Ich miejsce zajmują: galena, sfaleryt i piryt. Te trzy siarczki ołowiu, cynku i żelaza są również rozpowszechnione w cechsztyńskich skałach węglanowych obecnych ponad złożem siarczkowych rud miedzi LGOM [13,14,15,16].

Strefa utleniona, przejściowa i redukcyjna w złożu rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej

Jak już wspomniano w poprzednim rozdziale, zachodnią część bryły złożowej ogranicza strefa utworów utlenionych. Utwory utlenione występują w spągu cechsztyńskiej serii miedziowej, obejmując utwory o czerwonej lub szarobrunatnej barwie, cechujące się obecnością hematytu i uwodnionych tlenków żelaza. Na wschodniej granicy obszaru utlenionego – w strefie kontaktowej z utworami facji redukcyjnej – czerwone plamy są obecne jedynie w stropowej części skał białego spągowca. W kierunku zachodnim (w miarę oddalania się od facji redukcyjnej), powierzchnia redoks przecina coraz wyższe granice poziomów litostratygraficznych serii łupkowo-węglanowej. Miąższość utworów utlenionych jest bardzo zmienna



Rys. 2. Położenie obszaru badań (oddział G-41) na tle granicy obszaru górniczego Sieroszowice (KGHM Polska Miedź S.A.)

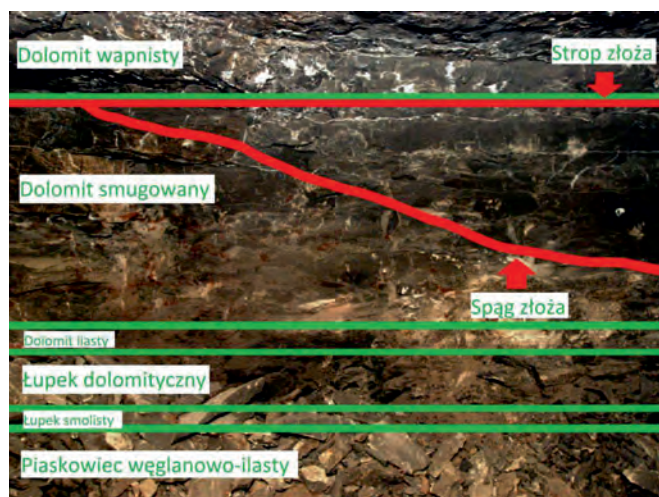
Fig. 2. The research area (G-41 mining unit) at the background of Sieroszowice mining area borderlines (KGHM Polska Miedź S.A.)

i waha się od kilkudziesięciu metrów w centralnej części obszaru utlenionego (poza obszarami złóż rud miedzi LGOM) do kilkunastu centymetrów w strefie przejściowej pomiędzy geochemiczną facją utlenioną a redukcyjną. Tlenki żelaza występują w postaci nieregularnych ziaren, gruzelków oraz jako pigment rozproszony w tle skalnym lub skupiony w postaci gniazd i pasemek [10,11,12,17]. Strefa redukcyjna obejmuje cechsztyńskie utwory piaskowcowe, łupkowe i węglanowe zmineralizowane siarczkami metali (Cu, Pb, Zn, Fe). Skąły strefy redukcyjnej mają barwy jasnoszare lub białe (piaskowce białego spągowca), czarne lub ciemnoszare (łupki i dolomity miedzionośne) – nie zawierają tlenków żelaza.

W artykule przedstawiono wyniki badań wykonanych na granicy występowania utworów utlenionych i redukcyjnych (strefa przejściowa – Oszczepalski S. [14]). Kontakt utworów obu facji w rejonie badań jest nieostry, intensywność barwy czerwonej oraz ilość czerwonych plam wzrasta stopniowo (w kierunku zachodnim) wraz z oddalaniem się od szaroczaranych utworów facji redukcyjnej – miedzionośnej. Utwory wzbogacone w czerwone pigmenty można obserwować w wyrobiskach górniczych prowadzonych w kierunku strefy bezzłóżowej spowodowanej obecnością tlenków żelaza (Rote Fäule). Wykreślona na mapach geologicznych prowadzonych przez geologów kopalnianych KGHM, granica występowania czerwonych plam ma charakter bardzo nieregularny – zatokowy (rys. 4). Oszczepalski S. [11,13] wyróżnia 5 parametrów (cech pośrednich) charakteryzujących strefę przejściową: współwystępowanie rozproszonych tlenków żelaza i siarczków metali, obecność reliktywów siarczków z otoczkami pigmentu hematytowego, obecność struktur zastępowania siarczków miedzi przez hematyt i getyt, nieznacznie podwyższona względem strefy utlenionej zawartość miedzi oraz obecność mineralizacji Au-Pt-Pd.

Rozmieszczenie metali w strefie utlenionej w obszar badań

Obszar badań zlokalizowany jest w południowo-za-



Rys. 3. Fotografia przodka wyrobiska eksploatacyjnego z zaznaczonymi granicami szczegółowych typów litologicznych skał (zielone linie) oraz granicami mineralizacji bilansowej (czerwone linie). W lewej części zdjęcia widoczne czerwone plamy w serii dolomitu smugowanego. Wysokość wyrobiska wynosi 2,0 m

Fig. 3. The mining face photo with detail lithological types (green lines) and mineralisation (red lines) boundaries. In the left part of the photo well seen red staining in the streaky dolomite. The height of excavation is 2.0 m



Rys. 4. Lokalizacja miejsc opróbowania specjalnego na tle mapy wyrobisk górniczych w rejonie badań. Objasnienia symboli: 1 - prognozowana strefa kamienna; 2 - stwierdzona strefa kamienna; 3 - punkt opróbowania specjalnego; 4 - ociosy wyrobisk górniczych; 5 - uskoki

Fig. 4. Localization of special sampling profiles at the background of excavation map in the research area. Symbols explanation: 1 – predicted barren rock area; 2 – occurrence of barren rock area; 3 – special sampling profile location; 4 – walls of mining excavations; 5 – faults

chodniej części złoża Sieroszowice (rys. 2). (KGHM Polska Miedź S.A.),

W omawianym obszarze złoża zalega na głębokości od 630 do 685 m p.p.t., rozciąga się na kierunku SE-NW i zapada na NNE pod kątem 2÷4 stopni. Skąły złożowe są średnio zaangażowane tektonicznie. Głównymi strukturami tektonicznymi są uskoki normalne, zrzucające o amplitudzie od 0,5 do 5,0 m i kącie upadu płaszczyzn uskokowych wynoszącym 80-85 stopni. Dodatkowo wśród występujących zaburzeń tektonicznych, wyróżnić można często pojawiające się w warstwach dolomitu

wapnistego ślizgi tektoniczne o nieregularnych przebiegach. Skąły węglanowe w analizowanym obszarze charakteryzują liczne spękania pionowe, rzadziej ukośne, o przebiegu N-S oraz W-E. Są one zazwyczaj zamknięte i wypełnione wtórnie minerałami z grupy węglanów i siarczanów. Rzadziej spotyka się wypełnienia siarczkami Fe, a sporadycznie spotykane są struktury otwarte.

Serię miedzionośną w rejonie badań budują łupki miedzionośne (T1) i skąły węglanowe (Ca1). Leżące bezpośrednio poniżej piaskowce białego spągowca (Bs) nie są objęte mineralizacją Cu-Ag na poziomie bilansowym. Wyróżnić można następujące typy litologiczne rud (rys. 3):

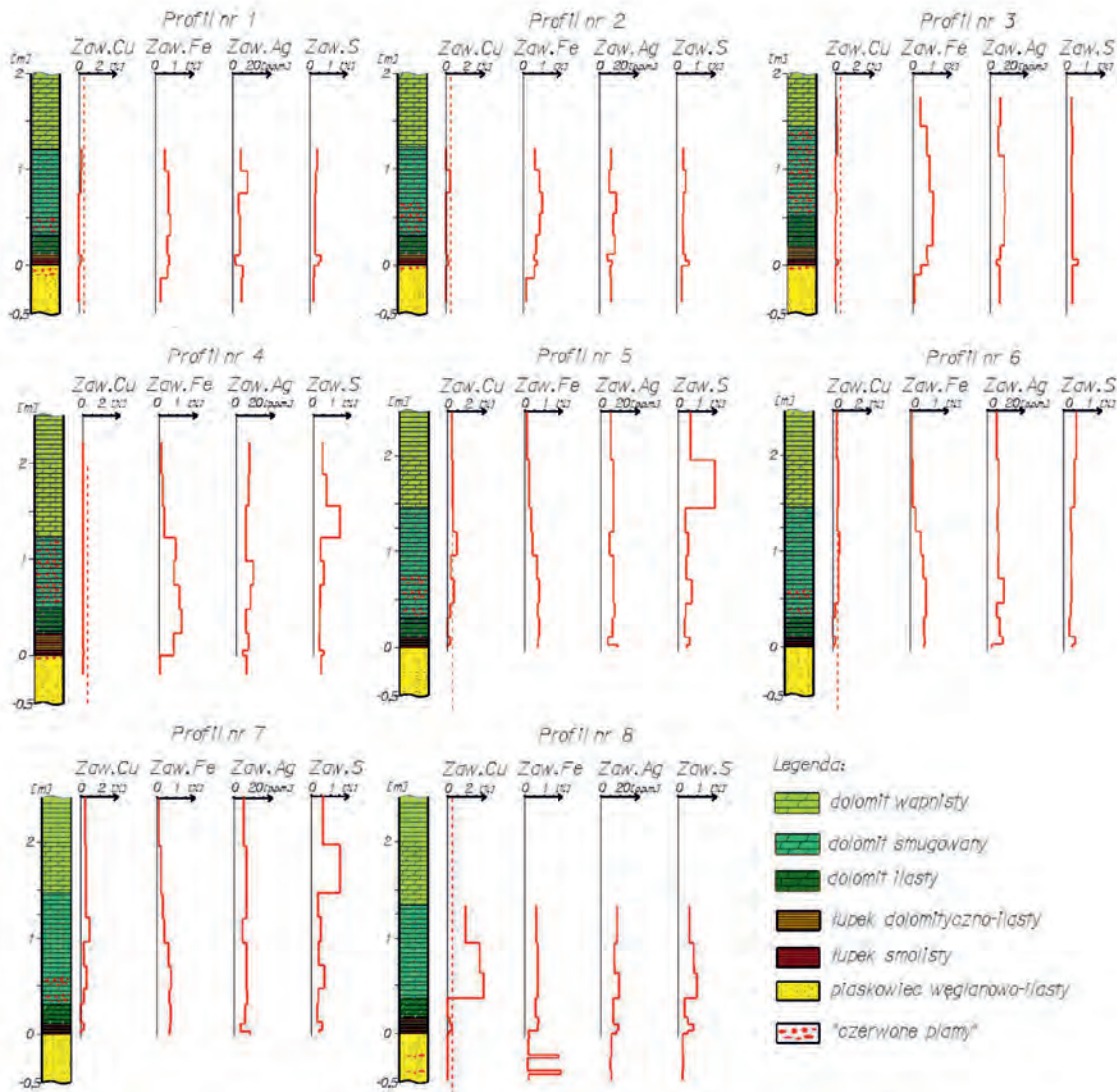
- łupek smolisty: czarny, kruchy, rozsypliw, o tłustym połysku, jego miąższość nie przekracza kilkunastu centymetrów,
- łupek dolomityczno-ilasty: czarny przechodzący w górę profilu w ciemnoszary, o charakterystycznej wewnętrznej laminacji równoległej, miąższość waha się od kilkunastu do kilkudziesięciu centymetrów,
- dolomit smugowany: szary i jasnoszary, zwięzły, o strukturze mikrokrystalicznej, z drobnymi żyłkami i soczewkami jasnych siarczanów i węglanów oraz smugami materii ilasto-organicznej, miąższość tego

wydzielenia waha się od 0,3 do 1,6 m,

- dolomit wapnisty: szary, ciemnoszary, beżowy, zwięzły, o strukturze mikrokrystalicznej, lokalnie kawernisty, wykształcony jako zespół warstw o wyraźnej podzielności płytowej w pakietach od 0,1 do 1,0 m, dominuje laminacja pozioma i falista, widoczne są oczka i gniazda (do 5 cm) oraz żyłki jasnych siarczanów (głównie gipsów i anhydrytów).

Dokładne wyznaczenie granicy występowania czerwonych plam w przestrzeni złoża jest trudne ze względu na nieregularność formy i przejściowy charakter tej granicy. Takie wykształcenie granicy facjalnej wymaga uważnego śledzenia przebiegu strefy utlenionej w przodkach i ociosach wyrobisk górniczych. Obserwacje wykonane w wyrobiskach górniczych kopalni Polkowice-Sieroszowice na potrzeby niniejszego artykułu, zostały potwierdzone poprzez opróbowanie specjalne ociosów wyrobisk przecinających strefę występowania czerwonych plam na ośmiu profilach (rys. 4):

- profile 1 i 2 oraz 5, 6, 7 wykonane zostały w brzeżnej części strefy złoża utlenionego,
- profile 3 i 4 w środkowej części strefy utlenionej,
- profil 8 został wykonany poza granicą facji utlenionej (profil ten ma na celu scharakteryzowanie budowy



Rys. 5. Profile litologiczne i geochemiczne wykonane w obszarze badań
Fig. 5. Lithological and geochemical profiles in the research area



Rys. 6. Zdjęcie próbki piaskowca o spoiwie węglanowym z czerwonymi plamami o ostrych granicach (Profil nr 1)
Fig. 6. The photo of sandstone sample with sharp red staining (Profile no. 1)



Rys. 7. Zdjęcie próbki piaskowca o spoiwie ilastym z czerwoną plamą o nieostrych granicach (Profil nr 1)
Fig. 7. The photo of argillaceous sandstone sample with the red stain of indistinctive borderlines (Profile no. 1)



Rys. 8. Zdjęcie próbki dolomitu smugowanego z czerwonymi plamami o ostrych granicach (Profil nr 4)
Fig. 8. The photo of streaky dolomite sample with sharp red staining (Profile no. 4)

geochemicznej złoża w strefie redukcyjnej w bezpośredniej bliskości facji Rote Fäule).

Profile litologiczne i geochemiczne przedstawione na rysunku 5, obrazują zmienność zawartości charakterystycznych metali oraz siarki w strefie przejściowej pomiędzy facją utlenioną i redukcyjną. We wszystkich próbkach pobranych w strefie obecności czerwonych plam zawartość Cu jest znikoma, zwykle nie przekracza 0,7% Cu. W większości przypadków nawet nie zbliża się do tej granicy. Zawartość Cu w serii piaskowcowej we wszystkich profilach jest nie większa niż 0,1% Cu. Skąły łupkowe wykazują zawartość Cu na poziomie od 0,1 do 0,27% Cu niezależnie od obecności lub braku czerwonych plam w czarnym łupku. W pojedynczych przypadkach (profile 5, 6, 7) napotkano wzbogacenia sięgające 0,73-0,93% Cu w serii węglanowej.

W profilach 1 i 2 zlokalizowanych przy wschodniej granicy wąskiej strefy utlenionej, czerwone plamy występują w stropowej części profilu serii piaskowcowej oraz dolnej partii skał łupkowo-węglanowych leżących bezpośrednio na utworach białego spągowca. Zawartość miedzi w skałach budujących profile osiąga maksimum w serii łupkowej (0,28% Cu) co świadczy o bardzo niskiej koncentracji, poniżej kryteriów brzeżnych. W tej samej części obu profili stwierdza się podwyższone zawartości S względem skał niżej i wyżej leżących. W interwałach, w których zaobserwowano występowanie czerwonych plam wyraźnie wzrasta zawartość Fe, wskazując na obecność hematytu tworzącego czerwono-brunatny pigment. Czerwona barwa plam jest wyraźnie widoczna w białoszarych utworach piaskowcowych (rys. 6 i 7), dość wyraźnie odznaczają się czerwone plamy na tle szarych dolomitów wapienistych i smugowanych (rys. 8). W serii łupkowej, w skałach o czarnej barwie, czerwone plamy są trudno dostrzegalne. W kilku przypadkach podwyższoną zawartością Fe cechują się skały, w których czerwone plamy nie zostały stwierdzone makroskopowo.

Profile 3 i 4 obrazują wykształcenie serii cechsztyńskich skał osadowych w centralnej części wąskiej strefy utlenionej. Zarówno stropowa część białych piaskowców jak i cały interwał dolomitowy zostały silnie przepojone roztworami utleniającymi, czerwone plamy są bardzo wyraźne, mają ostre granice i są regularnie rozsiane w skałach o miąższości 1,2 – 1,5 m.

Zawartość Cu w obu profilach jest znikoma (maks. 0,23%), natomiast wyraźny jest wzrost ilości Fe w interwałach zabarwionych na czerwono. Siarka koncentruje się w górnej części profilu 4, co ma związek z obecnością oczek i gruzłów siarczanowych w spągowej części dolomitów wapienistych (w wykonanych na potrzeby pracy analizach laboratoryjnych nie rozdzielono siarki siarczkowej [-II] i siarczanowej [+VI]).

Charakterystykę zachodniej granicy strefy utlenionej i przejście do strefy redukcyjnej dokumentują profile 5, 6 i 7. Miąższość interwału wzbogaconego w czerwone, hematytowe pigmenty jest znacznie mniejsza niż w profilach zlokalizowanych w centrum facji utlenionej (profile 3 i 4). Wraz z bliskością granicy facji oksydacyjnej i redukcyjnej ilość i wielkość plam oraz intensywność pigmentu czerwonego spada. Plamy występują coraz rzadziej, stają się mniejsze, a ich barwa staje się kremoworóżowa. Zauważalny jest, w strefie kontaktu obu facji, wzrost ilości siarczków Cu w profilu złożowym, zawartość tego metalu osiąga tu lokalnie 0,93% Cu (w serii dolomitowej). Podobnie jak w pozostałych profilach – wzbogacenie w Fe notuje się w skałach zabarwionych na czerwono.

Dla wykazania zróżnicowania geochemicznego facji utle-

nionej i redukcyjnej przebadany został profil zlokalizowany poza granicą Rote Fäule, czyli w strefie redukcyjnej (profil 8). Podwyższoną zawartość Fe zauważa się jedynie w wyizolowanych, czerwono-brunatnych warstewkach wewnątrz serii piaskowcowej. Bardzo wyraźne plamy i dwie 3-4 centymetrowe warstewki hematytowe ulokowane są 22 i 38 cm pod stropem utworów białego spągowca Wzbogacone w hematyt warstewki zawierają 1,80 (górna) i 1,93 (dolna) % Fe. Zalegające ponad stropem piaskowca – łupkowo-dolomitowe skały cechsztyńskie – czerwonych pigmentów już nie posiadają. Wysoka zawartość Cu została stwierdzona w górnej części profilu – w serii dolomitów smugowanych zawartość Cu zbliża się do 4%.

W żadnym z ośmiu opróbowanych profili nie potwierdzono wzbogacenia interwałów miedzionośnych w srebro. Zawartość Ag w badanych profilach facji utlenionej (profile 1-7), podobnie jak w całej zachodniej części złoża Sieroszowice, jest niska – waha się od 3 do 18 ppm. W próbkach pobranych w strefie redukcyjnej (profil 8), czyli poza granicami facji utlenionej, również nie zauważa się wzrostu zawartości Ag w złożu, a jego maksymalna zawartość – w serii węglanowej tej części złoża – wyniosła 19 ppm.

W całej strefie przejściowej pomiędzy geochemiczną facją utlenioną i redukcyjną obserwuje się olbrzymią różnorodność form wykształcenia złoża rud miedzi. Zasięg strefy utlenionej jest inny w utworach piaskowcowych i w utworach ilasto-węglanowych. W obszarach gdzie seria łupkowa i dolomitowa wskazują na dominację warunków redukcyjnych można odnaleźć ślady pigmentów hematytowych (świadczących o warunkach utlenionych) w skałach piaskowcowych. Granica obu facji często przebiega skośnie, a na ociosach i w przodkach wyrobisk eksploatacyjnych można obserwować łagodne przejścia od czerwonych do szarych skał węglanowych cechsztynu. Wraz z oddalaniem się od strefy utlenionej ilość plam oraz intensywność barwy czerwonej spada.

Warto podkreślić, iż pojedyncze plamy mają różne kształty i wielkość. W skałach dolomitowych dominują formy podłużne: soczewki i smugi, w silnie złupkowanych skałach ilastych (łupki ilaste, ilasto-dolomityczne) czerwone plamy mają formy bardzo cienkich smug, często naśladujących powierzchnie warstwowań. W utworach białego spągowca różnorodność form jest ogromna, występują tu zarówno warstewki, smugi oraz formy kuliste. Granice pojedynczych plamek w skałach piaszczystych są zwykle nieostre, w przeciwieństwie do plam w dolomitach, gdzie hematytowy pigment dość wyraźnie odcina się na tle szarego tła skalnego.

Podsumowanie

Obecność strefy „czerwonych plam” skutkująca bardzo dużą zmiennością parametrów jakościowych złoża wymusza konieczność stałego nadzoru i kontroli wyrobisk. W wymiarze praktycznym przebieg granic strefy pozbawionej okruszczenia bilansowego aktualizowany jest w trybie codziennym na szkiecach

sztygarskich na podstawie obserwacji i opróbowania wyrobisk.

W przypadku problemów z interpretacją zasięgu występowania „czerwonych plam” w poziomie, wynikających z braku widocznych granic pomiędzy rozległymi strefami bezzłożowymi, a obszarami występowania złoża bilansowego, wiercone są rozpoznawcze otwory dołowe. Otwory te wiercone są w kilku kierunkach, wyprzedzająco w stosunku do frontów eksploatacyjnych, na których stwierdzona została „strefa kamienna”. W pierwszym etapie wiercone są otwory „krótkie” na odległości do 50 m, następnie w przypadku braku potwierdzenia granic złoża, wiercone są otwory krzywione na odległość od 250 do 300 m. Informacje pochodzące z dołowym otworów wiertniczych służą do prognozowania zasięgu strefy pozbawionej okruszczenia.

Określenie granic złoża w pionie definiuje charakter dalszej eksploatacji. Na podstawie określonych granic pionowych złoża, kierując się racjonalną gospodarką złożem i dbałością o minimalne zubożenie urobku ustala się tzw. furkę eksploatacyjną, będącą zadaną wysokością wyrobiska z podziałem na typy litologiczne, gdzie powierzchnią odniesienia (reperem) jest strop piaskowca (np. furta = 1,7/0,3 oznacza prowadzenie stropu wyrobiska na wysokości 1,7 m powyżej stropu piaskowca i spągu wyrobiska na poziomie 0,3 m poniżej stropu piaskowca). W celu zmniejszenia zubożenia urobku w określonych warunkach geologiczno-górnictwowych wprowadzany jest system selektywnego wybierania złoża (tzw. „próg kamienny” lub „półka złożowa”), polegający na oddzielnym urabianiu i wybieraniu urobku rudnego i kamiennego. Prognozowanie przebiegu stref pozbawionych okruszczenia bilansowego jest kluczowym czynnikiem wpływającym na jakość wydobywanego urobku. Odpowiednio wczesne stwierdzenie granicy strefy bezzłożowej zapobiega wydobywaniu urobku nie spełniającego kryteriów jakościowych, co wpływa na optymalizację wysokich kosztów przeróbki nadawy. Ponadto prognozowane, a następnie stwierdzone granice warunkują dalszy postęp lub zatrzymanie przodków, wpływając tym samym na kierunki prowadzonej eksploatacji.

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 i facjami geochemicznymi. Zaprezentowane w pracy profile litologiczne i geochemiczne, wykonane w oparciu o obserwacje terenowe i wyniki opróbowania złoża, dokumentują obecność płonnych enklaw wewnątrz bryły złożowej. Opisane w artykule płonne strefy, związane są z działalnością roztworów utleniających infiltrujących skały osadowe w brzeżnej części monokliny przedsudeckiej.

Zaznaczyć ponadto należy, iż strefy utlenione nie są jedyną przyczyną występowania stref bezzłożowych w obszarze złóż LGOM. Enklawy pozbawione mineralizacji spotykane są również w strefie redukcyjnej, a ich obecność jest spowodowana np. występowaniem masywnych spojów siarczanowych w serii

Literatura

- [1] Instrukcja opróbowania złoża rud miedzi i oznaczania składników towarzyszących w KGHM Polska Miedź S.A., Lubin 2011 (opracowanie wewnętrzne niepublikowane)
- [2] Nieć M., Piestrzyński A., *Forma i budowa złoża [w:] Monografia KGHM Polska Miedź S.A., 1996, 185-193. ISBN 978-83-922065-7-6*

- [3] Mayer W., Piestrzyński A., *Ore minerals from Lower Zechstein sediments at Rudna Mine*, Fore-Sudetic Monocline, SW Poland. *Prace Mineral.* 1985, 75, 1-72. ISSN 0079-3396
- [4] Wodzicki A., Piestrzyński A., *An ore genetic model for the Lubin-Sieroszowice mining district*, Poland. *Mineral. Deposita*, 1994, 29, 30-43. ISSN 0026-4598
- [5] Kaczmarek W., Twardowski M., Wasilewska-Błaszczuk M., *Praktyczne aspekty modelowania litologicznych typów rud w złożach Cu-Ag LGOM (Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego)*. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 2017, 468, 209-226. ISSN 0867-6143
- [6] Harańczyk Cz., *Mineralizacja kruszcowa dolnośląskich osadów euksynicznych monokliny przedsudeckiej*. *Arch. Mineral.* 1972, 30, 13-171. ISSN 0066-6912
- [7] Kucha H., *Geochemistry of the Kupferschiefer*, Poland. *Geol. Rundschau*, 1990, 79, 387-399. ISSN 1437-3254
- [8] Kaczmarek W., Dudek M., Golda K., Wasilewska-Błaszczuk M., *Charakterystyka stref bezzłożowych w centralnej części złoża rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej*. *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN*, nr 100, s. 79-93. 2017 r. ISSN 2080-0819
- [9] Kucha H., Pawlikowski M., *Two-brine model of the genesis of strata-bound Zechstein deposits (Kupferschiefer type)*, Poland. *Mineral. Deposita*, 1986, 25, 262-271. ISSN 0026-4598
- [10] Michalik M., *Utwory plamiste (rote Faule) występujące w cechsztyynie Z-1 na południe od Głogowa*. *Prace Mineral.*, 1979, 54, 23-39. ISSN 0079-3396
- [11] Oszczepalski S., *Oxidative alteration of the Kupferschiefer in Poland: oxide-sulphide parageneses and implications for ore-forming models*. *Geol. Quart.*, 1994, 38, 651-672. ISSN 1641-7291
- [12] Rydzewski A., *Facja utleniona cechsztyńskiego łupku miedzionośnego na obszarze monokliny przedsudeckiej*. *Przegl. Geol.*, 1978, 26, 102-108. ISSN-0033-2151
- [13] Oszczepalski S., Rydzewski A., *Rozmieszczenie metali w basenie cechsztyńskim*, [w:] *Monografia KGHM Polska Miedź S.A.*, 1996, 95-101. ISBN 978-83-922065-7-6
- [14] Oszczepalski S., Rydzewski A., *Atlas metalogeniczny cechsztyńskiej serii miedzionośnej w Polsce.*, Warszawa 1997, 1-31
- [15] Więclaw D., Kotarba M., Pieczonka J., Piestrzyński A., Oszczepalski S., Marynowicz L., *Rozmieszczenie strefy redukcyjnej, przejściowej i utlenionej w łupku miedzionośnym na monoklinie przedsudeckiej na podstawie wskaźników materii organicznej*. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego*, 2007, 423, 125-138. ISSN 0867-6143
- [16] Puttmann W., Merz C., Speczik S., *The secondary oxidation of organic material and its influence on Kupferschiefer mineralization of southwest Poland*. *Appl. Geochem.*, 4, 151-161. ISSN: 0883-2927
- [17] Skowronek C., *Czerwone plamy w utworach dolnego cechsztyynu*. *Rudy i Metale Nieżel.*, 1968, 13, 134-137. ISSN 0035-9696



Lochy w Sandomierzu

z arch. Urząd Miejski w Sandomierzu