

ZMIENNOŚĆ MINERALIZACJI KRUSZCOWEJ W SPĄGOWYCH UTWORACH CECHSZTYNU NA GRANICY STREFY UTLENIONEJ I REDUKCYJNEJ W ZACHODNIEJ CZĘŚCI ZŁOŻA POLKOWICE

VARIABILITY OF ORE MINERALIZATION IN THE LOWERMOST ZECHSTEIN ACROSS THE REDOX INTERFACE IN THE WESTERN PART OF THE POLKOWICE DEPOSIT

ANDRZEJ CHMIELEWSKI¹

Abstrakt. Przedmiotem niniejszej pracy jest zmienność mineralizacji kruszcowej na granicy strefy utlenionej i redukcyjnej w profilach cechsztyńskiej serii miedzionośnej z archiwalnych otworów wiertniczych, usytuowanych w zachodniej części złoża Polkowice, w najbliższym sąsiedztwie bloku przedsudeckiego. Zidentyfikowano następujące minerały kruszcowe: chalkozyn, kowelin, digenit, tennantyt, bornit, chalkopiryt, kobaltyn, skuterudyt, nikielin, rammelsbergit, piryt, galenę, sfaleryt i markasyt. Określono budowę wewnętrzną skał złożowych, relacje pomiędzy składnikami skał oraz opisano litologię tych utworów. Zmienność mineralizacji kruszcowej w profilach wiertniczych serii złożowej wskazuje na występowanie bogatej mineralizacji miedziowej ponad utworami utlenionymi (głównie w formie rozproszonej) oraz obecność złota w utworach utlenionych (złoto submikroskopowe).

Słowa kluczowe: mineralizacja kruszcowa, strefa utleniona, strefa przejściowa, strefa redukcyjna, łupek miedzionośny, cechsztyln.

Abstract. A full-scale investigation into variability of ore mineralization at the contact between oxidized and reduced zone in the copper-bearing Zechstein series was performed. Results of the studies were obtained on the basis of archival boreholes located in the western part of the Polkowice mining area, proximal to the Fore-Sudetic Block. Detailed microscopic observations enabled to identify the following ore minerals: chalcocite, covellite, digenite, tennantite, bornite, chalcopyrite, cobaltite, skutterudite, nickeline, rammelsbergite, pyrite, galena, sphalerite and marcasite. Microscopic observations allowed determining some features of host sediments (textures and structures) and establishing relations between constituents of rocks. Petrographic analysis of thin-sections also allowed describing the lithology of the rocks. The variability of ore mineralization in the boreholes indicates the occurrence of high-grade copper ores (mainly disseminated mineralization) above the oxidized zones, and the presence of submicroscopic gold in oxidized rocks.

Key words: ore mineralization, Rote Fäule, transition zone, reducing zone, Kupferschiefer, Zechstein.

WSTĘP

Dotychczasowe prace badawcze, prowadzone na obszarze monokliny przedsudeckiej, ujawniły zależność występowania złóż Cu–Ag od utworów utlenionych Rote Fäule, wskazując na zasadnicze kryterium poszukiwawcze, jakim

stał się zasięg utworów utlenionych (Rydzewski, 1964, 1978; Konstantynowicz red., 1971; Michalik, 1979; Oszczepalski, Rydzewski, 1991, 1997).

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00–975 Warszawa; e-mail: andrzejchmielewski84@gmail.com

Strefy z utworami utlenionymi rozmieszczone są w sposób nieregularny; występują przede wszystkim w otoczeniu złóż Cu–Ag, ale także w ich obrębie, a ich rozmiary geometryczne charakteryzują się wysoką zmiennością. Zasadnicze kruszce, będące nośnikami metali głównych i towarzyszących, rozmieszczone są strefowo w stosunku do geochemicznej facji utlenionej. Kruszcze ułożone są koncentrycznie wokół rejonów zmineralizowanych tlenkami żelaza (hematyt, getyt); dominują siarczki miedzi, a następnie kolejno siarczki ołowiu, cynku i żelaza. Z utworami utlenionymi związane są podwyższone koncentracje złota, platyny i palladu (Piestrzyński i in., 1996; Oszczepalski i in., 1997; Piestrzyński, Pieczonka, 1997; Speczik i in., 1997; Oszczepalski, Rydzewski, 1998; Pieczonka i in., 1998). Wykazano postdepozycyjny mechanizm powstawania złóż rud Cu–Ag oraz wzbogaceń w metale szlachetne (Speczik, 1995; Kucha, Przybyłowicz, 1999; Oszczepalski, 1999; Piestrzyński, Wodzicki, 2000; Śliwiński, 2000; Bechtel i in., 2002; Oszcze-

palski i in., 2002; Kucha, 2007; Piestrzyński, 2007; Pieczonka i in., 2008).

Zasadniczym celem niniejszej pracy jest określenie prawidłowości rozmieszczenia minerałów kruszcowych oraz zmienności mineralizacji kruszcowej na granicy strefy utlenionej i redukcyjnej na podstawie profili cechsztyńskiej serii miedzionośnej z archiwalnych otworów wiertniczych, usytuowanych w najbliższym sąsiedztwie bloku przedsudeckiego, w zachodniej części złoża Polkowice. Znajomość pionowego i lateralnego kontaktu facji utlenionej i redukcyjnej w poszczególnych jednostkach litostratygraficznych oraz rozkładu i strefowości występowania mineralizacji kruszcowej umożliwi wyznaczenie obszarów negatywnych oraz typowanie obszarów prognostycznych i perspektywicznych. Uzyskane informacje pozwolą na ukierunkowanie prac poszukiwawczo-badawczych rud miedzi i srebra oraz wyznaczenie obszarów występowania złota, platyny i palladu.

METODYKA BADAŃ

Próbki do badań pobrano z rdzeni wiertniczych, znajdujących się w magazynie Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego (PIG–PIB) w Michałowie. Pobrano 56 próbek z rdzeni otworów: S-205, S-236 i S-247 (fig. 1) (Chmielewski, 2010). Materiał do badań wytypowano, biorąc pod uwagę makroskopowo widoczne okruszcowanie oraz dane geochemiczne zgromadzone w dokumentacjach otworowych i opracowaniach PIG–PIB. Obserwacje mikroskopowe w świetle odbitym przeprowadzono na Wydziale Geologii Uniwersytetu Warszawskiego, w Instytucie Geochemii, Mineralogii i Petrologii. Wykorzystano w nich mikroskop JENAPOL firmy Carl Zeiss oraz mikroskop do badań w świetle przechodzącym firmy Reichert. Dokumentację fotograficzną mineralizacji kruszcowej

sporządzono przy użyciu mikroskopu firmy Nikon z podłączoną kamerą Nikon Sight DS-5Mc. Dzięki badaniom mikroskopowym określono skład mineralny skał oraz zawartość minerałów kruszcowych w rudzie piaskowcowej, łupkowej oraz węglanowej. Obserwacje makro- i mikroskopowe oraz uzyskane wyniki analiz chemicznych wykonanych metodą spektralną umożliwiły konstrukcję schematycznych profili otworów S-247, S-14, S-234, S-66, S-236, S-240, S-204 i S-205 oraz ich korelację (fig. 2). Profile ilustrują przebieg granic poszczególnych facji geochemicznych w skałach cechsztyńskiej serii miedzionośnej. Na podstawie wyników powyższych badań sporządzono także wykresy zawartości metali: miedzi, cynku, ołowiu i złota w serii okruszcowanej z otworów: S-247, S-236, S-205 (fig. 4–6).

WYKSZTAŁCENIE LITOLOGICZNE CECHSZTYŃSKIEJ SERII MIEDZIONOŚNEJ NA PODSTAWIE ZBADANYCH PROFILI

Profil litologiczny złoża rud miedzi obejmuje piaskowce białego spągowca (Bs), łupkę miedzionośną (T1) i wapień cechsztyński (Ca1). Na tej podstawie wyróżnia się trzy typy litologiczne rud: piaskowcowe, łupkowe i węglanowe.

Piaskowce białego spągowca to dość monotonne utwory o barwie jasnoszarej lub szarej z odcieniem ciemnoszarym lub beżowym. Zmiana barwy jest uwarunkowana zawartością minerałów tlenkowych i materiału organicznego oraz rodzajem spoiwa. Pod mikroskopem piaskowce odznaczają się strukturą aleurytową lub aleurytowo-psamitową i teksturą bezładną, rzadziej słabo kierunkową. Materiał detrytyczny tych skał jest na ogół słabo obtoczony, jednak o dość dobrej selekcji ziarn. Średnica ziarn okruszczonych waha się w granicach 5–500 µm; przeważa 100–200 µm. Wśród

składników materiału okruszczowego dominują ziarna kwarcu. Zawierają one liczne wrostki tlenków żelaza i są otoczone minerałami ilastymi. Spoiwem tych skał są przeważnie węglany oraz minerały ilaste, a w spoiwie miejscami pojawiają się minerały tlenkowe (hematyt i getyt) lub siarczki metali.

Minerały w obrębie łupka miedzionośnego charakteryzuje znaczne zróżnicowanie ze względu na zmienność koncentracji składników, wśród których przeważają minerały ilaste, substancja organiczna, węglany oraz detryt (kwarc, skalenie, łyszczki, ziarna minerałów ciężkich, fragmenty skał). Barwa skał jest czarna i ciemnoszara, a w strefach utlenionych – brunatna lub brunatnoczerwona. Łupki odznaczają się strukturą pelitową i teksturą kierunkową, zaakcentowaną

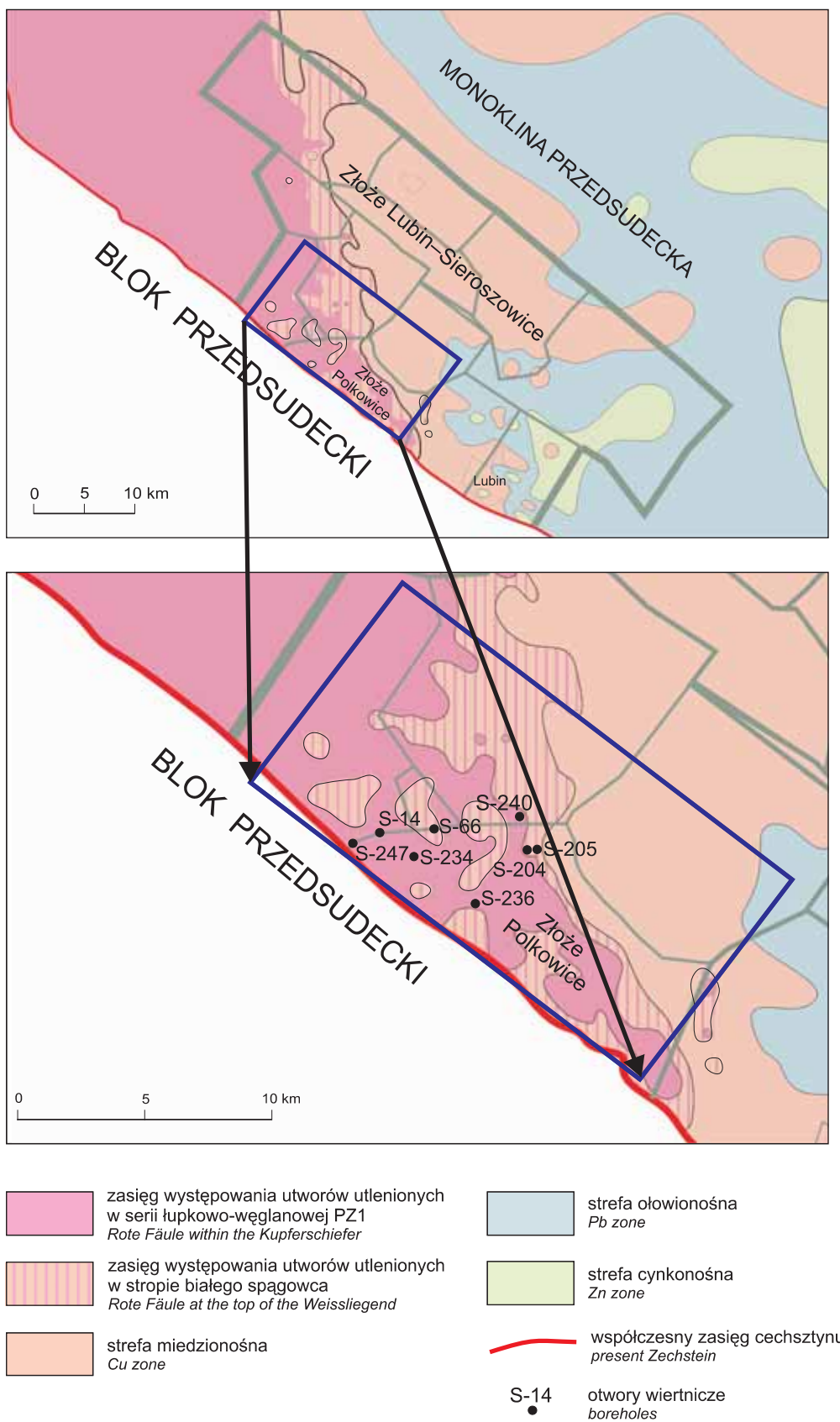


Fig. 1. Rozmieszczenie analizowanych otworów w pobliżu bloku przedsudeckiego, na tle zasięgu strefy utleniającej i stref metalicznych (wg Oszczepalskiego i Rydzewskiego, 1997)

Location of boreholes near the Fore-Sudetic Block vs. oxidized area and metal zoning pattern (after Oszczepalski, Rydzewski, 1997)

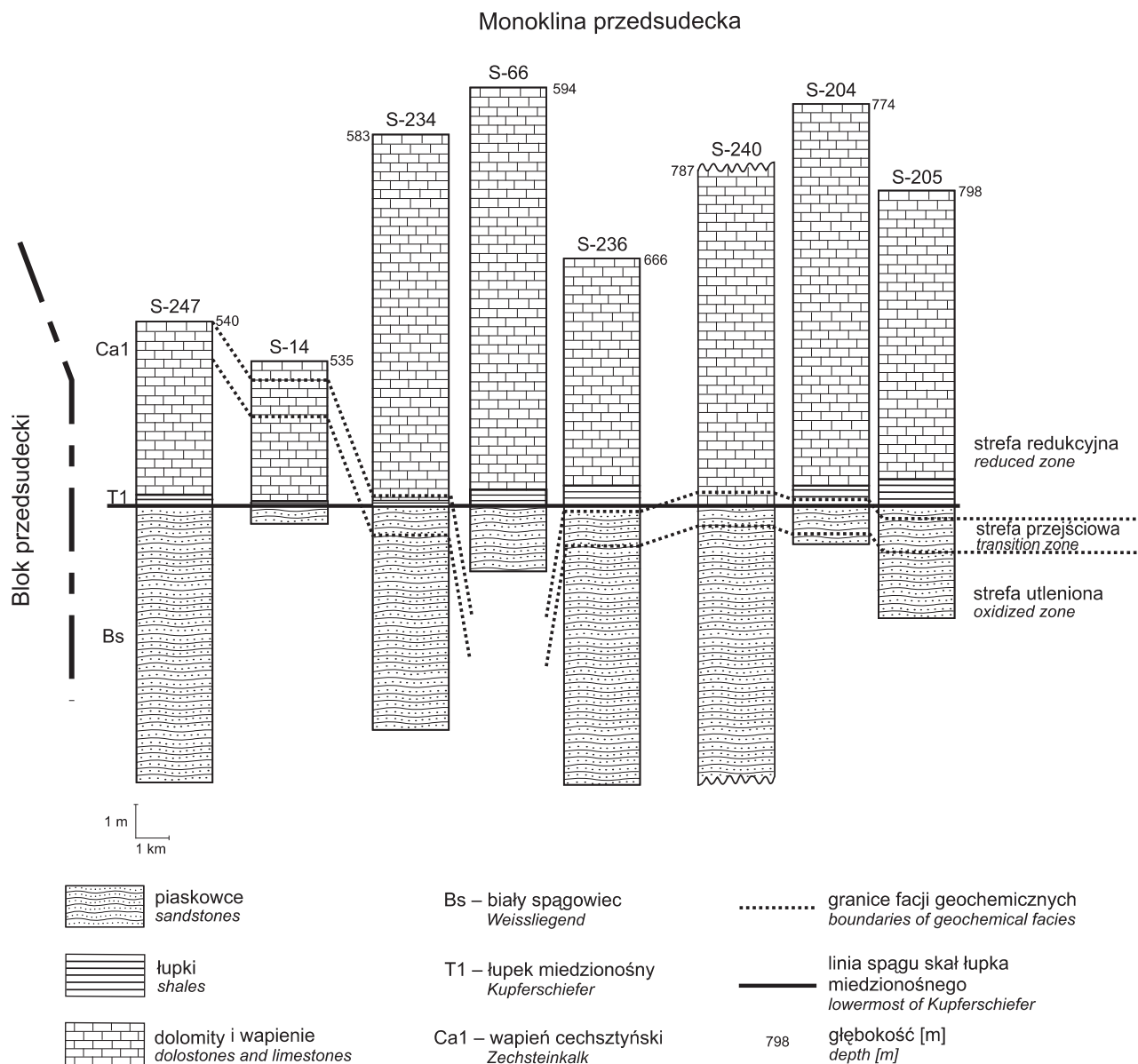


Fig. 2. Wykształcenie litologiczne utworów spągu cechsztynu w wybranych profilach w otoczeniu bloku przedsudeckiego

Lithology of the lowermost Zechstein in selected boreholes close to the Fore-Sudetic Block

laminami i smugami (grubości ok. kilkudziesięciu mikronów), zawierającymi substancję organiczną i ilastą, naprzemianległymi ze smugami węglanów drobnokrystalicznych. Występują tu liczne żyłki węglanowe o przebiegu zgodnym lub diagonalnym względem laminacji, niewykazujące ostrych granic z otoczeniem. Skała zawiera nieliczne ziarna węglanowe (przede wszystkim gruzełki algowe) oraz sporadycznie rozsiany detrytus organiczny, otwornice oraz fragmenty ramienionogów i małżów.

Wapień cechsztyński reprezentowany jest przez dolomity o zmiennej barwie, od szarej po ciemnoszarą z odcieniem

beżowym i brunatnym (w przypadku obecności tlenków żelaza). Powszechne są drobne szwy stylolitowe, na powierzchni których występuje substancja ilasto-bitumiczna wraz z drobnoziarnistą mineralizacją siarczkową o teksturze najczęściej bezładnej, słabo kierunkowej lub smużystej. Poszczególne kryształki węglanów w tych skałach osiągają wielkość od kilku do 100 μm . Spotyka się wydłużone i owalne gniazda wypełnione gipsem, anhydrytem lub sparytem kalcytowym oraz mikrożyłki gipsu i anhydrytu, złożone z kryształków ułożonych mozaikowo, wachlarzowo lub wykształconych w postaci włókien.

wych oraz inkrustują ich ziarna ksenomorficzne. Miejscami obecne są drobne ziarna siarczków miedzi (o wielkości do 25–30 μm), częściowo korodowane lub zastępowane hematytami, stanowiące reliktową formę mineralizacji siarczkowej, występującą w postaci rozproszonej w tle skalnym (tabl. I, fig. 3). W łupkach resztkowa (wskutek częściowego utlenienia) mineralizacja kruszcowa układa się w formie cienkich warstewek oraz drobnych soczewek w obrębie poszczególnych lamin, a w piaskowcach kruszce korodowane tlenkami żelaza tkwią w przestrzeni międzyziarnowej. Do-

minującym minerałem kruszcowym jest chalkozyn (tabl. I, fig. 2), któremu towarzyszą kowelin i bornit (tabl. I, fig. 3).

W strefie utlenionej maksymalna zawartość miedzi dochodzi do 0,7% (profil otworu S-247), a średnia zawartość w tej strefie ze wszystkich badanych profili wynosi około 0,05%. Największe koncentracje złota zanotowano w profilu otworu S-205 – maksymalnie do 5800 ppb w stropowych partiach piaskowców, podczas gdy przeciętne zawartości złota w tej strefie wynoszą około 2000 ppb (fig. 4–6).

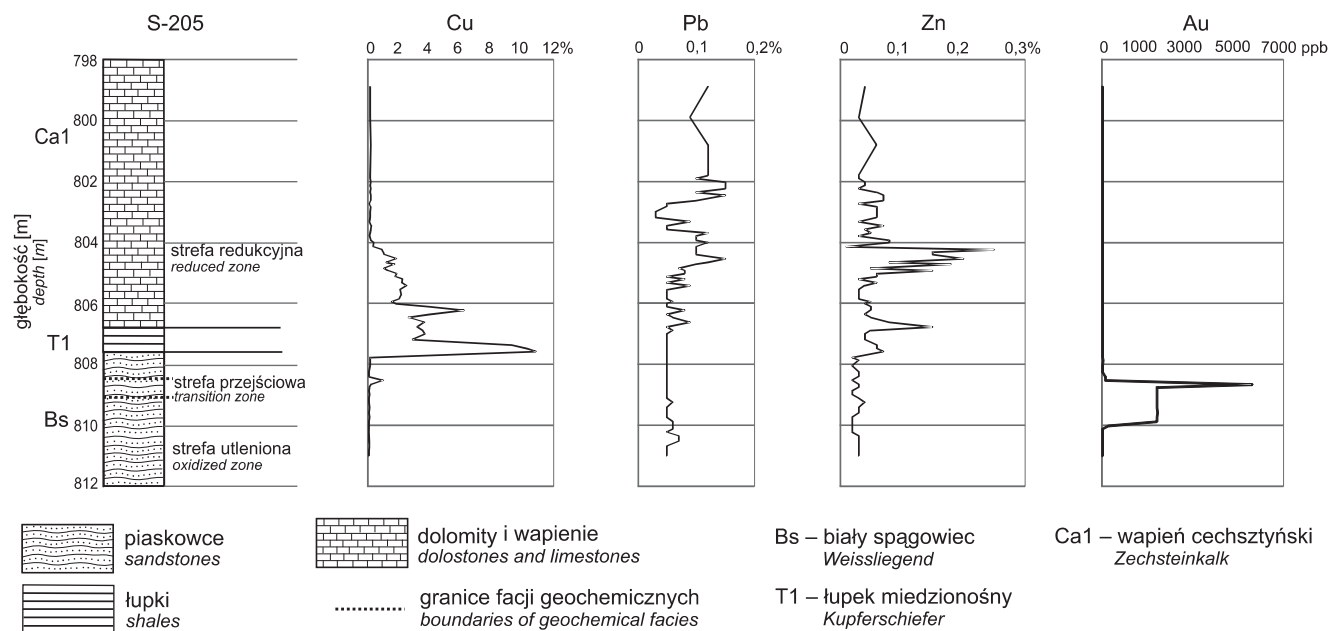


Fig. 4. Rozmieszczenie Cu, Zn, Pb i Au w profilu pionowym otworu wiertniczego S-205

Vertical distribution of Cu, Zn, Pb and Au in the S-205 borehole

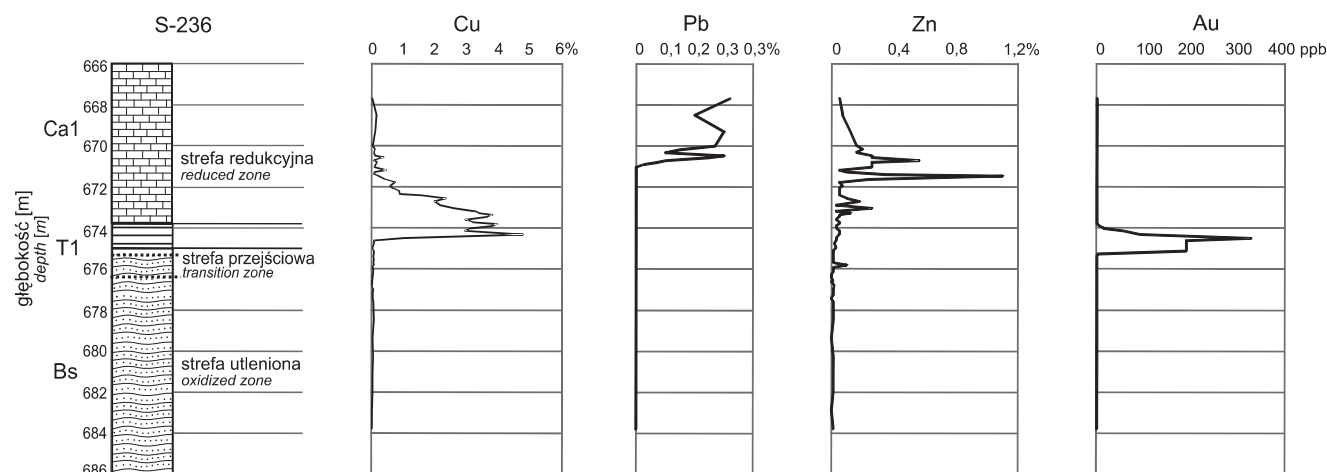


Fig. 5. Rozmieszczenie Cu, Zn, Pb i Au w profilu pionowym otworu wiertniczego S-236

Objaśnienia na figurze 4

Vertical distribution of Cu, Zn, Pb and Au in the S-236 borehole

For explanation see Figure 4

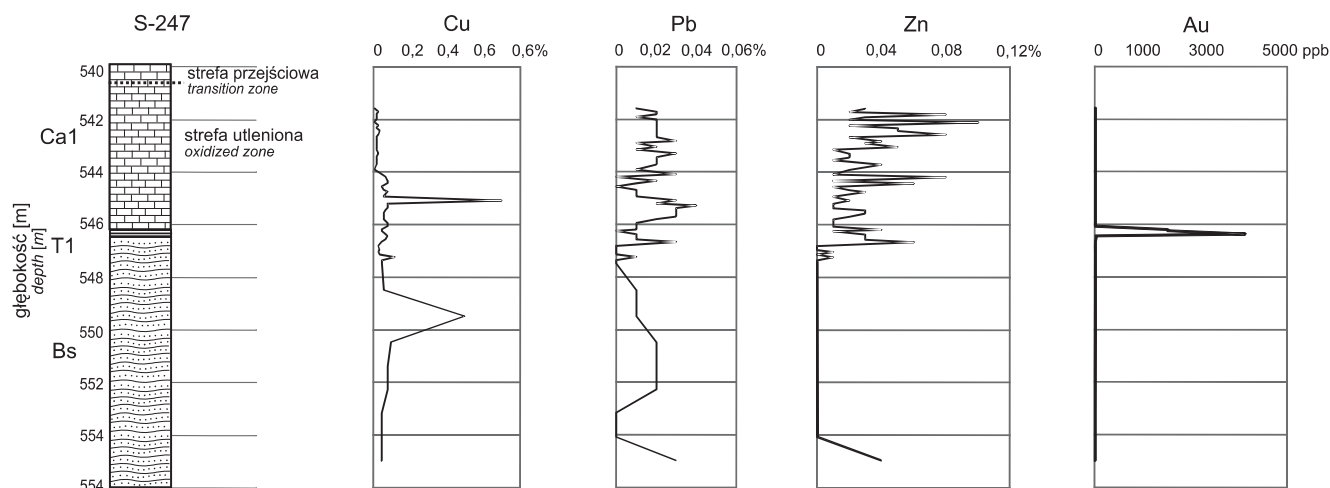


Fig. 6. Rozmieszczenie Cu, Zn, Pb i Au w profilu pionowym otworu wiertniczego S-247

Objaśnienia na [figurze 4](#)

Vertical distribution of Cu, Zn, Pb and Au in the S-247 borehole

For explanation see [Figure 4](#)

STREFA PRZEJŚCIOWA

Strefa przejściowa pomiędzy utworami zmineralizowanymi tlenkami żelaza oraz utworami okruszczowanymi siarczkami miedzi obecna jest w spągowych partiach wapienia cechsztyńskiego profilu otworu S-247 oraz w stropowych partiach piaskowców białego spągowca profili otworów S-236 i S-205. Strefa przejściowa jest strefą pośrednią między facją utlenioną i facją redukcyjną. Charakteryzuje się zmianą barwy od osadów czerwono-brunatnych (w strefie utlenionej), poprzez utwory szare z czerwonymi cętkami, plamami i pasemkami, do utworów ciemnoszarych i czarnych (w strefie redukcyjnej). Mineralami obserwowanymi w strefie przejściowej są zarówno tlenki żelaza, jak i siarczki miedzi oraz innych metali, lecz mineralizacja siarczkowa jest uboga. Hematyt tworzy wrostki w ziarnach detrytycznych oraz częściowo zastępuje siarczki miedzi ([tabl. I, fig. 5](#)). Spotyka się również hematyt listewkowy (wielkość wydzieleni hematytowych osiąga 15–20 μm średnicy) oraz drobnodispersyjny pigment hematytowy. Miejscami obecne są ziarna magnetytu i getytu. Tlenki żelaza tworzą liczne

i zróżnicowane formy: mikrokryształy (10–15 μm średnicy), agregaty mineralne (30–60 μm średnicy) oraz skupienia drobnych kryształów (wielkość skupień dochodzi do 80 μm średnicy). Minerale kruszcowe, reprezentowane głównie przez kowelin, bornit (pomarańczowy i wrzosewy), digenit i chalkozyn, występują w postaci drobnych, nieregularnych ziarn o charakterze reliktowym, rozproszonych w spoiwie oraz tle skalnym ([tabl. I, fig. 6](#)). Niektóre z ziarn siarczków poprzecinane są drobnymi żyłkami tlenków żelaza ([tabl. I, fig. 4](#)). Miejscami obecne są także tlenki miedzi (tenoryt w postaci rozproszonej oraz gniazdowej). Pojawiają się także drobne ziarna sfalerytu (średnica do 20 μm) oraz pojedyncze skupienia markasytu oraz galeny. Powszechne są gniazdowe koncentracje hematytu, lokalnie z zachowanymi resztkami siarczków w ich centrach.

W strefie przejściowej zanotowano nieznacznie podwyższoną względem strefy utlenionej średnią zawartość miedzi, mieszczącą się w granicach 0,06–0,08%, a średnia zawartość złota w opisywanej strefie wynosi około 150 ppb ([fig. 4–6](#)).

STREFA REDUKCYJNA

Utwory facji redukcyjnej występują w otworach S-236 i S-205 bezpośrednio nad utworami strefy przejściowej, obejmując łupek miedzionośny i wapień cechsztyński. Strefę redukcyjną wyróżnia obecność minerałów siarczkowych grup Cu–S i Cu–Fe–S oraz siarczków żelaza, brak tlenków żelaza oraz czarna lub ciemnoszara barwa skał związana z obecnością materii organicznej. Mineralizacja jest reprezentowana głównie przez kruszce rozproszone, występujące

w postaci drobnych ziarn o średnicy od 20 μm do 40 μm . Jest to najważniejszy typ okruszczowania ze względu na dużą zawartość procentową siarczków w stosunku do całej objętości skały (siarczki stanowią miejscami około 7–10% objętości skały). Obserwuje się także duże skupienia siarczków o średnicy do 300 μm ([tabl. II, fig. 1](#)), soczewek i gniazd o średnicy do 100 μm , a także drobnych żyłek i smug wypełniających spękania i pustki w skale.

Mineralizacja kruszcowa strefy redukcyjnej zdominowana jest przez asocjację chalkozynowo-digenitowo-bornitową (tabl. II, fig. 1, 3), z którą lokalnie współwystępuje kowelin, tennantyt (tabl. II, fig. 2) oraz piryt. Mineralizacja kruszcowa (chalkozyn, kowelin, digenit i bornit) towarzyszy gniazdom i mikrożyłkom węglanowym, przebiegającym zgodnie lub skośnie do laminacji. Minerale kruszczowe wypełniają spękania i zastępują drobne bioturbacje. Miejscami ziarna detrytyczne zaimpregnowane są przez kruszce. Obserwuje się liczne framboidy oraz mikrolity pirytowe, które miejscami zastępowane są przez chalkozyn oraz digenit, czego przykładem mogą być struktury słonecznikowe, w których chalkozyn współwystępuje z pirytem. W chalkozynie miejscami występują liczne wrostki pirytu oraz nikielinu–ram-

melsbergitu. Spotyka się także oddzielne ziarna nikielinu i rammelsbergitu oraz podrzędnie kobaltynu. Powszechny jest efekt procesu kowelinizacji i bornityzacji digenitu i chalkozynu oraz zrosty i przerosty minerałów siarczkowych (tabl. II, fig. 4).

Strefę redukcyjną charakteryzuje największa średnia koncentracja miedzi, która wynosi w analizowanych profilach około 3%. Najwyższe zawartości występują w utworach łupkowych profilu otworu S-205 i dochodzą tam do 11%. Złoto w utworach strefy redukcyjnej występuje w śladowych ilościach. Jedynie w spągowych partiach omawianej strefy, w profilach otworów S-205 i S-236, koncentracja tego pierwiastka sięga kilku ppb (fig. 4, 5).

WNIOSKI

Mineralizacja kruszcowa w spągowych utworach cechsztynu zachodniej części złoża Polkowice związana jest z różnymi ogniwami litologicznymi cechsztyńskiej serii miedzionośnej. Wyniki badań mikroskopowych oraz analizy chemiczne wskazują, iż pomimo niewielkiej odległości, zbadane profile wykazują znaczną odmienność w pionowym zasięgu strefy utlenionej, w charakterze mineralizacji kruszczowej oraz w jej pozycji względem utworów utlenionych.

Wykonane badania pozwalają na sformułowanie następujących prawidłowości rozmieszczenia mineralizacji w omawianym rejonie:

1. Przecinanie granic litologicznych i stratygraficznych przez powierzchnie rozgraniczające poszczególne facje geochemiczne.

2. Występowanie najbogatszej mineralizacji kruszczowej bezpośrednio nad utworami utlenionymi. Dominuje tu rozproszona mineralizacja miedziowa, reprezentowana przez chalkozyn, digenit, kowelin i bornit z podrzędnym udziałem innych minerałów kruszczowych.

3. Obecność strefy przejściowej między strefą utlenioną i redukcyjną, charakteryzującej się występowaniem zarówno tlenków żelaza, jak i siarczków miedzi oraz innych metali, obecnością relików siarczków z otoczkami w postaci pigmentu hematytowego oraz zastępowanych częściowo przez hematyt i getyt.

4. Występowanie największych koncentracji złota w utlenionych utworach białego spągowca i łupka miedzionośnego.

LITERATURA

- BECHTEL A., GRATZER R., PÜTTMANN W., OSZCZEPALSKI S., 2002 — Geochemical characteristics across the oxic/anoxic interface (Rote Fäule front) within the Kupferschiefer of the Lubin–Sieroszowice mining district (SW Poland). *Chem. Geol.*, **185**, 1/2: 9–31.
- CHMIELEWSKI A., 2010 — Zmienność mineralizacji kruszczowej na granicy strefy utlenionej ze strefą redukcyjną w rejonie Polkowice (praca magisterska). Arch. Wydz. Geol. UW, Warszawa.
- KONSTANTYNOWICZ E. (red.), 1971 — Monografia przemysłu miedzioowego w Polsce. Wyd. Geol., Warszawa.
- KUCHA H., 2007 — Mineralogia kruszcowa i geochemia ciała rudnego złoża Lubin–Sieroszowice. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **423**: 77–95.
- KUCHA H., PRZYBYŁOWICZ W., 1999 — Noble metals in organic matter and clay-organic matrices, Kupferschiefer, Poland. *Econ. Geol.*, **94**: 1137–1162.
- MICHALIK M., 1979 — Utwory plamiste (Rote Fäule) w cechsztynie Z-1 na południe od Głogowa. *Pr. Miner.*, **54**: 23–36.
- OSZCZEPALSKI S., 1999 — Origin of the Kupferschiefer polymetallic mineralization in Poland. *Miner. Deposita*, **34**, 5/6: 651–672.
- OSZCZEPALSKI S., NOWAK G. J., BECHTEL A., ZÁK K., 2002 — Evidence of oxidation of the Kupferschiefer in the Lubin–Sieroszowice deposit: implications for Cu–Ag and Au–Pt–Pd mineralisation. *Geol. Quart.*, **46**, 1: 1–23.
- OSZCZEPALSKI S., PIETRZYŃSKI A., RYDZEWSKI A., SPECZIK S., NICZYPORUK K., 1997 — Poszukiwania cechsztyńskiej mineralizacji Au–Pt–Pd w SW Polsce. *W: Metały szlachetne w NE części Masywu Czeskiego i w obszarach przyległych – geneza, występowanie, perspektywy* (red. A. Muszer). Konf. nauk., Jarnołtówek, 19–21 czerwca 1997 r. Wrocław.
- OSZCZEPALSKI S., RYDZEWSKI A., 1991 — The Kupferschiefer mineralization in Poland. *Zbl. Geol. Pal.*, **1**, 4: 975–999.
- OSZCZEPALSKI S., RYDZEWSKI A., 1997 — Atlas metalogeniczny cechsztyńskiej serii miedzionośnej w Polsce. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- OSZCZEPALSKI S., RYDZEWSKI A., 1998 — Złoto, platyna i pallad w złożu Lubin–Sieroszowice na podstawie danych z otworów wiertniczych. *Pr. Spec. PTM*, **10**: 51–70.

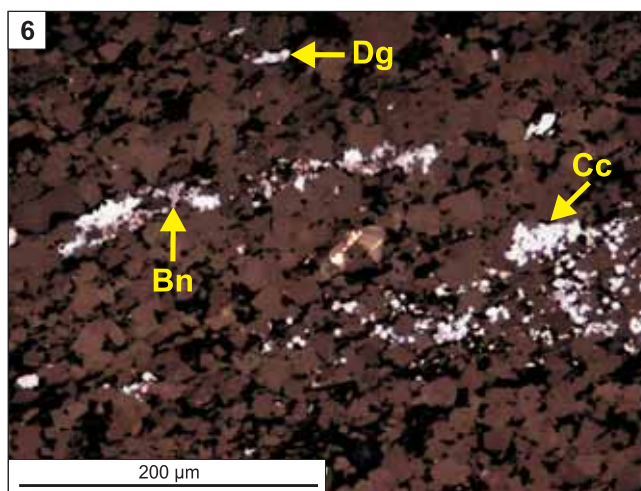
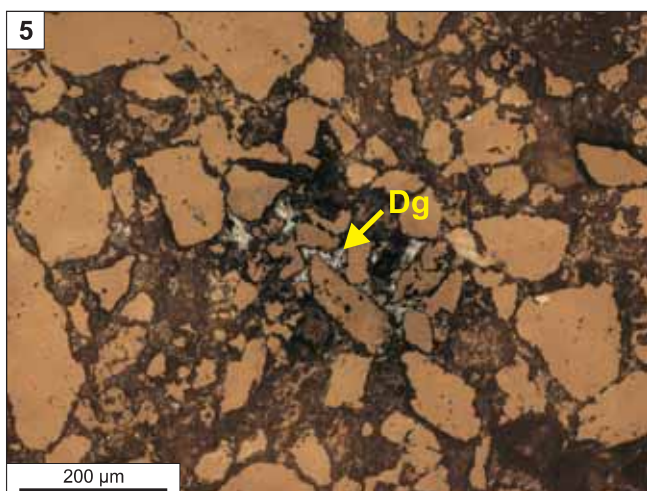
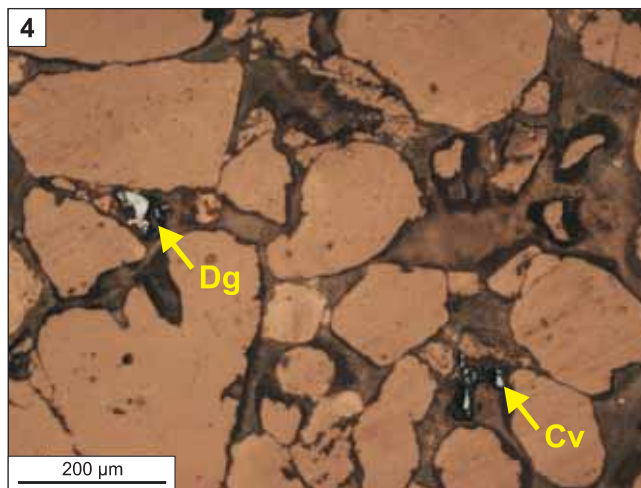
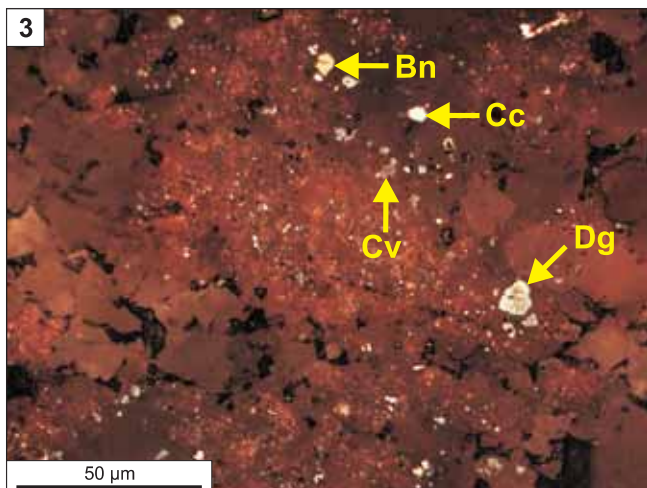
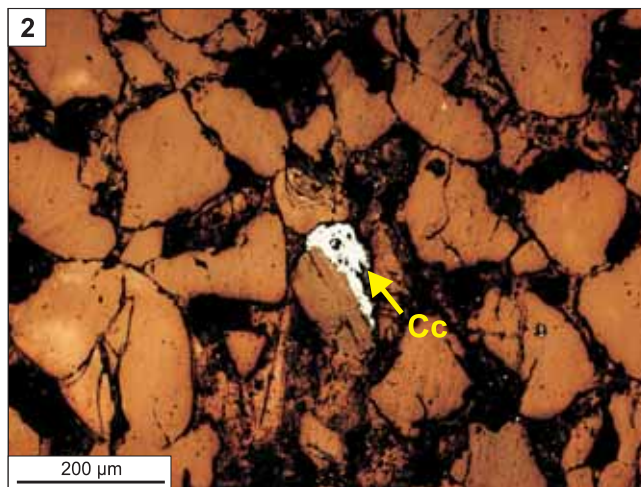
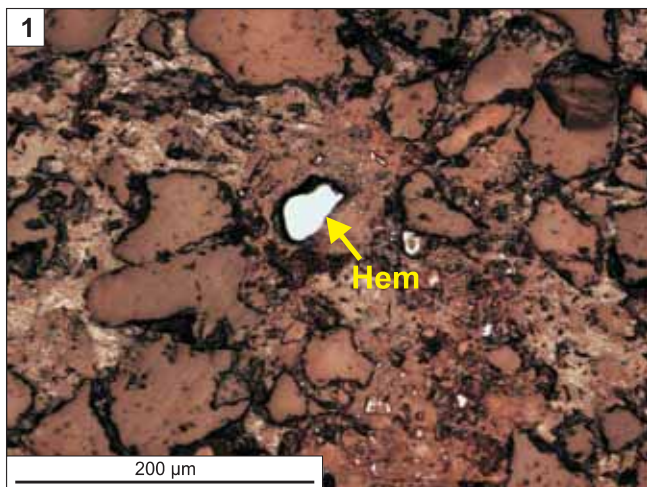
- PIECZONKA J., PIESTRZYŃSKI A., GŁUSZEK A., MICHALIK A., 1998 — Występowanie złota, platyny i palladu w obszarze złożowym Polkowice–Sierszowice. *Pr. Spec. PTM*, **10**: 71–86.
- PIECZONKA J., PIESTRZYŃSKI A., MUCHA J., GŁUSZEK A., KOTARBA M., WIĘCŁAW D., 2008 — The red-bed-type precious metal deposit in the Sierszowice–Polkowice copper mining district, SW Poland. *Ann. Soc. Geol. Pol.*, **78**: 151–280.
- PIESTRZYŃSKI A., 2007 — Okruszcowanie. *W*: Monografia KGHM Polska Miedź SA, wyd. 2 (red. A. Piestrzyński i in.). Alexim sp. z o.o., Wrocław.
- PIESTRZYŃSKI A., PIECZONKA J., 1997 — Gold and PGE on an oxide-reducing interface in Lower Zechstein sediments of the Fore-Sudetic Monocline, SW Poland. *W*: Mineral Deposits (red. H. Papunen). Balkema, Rotterdam.
- PIESTRZYŃSKI A., WODZICKI A., 2000 — Origin of the gold deposit in the Polkowice-West Mine, Lubin–Sierszowice Mining District, Poland. *Miner. Deposita*, **35**: 37–47.
- PIESTRZYŃSKI A., WODZICKI A., BANASZAK A., 1996 — Złoto w złożu rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej. *Prz. Geol.*, **44**, 11: 1098–1102.
- RYDZEWSKI A., 1964 — Petrografia i mineralizacja osadów górnego permu na monoklinie przedsudeckiej i peryklinie Żar. *Prz. Geol.*, **12**, 12: 476–480.
- RYDZEWSKI A., 1978 — Facja utleniona cechsztyńskiego łupku miedzionośnego na obszarze monokliny przedsudeckiej. *Prz. Geol.*, **26**, 2: 102–108.
- SPECZIK S., 1995 — The Kupferschiefer mineralization of Central Europe: New aspects and major areas of future research. *Ore Geol. Rev.*, **9**, 5: 411–426.
- SPECZIK S., RYDZEWSKI A., OSZCZEPALSKI S., PIESTRZYŃSKI A., 1997 — Exploration for Cu–Ag and Au–Pt–Pd Kupferschiefer-type deposits in SW Poland. *W*: Mineral Deposits (red. H. Papunen). Balkema, Rotterdam.
- ŚLIWIŃSKI W., 2000 — Rozwój mineralizacji miedziowej w utworach permu monokliny przedsudeckiej – uwarunkowania sedimentacyjno-diagenetyczne. *Acta Univ. Wratisl.*, **2197**; *Pr. Geol.-Miner.*, **68**: 7–36.

TABLICA I

Mineralizacja w strefie utlenionej i przejściowej (mikrofotografie w świetle odbitym)

Mineralization in oxidized and transition zones (photomicrographs in reflected light)

- Fig. 1. Ksenomorficzne ziarna hematytowe (Hem), pigment hematytowy rozproszony w cemencie węglanowym; strefa utleniona, biały spągowiec, otwór wiertniczy S-247
Xenomorphic hematite grains (Hem), hematite pigment disseminated in carbonate cement; oxidized zone, Weissliegend, S-247 borehole
- Fig. 2. Kwarc zastępowany przez chalkozyn (Cc); strefa utleniona, biały spągowiec, otwór wiertniczy S-247
Quartz grain partly replaced by chalcocite (Cc); oxidized zone, Weissliegend, S-247 borehole
- Fig. 3. Drobne ziarna bornitu (Bn), chalkozynu (Cc), kowelinu (Cv) i digenitu (Dg) rozproszone w materiale węglanowym; strefa utleniona, wapień cechsztyński, otwór wiertniczy S-247
Fine-grained sulphide mineralization – bornite (Bn), chalcocite (Cc), covellite (Cv) and digenite (Dg) scattered in carbonate material; oxidized zone, Zechsteinkalk, S-247 borehole
- Fig. 4. Drobne ziarna digenitu (Dg) i kowelinu (Cv) tkwiące w spoiwie ilastym; strefa przejściowa, biały spągowiec, otwór wiertniczy S-205
Fine-grained sulphides – digenite (Dg) and covellite (Cv) in clay cement; transition zone, Weissliegend, S-205 borehole
- Fig. 5. Digenit (Dg) częściowo zastąpiony hematytem; strefa przejściowa, biały spągowiec, otwór wiertniczy S-236
Digenite (Dg) partly replaced by hematite; transition zone, Weissliegend, S-236 borehole
- Fig. 6. Uboga mineralizacja siarczkowa, reprezentowana przez digenit (Dg), bornit (Bn) i chalkozyn (Cc); strefa przejściowa, wapień cechsztyński, otwór wiertniczy S-205
Sparse sulphide mineralization – digenite (Dg), bornite (Bn) and chalcocite (Cc); transition zone, Zechsteinkalk, S-205 borehole



TABLICA II

Mineralizacja w strefie redukcyjnej (mikrofotografie w świetle odbitym)

Mineralization in reducing zone (photomicrographs in reflected light)

- Fig. 1. Chalkozyn (Cc) i bornit (Bn) rozproszone w łupkach ilasto-węglanowych, niektóre siarczki zastępują ziarna węglanowe; łupek miedzionośny, otwór wiertniczy S-205
Chalcocite (Cc) and bornite (Bn) disseminated in clay-carbonate shales, with some chalcocite replacing carbonate grains; Kupferschiefer, S-205 borehole
- Fig. 2. Drobnziarnista mineralizacja siarczkowa – chalkozyn (Cc), bornit (Bn), digenit (Dg) i tennantyt (Tn); łupek miedzionośny, otwór wiertniczy S-236
Fine-grained copper sulphide mineralization – chalcocite (Cc), bornite (Bn), digenite (Dg) and tennantite (Tn); Kupferschiefer, S-236 borehole
- Fig. 3. Agregat mineralny, składający się z digenitu (Dg), bornitu (Bn) i chalkozynu (Cc); wapień cechsztyński, otwór wiertniczy S-205
Aggregate consisting of digenite (Dg), bornite (Bn) and chalcocite (Cc) grains; Zechsteinkalk, S-205 borehole
- Fig. 4. Drobne zrosty kowelinu (Cv), chalkozynu (Cc) i bornitu (Bn), z licznymi porami; wapień cechsztyński, otwór wiertniczy S-236
Covellite (Cv), chalcocite (Cc) and bornite (Bn) composite grain with numerous pores; Zechsteinkalk, S-236 borehole

