

Mineralizacja kruszcowa w odkrywczym otworze Sieroszowice S-1 w świetle nowych badań

Sławomir Oszczepalski¹, Andrzej Chmielewski¹



S. Oszczepalski



A. Chmielewski

Ore mineralization in the discovery borehole Sieroszowice S-1 in the light of new research. *Prz. Geol.*, 65: 321–338.

Abstract. Sieroszowice S-1 borehole was drilled by the Geological Institute under the drilling program conducted by Jan Wyżykowski in the previously unexplored central part of the Fore-Sudetic Monocline, contributing to the discovery of the largest European copper ore deposit. The Zechstein copper-bearing series was reached on 23 March 1957, with the ore mineralization interval at a depth of 656.30–658.26 m. Detailed results of chemical analyses and petrographic investigation were included in the ore deposit geological documentation compiled in 1959, but new research methods currently applicable enable the complementary studies to acquire new results. New findings are based on compilation of reflected-light microscopy, CAMECA SX 100 electron microprobe studies and LEO scanning electron microscope

observations. As a result of the supplementary research, the qualitative and quantitative composition of ore minerals along with the indication of their chemical composition in microprobe studies as well as their distribution in the ore-mineralized interval are presented in detail in this paper. Ore mineralization occurs in the shale-carbonate series and it is generally represented by sulphides of Cu-Fe-S system (chalcopyrite, bornite), accompanied by digenite and covellite, occasionally geerite and spionkopite, but one of the ore intervals is dominated by chalcocite associated with bornite. Pyrite, galena and sphalerite commonly accompany copper sulphides, especially in the uppermost part of the copper-bearing series. A few previously unidentified minerals, such as native silver, silver amalgams, and clausthalite have also been identified. The Weissliegendes is characterized by oxidative alteration, typical for the Rote Fäule pattern, and contains only relict sulphide mineralization represented by minor chalcopyrite and pyrite locally corroded by hematite. It displays an elevated concentration of gold as well.

Keywords: Lubin–Sieroszowice copper deposit, Sieroszowice S-1 borehole, ore mineralization, Rote Fäule

Otwór wiertniczy Sieroszowice S-1 jest usytuowany w centralnej części monokliny przedsudeckiej w pobliżu bloku przedsudeckiego, w rejonie położonym na północny zachód od Lubina (ryc. 1). W czasie przygotowywania projektu wiertniczego, otwór ten był znany pod nazwą Sieroszowice IG 1, lub krócej jako Sieroszowice (Wyżykowski, 1958), lecz w trakcie opracowywania dokumentacji otworowej nadano mu nazwę Sieroszowice S-1 lub skrótowo S-1 (Wyżykowski, 1959, 1964).

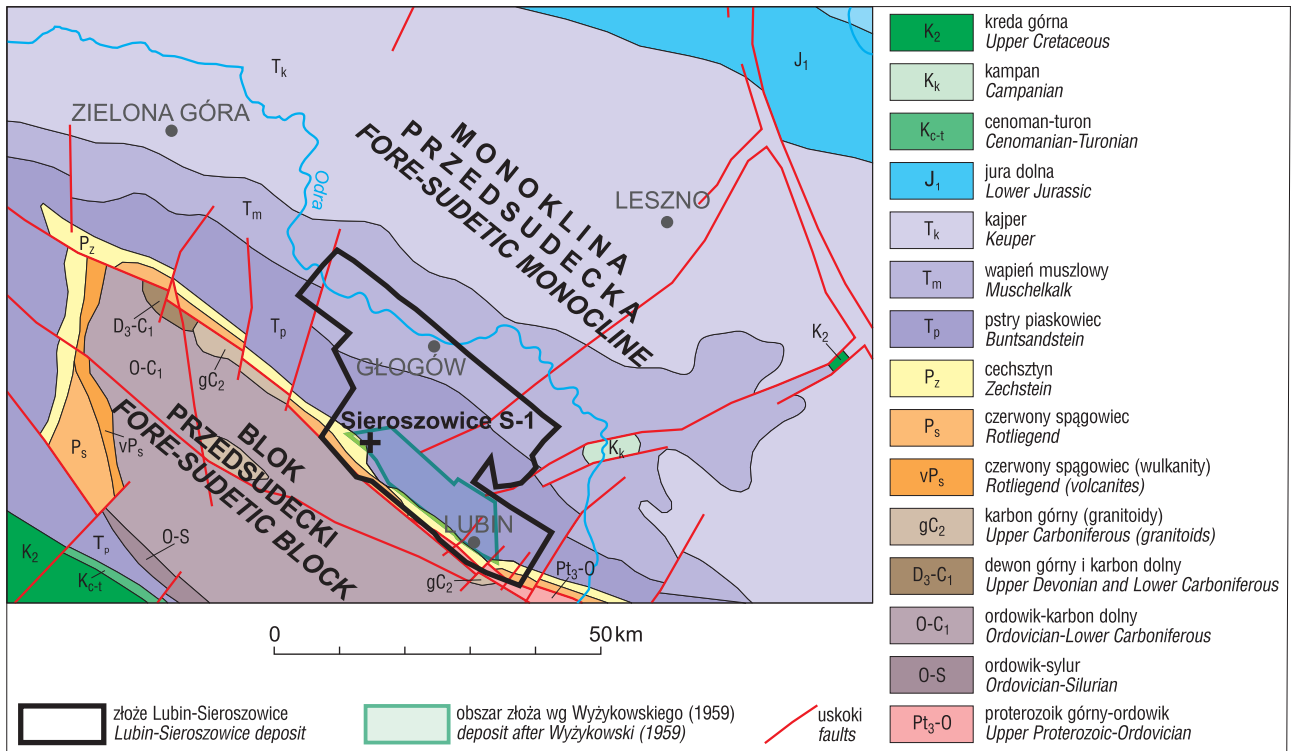
Celem wykonania tego otworu poszukiwawczego było odkrycie złóż rud miedzi w spągowych utworach cechsztynu na niezbadanym przed II wojną światową obszarze centralnej monokliny przedsudeckiej. W wyniku realizacji przez Instytut Geologiczny programu prac wiertniczych, zaprojektowanych przez Jana Wyżykowskiego, w otworze tym dokonano pierwszego odkrycia największego europejskiego złoża rud miedzi, przewiercając w dniu 23 marca 1957 r. cechsztyńską serię miedzionośną z interwałem złożowym na głębokości 656,30–658,26 m, o miąższości 1,96 m i wysokiej średniej zawartości 1,50% Cu (Wyżykowski, 1958). Dzień ten uznaje się w historii poszukiwań rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej za datę odkrycia złoża Lubin–Sieroszowice przez Jana Wyżykowskiego (Gospodarczyk, 1976; Rydzewski, 1996; Kaczmarek & Rożek, 2006).

Budowa geologiczna monokliny przedsudeckiej przed wykonaniem otworu Sieroszowice S-1 była znana jedynie fragmentarycznie na podstawie zaledwie kilku wierceń wykonanych przed II wojną światową w rejonie Wrocławia

(Berger, 1932; Eisentraut, 1939; Zwierzycki, 1951). W szczególności nieznane było położenie granicy między monokliną przedsudecką i blokiem przedsudeckim, choć wysuwano przypuszczenia co do jej przebiegu. W celu jej wyznaczenia, a przede wszystkim dla wyjaśnienia możliwości występowania mineralizacji kruszcowej w utworach cechsztynu, Instytut Geologiczny zlecił w 1951 r. Przedsiębiorstwu Poszukiwań Geofizycznych z Warszawy wykonanie profilu sejsmicznego na linii Bolesławiec–Głogów, lecz przeprowadzona interpretacja geologiczna tego profilu nie dała jednoznacznych wyników. Dla wyjaśnienia wątpliwości, w latach 1955–1956 wykonano kolejno trzy odwierty: Gromadka IG 1, Ruszowice IG 1 i Gaiki IG 1 (Wyżykowski, 1958). W otworze Gromadka IG 1 pod utworami kenozoiku nawiercono łupki metamorficzne bloku przedsudeckiego, a w otworach Ruszowice IG 1 i Gaiki IG 1 nie osiągnięto spągu cechsztynu wskutek awarii urządzeń wiertniczych. Wkrótce po zlikwidowaniu tych otworów, na podstawie powtórnej interpretacji profilu sejsmicznego Bolesławiec–Głogów, zaprojektowano wykonanie następnych wierceń, w tym otworu wiertniczego Sieroszowice S-1.

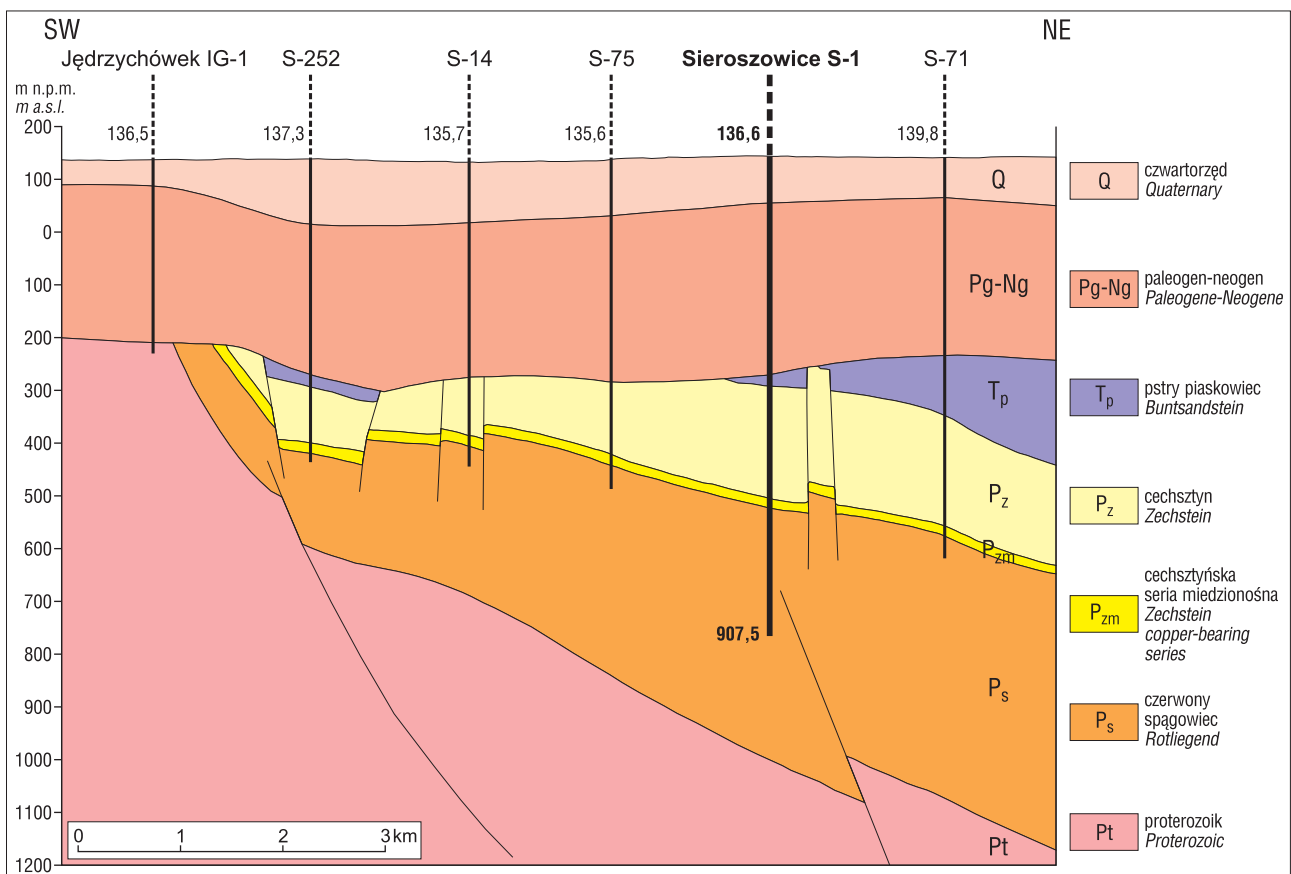
Założenia projektowe wiercenia zostały opracowane w Instytucie Geologicznym w 1955 r. przez J. Wyżykowskiego. Zleceniodawcą otworu był Instytut Geologiczny, a wykonawcą Przedsiębiorstwo Geologiczno-Wiertnicze Przemysłu Naftowego z Piły pod kierownictwem Adama Szczepanika. Wiercenie wykonano w okresie od 7.01 do 18.07.1957 r., zgodnie z projektem technicznym opracowanym w Instytucie Geologicznym przez W. Adamskiego i J. Wyżykowskiego.

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; slawomir.oszczepalski@pgi.gov.pl, andrzej.chmielewski@pgi.gov.pl.



Ryc. 1. Lokalizacja otworu wiertniczego Sieroszowice S-1 na obszarze udokumentowanego złoża Lubin–Sieroszowice na tle mapy geologicznej bez utworów kenozoiku (wg Dadleza i in., 2000)

Fig. 1. Location of the Sieroszowice S-1 borehole within the documented Lubin–Sieroszowice deposit on the background of geological map without Cenozoic formations (after Dadlez et al., 2000)



Ryc. 2. Przekrój geologiczny przez strefę kontaktową bloku przedsudeckiego i monokliny przedsudeckiej wzdłuż linii SW–NE przez otwór Sieroszowice S-1 (wg Kłapińskiego i in., 1984, uproszczony). Symbole jak na ryc. 1

Fig. 2. Cross-section across the contact zone between the Fore-Sudetic Block and the Fore-Sudetic Monocline along a SW–NE line through the Sieroszowice S-1 borehole (after Kłapiński et al., 1984, simplified). For symbols see Fig. 1

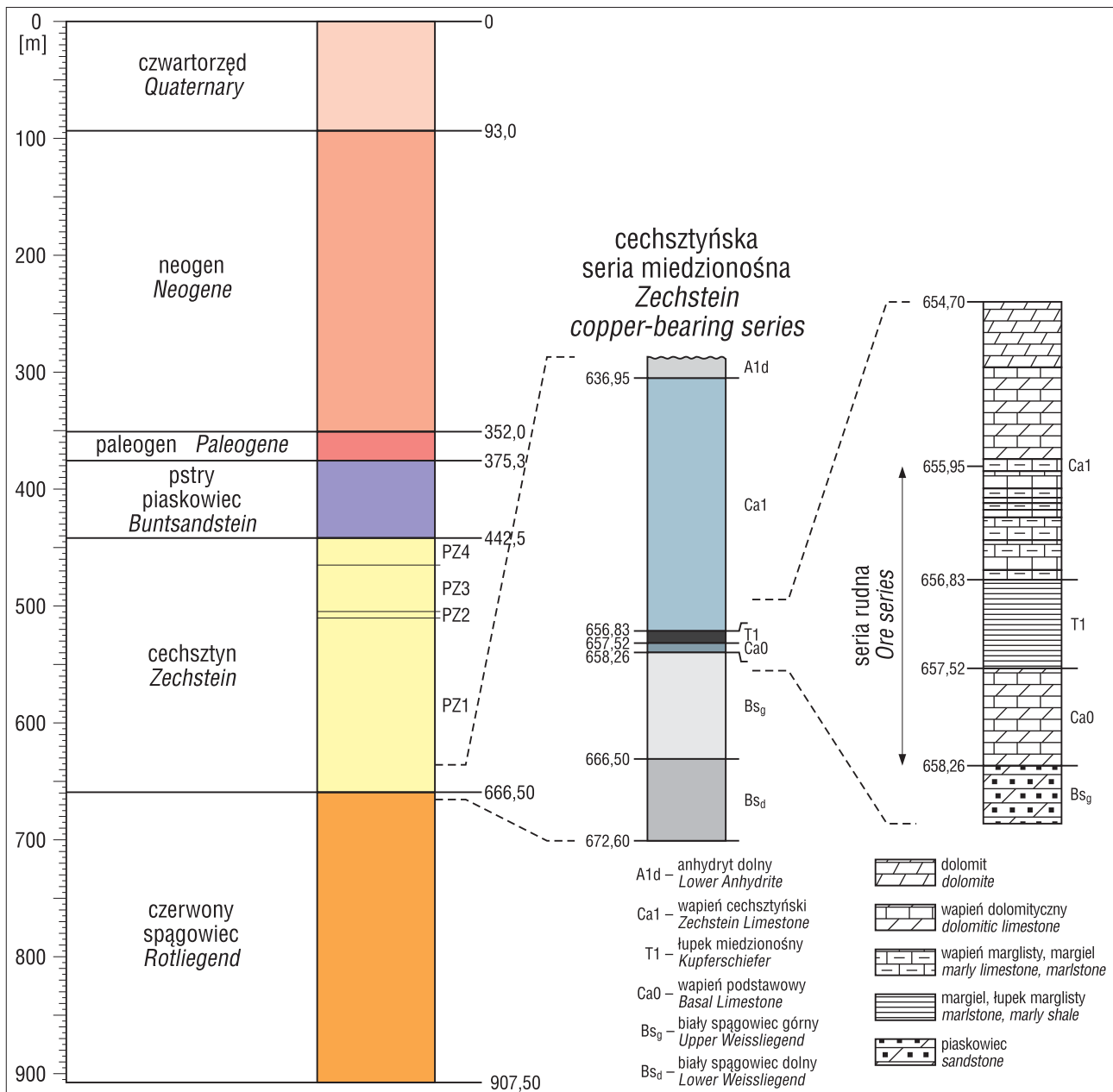
Otwór Sieroszowice S-1 został opisany i sprofilowany przez J. Wyżykowskiego, W. Jórca i L. Cornobisa, a profil litologiczno-stratygraficzny w formie opisowej został zamieszczony w „Dokumentacji geologicznej złoża rud miedzi rejonu Sieroszowice–Lubin” (Wyżykowski, 1959). Wiercenie osiągnęło głębokość 907,5 m, a jego dążenie zakończono w utworach czerwonego spągowca po przewierceniu utworów kenozoiku, pstręgo piaskowca i cechsztynu (ryc. 1, 2). Współczesnej weryfikacji wydziałów stratygraficznych dokonali: J. Kasiński, H. Kiersnowski, S. Oszczepalski i T.M. Peryt, a jej wyniki przedstawia rycina 3.

Szczegółowe wyniki obserwacji makroskopowych, badań chemicznych oraz petrograficznych mineralizacji kruszcowej znajdują się w dokumentacji otworu Sieroszowice S-1 (Wyżykowski, 1959), natomiast w publikacjach dotyczących między innymi tego otworu zawarto tylko

znikome informacje na temat litologii, mineralizacji oraz zawartości metali (Rydzewski, 1964; Ważny, 1964; Wyżykowski, 1964). W tej sytuacji, w celu istotnego uzupełnienia pierwotnie uzyskanych wyników, wykonano ponowne obserwacje makroskopowe oraz przeprowadzono uzupełniające badania petrograficzne współcześnie dostępnymi metodami badawczymi.

NAJWAŻNIEJSZE WYNIKI BADAŃ WEDŁUG DOKUMENTACJI OTWOROWEJ

Podczas prac dokumentacyjnych w otworze Sieroszowice S-1 zbadano interwał obejmujący utwory łupkowo-węglanowe pierwszego cyklotemu cechsztyńskiego (na głębokości 654,70–658,26 m) oraz piaskowce ze stropu białego spągowca (658,257–658,70 m). Pobrano wówczas 47 próbek brzdowych do badań chemicznych oraz 19



Ryc. 3. Uproszczony profil stratygraficzny otworu Sieroszowice S-1 wraz z litostratygrafią cechsztyńskiej serii miedzionośnej
Fig. 3. Simplified stratigraphic profile of the Sieroszowice S-1 borehole along with lithostratigraphy of the Zechstein copper-bearing series

próbek reprezentatywnych do badań pod mikroskopem w świetle odbitym w odstępach od kilku do kilkudziesięciu centymetrów w zależności od zmian w litologii i intensywności okruszczenia skał (Wyżykowski, 1959). Preparaty polerowane zbadano z użyciem mikroskopu kruszcowego MIN-6 z zamontowanym stolikiem integracyjnym (Rydzewski, 1959). Analizowano jedynie skały łupkowo-węglanowe, gdyż zawierają bogatą mineralizację miedziową, natomiast nie zajmowano się płonnymi piaskowcami. Dla każdej próbki określono zawartości minerałów kruszczowych w procentach objętościowych (% obj.) oraz rozmiar ziaren.

Badania petrograficzne

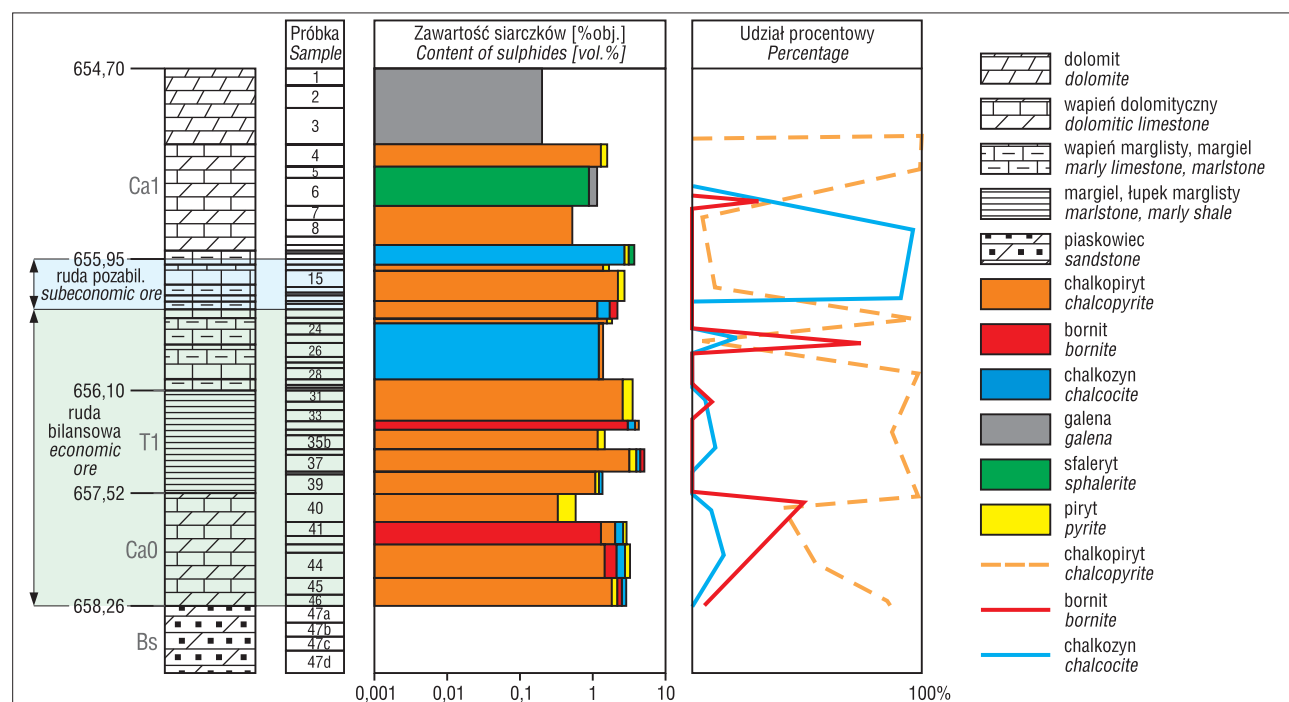
W omawianym otworze wśród minerałów kruszczowych zdecydowanie dominuje chalkopiryt, w mniejszych koncentracjach występuje bornit i chalkozyn, a w śladowych ilościach galena, sfaleryt i piryt (ryc. 4).

W wapieniach dolomitycznych (654,70–655,95 m), mineralizacja kruszczowa jest na ogół dość uboga. Dominuje galena i sfaleryt, miejscami pojawia się w znacznych ilościach chalkopiryt z pirytem. Galena występuje w formie kryształów o średnicy 5–60 μm oraz mikrożyłek galenowych lub kalcytowo-galenowych (grubości kilkudziesięciu mikrometrów). Sfaleryt tworzy na ogół duże (do kilkuset mikrometrów średnicy) ziarna o nieregularnym kształcie. Chalkopiryt występuje w postaci drobnych ziaren lub mikrożyłek (do kilkudziesięciu mikrometrów grubości i do ok. 1 mm długości). Piryt tworzy duże, nieregularne ziarna (rzędu kilkuset μm średnicy), często w zrostach z chalkopirytem.

W niżej leżącej serii laminowanych margli, łupków marglistych i wapieni marglistych (655,95–657,52 m) mineralizacja kruszczowa jest bardzo zróżnicowana. Najintensywniej okruszczona jest stropowa warstewka margli, w której

dominuje chalkozyn wykształcony w formie rozproszonych ziaren o średnicy 5–80 μm (z dominującą frakcją do 15 μm), ułożonych zgodnie z laminacją oraz w formie krótkich żyłek. Podrzędnie występuje chalkopiryt, jako przerosty z chalkozynem i samodzielne osobniki oraz piryt i sfaleryt. Zbliżony skład ma mineralizacja w niżej leżących łupkach marglistych występujących w środkowej partii serii marglistej. W innych warstewkach margli o intensywnym okruszczeniu dominuje chalkopiryt lub bornit z chalkozynem w formie drobnych rozprożeń. Kruszcze te, a także mikrożyłki, są ułożone w skale na ogół zgodnie z laminacją. Pozostałe warstewki margli nie wykazują bogatego okruszczenia. Występują w nich niezbyt liczne ziarna chalkopiryty i pirytu (średnicy rzędu 10–80 μm), którym w śladowych ilościach towarzyszy chalkozyn i bornit. Wkładki wapieni marglistych zawierają nieliczne kruszcze rozproszone oraz skupiska nieregularne lub wydłużone zgodnie z uławiczeniem. Głównymi kruszczami są w nich bornit i chalkopiryt, składnikami podrzędnymi – chalkozyn i piryt, a śladowym składnikiem jest galena. Dość częste są przerosty chalkopiryty i pirytu. Wśród kruszczów dominują ziarna o 15–30 μm średnicy. Największe ziarna (do ok. 1 mm) tworzy chalkopiryt. Obecne są także mikrożyłki kruszczowe (głównie bornitowo-chalkopirytowe) o grubości kilkudziesięciu i długości kilkuset mikrometrów (maksymalnie do kilku milimetrów).

Wapienie margliste i dolomityczne występujące bezpośrednio ponad białym spągowcem (na głębokości 657,52–658,26 m), zawierają mineralizację kruszczową umiarkowanie bogatą. Spotyka się przede wszystkim chalkopiryt i bornit, którym w podrzędnych ilościach towarzyszą: piryt, sfaleryt i chalkozyn. Przeważają kruszcze rozproszone w formie drobnych ziaren o średnicy od 5 do 200 μm (z dominującą frakcją 10–50 μm). Częste są przerosty bornitu z chalkopirytem lub pirytem; rzadziej obserwowano obwódki



Ryc. 4. Rozkład siarczków metali w profilu cechsztyńskiej serii miedzionośnej otworu Sieroszowice S-1, w tym w rudzie bilansowej i pozabilansowej (opracowano na podstawie wyników badań Rydzewskiego, 1959). Symbole stratygraficzne jak na ryc. 3

Fig. 4. Distribution of metal sulphides in the Zechstein copper-bearing series of the Sieroszowice S-1 borehole, including balance and off-balance ore (based on results by Rydzewski, 1959). For stratigraphic symbols see Fig. 3

chalkopirytowe wokół ziaren bornitu. Ponadto spotyka się krótkie mikrożyłki kruszcowe. Niektóre ziarna szkieletowe (skorupki otwornic) są wypełnione minerałami kruszczowymi.

Z obserwacji uziarnienia siarczków miedzi w próbkach z najbogatszą mineralizacją wynika, że jej rozkład jest bimodalny. Największy ilościowy udział mają drobne ziarna rozproszone, o średnicy z dolnych przedziałów uziarnienia, co oznacza, że prawie 50% ogólnej ilości ziaren minerałów miedziowych posiada wymiary poniżej 50 μm średnicy. Drugie maksimum przypada na populację ziaren grubszej frakcji, o średnicy ponad 90 μm , które stanowią 42,8% obj. ogólnej ilości ziaren minerałów miedziowych. Pozostałe siarczki występują w formie mikrożyłek.

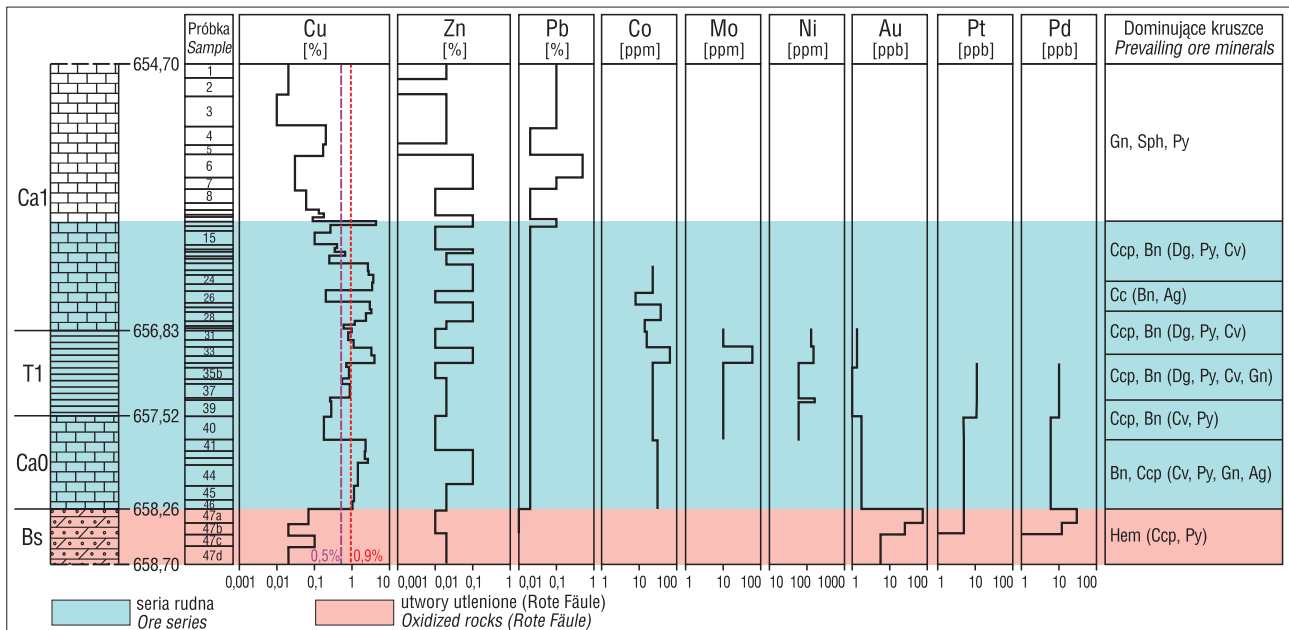
Badania chemiczne i ocena złożowa

Badania chemiczne próbek skał na potrzeby dokumentacji otworu wiertniczego wykonano w Głównym Laboratorium Instytutu Geologicznego (Wyżykowski, 1959). Miedź oznaczono metodą półilościowej analizy spektrograficznej, a w przypadku zawartości ponad 0,01%, próbki były dodatkowo badane metodą elektrolityczną. Podobnie badano koncentrację ołowiu i cynku. Zawartość innych metali (Co, Mo, Ni, V) zbadano spektrograficznie w próbkach zbiorczych, lecz uzyskane tą metodą wyniki oznaczeń mają jedynie orientacyjne znaczenie. Uzupełniająco, w celach kontrolnych, zawartość miedzi, srebra oraz metali towarzyszących zbadano elektrolitycznie, prezentując rozkład tych metali, ale nie podano zestawienia tabelarycznego tych oznaczeń (Ważny, 1964). Wynika z nich, że zawartość miedzi waha się od 0,02 do 3,50%, a srebra w zakresie od 10 do 100 ppm.

Na podstawie uzyskanych wyników chemicznych obliczono parametry złożowe zgodnie z ówczesnymi kryteriami wyznaczania interwałów rudy bilansowej, uwzględniającymi minimalną średnią zawartość Cu $\geq 0,9\%$ przy zasobności $\geq 45 \text{ kg/m}^2$ lub minimalną zawartość Cu $\geq 1,5\%$ przy zasobności $\geq 30 \text{ kg/m}^2$ (Wyżykowski, 1959). Dla rudy pozabilansowej średnia zawartość miedzi powinna mieścić się w przedziale 0,3–0,9% Cu. Zgodnie z tymi kryteriami wyznaczono interwały z rudą bilansową i pozabilansową (ryc. 4) oraz stwierdzono, że w otworze Sierszowice S-1 istnieje interwał rudny bilansowy o miąższości 1,96 m (na głębokości 656,30–658,26 m), średniej zawartości 1,50% Cu i zasobności 76,7 kg/m^2 oraz interwał pozabilansowy ponad serią bilansową o miąższości 0,35 m (na głębokości 655,95–656,30 m), średniej zawartości 0,79% Cu i zasobności 7,2 kg/m^2 (ryc. 4).

W pionowym rozkładzie zawartości miedzi zaznaczają się wyraźnie cztery interwały z wysokimi koncentracjami ponad 0,9% Cu, przedzielone trzema interwałami o wyraźnie niższej zawartości miedzi (ryc. 5). Najwyższe koncentracje Co, Mo i Ni występują w środkowej części serii margli i wapieni marglistych. Zawartości ołowiu są bardzo niskie w całym profilu, a w przypadku cynku zaznacza się nieznaczne ich podwyższenie w najwyższej partii wapienia cechsztyńskiego.

Otwór Sierszowice S-1, wraz z 22 innymi pionierskimi otworami stał się podstawą opracowania dokumentacji geologicznej złoża rud miedzi rejonu Sierszowice–Lubin w kategorii C₂ (Wyżykowski, 1959). Wykazano w niej 17 otworów bilansowych (w tym Sierszowice S-1) oraz trzy otwory pozabilansowe i cztery negatywne. W dokumentacji ustalono, że złożo rozciągające się w rejonie Sierszowic i Lubina na obszarze o powierzchni 175 km^2 , posiada zasoby w ilości 1364,65 Mt rudy o średniej zawartości 1,42%



Ryc. 5. Rozkład metali i minerałów kruszczowych w cechsztyńskiej serii miedzionośnej otworu Sierszowice S-1. Zawartości Cu, Zn, Pb, Co, Mo i Ni zgodnie z dokumentacją otworową; zawartości Au, Pt, Pd oraz dominujące kruszce wg współczesnych badań uzupełniających; Cc – chalkocyt, Dg – digenit, Cv – kowelin, Ccp – chalkopiryt, Bn – bornit, Py – piryt, Gn – galena, Sph – sfaleryt, Ag – srebro rodzime

Fig. 5. Distribution of metals and minerals in the Zechstein copper-bearing series of the Sierszowice S-1 borehole. Cu, Zn, Pb, Co, Mo and Ni contents after the borehole documentation; concentrations of Au, Pt and Pd, and prevailing ores according to the current supplementary examinations; Cc – chalcocite, Dg – digenite, Cv – covellite, Ccp – chalcopyrite, Bn – bornite, Py – pyrite, Gn – galena, Sph – sphalerite, Ag – native silver

Cu i miąższości w granicach 0,23–13,07 m, zawierającej 19,34 Mt miedzi i ok. 36 tys. t srebra, na głębokości od 400 do 1000 m (Wyżykowski, 1959). Ogromne rozmiary złoża spowodowały, że w następnych latach zintensyfikowano dalsze rozpoznawanie złoża i obszarów przyległych oraz wykonano kolejne dokumentacje złożowe, umożliwiające zagospodarowanie złóż rud miedzi w obszarach planowanych kopalń, w tym kopalni Sieroszowice (Preidl i in., 1971, 2007; Banaszak & Leszczyński, 2007).

WYNIKI BADAŃ UZUPEŁNIAJĄCYCH

Weryfikacja litostratygrafii i wykształcenie serii miedzionośnej

Ze względu na znaczenie otworu dla historii odkrycia złoża Lubin–Sieroszowice, ponownie sprofilowano serię miedzionośną, dokonując weryfikacji podziału utworów kontaktu cechsztyń/czerwony spągowiec na jednostki litostratygraficzne (Oszczepalski & Chmielewski, 2015). Pierwotnie w dokumentacji serię miedzionośną podzielono na warstwy opisane jako margiel, łupek marglisty, margiel i wapień marglisty oraz wapień dolomityczny, nie wydzielając łupku miedzionośnego i wapienia podstawowego. Jednak obecnie, podczas ponownego szczegółowego profilowania wspartego obserwacjami mikroskopowymi stwierdzono, że uwzględnienie obecności laminacji, będącej głównym kryterium wyróżniania łupku miedzionośnego, umożliwia podział spągowych utworów cechsztyńu na poszczególne jednostki litostratygraficzne (ryc. 3, tab. 1). Zgodnie z obecnie przyjętą terminologią (Peryt & Oszczepalski, 2007), wyróżniono: wapień cechsztyński (Ca1), łupek miedzionośny (T1), wapień podstawowy (Ca0) i biały spągowiec (Bs). Wapień podstawowy w kopalniach rud miedzi jest zwany

dolomitem granicznym. Należy jednak dodać, że jednoznaczne wyznaczenie w tym otworze granic łupku miedzionośnego napotyka na trudności, gdyż laminacja na pograniczu łupku miedzionośnego z wapieniem cechsztyńskim i wapieniem podstawowym nie jest wyraźnie zaznaczona.

Metody i zakres badań petrograficznych i chemicznych

Podstawą prac badawczych współcześnie wykonanych były preparaty mikroskopowe, próbki skał oraz archiwalne rdzenie wiertnicze, przechowywane w Magazynie Rdzeni PIG-PIB w Michałowie (Oszczepalski & Chmielewski, 2015). Z pierwotnie istniejących 378 skrzynek z rdzeniami zachowano 82 skrzynki, obejmujące interwał od 635,3 do 865,9 m, od spągu anhydrytu (A1) do dolnej części czerwonego spągowca. Dzisiaj nie jest znane miejsce przechowywania preparatów polerowanych zbadanych w trakcie sporządzania dokumentacji otworowej, dlatego w celu wykonania uzupełniających badań specjalistycznych pobrano 20 próbek do badań mikroskopowych oraz 10 próbek do oznaczenia zawartości Au, Pt i Pd, z interwału 654,7–666,5 m, obejmującego środkową i dolną część wapienia cechsztyńskiego, łupku miedzionośny, wapień podstawowy i biały spągowiec górny. Utrudnieniem opróbowania, a w konsekwencji wykonania badań uzupełniających, stały się znaczne ubytki materiału rdzeniowego. Obecnie są zachowane jedynie połówki rdzeni, przy czym pomiędzy ich poszczególnymi fragmentami istnieją liczne luki wielkości porównywalnej z miąższością fragmentów rdzeni, a stan zachowania rdzeni w skrzyńkach można określić na 40–60%.

Z pobranych próbek skał wykonano preparaty mikroskopowe – płytki cienkie dwustronnie polerowane do światła przechodzącego i odbitego, polery kostkowe do światła odbi-

Tab. 1. Litologia cechsztyńskiej serii miedzionośnej w otworze Sieroszowice S-1
Table 1. Lithology of the Zechstein copper-bearing series in the Sieroszowice S-1 borehole

Jednostka litostratygraficzna <i>Lithostratigraphic unit</i>	Głębokość <i>Depth</i> [m]	Miąższość <i>Thickness</i> [m]	Litologia <i>Lithology</i>
Wapień cechsztyński <i>Zechstein Limestone</i> (Ca1)	636,95–656,83	19,88	w górnej części dolomit szary, partiami zbioturbowany, z licznymi bioklastami (mszywioly, otwornice, szkarłupnie), oddzielność grubopłytkowa, spekania wypełnione gipsem, liczne szwy stylolitowe; w dolnej części wapień marglisty z wkładkami margli, ciemnoszary, oddzielność płytkowa. <i>grey dolomite in upper part, locally bioturbated, abundant bioclasts (bryozoans, foraminifers, echinoderms), slabby parting, fractures filled with gypsum, numerous stylolites. Dark grey marly limestone interbedded with marls in lower part, platy parting</i>
Łupek miedzionośny <i>Kupferschiefer</i> (T1)	656,83–657,52	0,69	łupek marglisty, czarny, drobnolaminowany, w stropie laminacja falista nierównoległa; w środku laminacja falista równoległa i soczewkowa (laminy sparytowe, liczne gruzełki węglanowe, nieliczne małżoraczki i otwornice), w spągu laminacja falista, nieciągła, oddzielność drobnopłytkowa i łupkowa <i>black marly shale, finely laminated, wavy non-parallel lamination at the top, wavy parallel and lenticular lamination in the middle (sparite laminae, numerous carbonate spherules, sparse ostracods and foraminifers), discontinuous wavy lamination at the base, platy and fissile parting</i>
Wapień podstawowy <i>Basal Limestone</i> (Ca0)	657,52–658,26	0,74	wapień marglisty, ciemnoszary, poziomo uławicony, smugowany materiałem ilasto-organicznym, nieliczne bioklasty, liczne wtrącenia i żyłki gipsu, oddzielność płytkowa <i>dark grey marly limestone, planar bedding, clay-organic streaks, scarce bioclasts, common gypsum nodules and veinlets, platy parting</i>
Biały spągowiec górny <i>Upper Weissliegend</i> (Bsg)	658,26–666,50	8,24	piaskowiec drobnziarnisty, szary, wapnisty, nieregularnie smugowany, z kryptobioturbacjami, niżej piaskowiec jasnoszary, jednorodny <i>grey fine-grained calcareous sandstone, irregularly flasered, cryptobioturbated, light grey structureless sandstone in the lowermost part</i>
Biały spągowiec dolny <i>Lower Weissliegend</i> (Bsd)	666,50–672,60	6,10	piaskowiec drobnziarnisty, jednorodny, jasnoszary z czerwonymi plamami <i>light grey fine-grained sandstone, massive, with red spots</i>

tego oraz preparaty do badań w mikroobszarze i w mikroskopie skaningowym. Badania mineralogiczno-petrograficzne wykonano w świetle odbitym i przechodzącym z wykorzystaniem mikroskopu Nikon Eclipse LV 100POL oraz mikroskopu firmy Reichert (ryc. 6 i 7). Identyfikację minerałów kruszcowych potwierdzono szczegółowymi badaniami w mikroobszarze dla sześciu próbek skał serii miedzionośnej, z wykorzystaniem mikroskopy elektronowej CAMECA SX 100 z obrazowaniem BSE (elektrony wstecznie rozproszone, ang. *backscattered electrons*; ryc. 8, 9 i 10). Ponadto wykonano analizy w elektronowym mikroskopie skaningowym dla sześciu próbek zawierających cechsztyńską mineralizację kruszczową z obrazowaniem BSE (ryc. 11A, B, C, D, F). Część dokumentacji kruszców przedstawiono w formie obrazów SE (elektrony wtórne, ang. *secondary electrons*; ryc. 11E). Numeracja zbadanych próbek znajduje się na rycinie 5.

Po sporządzeniu dokumentacji otworowej nie wykonywano ponownych oznaczeń zawartości wcześniej wyróżnionych metali, gdyż znacznie zubożony stan zachowania materiału rdzeniowego nie pozwala na ścisłe przyporządkowanie kawałków rdzeni do numeracji próbek zgodnej z dokumentacją otworową. Weryfikacja oznaczeń zawartości metali w związku z powyższym nie jest obecnie możliwa. Dlatego w okresie późniejszym wykonano w utworach serii miedzionośnej omawianego otworu jedynie oznaczenia zawartości złota, platyny i palladu (Oszczepalski & Rydzewski, 1998), gdyż analizy takie wcześniej nie były zrobione. Oznaczenia te wykonano metodą GF-AAS (bezpłomieniowa absorpcyjna spektrometria atomowa spektrometrem Perkin Elmer 6000).

Zbadanie preparatów mikroskopowych z wykorzystaniem najnowszej aparatury badawczej dostępnej obecnie w PIG-PIB, w tym mikroskopy elektronowej i elektronowego mikroskopu skaningowego, a także wykonanie analiz chemicznych w mikroobszarze, umożliwiło określenie składu jakościowego i ilościowego minerałów kruszcowych oraz przedstawienie dystrybucji nie tylko minerałów zidentyfikowanych podczas prac dokumentacyjnych, lecz również innych, możliwych obecnie do stwierdzenia dzięki zastosowaniu nowych metod badawczych.

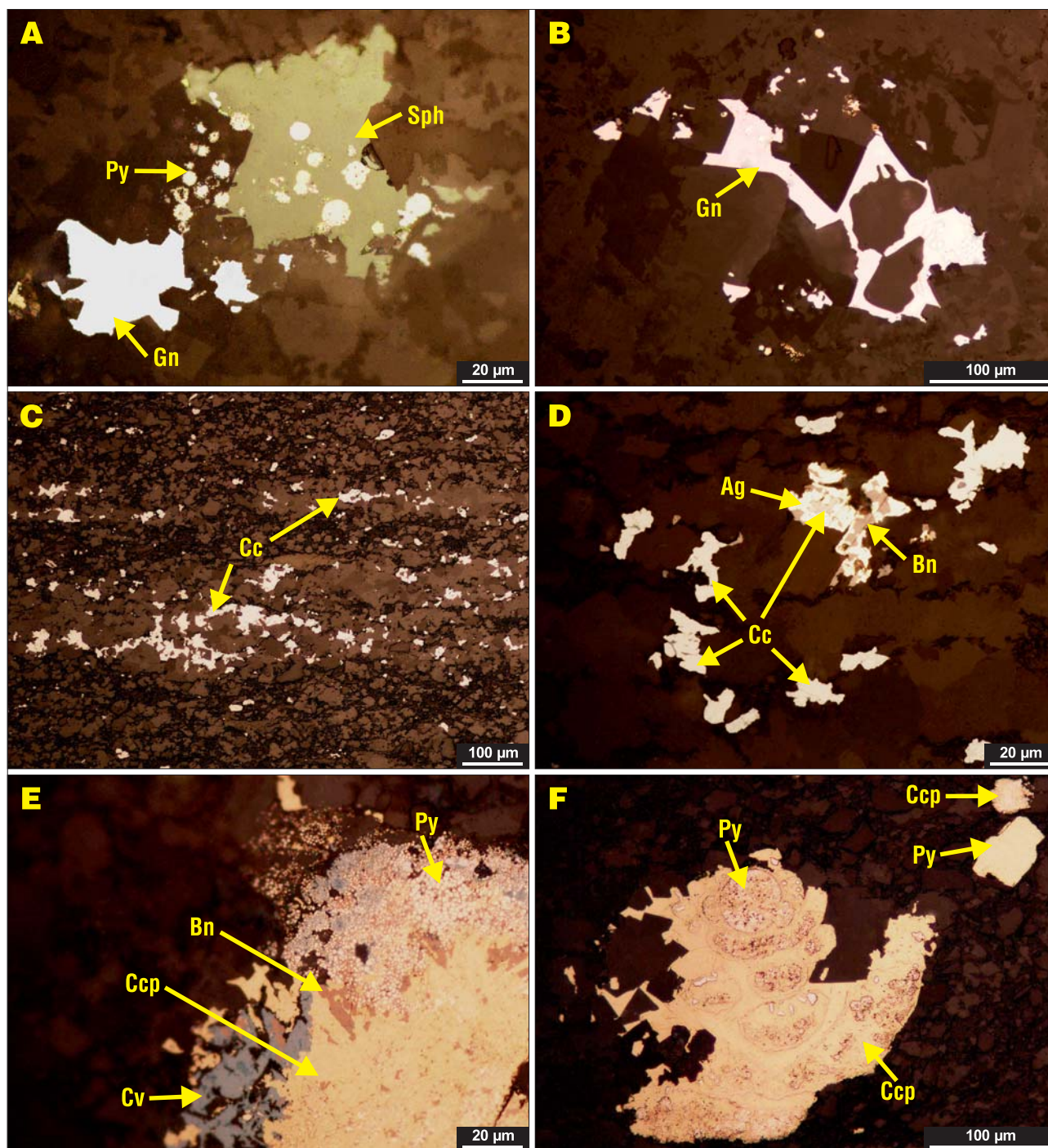
Cechy petrograficzne mineralizacji kruszczowej

Wapień cechsztyński. W najwyższej części badanego interwału wapienia cechsztyńskiego (próbka 4 na głębokości 655,3 m) została rozpoznana uboga mineralizacja kruszczowa reprezentowana przez asocjację galenowo-sfalerytową z dużym udziałem piryty (ryc. 6A, B; 11A). Siarczki te wypełniają wolne przestrzenie i spękania lub zastępują minerały węglanowe. Galena jest obecna w postaci drobnych ziaren (do 40 μm średnicy) wypełniających wolne przestrzenie, natomiast sfaleryt występuje jako różnych rozmiarów (od 30 do 150 μm) nieregularne ziarna zastępujące węglany lub wypełniające pustki w skale. Sfaleryt i galena tworzą wzajemne zrosty i agregaty mineralne o rozmiarach sięgających do 250 μm średnicy. Najczęstszą formą występowania piryty są drobne framboidy (do 5 μm średnicy) oraz ich skupiska (średnicy do 50 μm) pojawiające się w pustkach między ziarnami węglanów, a także w galenie i sfalerycie, niekiedy w postaci reliktovej.

W środkowej części wapienia cechsztyńskiego (próbki 10, 15, 20) chalkopiryty dominuje nad bornitem, digenitem, pirytem i kowelinem (ryc. 8A, B). Okruszczowanie w tej części profilu ma głównie charakter drobnodispersyjnych rozprożeń (ziarna do kilkudziesięciu mikrometrów średnicy), tylko lokalnie obserwuje się gniazdowe czy soczewkowe nagromadzenia minerałów kruszcowych do 150 μm średnicy. Chalkopiryty oraz bornit zastępują minerały węglanowe, tworząc nodularne i robakowate formy o rozmiarach do 150 μm , oraz występują jako drobne kryształy koncentrujące się w linijskie formy. Pospolite są wrostki piryty w bornicie, zrosty chalkopiryty-bornit oraz nieregularne gniazda i soczewki bornitowo-digenitowe. Sporadycznie notuje się obecność bornitowych pseudomorfoz po frambooidalnym piryty. Ku dołowi interwału wzrasta zawartość bornitu. Jest on tu reprezentowany głównie przez soczewkowate i gniazdowe formy o rozmiarach do 100 μm średnicy, wypełniające wolne przestrzenie lub zastępujące minerały węglanowe. Sporadycznie notuje się obecność agregatów mineralnych złożonych z chalkopiryty, bornitu i piryty, o rozmiarach dochodzących do 150 μm średnicy. Kowelin jest obecny w postaci kryształów o ksenomorficznym pokroju i o rozmiarach dochodzących do 40 μm średnicy. Piryty najczęściej występuje w formie mikrolitów (do 5 μm średnicy), framboidów (o rozmiarach do 50 μm), zastępowanych częściowo chalkopirytem i bornitem, oraz gniazd i soczew (o rozmiarach do 100 μm), złożonych z drobnych kryształów piryty.

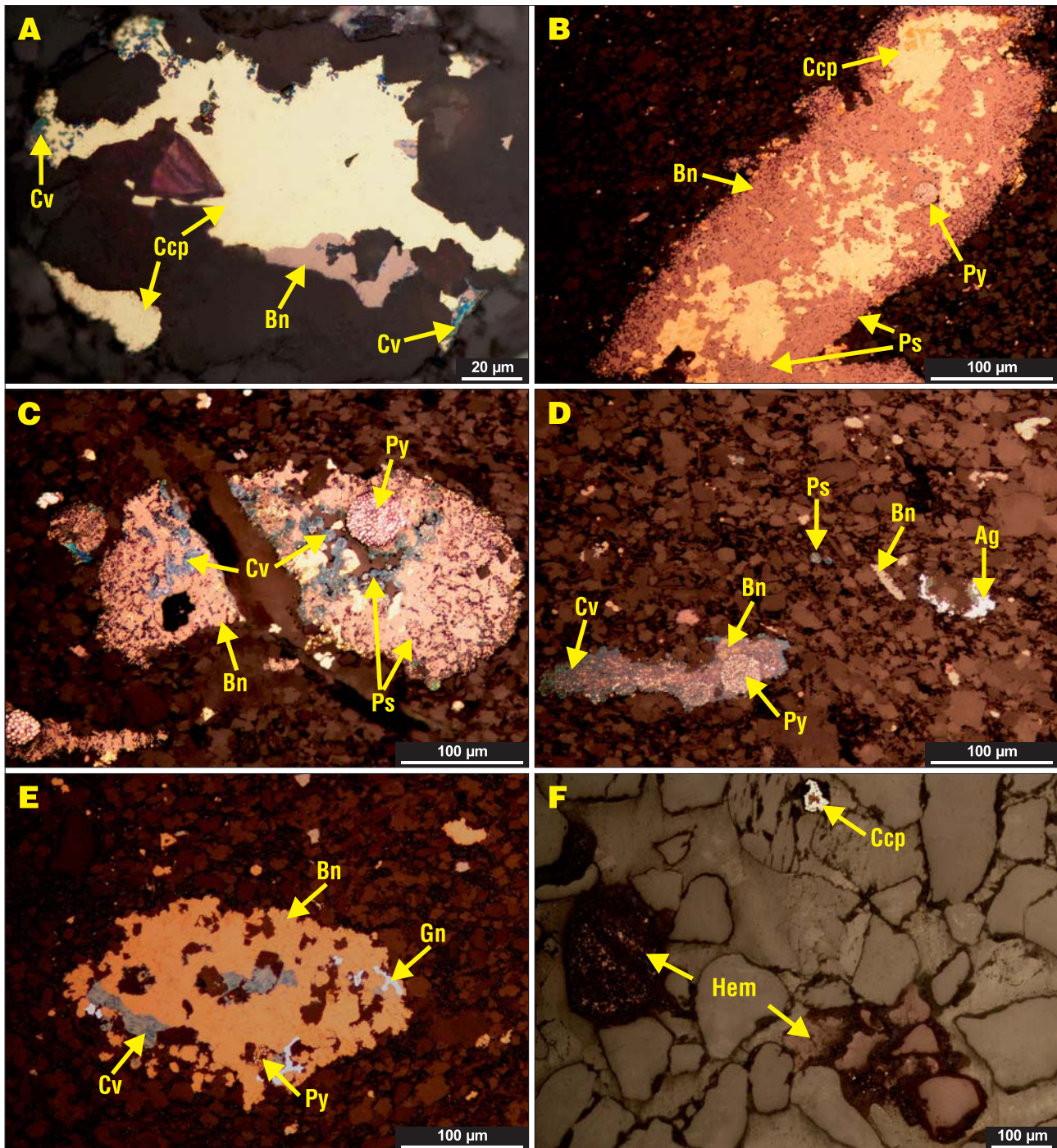
W dolnej części wapienia cechsztyńskiego (próbka 25) dominuje mineralizacja chalkozynowa z domieszką bornitu i srebra rodzimego (ryc. 6C, D). Chalkozyn występuje w postaci drobnych ziaren do 50 μm średnicy, rozproszonych w ciemnym tle skalnym, miejscami tworzących nagromadzenia drobnych skupień o długości do 200 μm . Powszechne są wzajemne zrosty i przrośty chalkozynu z bornitem i srebrem rodzimym. Sporadycznie obserwuje się drobne sferyczne formy chalkozynu (pseudomorfozy po framboidach piryty), których rozmiary nie przekraczają 30 μm średnicy. Bornit jest obecny w postaci pojedynczych osobników (rozmiar do 20 μm średnicy) lub jako zrosty ze srebrem rodzimym, najczęściej o nieregularnym pokroju, zastępujących minerały węglanowe.

W najniższej części interwału (próbki 29 i 30) ponownie dominuje asocjacja chalkopiryty-bornitowa, której towarzyszą: digenit, kowelin, geeryt, spionkopit oraz piryty (ryc. 6E, 8C). Wtrącenia i skupienia chalkopiryty i bornitu (do 100 μm średnicy) przyjmują nieregularne formy i są rozproszone w ciemnym tle skalnym. Chalkopiryty tworzy zrosty z bornitem (o rozmiarach dochodzących do 200 μm średnicy) z drobnymi wrzecionowatymi wrostkami amalgamatów srebra. Miejscami chalkopiryty zastępuje minerały węglanowe. Liczne są agregaty chalkopiryty-pirytowe (ryc. 8C). Srebro jest obecne także jako podstawienia w sieci krystalograficznej bornitu i chalkopiryty (ryc. 9, 10). Piryty występuje w formie framboidów oraz idiomorficznych kryształów, rzadziej w formie dużych ziaren (do 80 μm średnicy) oraz soczewek i smużystych skupień zbudowanych z mikrolitów. Pospolicie występują bornitowe pseudomorfozy po framboidach piryty (ryc. 11C), a w zrostach bornitowo-chalkopirytyowych liczne są wrostki piryty, framboidy typu słonecznikowego oraz chalkopirytyowe pseudomorfozy po framboidach piryty (ryc. 6E). Nieliczny digenit (o roz-



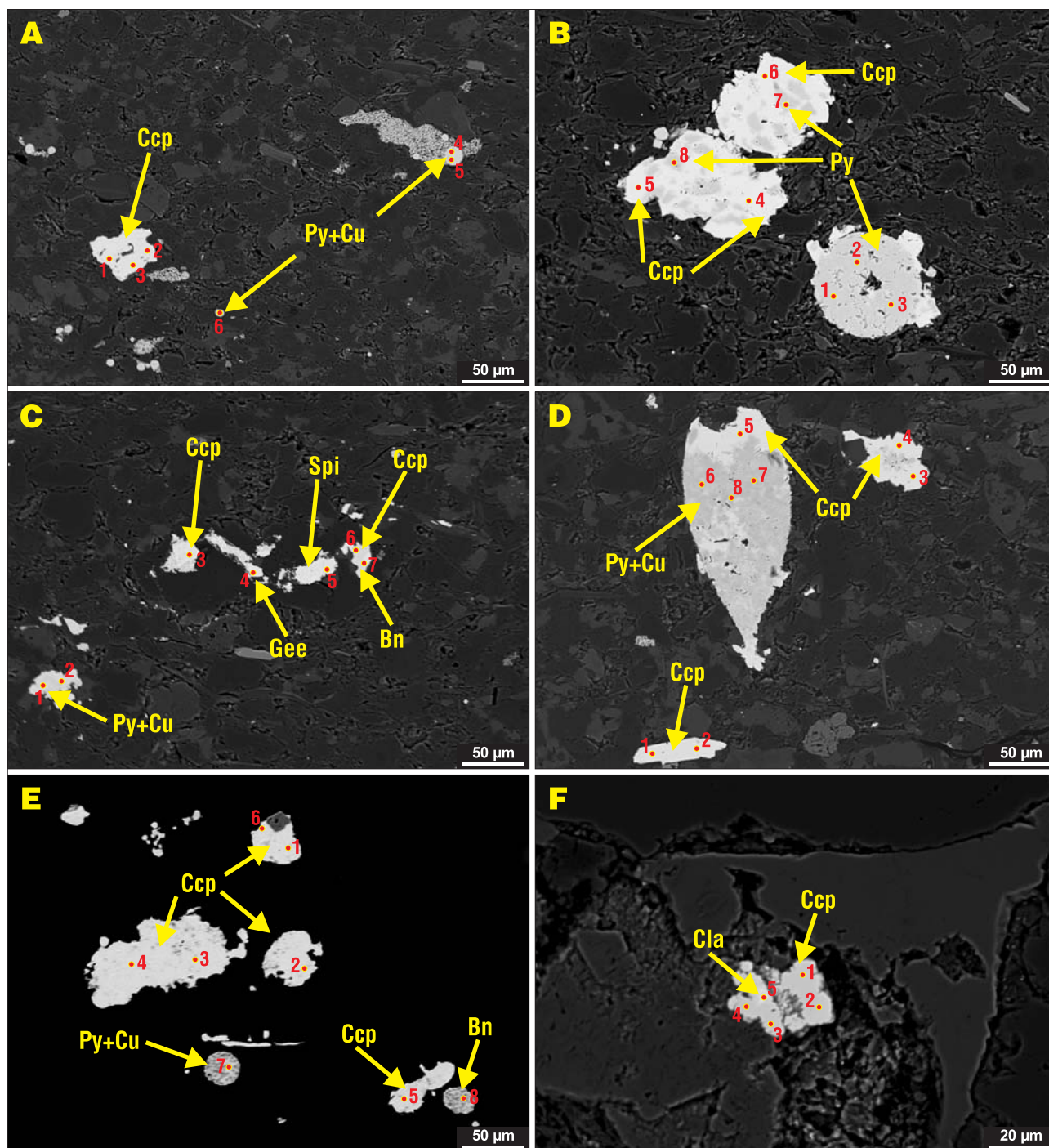
Ryc. 6. Mikrofotografie skupień minerałów kruszcowych w świetle odbitym w utworach wapienia cechsztyńskiego i łupku miedzionego z otworu Sierszowice S-1. **A** – sfaleryt i galena w towarzystwie mikrolitów pirytu i pirytu framboidalnego rozproszone w węglanowym tle skalnym, wapień cechsztyński (pr. 4); **B** – galena wypełniająca wolne przestrzenie w minerałach węglanowych, wapień cechsztyński (pr. 4); **C** – chalkozyn rozproszony w węglanach i w interstycjach między minerałami węglanowymi, wapień cechsztyński (pr. 25); **D** – chalkozyn rozproszony w interstycjach między minerałami węglanowymi oraz zrost chalkozynu, bornitu i srebra rodzimego, wapień cechsztyński (pr. 25); **E** – chalkopiryt częściowo zastępowany bornitem i kowelinem w towarzystwie mikrolitów i drobnych słonecznikowych framboidów pirytu, wapień cechsztyński (pr. 30); **F** – chalkopiryt częściowo zastępujący skorupkę otwornicy oraz wypełniający wolne przestrzenie pomiędzy minerałami węglanowymi oraz piryt częściowo wypełniający komory otwornicy, łupek miedzionożny (pr. 37). Objasnienia skrótów: Cc – chalcocyn, Cv – kowelin, Gee – geeryt, Spi – spionkopit, Bn – bornit, Ccp – chalkopiryt, Ag – srebro rodzime, Gn – galena, Sph – sfaleryt, Py – piryt, Cla – clausalit, Hem – hematyt

Fig. 6. Microphotographs of ore mineralization in reflected light from Zechstein Limestone and Kupferschiefer samples, Sierszowice S-1 borehole. **A** – sphalerite and galena accompanied by pyrite microlites and framboidal pyrite disseminated in carbonate matrix, Zechstein Limestone (sample 4); **B** – voids in carbonates filled with galena, Zechstein Limestone (sample 4); **C** – chalcocite disseminated throughout the rock matrix and within interstices of carbonate minerals, Zechstein Limestone (sample 25); **D** – chalcocite scattered in interstices of carbonate minerals and chalcocite-bornite-native silver intergrowths, Zechstein Limestone (sample 25); **E** – chalcopyrite partly replaced by bornite and covellite, accompanied by numerous pyrite microlites and tiny sunflower pyrite forms, Zechstein Limestone (sample 30); **F** – chalcopyrite partly replacing foraminifera shell and filling voids between carbonate minerals, pyrite filling partly foraminifera, Kupferschiefer (sample 37). Abbreviations: Cc – chalcocite, Cv – covellite, Gee – geerite, Spi – spionkopite, Bn – bornite, Ccp – chalcopyrite, Ag – native silver, Gn – galena, Sph – sphalerite, Py – pyrite, Cla – clausalite, Hem – hematite



Ryc. 7. Mikrofotografie skupień minerałów kruszcowych w utworach wapienia podstawowego i białego spągowca w otworze Sieroszowice S-1. **A** – zrost chalkopiryty i bornitu z inkluzjami kowelinu tkwiący w wolnej przestrzeni węglanowego tła skalnego, wapień podstawowy (pr. 45); **B** – agregat chalkopiryty i bornitu z licznymi reliktnymi piryty framboidalnego i bornitowymi pseudomorfozami po framboidalnym piryście (Ps), wapień podstawowy (pr. 45); **C** – bornit częściowo zastąpiony kowelinem z reliktnymi framboidami piryty i licznymi bornitowymi i kowelinowymi pseudomorfozami po framboidalnym piryście, wapień podstawowy (pr. 45); **D** – bornit stopniowo zastępowany kowelinem, liczny piryty framboidalny selektywnie zastępowany bornitem i kowelinem, w towarzystwie srebra rodzimego i kowelinowych pseudomorfoz po framboidach piryty, wapień podstawowy (pr. 45); **E** – bornit częściowo zastąpiony kowelinem z wrostkami galeny i reliktnymi piryty framboidalnego, wapień podstawowy (pr. 46); **F** – hematyt częściowo zastępujący ziarna detrytyczne piaskowca w towarzystwie drobnego ziarna reliktnego chalkopiryty, biały spągowiec (pr. 49). Objasnienia skrótów jak na rycinie 6

Fig. 7. Microphotographs of ore mineralization in reflected light from the Basal Limestone and Weisliedeng samples, Sieroszowice S-1 borehole. **A** – chalcopyrite and bornite intergrowths containing inclusions of covellite filling voids in carbonate matrix, Basal Limestone (sample 45); **B** – chalcopyrite/bornite composite with numerous remnants of pyrite framboids and bornite pseudomorphs after framboidal pyrite, Basal Limestone (sample 45); **C** – bornite partly replaced by covellite with relicts of framboidal pyrite, numerous bornite and covellite pseudomorphs after framboidal pyrite, Basal Limestone (sample 45); **D** – bornite partly replaced by covellite with numerous framboidal pyrite selectively replaced by bornite and covellite, accompanied by native silver, covellite pseudomorphs after pyrite framboids, Basal Limestone (sample 45); **E** – bornite partly replaced by covellite with inclusions of galena and remnants of framboidal pyrite, Basal Limestone (sample 46); **F** – detrital sandstone grains partly replaced by hematite accompanied by a tiny grain of remnant chalcopyrite, Weisliedeng (sample 49). For abbreviations see Figure 6

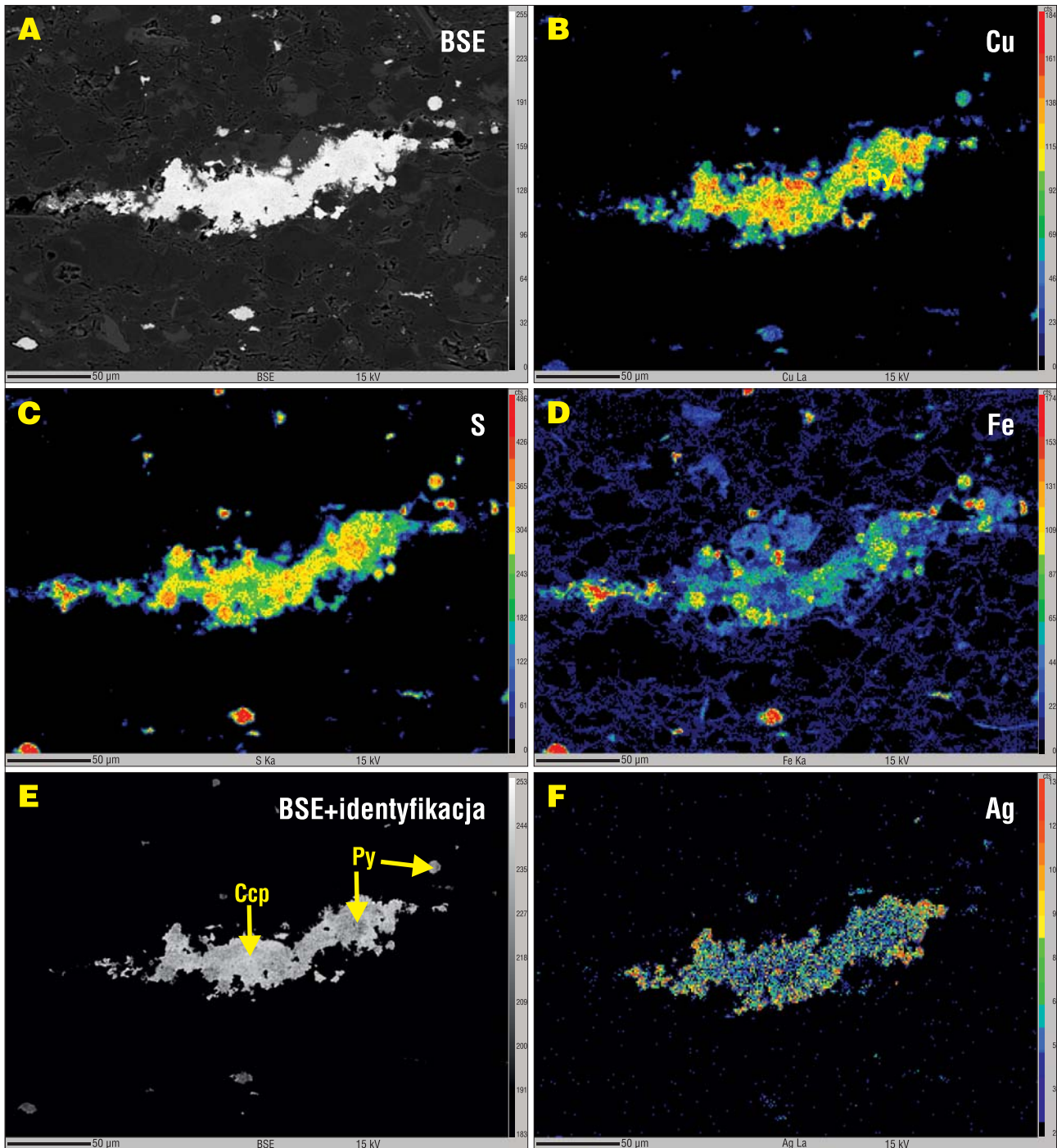


Ryc. 8. Obrazy BSE siarczków zidentyfikowanych przy użyciu mikrosondy elektronowej. **A** – chalkopiryt i piryt framboidalny rozproszone w węglanowym tle skalnym, wapień cechsztyński (pr. 10); **B** – piryt częściowo zastąpiony chalkopirytem, wapień cechsztyński (pr. 20); **C** – chalkopiryt, bornit i piryt w towarzystwie geerytu i spionkopitu, wapień cechsztyński (pr. 30); **D** – skorupka małżoraczka zastąpiona pirytem i chalkopirytem; łupek miedzionośny (pr. 37); **E** – ziarna chalkopirytu oraz bornitowe pseudomorfozy po framboidalnym piryście z relikdami mikrolitów pirytu, wapień podstawowy (pr. 46); **F** – drobne kryształy chalkopirytu z wzrostem clausenthalitu wypełniające pustkę w częściowo zdeintegrowanym ziarnie detrytycznym piaskowca, biały spągowiec (pr. 49). Objaśnienia skrótów jak na rycinie 6

Fig. 8. Images of sulphides identified using the electron microprobe. **A** – chalcopyrite and framboidal pyrite scattered within carbonate matrix, Zechstein Limestone (sample 10); **B** – pyrite partly replaced by chalcopyrite, Zechstein Limestone (sample 20); **C** – chalcopyrite, bornite and pyrite accompanied by geerite and spionkopite, Zechstein Limestone (sample 30); **D** – ostracod shell replaced by pyrite and chalcopyrite, Kupferschiefer (sample 37); **E** – chalcopyrite grains and bornite pseudomorphs after framboidal pyrite with pyrite microlites, Basal Limestone (sample 46); **F** – disintegrated detrital sandstone grain partly filled with tiny chalcopyrite with clausenthalite inclusion, Weisliegend (sample 49). For abbreviations see Figure 6

miarach do 40 μm) jest reprezentowany przez ziarna rozsiadane bezładnie w ciemnym tle skalnym. Kryształy kowelinu mają pokrój kostkowy i tabliczkowy, a ich rozmiary nie przekraczają 30 μm średnicy. Kowelin powszechnie zastę-

puje chalkopiryt, węglany oraz wypełnia spękania w skale. Podczas badań w mikroobszarze zidentyfikowano spionkopit i geeryt, obecne jako drobne wprysnięcia w tle skalnym, miejscami w postaci zrostów z pirytem oraz srebronośny



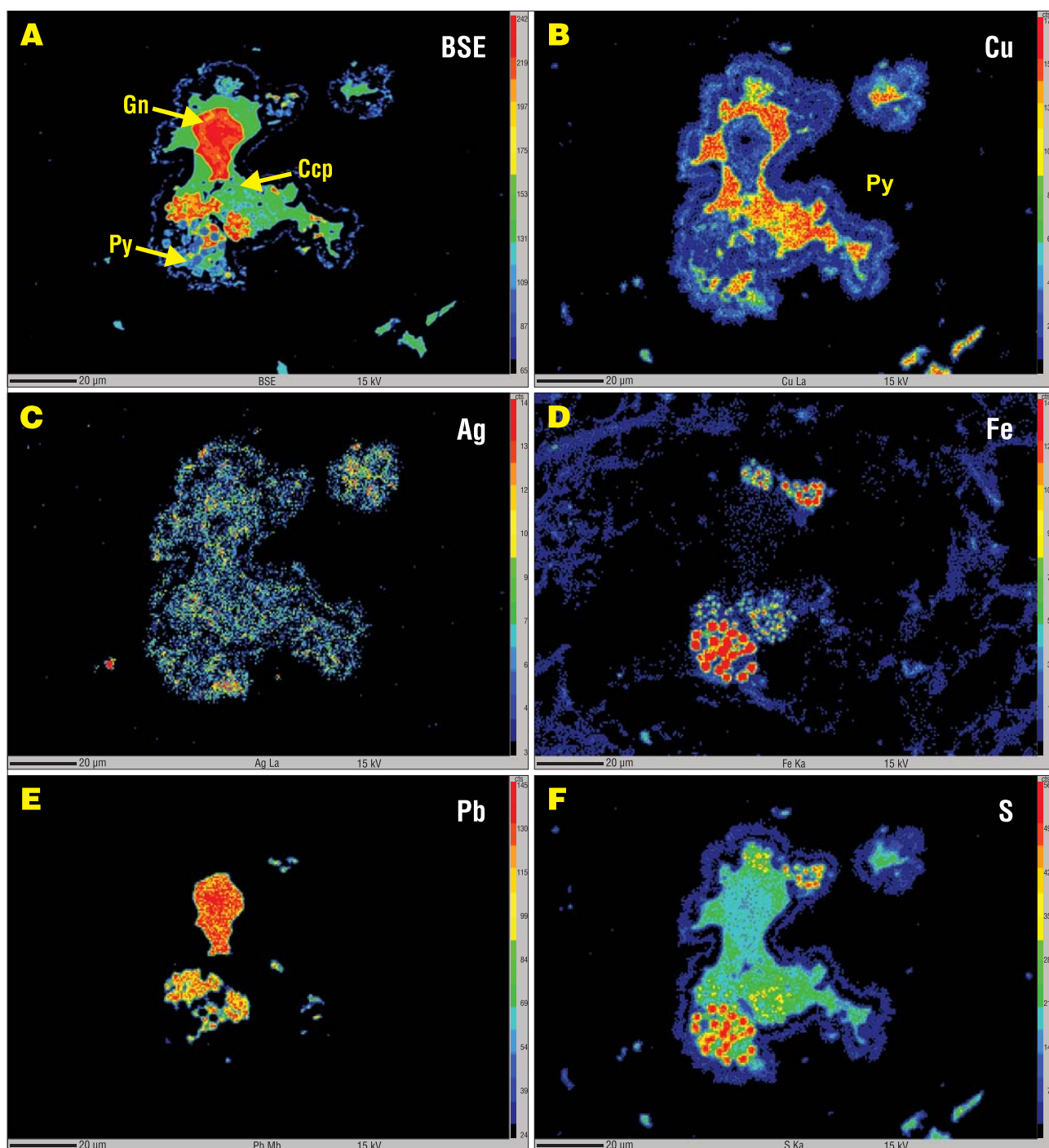
Ryc. 9. Obrazy BSE oraz mapy koncentracji pierwiastków w agregacie mineralnym składającym się z chalkopirytu i pirytu uzyskane przy zastosowaniu mikrosondy elektronowej (najniższy wapień cechsztyński, próbka 30). Czerwona barwa oznacza najwyższą koncentrację danego pierwiastka. Objasnienia skrótów jak na rycinie 6

Fig. 9. BSE images and the maps showing the concentration of elements in a mineral aggregate consisting of chalcopyrite and pyrite, obtained using the electron microprobe (lowermost Zechstein Limestone, sample 30). Red color determines the highest concentration of particular element. For abbreviations see Figure 6

chalkopiryty (ryc. 8C, 9 i 10; tab. 2). Dodatkowo ujawniono obecność licznych przejściowych faz pirytu, a także popirytowe niestechiometryczne związki żelaza i siarki z dużą domieszką miedzi (do 25% wag.) oraz podstawienia (do 0,88% wag.) srebra w chalkopirycie (tab. 2).

Łupek miedzionośny. W stropowych partiach łupku miedzionośnego (próbki 31 i 35) dominuje asocjacja chalkopiryty-bornitowa w towarzystwie kowelinu, digenitu, pirytu oraz galeny. Dominują drobne ziarna siarczków o roz-

miarach do kilkudziesięciu mikrometrów średnicy. Występują one w skupiskach koncentrujących się w nieregularne smugi ułożone zgodnie z uławiczeniem łupku. Smugi posiadają miąższość do 30 µm i długość do kilkunastu milimetrów. Częste są laminarne skupienia i nagromadzenia drobnych ziaren bornitu i chalkopirytu o miąższości do 10 µm średnicy. Ponadto obserwuje się ziarna minerałów kruszcowych o kształcie soczewkowym (rozmiar do 100 µm), o osiach soczewek wydłużonych zgodnie z uławiczeniem łupku, oraz w



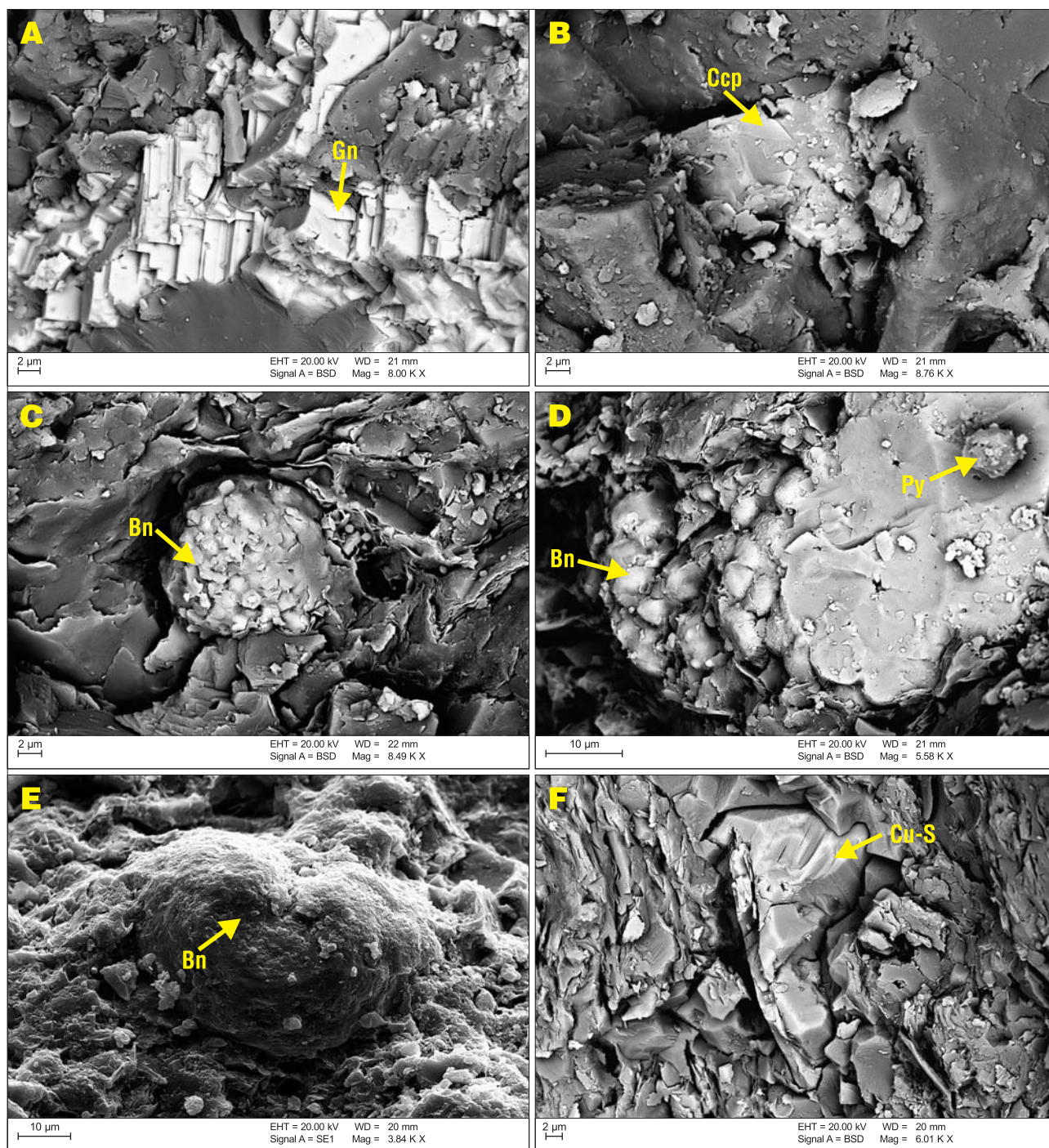
Ryc. 10. Obraz BSE oraz mapy koncentracji pierwiastków w agregacie mineralnym składającym się z chalkopirytu wzbogaconego w srebro oraz galeny i pirytu z użyciem mikrosondy elektronowej (najniższy wapień cechsztyński, próbka 30). Czerwona barwa oznacza najwyższą koncentrację danego pierwiastka. Objaśnienia skrótów jak na rycinie 6

Fig. 10. BSE image and the map showing the concentration of elements in a mineral aggregate consisting of chalcopyrite with silver admixture, and galena and pyrite, obtained using the electron microprobe (lowermost Zechstein Limestone, sample 30). Red color determines the highest concentration of particular element. For abbreviation see Figure 6

formie drobnych nieregularnych wprysnięć (do 50 µm średnicy) bezładnie rozproszonych w laminach węglanowych lub impregnujących powierzchnie graniczne mikrożyłek węglanowych.

Dolna część łupku miedzionośnego (próbki 37 i 39) jest okruszczowana chalkopirytem, bornitem, kowelinem i pirytem. Mineralizacja ma charakter drobnych rozprożeń, przy czym ziarna są ułożone zgodnie z kierunkiem laminacji. Przeważają ziarna o rozmiarze do 90 µm średnicy. Chalkopiryt

i bornit cementują drobne ziarna detrytyczne obecne w łupku oraz zastępują minerały węglanowe. Licznie występują pseudomorfozy bornitu po framboidach pirytowych (ryc. 8D i 11D). Spotyka się częściowe zastąpienia skorupki małżoraczków i otwornic oraz wypełnienia ich komór chalkopirytem lub bornitem, przy czym chalkopiryt w komorach zawiera framboidy i drobne kryształy pirytu (ryc. 6F, 8D). Częste są nodularne zrosty chalkopirytu z bornitem, chalkopiryt cementowany bornitem oraz drobne wrostki euhedralnego



Ryc. 11. Obrazy BSE (A–F) oraz SE (E) uzyskane z użyciem skaningowego mikroskopu elektronowego. **A** – zrosty kryształów galeny obrosnięte minerałami węglanowymi, wapień cechsztyński (pr. 4); **B** – wrostek chalkopirytu w węglanach, wapień cechsztyński (pr. 25); **C** – pseudomorfoza bornitu po framboidalnym pircyie, wapień cechsztyński (pr. 30); **D** – pseudomorfoza bornitu po framboidalnym pircyie w towarzystwie mikrolitu pirytu, łupek miedzionośny (pr. 37); **E** – bornit obrosnięty minerałami węglanowymi, wapień podstawowy (pr. 45); **F** – siarczek miedzi typu Cu-S w interstycjach pomiędzy minerałami węglanowymi, wapień podstawowy (pr. 46). Objasnienia skrótów jak na rycinie 6

Fig. 11. BSE images (A–F) and SE images (E) obtained using the scanning electron microscope. **A** – galena intergrowths enveloped with carbonates, Zechstein Limestone (sample 4); **B** – chalcopyrite inclusion in carbonates, Zechstein Limestone (sample 25); **C** – bornite pseudomorph after framboidal pyrite, Zechstein Limestone (sample 30); **D** – bornite pseudomorph after framboidal pyrite along with pyrite microlite, Kupferschiefer (sample 37); **E** – bornite overgrown with carbonate minerals, Basal Limestone (sample 45); **F** – Cu-S-type copper sulphide incorporated in interstices of carbonate minerals, Basal Limestone (sample 46). For abbreviations see Figure 6

pirytu w bornicie. Lokalnie są spotykane duże agregaty chalkopiryto-bornitowe o rozmiarach dochodzących do 160 μm średnicy.

Wapień podstawowy. W wapieniu podstawowym (próbki 42, 45, 46) mineralizacja kruszcowa jest reprezentowana

głównie przez bornit, chalkopiryt, kowelin i piryty, którym towarzyszy galena oraz amalgamaty srebra. Ziarna minerałów kruszcowych są rozproszone w materiale węglanowym oraz występują w pustkach i spękaniach skalnych (ryc. 7A–D). Bornit i chalkopiryt tworzą zazwyczaj kseno-

Tab. 2. Skład chemiczny minerałów zidentyfikowanych przy zastosowaniu mikroskopy elektronowej [% wag.] przedstawionych na rycinie 8
 Table 2. Chemical composition of minerals identified by microprobe analysis [wt.%] presented at Figure 8

Litostratygrafia <i>Lithostratigraphy</i>	Próbka / Sample / micrograph	Punkt Point	S	Ca	Pb	Se	Al	Si	Zn	Cu	Fe	Ag	Cl	Suma Total	Identyfikacja* Identification*	
	10/8A	1	34,71	0,14	0,00	0,00	0,01	0,03	0,08	34,31	30,45	0,02	0,06	99,81	Ccp	
		2	34,87	0,20	0,00	0,00	0,01	0,01	0,05	34,56	30,56	0,06	0,01	100,32	Ccp	
		3	34,97	0,18	0,00	0,03	0,00	0,02	0,02	0,08	34,60	30,76	0,05	0,01	100,70	Ccp
		4	45,47	0,20	0,00	0,00	0,02	0,06	0,06	0,04	12,55	41,58	0,03	0,04	99,98	Py+Cu
		5	46,13	0,19	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02	0,09	11,44	42,16	0,04	0,06	100,12	Py+Cu
		6	48,42	0,63	0,00	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	7,62	42,45	0,15	0,01	99,38	Py+Cu
Wapień cechsztyński <i>Zechstein Limestone</i>	20/8B	1	52,68	0,09	0,00	0,01	0,00	0,04	0,04	0,53	46,86	0,01	0,00	100,26	Pyrite	
		2	52,83	0,04	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02	0,07	0,16	47,01	0,02	0,02	100,18	Pyrite
		3	52,36	0,08	0,00	0,08	0,00	0,03	0,03	0,01	1,60	45,47	0,02	0,02	99,66	Pyrite
		4	34,53	0,03	0,00	0,00	0,01	0,03	0,03	0,14	34,46	30,17	0,07	0,02	99,46	Ccp
		5	34,87	0,06	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,05	34,35	30,13	0,04	0,01	99,55	Ccp
		6	34,28	0,05	0,00	0,02	0,01	0,03	0,03	0,04	34,60	30,19	0,02	0,02	99,25	Ccp
		7	52,34	0,16	0,00	0,00	0,00	0,06	0,06	0,06	0,75	45,81	0,01	0,01	99,21	Pyrite
		8	53,01	0,05	0,00	0,00	0,01	0,03	0,03	0,11	0,81	46,52	0,01	0,03	100,59	Pyrite
	30/8C	1	40,08	0,26	0,00	0,02	0,00	0,02	0,04	24,99	34,15	0,05	0,01	99,63	Py+Cu	
		2	43,64	0,21	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,00	19,85	36,47	0,09	0,02	100,31	Py+Cu
		3	34,73	0,08	0,00	0,02	0,01	0,07	0,07	0,01	44,33	19,84	0,88	0,05	100,00	Ccp
		4	23,61	0,07	0,00	0,00	0,00	0,22	0,22	0,00	74,20	0,53	0,77	0,02	99,42	Gee
		5	26,24	0,15	0,00	0,02	0,01	0,17	0,17	0,11	69,66	4,40	0,63	0,01	101,39	Spi
		6	34,45	0,20	0,00	0,01	0,01	0,18	0,18	0,03	35,78	29,05	0,09	0,02	99,83	Ccp
		7	26,33	0,17	0,00	0,00	0,00	0,09	0,09	0,00	63,08	11,18	0,08	0,02	100,96	Bn
Łupek miedzionośny <i>Kupferschiefer</i>	37/8D	1	34,42	0,27	0,00	0,02	0,02	0,05	0,09	34,80	29,58	0,06	0,02	99,31	Ccp	
		2	34,78	0,27	0,00	0,01	0,01	0,03	0,05	34,66	29,92	0,00	0,03	99,75	Ccp	
		3	34,69	0,22	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,00	34,50	29,72	0,01	0,02	99,19	Ccp
		4	34,71	0,19	0,00	0,01	0,02	0,02	0,02	0,07	34,59	30,06	0,03	0,02	99,72	Ccp
		5	34,76	0,13	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,15	35,32	29,53	0,10	0,01	100,03	Ccp
		6	51,47	0,06	0,00	0,02	0,00	0,03	0,03	0,02	3,76	44,62	0,06	0,01	100,05	Py+Cu
		7	46,86	0,08	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	12,92	40,62	0,11	0,04	100,67	Py+Cu
		8	48,67	0,05	0,00	0,01	0,03	0,06	0,06	0,04	9,61	41,64	0,13	0,03	100,27	Py+Cu

Tab. 2. Skład chemiczny minerałów zidentyfikowanych przy zastosowaniu mikroskopy elektronowej [% wag.] przedstawionych na rycinie 8 (cd.)
 Table 2. Chemical composition of minerals identified by microprobe analysis [wt.%] presented at Figure 8 (cont.)

Litostratygrafia <i>Lithostratigraphy</i>	Próbka / Sample / micrograph	Punkt Point	S	Ca	Pb	Se	Al	Si	Zn	Cu	Fe	Ag	Cl	Suma Total	Identyfikacja* <i>Identification**</i>	
Wapień podstawowy <i>Basal Limestone</i>	46/8E	1	26,02	0,14	0,04	0,03	0,01	0,03	0,05	61,59	11,69	0,27	0,02	99,86	Bn	
		2	26,13	0,13	0,00	0,02	0,01	0,02	0,05	62,54	11,61	0,16	0,02	100,66	Bn	
		3	25,56	0,11	0,00	0,01	0,01	0,03	0,03	0,05	62,26	11,22	0,21	0,03	99,46	Bn
		4	26,22	0,05	0,00	0,01	0,00	0,03	0,03	0,11	62,75	11,70	0,11	0,01	100,98	Bn
		5	26,19	0,16	0,00	0,02	0,03	0,07	0,07	0,09	61,18	10,98	0,37	0,02	99,08	Bn
Biały spagowiec <i>Weisslegend</i>	49/8F	6	53,82	0,19	0,00	0,01	0,00	0,04	0,07	0,75	46,28	0,00	0,06	101,17	Pyrite	
		7	41,93	0,11	0,00	0,01	0,01	0,06	0,06	0,06	23,54	33,31	0,06	0,01	99,09	Py+Cu
		8	30,96	0,18	0,00	0,01	0,01	0,02	0,05	0,04	55,03	14,70	0,43	0,04	101,41	Bn
Biały spagowiec <i>Weisslegend</i>	49/8F	1	34,67	0,24	0,00	0,15	0,01	0,03	0,00	34,34	30,12	0,00	0,00	99,57	Ccp	
		2	34,70	0,22	0,00	0,17	0,00	0,03	0,18	34,17	29,84	0,04	0,00	99,34	Ccp	
		3	34,32	0,25	0,00	0,12	0,02	0,05	0,05	0,00	34,22	30,41	0,00	0,00	99,38	Ccp
		4	33,63	0,28	0,00	0,17	0,02	0,08	0,08	0,02	34,15	30,71	0,04	0,00	99,10	Ccp
		5	26,98	0,23	11,43	8,17	0,03	0,06	0,06	0,06	28,35	24,89	0,07	0,00	100,26	Ccp+Cla

* Objaśnienia skrótów: Ccp – chalkopiryt, Bn – bornit, Py – piryt, Py+Cu – piryt z domieszką Cu; Gee – geeryt, Spi – spionkopit, Cla – claushtalit
 ** Abbreviations: Ccp – chalcopyrite, Bn – bornite, Py – pyrite, Py+Cu – pyrite with admixture of Cu; Gee – geerite, Spi – spionkopite, Cla – claushtalite

morficzne wprysnięcia (o średnicy do 180 μm) rozproszone w węglanowym tle skalnym lub zastępujące węglany (ryc. 7E, 8E). Powszechne są agregaty mineralne o znacznych rozmiarach do 200 μm średnicy, składające się z chalkopiryty, bornitu i piryty. Liczne są zrosty i wzajemne przerosty bornitowo-chalkopirytowe, zawierające pseudomorfozy po framboidach piryty (ryc. 7B, C, D, 8E, 11F). W bornicie spotyka się wzrostki galeny. Kowelin jest obecny przeważnie w postaci euhedralnych skupień o nieznacznych rozmiarach do 50 μm średnicy. Spotyka się zrosty kowelinowo-bornitowe oraz częściowe zastąpienia bornitu kowelinem (ryc. 7C, D, E). Amalgamaty srebra występują w formie drobnych izolowanych skupień oraz jako wzrostki w bornicie i chalkopirycie. Piryty występują w formie drobnych euhedralnych kryształów (do 5 μm średnicy) i framboidów rozproszonych w ciemnym tle skalnym. W badanych próbkach powszechne są kolejne stadia zastępowania piryty framboidalnego bornitem i kowelinem (ryc. 7C, D).

Biały spagowiec. Piaskowce białego spagowca zalegające poniżej serii rudnej (próbka 49) cechuje reliktowa mineralizacja kruszcowa (ryc. 7F, 8F), reprezentowana przez nieliczne drobne ziarna chalkopiryty i piryty (do 30 μm średnicy) z otoczkami drobnodispersyjnego pigmentu hematytowego. Powierzchnie ziaren siarczków są silnie zmienione, liczne są zatoki korozyjne. W chalkopirycie sporadycznie są spotykane wzrostki claushtalitu. W dolnej części są obecne otoczki ilasto-hematytowe wokół ziaren detrytycznych.

Obecna ocena złożowa

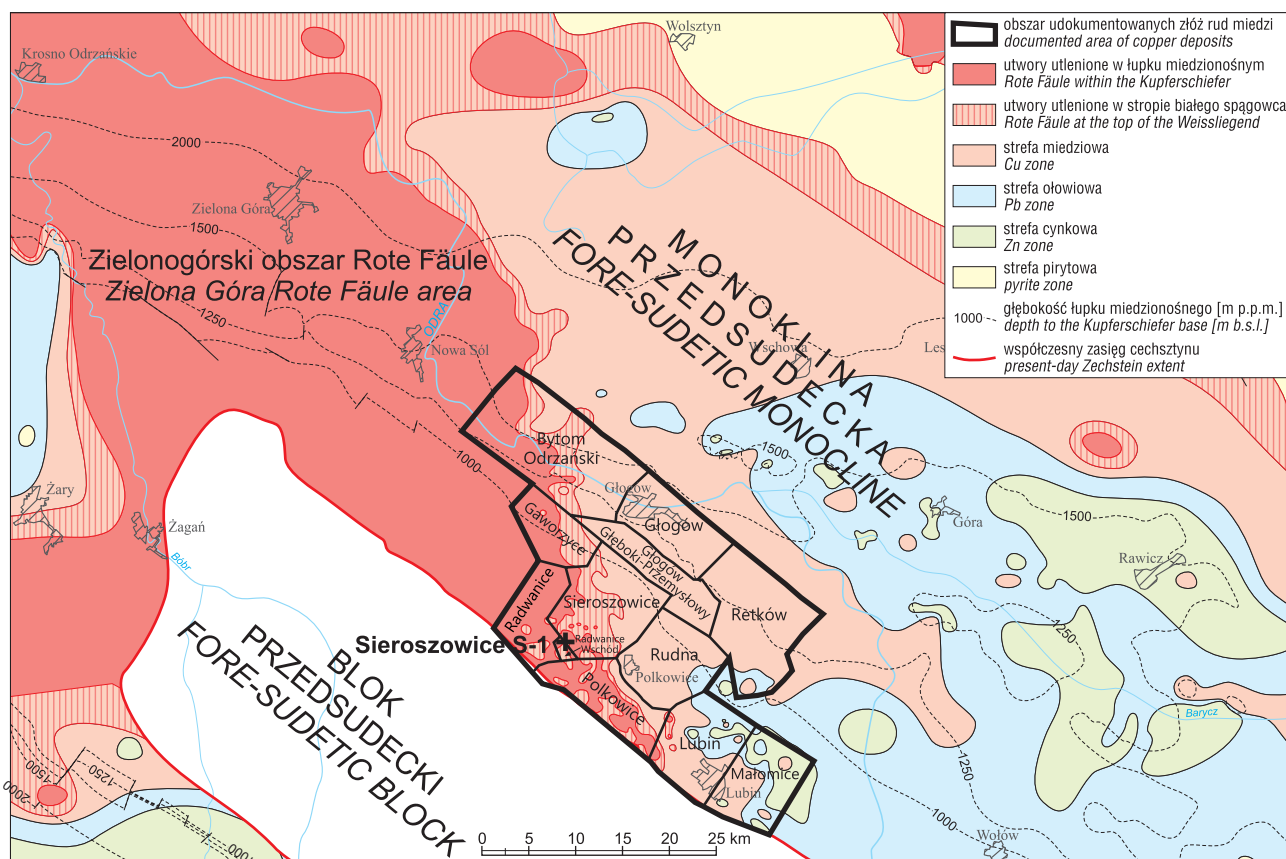
Jak wynika z przeprowadzonych badań, mineralizacja kruszcowa w omawianym otworze występuje w utworach wapienia podstawowego, łupku miedzionośnego i wapienia cechsztyńskiego o cechach redukcyjnych. Jest ona na ogół zdominowana przez siarczki typu Cu-Fe-S (chalkopiryt i bornit), rzadziej przez siarczki typu Cu-S (chalkozyn, digenit, kowelin, sporadycznie geeryt i spionkopit) (ryc. 4). Z tych względów, otwór Sieroszowice S-1 sytuuje się w strefie miedzionośnej, przylegającej do zielonogórskiego obszaru utlenionego (Oszczepalski & Rydzewski, 1997; Oszczepalski & Speczik, 2011; Oszczepalski i in., 2016). W strefie tej przeważa mineralizacja chalkopirytowa (Pieczonka, 2011).

Piaskowce białego spagowca, o cechach wskazujących na wtórne utlenienie, zawierają bardzo ubogą mineralizację reprezentowaną przez nieliczne relikty siarczków zastępowanych lub korodowanych hematytom. Obecność reliktowej mineralizacji kruszcowej wskazuje na to, że piaskowce stanowią tzw. strefę przejściową pomiędzy skałami intensywnie pierwotnie utlenionymi a skałami powstałymi w warunkach redukcyjnych. Już w trakcie sporządzania pierwszej dokumentacji złoża Lubin-Sieroszowice zwrócono uwagę na fakt, że

nie tylko w otworze Siersoszowice S-1, ale także w kilku otworach usytuowanych w kierunku na zachód od niego, spagowe utwory cechsztynu są wykształcone w facji utlenionej, nie zawierającej mineralizacji siarczkowej (Rydzewski, 1959, 1964). Późniejsze badania prowadzone na monoklinie przedsudeckiej wykazały powszechność procesów utleniania szczególnie w zachodnich częściach obszaru dokumentacyjnego złoża Lubin–Siersoszowice na pograniczu z zielonogórskim obszarem, w którym znajdują się utwory wtórnie utlenione. Przez stwierdzenie po raz pierwszy strefy przejściowej między utworami wtórnie utlenionymi i utworami o cechach redukcyjnych wykazano (Oszczepalski & Rydzewski, 1991), że procesy mineralizacji przebiegały od dołu ku górze oraz na zewnątrz od centrów występowania utworów utlenionych, prowadząc równocześnie do powiększania pionowego i lateralnego zasięgu strefy utlenionej oraz depozycji metali w sposób strefowy wokół regionów z utworami wtórnie utlenionymi. Obecnie wiadomo, że badany otwór zajmuje pozycję na skraju jednego z drobnych pól, w których są utlenione jedynie utwory białego spagowca, otoczonego obszarami o intensywniejszych przeobrażeniach, gdzie utlenienie obejmuje nie tylko piaskowce, lecz także łupek miedzionośny i dolną część wapienia cechsztyńskiego (ryc. 12). Relikty siarczków w otoczeniu tlenków żelaza wskazują na to, że pierwotnie obecne minerały kruszcowe uległy całkowitemu lub częściowemu wyługowaniu przez ascenzyjne roztwory mineralizujące, a zachowane relikty siarczków świadczą o tym, że procesy hematyzacji i zastępowania siarczków miedzi przez tlenki żelaza zachodziły wskutek posedymentacyjnego utleniania osadów (Rydzewski, 1969,

1978; Oszczepalski, 1994, 1999; Oszczepalski i in., 2002; Chmielewski, 2011, 2014). Liczne tekstury wzajemnego zastępowania siarczków, w tym pseudomorfozy siarczków miedzi po framboidalnym pirycie, obserwowane powszechnie w strefie miedzionośnej (Oszczepalski & Rydzewski, 1991; Oszczepalski, 1999), również w badanym otworze, świadczą o formowaniu się mineralizacji miedziowej po powstaniu wczesnodiagenetycznych framboidów pirytu wskutek ascenzyjnej i lateralnej migracji roztworów mineralizujących na zewnątrz od centrów utleniania. Z tych względów, śledzenie granicy pomiędzy strefą utleniania i redukcji stanowi zasadnicze kryterium poszukiwawcze.

Zgodnie z wyznaczonymi Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 22 grudnia 2011 r. granicznymi wartościami parametrów definiujących złoża i jego granice dla pokładowych stratoidalnych złóż rud miedzi, przy minimalnej zawartości miedzi w próbce konturującej złoża w wysokości 0,5% Cu (ryc. 4 i 5) i minimalnej zasobności 35 kg/m² Cu_e, w otworze Siersoszowice S-1 istnieje interwał rudny o miąższości 2,31 m, średniej ważonej zawartości 1,39% Cu i zasobności miedzi 82,88 kg/m². Wartości tych parametrów są zaniżone, gdyż ze względu na brak dokładnych wyników oznaczeń srebra, nie jest możliwe obliczenie parametrów złożowych z uwzględnieniem srebra, w tym średniej ważonej zawartości ekwiwalentnej miedzi i zasobności Cu_e. Jednak, mając na względzie zawartości w granicach od 10 do 100 ppm Ag (por. Ważny, 1964), istnieje przypuszczenie, że w otworze tym serię złożową może cechować wysoka zasobność Cu_e w granicach od 85 do niemal 140 kg/m².



Ryc. 12. Usytuowanie otworu Siersoszowice S-1 na tle strefowości rozkładu metali w utworach cechsztyńskiej serii miedzionośnej
Fig. 12. Location of the Siersoszowice S-1 borehole on the background of metal zonation in the Zechstein copper-bearing series

W badanym otworze nie stwierdzono wysokich koncentracji złota i platynowców, niemniej utlenione piaskowce, w porównaniu z utworami facji redukcyjnej bogatymi w miedź, cechują się nieznacznym wzbogaceniem w złoto, a w mniejszym stopniu także w pallad. Z badań tych wynika (ryc. 5), że najwyższe koncentracje złota (w granicach 39–92 ppb) i palladu (12–30 ppb) przypadają na górną część białego spągowca, reprezentowanego przez utwory utlenione o cechach typowych dla strefy przejściowej, natomiast koncentracje złota i platynowców w utworach spagowych cechsztynu, powstałych w warunkach redukcyjnych, są znacznie niższe (maksymalnie do 3 ppb Au, 11 ppb Pt i 10 ppb Pd). Podwyższone zawartości złota w piaskowcach należy wiązać z obecnością strefy przejściowej pomiędzy utworami utlenionymi Rote Fäule i redukcyjnymi, w której zazwyczaj występują najwyższe zawartości złota i platynowców (np. Piestrzyński i in., 1997; Oszczepalski & Rydzewski, 1998; Pieczonka i in., 1998; Oszczepalski, 2007).

Obecnie zarówno szacunki zasobowe, jak i forma występowania mineralizacji kruszcowej oraz złota w otworze Sieroszowice S-1, wciąż mają znaczenie dla zagospodarowania złóż, gdyż omawiany otwór znajduje się na pograniczu obszarów górniczych: Sieroszowice i Radwanice Wschód, objętych koncesjami wydobywczymi KGHM Polska Miedź S.A., na obszarze z niewyeksplloatowanymi dotąd zasobami bilansowymi (Nieć i in., 2007).

PODSUMOWANIE

Wykazano, że mineralizacja kruszcowa jest zdominowana siarczkami miedzi systemu Cu-Fe-S (chalkopiryt, bornit), które występują w towarzystwie digenitu, kowelinu i pirytu, rzadziej galeny i sfalerytu. W jednym z poziomów serii rudnej przeważa chalkozyn w towarzystwie bornitu. Dzięki szczegółowemu zbadaniu minerałów należących do grupy Cu-S stwierdzono, że chalkozyn, digenit i kowelin są minerałami towarzyszącymi mineralizacji chalkopirytowo-bornitowej. Oprócz nich, w niektórych próbkach ze spągu wapienia cechsztyńskiego na granicy z łupkiem miedzianożnym zidentyfikowano przy zastosowaniu mikroskopy elektronowej geeryt i spionkopit, stanowiące składniki asocjacji chalkopirytowo-bornitowej. Stwierdzono obecność wcześniej nieoznaczonych minerałów, takich jak: srebro rodzime, amalgamaty srebra i clauthalit. Zaobserwowano powszechną obecność chalkozynowych, kowelinowych, bornitowych i chalkopirytowych pseudomorfoz po framboidalnym piryście. Dodatkowo badania w mikroobszarze w spągowej próbce wapienia cechsztyńskiego ujawniły obecność licznych przejściowych faz pirytu, a także popirytowe niestechiometryczne związki żelaza i siarki z dużą domieszką miedzi (do 25% wag.) oraz podstawienia Ag w chalkopirycie (do 0,88% wag.).

Oprócz serii rudnej zbadano mineralizację kruszcową w piaskowcach białego spągowca (czego nie zrobiono w trakcie sporządzania dokumentacji), ujawniając mineralizację reliktową, reprezentowaną przez sporadycznie występujące ziarna chalkopiryty i piryty, korodowane lub zastępowane tlenkami żelaza, wskazującą na utleniające przeobrażenie pierwotnie okruszczonych skał. Charakterystyczne dla tych piaskowców są podwyższone zawartości złota. Obecność utworów wtórnie utlenionych Rote Fäule w piaskowcach podścielających serię rudną oraz bogatej mine-

ralizacji miedziowej bezpośrednio ponad utworami utlenionymi świadczy o ascenzyjnej migracji roztworów mineralizujących.

Ze względu na historyczne znaczenie otworu Sieroszowice S-1, jako otworu odkrywczego, zachowane rdzenie zostały obecnie zaklasyfikowane do otworów wymagających zabezpieczenia, a rdzenie z serią rudną stanowią niezwykle cenny eksponat udostępniany podczas kolejnych rocznicowych uroczystości.

Autorzy dziękują prof. Krzysztofowi Szamałkowi i dr. Krzysztofowi Nejbortowi za recenzję artykułu. Badania, których wyniki przedstawiono w artykule, zostały wykonane w ramach tematu 61-6505-1501-00-0 oraz projektu „Zabezpieczenie stratotypowych odcinków rdzeni wiertniczych”, zrealizowanego pod kierunkiem dr Krzysztofa Leszczyńskiego, finansowanego przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.

LITERATURA

- BANASZAK A. & LESZCZYŃSKI R. 2007 – Historia dokumentowania złóż rud miedzi w rejonie LGOM. [W:] Oszczepalski S. (red.), Geologiczne, gospodarcze i społeczne znaczenie odkrycia złoża rud miedzi. Biul. Państw. Inst. Geol., 423: 43–58.
- BERGER F. 1932 – Zur Geologie des tieferen Untergrundes der Umgebung von Breslau. *Ib. Schles. Ges. Vaterl. Kultur.*, 105.
- CHMIELEWSKI A. 2011 – Zmienność mineralizacji kruszcowej w spagowych utworach cechsztynu na granicy strefy utlenionej i redukcyjnej w zachodniej części złoża Polkowice. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 444: 33–45.
- CHMIELEWSKI A. 2014 – Charakterystyka reliktywnej mineralizacji kruszcowej w zachodniej części obszaru złożowego Radwanice (południowo-zachodnia część złoża Lubin–Sieroszowice). *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 458: 1–24.
- DADLEZ R., MAREK S. & POKORSKI J. 2000 – Mapa geologiczna Polski bez utworów kenozoiku. Państw. Inst. Geol., Warszawa
- EISENTRAUT O. 1939 – Der niederschlesische Zechstein und seine Kupferlagerstätte. *Arch. Lagerst. Forsch. W. F.*, Bd 71: 1–116.
- GOSPODARCZYK E. 1976 – Z dziejów badań i poszukiwań złóż rud miedzi w Polsce w ostatnim 30-leciu. *Prz. Geol.*, 24 (4): 181–185.
- KACZMAREK W. & ROŻEK R. 2006 – Historia poszukiwań i rozpoznania złóż rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej w okresie powojennym. *Pr. Nauk. Inst. Gór. PWroc.*, 117, Studia i Materiały, 32: 113–121.
- KŁAPCZYŃSKI J., KONSTANTYNOWICZ E., SALSKI W., KIENIG E., PREIDL M., DUBIŃSKI K. & DROZDOWSKI S. 1984 – Atlas obszaru miedzianożnego (monoklina przedsudecka). Wyd. Śląsk. Katowice.
- NIEĆ M., KICKI J., BANASZAK A., LESZCZYŃSKI R. & TOMANIK R. 2007 – Zasoby złóż rud miedzi. [W:] Piestrzyński A., Banaszak A., Zaleska-Kuczmiarczyk M. (red.), Monografia KGHM Polska Miedź SA, wydanie II. Allexim sp. z o.o., Wrocław: 246–258.
- OSZCZEPALSKI S. 1994 – Oxidative alteration of the Kupferschiefer in Poland: oxide-sulphide parageneses and implications for ore-forming models. *Kwart. Geol.*, 38: 651–672.
- OSZCZEPALSKI S. 1999 – Origin of the Kupferschiefer polymetallic mineralization in Poland. *Mineral. Deposita*, 34: 599–613.
- OSZCZEPALSKI S. 2007 – Mineralizacja Au-Pt-Pd w cechsztyńskiej serii miedzianożnej na obszarach rezerwowych górnictwa miedziowego. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 423: 109–124.
- OSZCZEPALSKI S. & CHMIELEWSKI A. 2015 – Badania mineralizacji kruszcowej w otworze Sieroszowice S-1. [W:] Leszczyński K. (red.), Zabezpieczenie stratotypowych odcinków rdzeni wiertniczych. *Narod. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa.
- OSZCZEPALSKI S. & RYDZEWSKI A. 1991 – The Kupferschiefer mineralization in Poland. *Zbl. Geol. Paläont.*, I, 4: 975–999.
- OSZCZEPALSKI S. & RYDZEWSKI A. 1997 – Atlas metalogiczny cechsztyńskiej serii miedzianożnej w Polsce. Państw. Inst. Geol., Wyd. Kartogr. Polskiej Agencji Ekol. SA. Warszawa.
- OSZCZEPALSKI S. & RYDZEWSKI A. 1998 – Złoto, platyna i pallad w złożu Lubin–Sieroszowice na podstawie danych z otworów wiertniczych. *Pr. Specjalne PTM*, 10: 51–70.
- OSZCZEPALSKI S. & SPECZIK S. 2011 – Rudy miedzi i srebra. [W:] Wołkiewicz S., Smakowski T., Speczik S. (red.), Bilans zasobów perspektywicznych kopalni Polski wg stanu na 31.XII.2009 r. Państw. Inst. Geol., Warszawa: 76–93.

- OSZCZEPALSKI S., NOWAK G.J., BECHTEL A. & ŽÁK K. 2002 – Evidence of oxidation of the Kupferschiefer at Lubin–Sieroszowice deposit: Implications for Cu–Ag and Au–Pt–Pd mineralization. *Geol. Quart.*, 46 (1): 1–23.
- OSZCZEPALSKI S., SPECZIK S., MAŁECKA K. & CHMIELEWSKI A. 2016 – Prospective copper resources in Poland. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management*, 32 (2): 5–30.
- PERYT T.M. & OSZCZEPALSKI S. 2007 – Stratygrafia serii złożowej. [W:] Piestrzyński A., Banaszak A., Zaleska-Kuczmiarczyk M. (red.), *Monografia KGHM Polska Miedź SA*, wydanie II. Allexim sp. z o.o., Wrocław: 108–111.
- PIECZONKA J. 2011 – Prawidłowości w rozmieszczeniu minerałów kruszcowych w złożu rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej. *Wydawnictwa AGH, Kraków*, s. 195.
- PIECZONKA J., PIESTRZYŃSKI A., GŁUSZEK A. & MICHALIK A. 1998 – Występowanie złota, platyny i palladu w obszarze złożowym Polkowice–Sieroszowice. *Pr. Specjalne PTM*, 10: 71–86.
- PIESTRZYŃSKI A., PIECZONKA J., SPECZIK S., OSZCZEPALSKI S. & BANASZAK A. 1997 – Noble metals from the Kupferschiefer-type deposits, Lubin–Sieroszowice, SW Poland. [W:] Papunen H. (red.), *Mineral Deposits: Resources and Exploration – Where do They Meet?* Balkema, Rotterdam: 563–566.
- PREIDL M., DUBIŃSKI K., KONSTANTYNOWICZ E. & TOMASZEWSKI J. 1971 – Złoże rud miedzi strefy przedsudeckiej. [W:] Konstantynowicz E. (red.), *Monografia przemysłu miedziowego w Polsce*. Wyd. Geol., Warszawa: 111–231.
- PREIDL M., NIEĆ M. & MUCHA J. 2007 – Dokumentowanie, metoda rozpoznania i opróbowanie złoża. [W:] Piestrzyński A., Banaszak A., Zaleska-Kuczmiarczyk M. (red.), *Monografia KGHM Polska Miedź SA*, wydanie II. Allexim sp. z o.o., Wrocław: 148–157.
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dnia 22 grudnia 2011 r. Dz.U. nr 291, poz. 1712.
- RYDZEWSKI A. 1959 – Charakter mineralizacji kruszcowej złoża. Charakterystyka petrograficzna utworów dolnego cechsztynu złoża Lubin–Sieroszowice. [W:] Wyżykowski J. (red.), *Dokumentacja złoża rud miedzi Sieroszowice–Lubin*. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- RYDZEWSKI A. 1964 – Charakterystyka petrograficzno-mineralogiczna utworów dolnego cechsztynu w rejonie złoża miedzi Lubin–Sieroszowice. [W:] Miedzioność cechsztynu strefy przedsudeckiej. *Pr. Inst. Geol.*: 59–84.
- RYDZEWSKI A. 1969 – Petrografia łupków miedzionośnych cechsztynu na monoklinie przedsudeckiej. *Biul. Inst. Geol.*, 217: 113–167.
- RYDZEWSKI A. 1978 – Facja utleniona cechsztyńskiego łupku miedzionośnego na obszarze monokliny przedsudeckiej. *Prz. Geol.*, 26 (2): 102–108.
- RYDZEWSKI A. 1996 – Historia odkrycia nowego zagłębia miedziowego. [W:] Piestrzyński A. (red.), *Monografia KGHM Polska Miedź SA. CBPM Cuprum, Lubin*: 29–36.
- WAŻNY H. 1964 – Badania nad rozmieszczeniem metali ciężkich w dolno-cechsztyńskich osadach miedzionośnych niecki północnosudeckiej i rejonu Lubina–Sieroszowice. [W:] Miedzioność cechsztynu strefy przedsudeckiej. *Pr. Inst. Geol.*: 85–100.
- WYŻYKOWSKI J. 1958 – Poszukiwania rud miedzi na obszarze strefy przedsudeckiej. *Prz. Geol.*, 6 (1): 17–22.
- WYŻYKOWSKI J. 1959 – Dokumentacja złoża rud miedzi Sieroszowice–Lubin. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- WYŻYKOWSKI J. 1964 – Zagadnienie miedzioności cechsztynu na tle budowy geologicznej strefy przedsudeckiej. [W:] Miedzioność cechsztynu strefy przedsudeckiej. *Pr. Inst. Geol.*: 5–57.
- ZWIERZYCKI J. 1951 – Sole potasowe na północ od Wrocławia. *Pr. Inst. Geol.*, 7: 257–295.