

ZMIENNOŚĆ MINERALIZACJI KRUSZCOWEJ W REJONIE PÓŁNOCNO-ZACHODNIEGO PRZEDŁUŻENIA ZŁOŻA LUBIN–SIEROSZOWICE

VARIABILITY OF ORE MINERALIZATION IN THE NORTH-WEST-TRENDING EXTENSION OF THE LUBIN–SIEROSZOWICE DEPOSIT

SŁAWOMIR OSZCZEPALSKI¹, ANDRZEJ CHMIELEWSKI¹, STANISŁAW SPECZIK²

Abstrakt. Państwowy Instytut Geologiczny – PIB prowadzi poszukiwania stratyfikowanych złóż rud miedzi w obrębie spągowych utworów cechsztynu od połowy lat 50. XX w., kiedy odkryto złożo Lubin–Sieroszowice. Do 1991 r. zrealizował szereg programów wiertniczych, natomiast w okresie późniejszym prowadził badania próbek skał z rdzeni pozyskiwanych w trakcie poszukiwań złóż węglowodorów przez przemysł naftowy. W rezultacie tych prac poszukiwawczo-badawczych w północno-zachodnim otoczeniu złoża Lubin–Sieroszowice wyznaczono obszary perspektywiczne. Obszary te są usytuowane pomiędzy udokumentowanym złożem Bytom Odrzański i wschodnią granicą zielonogórskiego obszaru, w którym znajdują się utwory wtórnie utlenione. W rejonie Koźuchowa, dolne partie cechsztyńskiej serii miedzionośnej zawierają jedynie siarczkową mineralizację reliktową z towarzyszącymi tlenkami żelaza, a utwory o cechach redukcyjnych z siarczkami metali występują w górnych partiach wapienia cechsztyńskiego lub w spągu anhydrytu dolnego. W rejonie Grochowice, w którym jest obecna strefa redukcyjna, w najbliższym sąsiedztwie obszaru z utworami wtórnie utlenionymi występuje bogata mineralizacja miedziowo-srebrowa reprezentowana przez siarczki typu Cu-S (chalkozyn, digenit, kowelin), przechodząca w kierunku wschodnim w mineralizację zdominowaną siarczkami systemu Cu-Fe-S (bornit, chalkopiryt) ze znacznym udziałem galeny i sfalerytu. Przestrzenna zmienność mineralizacji siarczkowej względem utworów utlenionych wskazuje, że złożo Bytom Odrzański przedłuża się w kierunku północno-zachodnim, kontynuując się w formie pasa miedzionośnego wzdłuż wschodniej granicy obszaru ze skałami utlenionymi. Prowadzona obecnie eksploracja wiertnicza w obrębie przewidywanego pasa miedzionośnego stwarza przesłanki do możliwości udokumentowania i zagospodarowania głębokich złóż rud miedzi.

Słowa kluczowe: cechsztyńska seria miedzionośna, łupek miedzionośny, mineralizacja kruszcowa, Rote Fäule, rejon Koźuchów–Grochowice.

Abstract. The Polish Geological Institute – NRI has conducted investigations of the Kupferschiefer series since 1957, when the giant sediment-hosted stratiform Cu-Ag ore deposit was discovered in the central part of the Fore-Sudetic Monocline. Until 1991, a number of drilling programs were completed by PGI-NRI and later research has been focusing mainly on cooperation with oil and gas industry and their core material. Over the last few years, thanks to systematic examination of the drill holes located in the north-western extension, many prospective areas have been recognized and delineated. These prospects are located between Lubin-Sieroszowice deposit and the eastern part of the Zielona Góra oxidized field. In the Koźuchów area, the lower part of Zechstein copper-bearing series contain only relict sulphide mineralization accompanied by iron oxides while reduced rocks with metal sulphides occur in the uppermost part of Zechstein Limestone or at the base of Lower Anhydrite. Grochowice area, where reduced facies prevail in copper-bearing series, is characterized by the predomination of rich Cu-Ag mineralization proximaly to oxidized area. The western part of studied area is dominated by Cu-S type sulphides (chalcocite, digenite, covellite) whereas the eastern part is represented by Cu-Fe-S type minerals (bornite, chalcopyrite) with high galena and sphalerite concentrations. The spatial variability of sulphide mineralization with respect to the oxidized rocks indicates that Bytom Odrzański deposit extends in the north-west direction, continuing in the form of a copper belt along the eastern border of the oxidized area. An extensive deep exploration drilling program is implemented to verify the resource potential within predicted copper belt.

Key words: Zechstein copper-bearing series, Kupferschiefer, ore mineralization, Rote Fäule, Koźuchów–Grochowice area.

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

² Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa.

WSTĘP

Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Geologiczny (PIG-PIB) prowadzi intensywne poszukiwania stratyfikowanych złóż rud miedzi w utworach cechsztynu na monoklinie przedsudeckiej od chwili odkrycia w 1957 r. złoża miedzi Lubin–Sieroszowice otworem Sieroszowice S-1 (Wyżykowski, 1958). W ówczesnej dokumentacji wykazano istnienie złoża na głębokości od 400 do 1000 m, o zasobach 1 364,65 Mt rudy, średniej zawartości 1,42% Cu i miąższości w granicach 0,23–13,07 m, zawierającej 19,34 Mt Cu i ok. 36 tys. t Ag. W obecnie udokumentowanym złożu Lubin–Sieroszowice zasoby bilansowe wynoszą 1873 Mt rudy, zawierającej 34 Mt Cu i 102 tys. ton Ag (Malon i in., 2016). W złożu Bytom Odrzański, do którego przylega omawiany w tej pracy obszar, znajdują się zasoby bilansowe w ilości 2,247 Mt rudy, zawierającej 93 tys. t Cu i 54 t Ag oraz 169 Mt rudy pozabilansowej, o zawartości 3,27 Mt Cu i 6 tys. t Ag (Gruszecki, Pikula, 2008). Wobec niepokojącego, stałego ubytku zasobów przemysłowych (Bachowski i in., 2007; Speczik i in., 2007; Wirth i in., 2007; Szamałek, 2011) oraz pojawiającej się możliwości prowadzenia eksploatacji na coraz większych głębokościach, nieosiągalnych wcześniej w polskim górnictwie miedziowym, PIG-PIB systematycznie prowadzi wyprzedzającą analizę perspektyw występowania mineralizacji Cu-Ag, Au, Pt i Pd oraz innych metali. Działania te są wykonywane w celu wyznaczenia obszarów perspektywicznych dla górnictwa miedziowego na głębokościach przekraczających 1500 m (Gospodarczyk, Metlerski, 1986; Oszczepalski, Rydzewski, 1993, 1997; Oszczepalski, Speczik, 2011; Oszczepalski, Chmielewski, 2015a; Mikulski i in., 2016; Oszczepalski i in., 2016).

Już w trakcie dokumentowania złoża Lubin–Sieroszowice rozpoczęto prospekcję na zachód od tego złoża w rejonie Kożuchowa, gdzie Instytut Geologiczny (IG) wykonał pionierskie wiercenia: Stypułów IG 1 (1958), Dzikowo IG 1 (1958) i Kożuchów IG 1 (1958). W otworach: Stypułów IG 1 i Dzikowo IG 1 stwierdzono utwory wtórnie utlenione (Rote Fäule), natomiast w otworze Kożuchów IG 1, powyżej utlenionych utworów obejmujących biały spągowiec, łupek miedzionośny i dolną część wapienia cechsztyńskiego, stwierdzono bogatą mineralizację kruszcową (Wyżykowski, 1961, 1964; Rydzewski, 1964, 1969). Uwzględniając uzyskane wyniki, a zwłaszcza obecność mineralizacji kruszcowej w otworze Kożuchów IG 1, w latach 1961–1963 wykonano następnne otwory wiertnicze: Broniszów IG 1, Urzuty IG 1, Bulin IG 1, Słocina IG 1, Miocin IG 1 i Kożuchów IG 2. Uzyskane informacje posłużyły do rozpoznania geologicznego i umożliwiły precyzyjne wyznaczenie granicy bloku przedsudeckiego (Wyżykowski, 1961, 1963, 1964). Wykazano, że we wszystkich otworach rejonu Kożuchowa dolna część (a nawet całe profile) cechsztyńskiej serii miedzionośnej jest reprezentowana przez utwory utlenione. Charakteryzuje je czerwone zabarwienie lub obecność czerwonych plam, spowodowanych obecnością tlenków żelaza, a także liczne cechy wskazujące na utleniające przeobrażenie i degradację pierwotnie

obecnych składników, wskutek postępującej ascencji utworów utleniających (Rydzewski, 1964, 1969).

Na podstawie wyników uzyskanych w trakcie badań rdzeni z powyższych otworów, sformułowano pierwsze prognozy perspektyw występowania koncentracji metali w SW Polsce, sugerując konieczność podjęcia nowych prac poszukiwawczych, w tym także w rejonie Kożuchowa (Rydzewski, 1969; Wyżykowski, 1971). W innych otworach (Kielcz 1, Lelechów IG 2, Lelechów 6, Nowa Sól 5, Otyń 2, Przyborów IG 2, Stare Żabno 1), wykonanych w ramach poszukiwań soli potasowych oraz ropy i gazu ziemnego, także wykazano obecność utworów utlenionych. Niemniej w późniejszym okresie, na podstawie stwierdzenia mineralizacji miedziowej w otworze Kożuchów IG 1 oraz podwyższonych koncentracji miedzi w otworach Stypułów IG 1, Kożuchów IG 2, Kielcz 1 i Stare Żabno 1, uznano, że w rejonie Kożuchowa możliwe jest istnienie obszaru perspektywicznego z mineralizacją miedziową na korzystnej głębokości 600–1500 m (Gospodarczyk, 1978; Gospodarczyk i in., 1978; Rydzewski, 1978). W rezultacie w 1978 r. sporządzono „Projekt poszukiwań cechsztyńskich rud miedzi w rejonie Kożuchowa”, a następnie w latach 1978–1981 wykonano 9 otworów (w siatce 3 × 3 km): Wrociszów K-3, Ciepeliów K-4, Nowe Żabno K-5, Podbrzezie K-6, Kożuchów K-10, Solniki K-11, Zawada K-12, Stypułów K-13 i Stypułów K-17. Niestety żaden z nich nie ujawnił obecności bogatej mineralizacji kruszcowej, lecz głównie utwory utlenione (Oszczepalski i in., 1982).

Z kolei w latach 1974–1985 wykonano liczne otwory w wschodniej części omawianego obszaru, rozpoznające północno-zachodnią część złoża Lubin–Sieroszowice. W wyniku tej eksploracji udokumentowano złożo Bytom Odrzański (Kozula, Golczak, 1988). Wykazano, że wszystkie otwory konturujące od zachodu ten obszar cechuje obecność utworów utlenionych, natomiast otwory wyznaczające północno-wschodnią granicę obszaru złożowego charakteryzuje bogata mineralizacja miedziowo-srebrna. Równocześnie z dokumentowaniem tego złoża, przemysł naftowy wykonał w jego najbliższym sąsiedztwie otwór Borowiec 2 (1988) z bogatą mineralizacją miedziową ponad utworami utlenionymi.

W rejonie Grochowic, położonym na północ od złoża Bytom Odrzański, prace wiertnicze rozpoczął przemysł naftowy otworem Bielawy 1 (1964), w którym stwierdzono interesującą mineralizację miedziowo-olowiową (Preidl, 1971), natomiast IG wykonał tu znacznie później dwa wiercenia poszukiwawcze: Sława IG 1 (1974) i Grochowice M-9 (1978). W otworach tych ujawniono bogatą mineralizację miedziową (Gospodarczyk i in., 1975, 1980). Ponieważ otworem Grochowice M-9 odkryto złożo gazu (Gospodarczyk i in., 1980), Zielonogórski Zakład Górnictwa Nafty i Gazu (obecnie PGNiG) w latach 1980–1991 zrealizował kilkadziesiąt odwiertów w rejonie Grochowic, z których dostępne rdzenie poddano badaniom na zawartość metali, dzięki czemu poznano w znacznym stopniu rozprzestrzenienie mineralizacji kruszcowej na północ od złoża Bytom Odrzański (Oszcze-

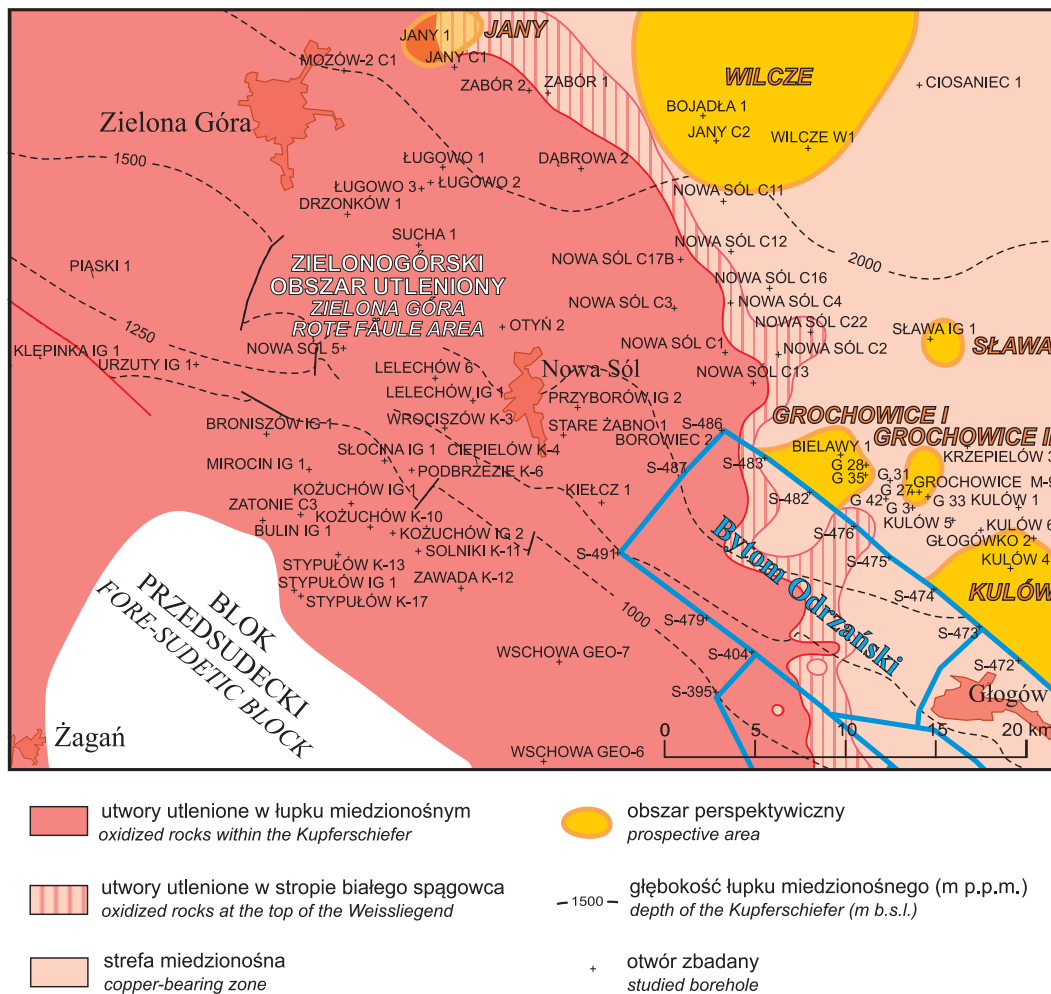


Fig. 1. Obszary perspektywiczne występowania mineralizacji Cu-Ag na tle rozmieszczenia utworów utlenionych w cechsztyńskiej serii miedziowej rejonu Koźuchów–Grochowice

Cu-Ag prospective areas in relation to Rote Fäule areas in the Zechstein copper-bearing series of Koźuchów–Grochowice area

palski, Rydzewski, 1983, 1993, 1997; Oszczepalski i in., 2010, 2012; Speczik i in., 2011). W przyszłości największe znaczenie mogą mieć obszary perspektywiczne z zasobami prognostycznymi, wyznaczone ostatnio w najbliższym otoczeniu udokumentowanego złoża Lubin–Sieroszowice: Grochowice, Kulów, Białoleka i Luboszyce (Oszczepalski i in., 2016).

W ostatnim okresie, od 2013 do 2017 r., spółki z grupy Miedzi Copper Corporation w ramach przyznaných koncesji poszukiwawczych zrealizowały otwór Zatonie C3 w okolicy Koźuchowa (Krzemiński, 2014) oraz 14 wierceń w rejonie położonym na północny zachód od złoża Bytom Odrzański (Zieliński, Speczik, 2017).

Ze względu na znaną prawidłowość występowania najbogatszej mineralizacji kruszczowej w formie pasów miedziowych, otaczających obszary z utworami utlenionymi, precyzyjne wyznaczanie granicy strefy utleniającej i redukcji od wielu lat stanowi najważniejsze kryterium poszukiwawcze (Rydzewski, 1978; Michalik, 1979; Oszczepalski, 1980,

1999; Speczik, Püttman, 1987; Speczik, 1995). Szczególnie istotne są badania petrologiczne strefy przejściowej pomiędzy utworami utlenionymi i redukcyjnymi, ponieważ obserwowane w niej przeobrażenia mineralizacji reliktywnej wskazują na intensywność procesów utleniających i kierunki migracji roztworów mineralizujących (Oszczepalski, Rydzewski, 1991, 1997; Bechtel i in., 2002; Oszczepalski i in., 2002; Chmielewski, 2011, 2014; Chmielewski i in. 2015). Wszystkie uzyskane dotychczas wyniki badań utworów cechsztyńskiej serii miedziowej w wykonanych otworach posłużyły do wyznaczenia granic utworów utlenionych zarówno w stropie białego spągowca, jak i w spągu utworów łupkowo-węglanowych (fig. 1).

Uwzględniając cechy rozmieszczenia przestrzennego mineralizacji siarczkowej względem utworów utlenionych, w przeszłości wielokrotnie wysuwano przypuszczenie, że złożo Bytom Odrzański przedłuża się w kierunku północno-zachodnim w formie pasa miedziowego, wzdłuż wschodniej granicy zielonogórskiego obszaru z utworami utlenionymi

mi (Oszczepalski, Rydzewski, 1983, 1997; Speczik i in., 2007; Oszczepalski, Speczik, 2011; Krzemiński, Speczik, 2013; Oszczepalski, Chmielewski, 2015a; Oszczepalski i in., 2016). Należy podkreślić fakt, że obszary usytuowane na północny wschód od Nowej Soli do niedawna nie były objęte żadnymi pracami wiertniczymi, dlatego wyznaczane dotąd granice obszarów perspektywicznych w tym rejonie nie odzwierciedlają prawdopodobnego przebiegu strefy miedzionośnej (por. [fig. 1](#)). Niniejsza analiza metalogeniczna, a w

szczególności prowadzona obecnie eksploracja wiertnicza na terenie prawdopodobnej kontynuacji mineralizacji złożowej obecnej w złożu Lubin–Sieroszowice w kierunku północno-zachodnim, stwarza możliwości udokumentowania nowych, nieodkrytych jeszcze złóż rud miedzi w rejonach przylegających zarówno do złoża Lubin–Sieroszowice, jak i do zielonogórskiego obszaru utlenionego, a zwłaszcza w strefie oczekiwanego zazębienia się lateralnego utworów utlenionych z redukcijnymi.

METODY BADAŃ

Podstawą wykonania prac badawczych były próbki skał pochodzące z archiwalnych rdzeni wiertniczych. Z pobranych próbek wykonano 60 preparatów mikroskopowych – płytki cienkie dwustronnie polerowane do światła przechodzącego i odbitego, polery kostkowe do światła odbitego oraz preparaty do badań w mikroobszarze. Przeprowadzono badania mineralogiczno-petrograficzne próbek z cechsztyńskiej serii miedzionośnej, obejmującej biały spągowiec (Bs), łupek miedzionośny (T1), wapień cechsztyński (Ca1) oraz anhydryt dolny (A1d) ([fig. 2](#)). Badania wykonano w świetle odbitym oraz przechodzącym z wykorzystaniem mikroskopu Nikon Eclipse LV 100POL, a także mikroskopu firmy Reichert ([fig. 3–7](#)). Obserwacje mikroskopowe w świetle odbitym umożliwiły identyfikację struktur, tekstur, przerozów i zrostów. Identyfikację minerałów kruszczowych potwierdzono szczegółowymi badaniami w mikroobszarze dla 18 próbek skał serii miedzionośnej, z wykorzystaniem mikroskopy elektronowej CAMECA SX100 z obrazowaniem BSE (ang. *back scattered electron* – elektrony wstecznie

rozproszone) ([fig. 8–11](#)). Analizowano skład chemiczny w mikroobszarze wybranych ziaren kruszców i tlenków z użyciem spektrometrów WDS przy następujących parametrach wiązki elektronów: napięcie przyspieszające HV – 20 kV; prąd emisji – 60 μ A, prąd wiązki I (nA) – 10 nA. Badania te pozwoliły na oznaczenie składu chemicznego minerałów i przesłedzenie zmienności składu chemicznego w poszczególnych minerałach kruszczowych. Poza tym, pomiary i oznaczenia w mikroobszarze pozwoliły zidentyfikować skład mineralny drobnoziarnistych zrostów oraz stwierdzić domieszki chemiczne w rozpoznanych minerałach kruszczowych. Możliwa była również identyfikacja minerałów o niewielkich rozmiarach ziaren, trudnych bądź niemożliwych do rozpoznania przy zastosowaniu tradycyjnych technik mikroskopowych. Wyniki analiz w mikroobszarze zestawiono w [apendyksie](#). Ułożenie zbadanych próbek dla poszczególnych otworów wiertniczych w tym zestawieniu jest zgodne z kolejnością mikrofotografii na zamieszczonych figurach ([fig. 8–11](#)).

MINERALIZACJA KRUSZCOWA W REJONIE KOŻUCHOWA

MINERALIZACJA W UTWORACH UTLENIONYCH

W rejonie Kożuchowa dolne partie cechsztyńskiej serii miedzionośnej są reprezentowane przez utwory utlenione ([fig. 2](#)). W większości profilów utwory te występują w interwale obejmującym biały spągowiec, łupek miedzionośny i znaczną część profilu wapienia cechsztyńskiego, miejscami sięgając do jego stropu (np. Kożuchów K-10, Solniki K-11, Zawada K-12, Stypułów K-13, Stypułów K-17, Bulin IG 1), a nawet sporadycznie do spągowych partii anhydrytu dolnego (np. Ciepeliów K-4, Nowe Żabno K-5, Podbrzezie K-6). Skały utlenione cechuje czerwone zabarwienie utworów zarówno w formie czerwonych pasemek, jak i plam o nieregularnych formach i różnej intensywności czerwonej barwy. Czerwone zabarwienie jest rezultatem występowania pigmentu i submikroskopowych wrostków hematytu i wodorotlenków żelaza rozproszonych w tle skalnym. Tlenki żelaza występują także w formie grudek, skupień i kryształów hematytu, miejscami w formie zbitych, ziemistych mas. Mor-

fologia czerwonych plam i granice wachlarzowato rozchodzących się brunatnych pasemek są nierówne i mają różne ukształtowany przebieg powierzchni granicznych. W łupkach miedzionośnych charakterystyczne jest przecinanie laminaacji przez czerwono-brunatne plamy i smugi. Istnieje ścisła zależność ostrości granic poszczególnych plam i pasemek, związana z intensywnością barwy, wyrażająca się mniejszą wyrazistością powierzchni granicznych przy mniej intensywnym czerwono-brunatnym zabarwieniu. Silnie utlenione utwory zawierają jedynie pojedyncze skupienia minerałów siarczkowych, reprezentowanych przez nieregularne ziarna kowelinu i digenitu o średnicach do kilkudziesięciu mikrometrów ([fig. 3A](#)). Siarczki te są korodowane i zastępowane przez hematyt i powszechnie są aureole pigmentu hematytowego wokół siarczków miedzi. Często obserwowano pseudomorfozy hematytowe po framboidalnym pirycie oraz innych minerałach kruszczowych oraz drobne inkluzje elektrumu i złota rodzimego w minerałach kruszczowych ([fig. 3A, B](#)). Badania w mikroobszarze ujawniły w strukturze hematytu ze

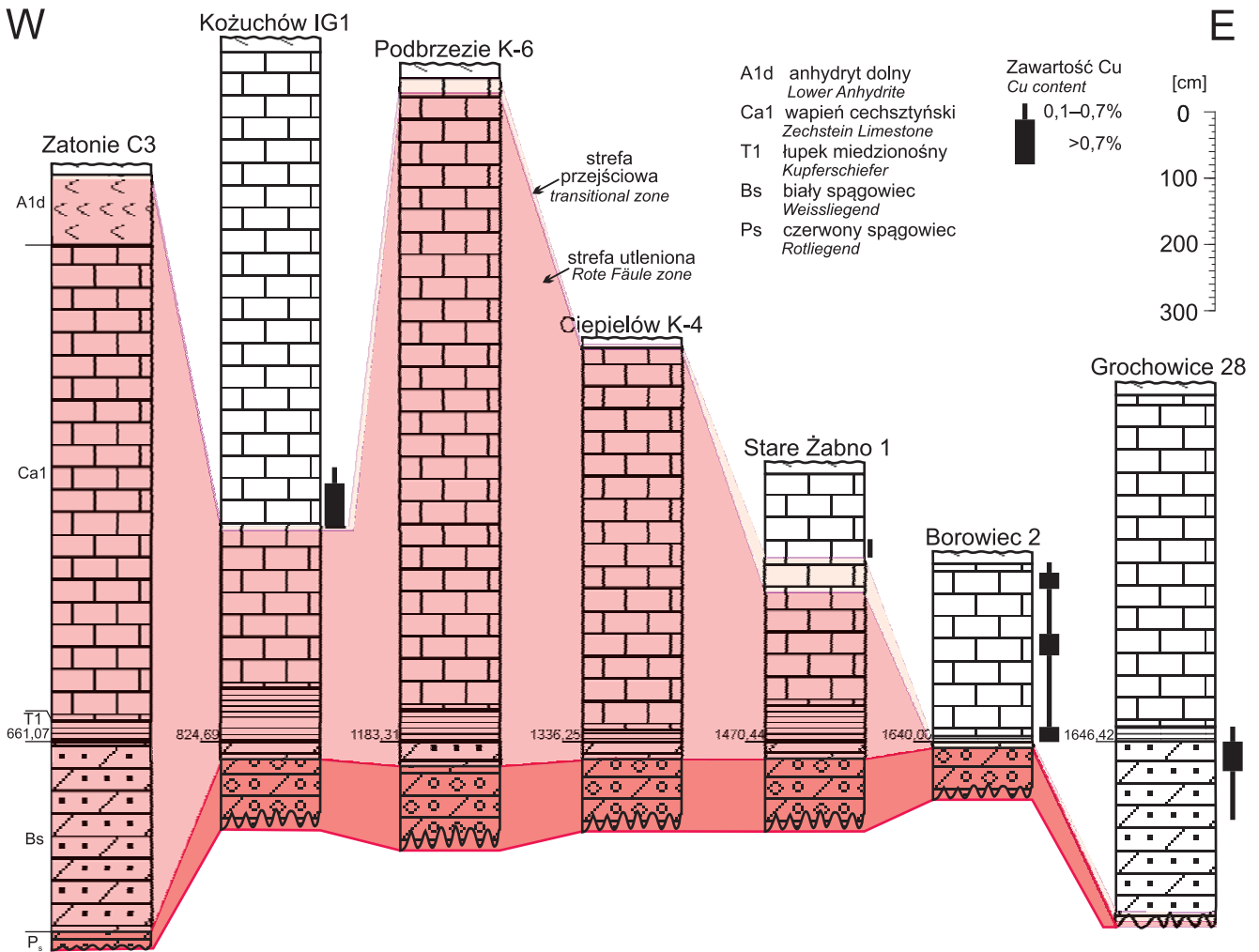


Fig. 2. Zmienność położenia granicy strefy utlenionej i redukcyjnej w obrębie cechsztyńskiej serii miedzionośnej rejonu Koźuchów–Grochowice

Variable configuration of the boundary between oxidized and reduced zones within the Zechstein copper-bearing series across the Koźuchów–Grochowice area

strefy utlenionej (np. w otworze Dzikowo IG 1; fig. 8A; [apendyks](#)) obecność domieszek następujących metali (w % wag.): Ag (do 0,15), Co (do 0,1%), Hg (do 0,2%), Pb (do 0,1%), Sb (do 0,2%) i Zn (do 0,1%).

W górnych partiach profili z utworami utlenionymi, obejmującymi strefę przejściową, proces utleniania zachodził znacznie mniej intensywnie (np. Wrociszów K-3, Ciepiałów K-4, Koźuchów K-10, Solniki K-11, Zawada K-12, Stypułów K-13, Stypułów K-17, Bulin IG 1). Strefę przejściową cechuje nieregularność zasięgu i pozycji w profilach, a jej zewnętrzna granica przecina różne jednostki litostratigraficzne cechsztyńskiej serii miedzionośnej (fig. 2). W tej strefie, poza powszechnym hematytem, spotyka się reliktową mineralizację siarczkową, reprezentowaną przeważnie przez nieliczne ziarna digenitu, chalkozynu i kowelinu. Znacznie rzadziej jest notowana relikтовая mineralizacja chalkopirytowo-bornitowa z niewielkim udziałem tennantu, galeny i sfalerytu. Minerale kruszczowe w tej strefie występują jako bardzo drobne, nieregularne ziarna i agregaty

mineralne rozproszone w tle skalnym, rzadziej w formie drobnych gniazd lub wrostków w węglanach. W piaskowcach są obecne relikty kruszców, jako obwódki wokół ziarn detrytycznych (fig. 3C) i w postaci wrostków w cemencie węglanowym (fig. 3D). Siarczki występują ponadto w formie nieregularnych zrostów oraz zastąpień minerałów węglanowych i ziaren detrytycznych. Pospolite są agregaty mineralne składające się z digenitu i kowelinu (fig. 3E) oraz bornitu, kowelinu i digenitu, a także gniazdowe i soczewkowe skupienia chalkopiryty (fig. 3F), bornitu i pirytu. Sporadyczne inkluzje tiemannitu (HgSe) oraz clausthalitu (PbSe) pojawiają się w digenicie (fig. 4A) i kowelinie. Badania w mikroobszarze wykazały obecność akcesorycznych minerałów z szeregu Cu-S, takich jak: anilit, djurleit, geeryt, roxbyit, spionkopit oraz yarrowit (np. Ciepiałów K-4, Stypułów K-13 – [apendyks](#)), często z domieszkami selenu (do 0,64% wag.), srebra (do 3,1% wag.) czy bizmutu (do 3,8% wag.). Liczne są także struktury zastępowania bornitu przez kowelin. Sporadycznie występują drobne inkluzje elektum (fig. 4B, 8B) i złota ro-

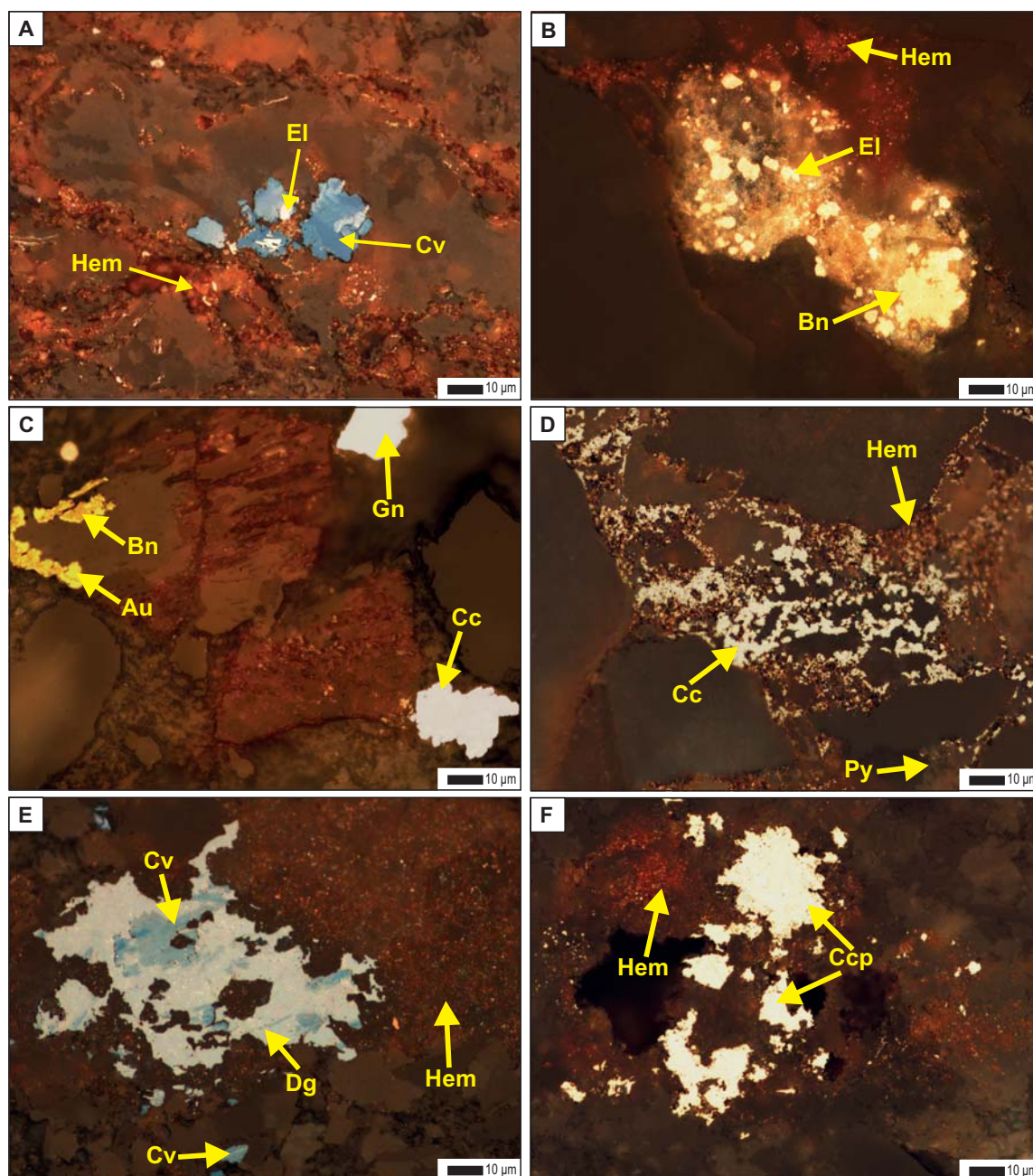


Fig. 3. Reliktowa mineralizacja w strefie utlenionej i przejściowej rejonu Koźuchowa (mikrofotografie w świetle odbitym; objaśnienia skrótów jak w [apendyksie](#))

A – relikty kowelinu z inkluzjami elektrumu w otoczeniu pigmentu hematytowego, łupek miedzionośny, otwór Koźuchów K-10; **B** – bornit z pojedynczymi inkluzjami elektrumu, silnie korodowany i zastępowany hematytem, biały spągowiec, otwór Stypułów K-13; **C** – bornit w zroście ze złotem rodzimym w towarzystwie chalkozynu i galeny w otoczeniu pigmentu hematytowego, biały spągowiec, otwór Stypułów K-13; **D** – relikty chalkozynu inwazyjnie zastępowanego hematytem, biały spągowiec, otwór Wrociszów K-3; **E** – digenit częściowo zastąpiony kowelinem oraz mikroziarna kowelinu rozproszone w tle skalnym w towarzystwie drobnodyspersyjnego hematytu, wapień cechsztyński, otwór Stypułów K-13; **F** – chalkopiryt silnie korodowany hematytem, wapień cechsztyński, otwór Stypułów K-17

Relict mineralization in the oxidized and transition zones of Koźuchów area
(microphotographs in reflected light; for abbreviations see [Appendix](#))

A – remnant covellite with tiny inclusion of electrum accompanied by hematite pigment, Kupferschiefer, Koźuchów K-10 borehole; **B** – bornite strongly corroded and replaced by hematite along with inclusions of electrum, Weissliegend, Stypułów K-13 borehole; **C** – bornite and native gold accompanied by irregular grains of chalcocite, galena and dusty hematite, Weissliegend, Stypułów K-13 borehole; **D** – chalcocite remnants invaded by hematite, Weissliegend, Wrociszów K-3 borehole; **E** – digenite party replaced by covellite along with tiny grains of covellite scattered unevenly in rock matrix accompanied by dusty hematite, Zechstein Limestone, Stypułów K-13 borehole; **F** – chalcopyrite highly corroded by dusty hematite, Zechstein Limestone, Stypułów K-17 borehole

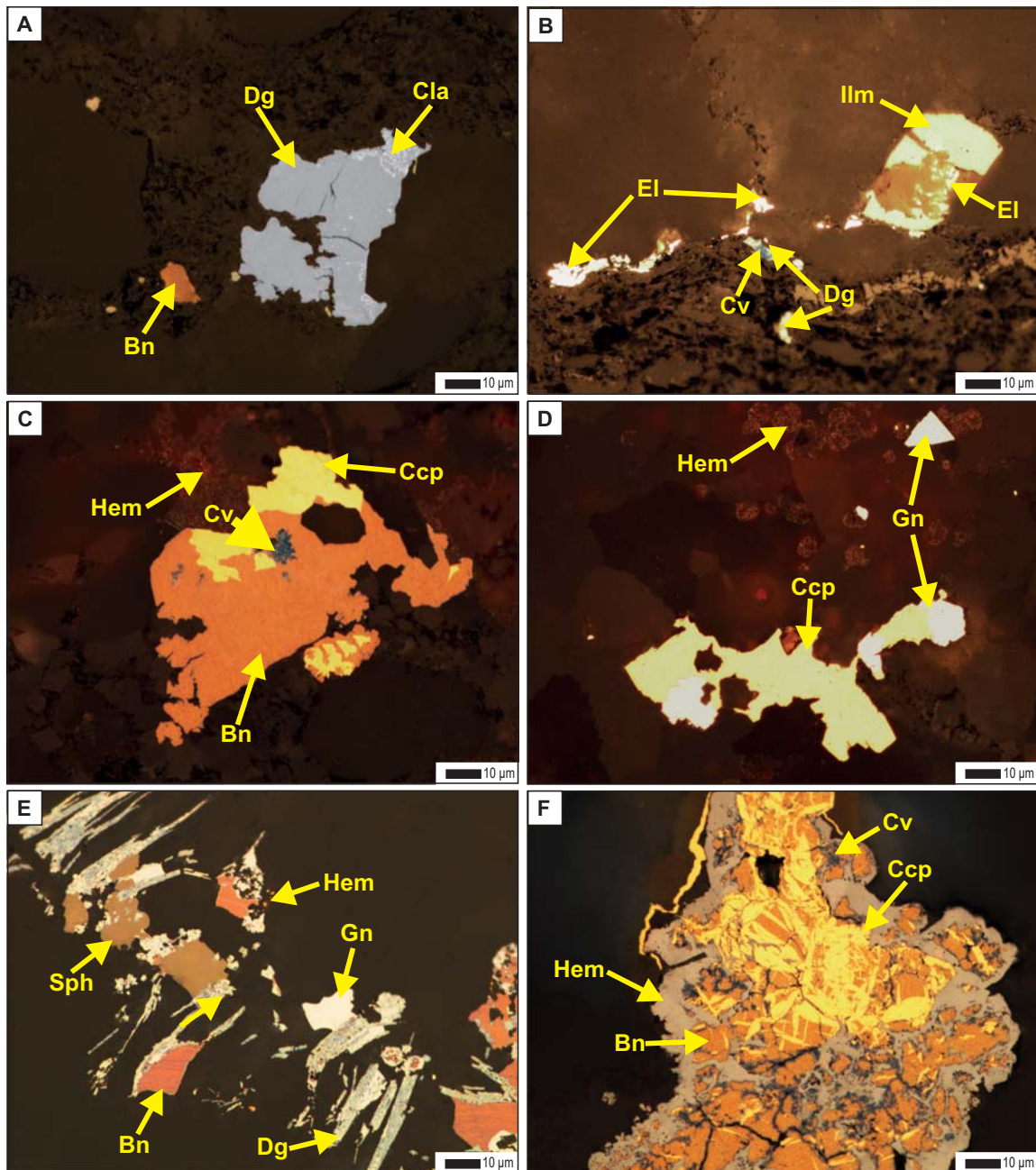


Fig. 4. Reliktowa mineralizacja w strefie utlenionej i przejściowej rejonu Kozuchowa (mikrofotografie w świetle odbitym; objaśnienia skrótów jak w [apendyksie](#))

A – digenit z drobnymi wrostkami clausthalitu w towarzystwie bornitu, wapień cechsztyński, otwór Stypułów K-13; **B** – drobne ziarna elektrum i towarzyszące im ziarna digenitu, kowelinu i ilmenitu, biały spągowiec/łupek miedzionośny, otwór Stypułów K-13; **C** – agregat mineralny składający się z bornitu, chalkopiryty i kowelinu częściowo zastępowany hematytym, wapień cechsztyński, otwór Stypułów K-13; **D** – zrosty chalkopiryty z galeną w towarzystwie pseudomorfów hematytowych po framboidalnym pirycie, anhydryt dolny, otwór Solniki K-11; **E** – zastąpienia anhydrytu przez bornit, digenit, galenę i sfaleryt w towarzystwie hematytu, anhydryt dolny, otwór Solniki K-11; **F** – agregat mineralny składający się z bornitu i chalkopiryty zastępowany hematytym, wapień cechsztyński, otwór Solniki K-11

Relict mineralization in the oxidized and transition zones of Kozuchów area
(microphotographs in reflected light; for abbreviations see [Appendix](#))

A – digenite with tiny inclusions of clausenthalite accompanied by bornite, Zechstein Limestone, Stypułów K-13 borehole; **B** – tiny grains of electrum associated with digenite, covellite and ilmenite, Weissliegend/Kupferschiefer, Stypułów K-13 borehole; **C** – composite grain, which consists of bornite, chalcopyrite and covellite vaguely replaced by hematite, Zechstein Limestone, Stypułów K-13 borehole; **D** – intergrowth of chalcopyrite with galena along with hematite pseudomorphs after framboidal pyrite, Lower Anhydrite, Solniki K-11 borehole; **E** – anhydrite-replacing bornite, digenite, galena and sphalerite locally rimmed by hematite, Lower Anhydrite, Solniki K-11 borehole; **F** – composite grain of bornite and chalcopyrite intensively invaded by hematite, Zechstein Limestone, Solniki K-11 borehole

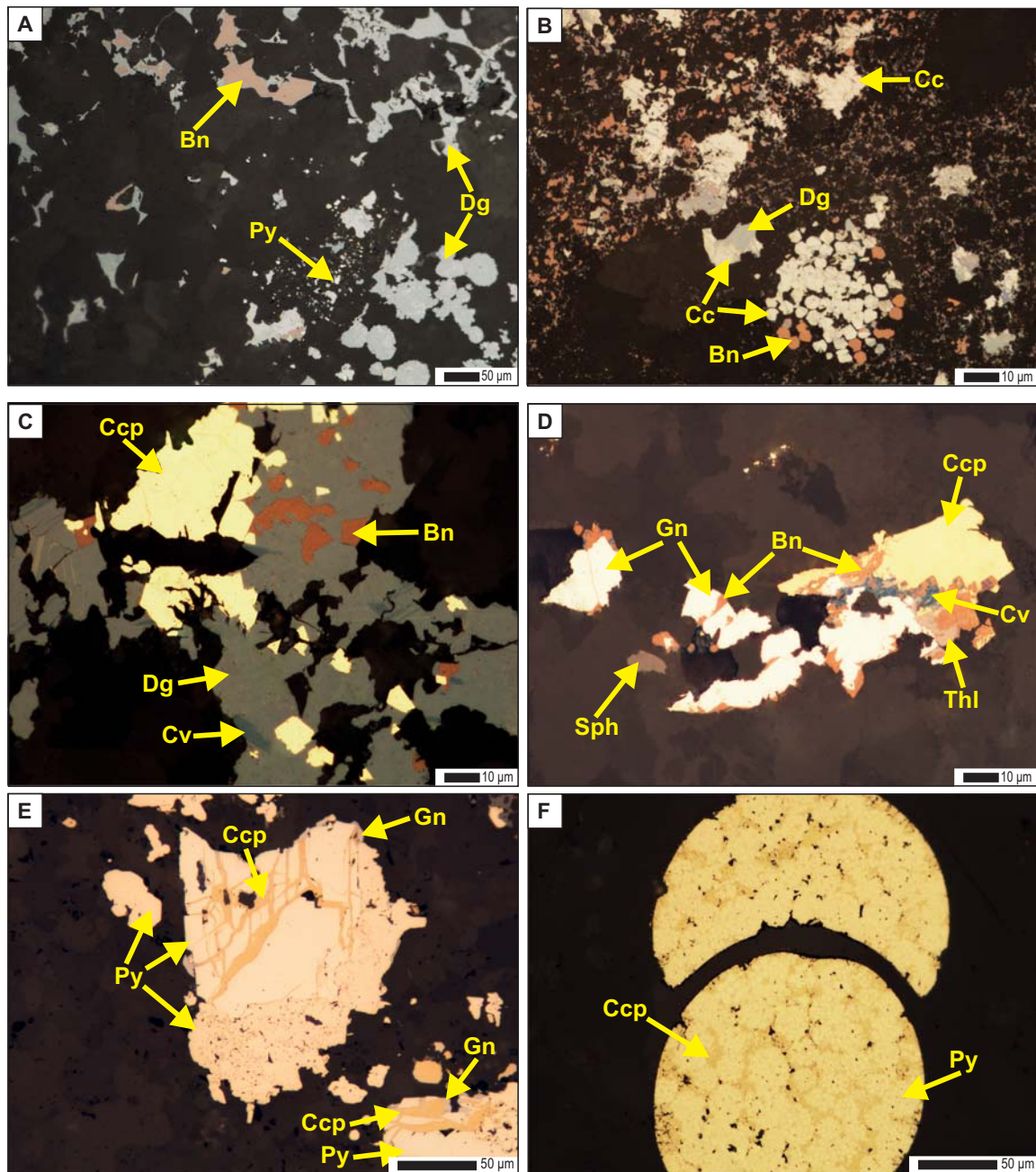


Fig. 5. Mineralizacja w strefie redukcyjnej rejonu Kożuchowa
(mikrofotografie w świetle odbitym; objaśnienia skrótów jak w [apendyksie](#))

A – digenit w towarzystwie bornitu oraz drobnych ziarn pirytu, wapień cechsztyński, otwór Ciepielów K-4; **B** – framboidy pirytu selektywnie zastąpione chalcokozynem i bornitem w towarzystwie bornitu, chalcokozynu i digenitu, wapień cechsztyński, otwór Ciepielów K-4; **C** – polimineralne gniazdo (bornit, chalkopiryty, digenit, kowelin) w węglanach, wapień cechsztyński, otwór Stypułów K-13; **D** – agregat mineralny składający się z bornitu, chalkopirytu, kowelinu, galeny, sfalerytu i thalcosytu, wapień cechsztyński, otwór Stypułów K-13; **E** – ziarna pirytu z mikrożyłkami chalkopirytu miejscami krustyfikowane galeną, wapień cechsztyński, otwór Solniki K-11; **F** – komory otwornicy wypełnione framboidami pirytu z interstycjami częściowo cementowanymi przez chalkopiryty, wapień cechsztyński, otwór Kożuchów K-10

Mineralization in the reduced zone of Kożuchów area
(microphotographs in reflected light; for abbreviations see [Appendix](#))

A – digenite associated with bornite and tiny pyrite, Zechstein Limestone, Ciepielów K-4 borehole; **B** – pyrite framboids mimically replaced by chalcocite and bornite associated with bornite, chalcocite and digenite grains, Zechstein Limestone, Ciepielów K-4 borehole; **C** – polyminerale nest (bornite, chalcopyrite, digenite and covellite) in carbonates, Zechstein Limestone, Stypułów K-13 borehole; **D** – mineral aggregate consisting of bornite, chalcopyrite, covellite, galena, sphalerite and thalcosite, Zechstein Limestone, Stypułów K-13 borehole; **E** – grains of pyrite invaded by tiny veinlets of chalcopyrite locally rimmed by galena, Zechstein Limestone, Solniki K-11 borehole; **F** – foram chambers infilled by pyrite framboids partly cemented by chalcopyrite, Zechstein Limestone, Kożuchów K-10 borehole

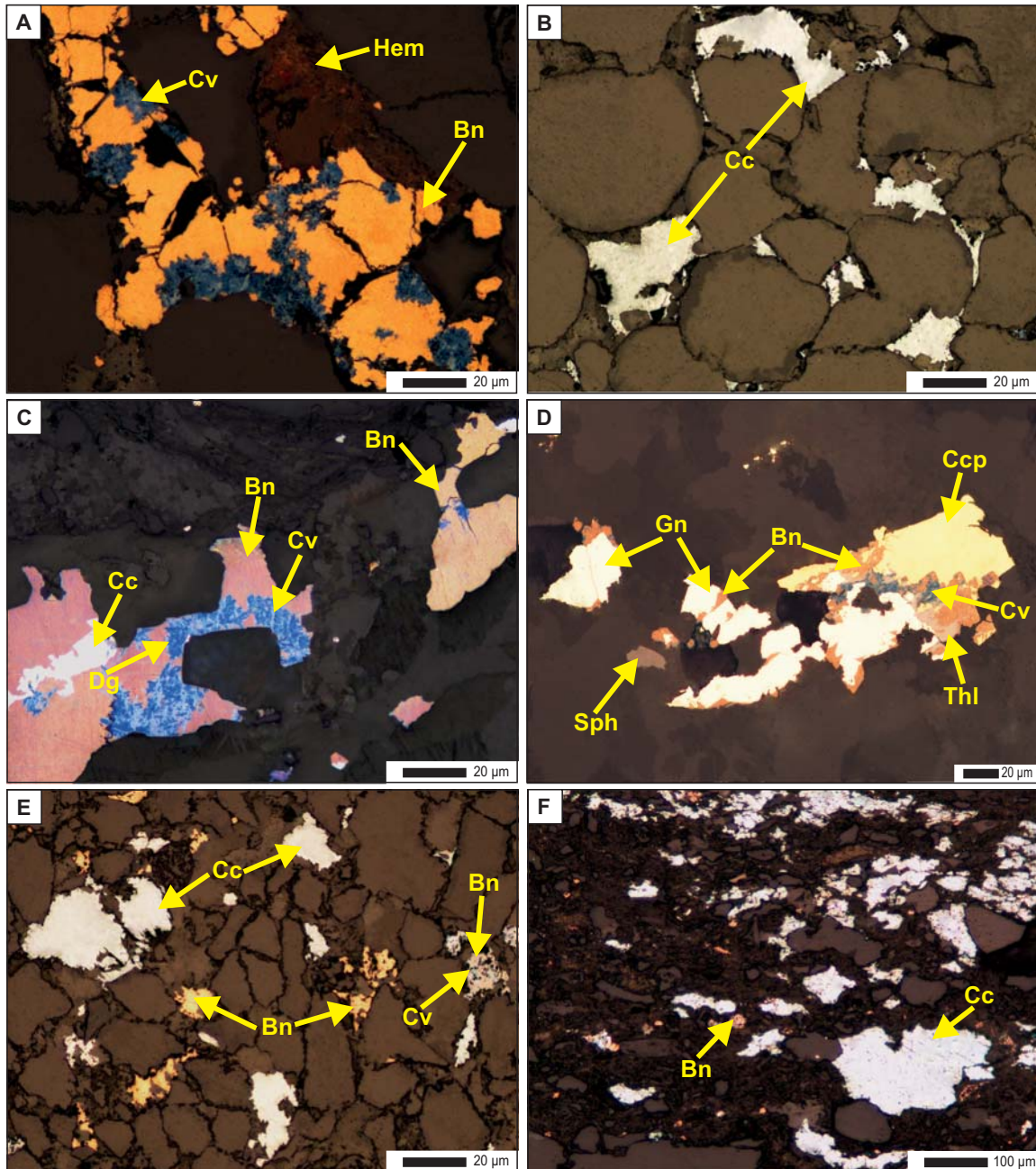


Fig. 6. Mineralizacja w strefie redukcyjnej rejonu Grochowic (mikrografie w świetle odbitym; objaśnienia skrótów jak w apendyksie)

A – bornit z wrostkami kowelinu w towarzystwie hematytu, biały spągowiec, otwór Grochowice 37; **B** – chalcocyn rozproszony w cemencie piaskowca, biały spągowiec, otwór Grochowice 35; **C** – bornit pomarańczowy i wrzosowy w towarzystwie chalcocynu, digenitu oraz kowelinu, biały spągowiec/łupek miedzionośny, otwór Grochowice 35; **D** – chalcocyn oraz bornit częściowo zastępowany digenitem i kowelinem, biały spągowiec, Grochowice 33; **E** – bornit, chalcocyn, digenit i kowelin rozproszony w piaskowcu, biały spągowiec, otwór Grochowice M-9; **F** – bornit z wrostkami kowelinu i chalcocyn wypełniające wolne przestrzenie pomiędzy ziarnami detrytycznymi, biały spągowiec/łupek miedzionośny, otwór Grochowice 31

Mineralization in the reduced zone of Grochowice area
(microphotographs in reflected light; for abbreviations see [Appendix](#))

A – bornite with covellite inclusions accompanied with hematite, Weisslieng, Grochowice 37 borehole; **B** – chalcocite dispersed throughout sandstone cement, Weisslieng, Grochowice 35 borehole; **C** – orange bornite along with violet bornite accompanied with chalcocite, digenite and covellite, Weisslieng/Kupferschiefer, Grochowice 35 borehole; **D** – chalcocite and bornite partly replaced with digenite and covellite, Weisslieng, Grochowice 33 borehole; **E** – bornite, chalcocite, digenite and covellite dispersed throughout sandstone cement, Weisslieng, Grochowice M-9 borehole; **F** – bornite with covellite inclusions and chalcocite filling open spaces between detrital grain, Weisslieng/Kupferschiefer, Grochowice 31 borehole

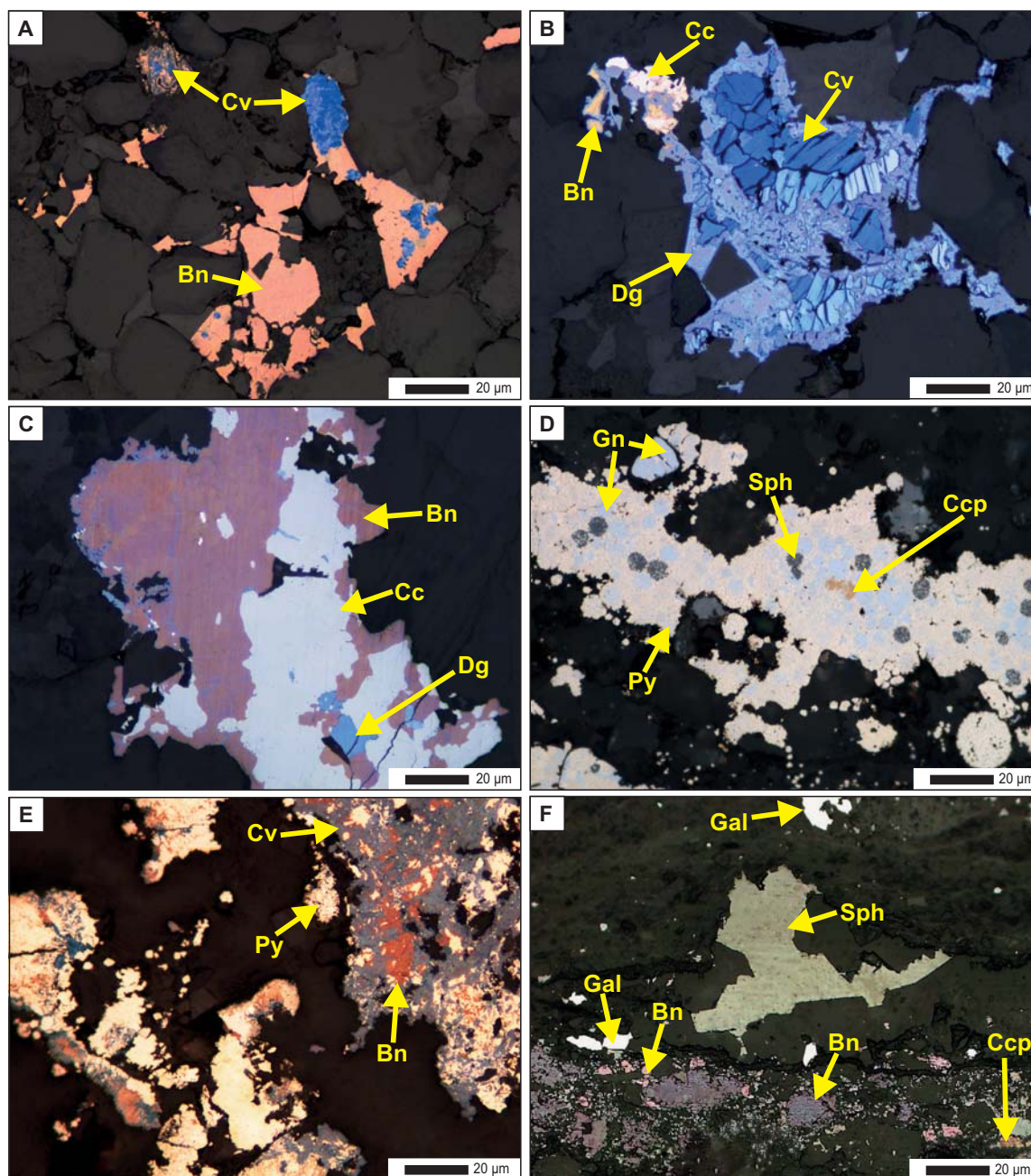


Fig. 7. Mineralizacja w strefie redukcyjnej rejonu Grochowice (mikrofotografie w świetle odbitym; objaśnienia skrótów jak w apendyksie)

A – bornit z wrostkami kowelinu zastępujący częściowo ziarna detrytyczne piaskowca, biały spągowiec, otwór Grochowice 42; **B** – agregat mineralny złożony z kowelinu i digenitu zrosnięty z chalkozynem i bornitem, biały spągowiec, otwór Grochowice 42; **C** – agregat mineralny bornitu, diegenitu oraz kowelinu zastępujący minerały węglanowe, wapień cechsztyński, otwór Grochowice 42; **D** – nagromadzenia framboidów pirytowych stopniowo zastępowanych galeną, sfalerytem i chalkopirytem w towarzystwie rozproszonych kryształów pirytu, wapień cechsztyński/anhydryt dolny, otwór Grochowice 42; **E** – gniazdo z mineralizacją pirytowo-bornitowo-kowelinową, wapień cechsztyński, otwór Grochowice 27; **F** – rozproszona mineralizacja kruszcowa reprezentowana przez bornit, sfaleryt, galenę i chalkopiryt, łupek miedzionośny, otwór Sława IG 1

Mineralization in the reduced zone of Grochowice area
(microphotographs in reflected light; for abbreviations see [Appendix](#))

A – bornite with covellite inclusions partly replacing detrital grain of sandstone, Weissliend, Grochowice 42 borehole; **B** – aggregate consisting of covellite and digenite intergrown with galena and bornite, Weissliend, Grochowice 42 borehole; **C** – carbonate-replacing mineral aggregate composed of bornite, digenite and covellite, Zechstein Limestone, Grochowice 42 borehole; **D** – mineral aggregate consisting of chalcopyrite, galena, pyrite and sphalerite, Zechstein Limestone/Lower Anhydrite, Grochowice 42; **E** – pyrite framboids partly replaced by galena, sphalerite and chalcopyrite together with disseminated pyrite. Zechstein Limestone, Grochowice 27 borehole; **F** – disseminated ore mineralization represented by bornite, sphalerite, galena, chalcopyrite, Kupferschiefer, Sława IG 1 borehole

dzimego w kowelinie i digenicie, jako zrosty z minerałami miedzi oraz w postaci izolowanych skupień rozproszonych w tle skalnym. Dzięki analizom mikrosondowym zidentyfikowano minerały platyny i palladu oraz ich nośniki, takie jak: sobolevskit (PdBi), daomanit (CuPtAsS_2), padmait (Pd-BiSe) (fig. 8C, D), a także domieszki Pt oraz Pd w digenicie oraz kowelinie (np. Stypułów K-13).

Niezwykle istotne dla interpretacji przestrzennej zmienności mineralizacji kruszcowej są struktury częściowego zastępowania siarczków miedzi przez tlenki i wodorotlenki żelaza. Zastąpienia te często przybierają charakter inwazyjnego korodowania bornitu, chalkopirytu i kowelinu (fig. 4C) hematytem. Powszechnie są zrosty i przerosty hematytu z chalkopirytem i galeną (fig. 4D), szkieletowe struktury chalkozynu zastępowanego hematytem, otoczki tlenków żelaza i aureole pigmentu hematytowego wokół siarczków miedzi, takich jak: kowelin, bornit, digenit i chalkozyn (fig. 4E). Miejscami zarejestrowano również obecność pseudomorfoz hematytu po framboidalnym pirycie, w tym także po framboidach obecnych pierwotnie w obrębie fragmentów szkieletowych mikrofauny. Na uwagę zasługują struktury świadczące o procesach przeobrażeniowych minerałów siarczkowych, którymi są zastąpienia hematytem chalkozynu i kowelinu oraz agregatów bornitowo-chalkopirytowo-idaitowych (fig. 4F, 8E). Ponadto miejscami są spotykane nieregularne zrosty hematytu ze złotem rodzimym i elektrum, a także domieszki złota w pojedynczych skupieniach hematytu (np. w otworze Kożuchów K-10 – do 0,12% wag. Au). Zwracają uwagę podwyższone zawartości selenu (do 3,45% wag.) w minerałach kruszcowych (apendyks).

W utworach utlenionych badanego rejonu na uwagę zasługuje występowanie podwyższonych koncentracji złota, platyny i palladu, maksymalnie do 1990 ppb Au, 391 ppb Pt i 736 ppb Pd w najbogatszych próbkach łupku miedzionośnego, porównywalnych do ujawnionych w północno-zachodnich rejonach złoża Lubin–Sieroszowice (por. Oszczepalski, 2007). Ogólnie w centralnych partiach zielonogórskiego obszaru ze skałami utlenionymi platynowce (szczególnie pallad) zdają się dominować nad złotem, podczas gdy w jego zewnętrznych partiach rosną zawartości złota względem platynowców (Oszczepalski, Chmielewski, 2015a).

Lokalnie, utwory utlenione są przecięte żyłkami barytowo-kalcytowymi (Kożuchów IG 2) lub kalcytowo-gipsowymi (Wrociszów K-3, Zatonie C3). Żyłki drugiego typu są silnie okruszcowane arsenkami z szeregu Co-Ni-As (saffloryt, nikielin, gersdorffit, rammelsbergit; fig. 8F, 11A–F), a także siarczkami miedzi (digenit, chalkozyn), amalgamatami srebra oraz rodzimkami srebra i bizmutu (Krzemiński, 2014). Wyjątkowo interesujące są zonalne struktury utworzone z rytmicznych przerostów arsenków kobaltu oraz niklu, otoczonych siarczkami miedzi o średnicy przekraczającej 150 μm .

MINERALIZACJA W UTWORACH REDUKCYJNYCH

Ponad utlenionymi utworami cechsztyńskiej serii miedzionośnej, na omawianym obszarze występują utwory ciemnoszare

o charakterze redukcyjnym, zawierające nieznacznie podwyższone koncentracje minerałów kruszcowych w górnej części wapienia cechsztyńskiego (np. Solniki K-11, Zawada K-12, Stypułów K-13) i lokalnie w spągowej partii anhydrytu dolnego (np. Ciepiałów K-4). Dominują trzy typy asocjacji mineralnych: (1) digenitowo-chalkozynowo-kowelinowa ze zmiennym udziałem bornitu, chalkopirytu, galeny, sfalerytu i pirytu (np. Ciepiałów K-4; fig. 5A, B, 9A), (2) bornitowo-chalkopirytowa z nieznacznym udziałem kowelinu, galeny, sfalerytu i pirytu (np. Solniki K-11, Zawada K-12, Stypułów K-13; fig. 5C) oraz (3) chalkopirytowo-galenowo-sfalerytowa (fig. 9 B, C) ze współwystępującym bornitem (fig. 5D) (np. Kożuchów K-10, Bulin IG 1). Okruszcowanie to ma głównie charakter drobnodispersyjnych rozprożeń (ziarna do kilkudziesięciu μm średnicy), tylko lokalnie obserwuje się gniazda siarczków o średnicy do 200 μm . Powszechnie są rejestrowane agregaty mineralne zbudowane z digenitu, bornitu i kowelinu lub bornitu, chalkopirytu i kowelinu. Lokalnie, najczęściej w najwyższej części cechsztyńskiej serii miedzionośnej, są spotykane zrosty i wzajemne przerosty chalkopirytu i pirytu (fig. 5E) oraz pirytu i galeny (fig. 12 A–F). Piryt występuje zazwyczaj w formie drobnych kryształów (do 5 μm średnicy), framboidów (o rozmiarach do 50 μm) zastępowanych częściowo chalkopirytem i bornitem oraz gniazd i soczew (o rozmiarach do 150 μm) złożonych z drobnych kryształów pirytu, miejscami cementowanych chalkopirytem (fig. 5F, 9D). Ubogie okruszcowanie stwierdzono w stropowych partiach wapienia cechsztyńskiego otworu Wrociszów K-3, reprezentowane przez bornit, chalkopiryt, digenit, kowelin, galenę i sfaleryt, występujące przede wszystkim w postaci wrzecionowatych i gniazdowych form (do 70 μm średnicy) rozsianych w tle skalnym oraz jako zastąpienia minerałów węglanowych. Miejscami są obecne duże agregaty (do 200 μm średnicy) galenowo-sfalerytowe, bornitowo-kowelinowe oraz zrosty kowelinu z digenitem i galeną. Analizy w mikroobszarze potwierdziły identyfikację pozostałych minerałów systemu Cu-S – chalkozynu, digenitu i kowelinu (apendyks) oraz wykazały obecność akcesorycznych minerałów z tej grupy, takich jak: djurleit, roxbyit i spionkopit (fig. 9E), ze śladowymi domieszkami żelaza (do 0,21% wag.), cynku (do 0,14% wag.) i srebra (do 0,1% wag.), a także identyfikację rzadko spotykanych minerałów w dolnocechsztyńskich utworach, takich jak: pirotyn ($\text{Fe}_{(1-x)}\text{S}$), molibdenit (MoS_2), czy thalczuzyt ($\text{Cu,Fe}_4\text{Ti}_2\text{S}_4$), które są najczęściej skupione w formie agregatów mineralnych lub zrostów z bornitem, chalkopirytem, kowelinem, sfalerytem i galeną (fig. 9F, 10A, B, 13A–F).

Bardzo interesującą mineralizację kruszcową odnotowano w otworach ze wschodniej części obszaru z utworami utlenionymi: Borowiec 2, Kielcz 1, Otyń 2, S-482 i S-483. W otworze Kielcz 1 jest sześć cienkich interwałów z mineralizacją reliktową o zawartości miedzi w granicach od 0,10 do 1,65% Cu. Podobnie w otworze Otyń 2 stwierdzono występowanie pięć interwałów z mineralizacją reliktową o zawartości od 0,1 do 0,2% Cu, przedzielonych utworami intensywnie utlenionymi. W otworze spąg anhydrytu dolnego reprezentuje strefę przejściową z siarczkami miedzi z towarzyszącym

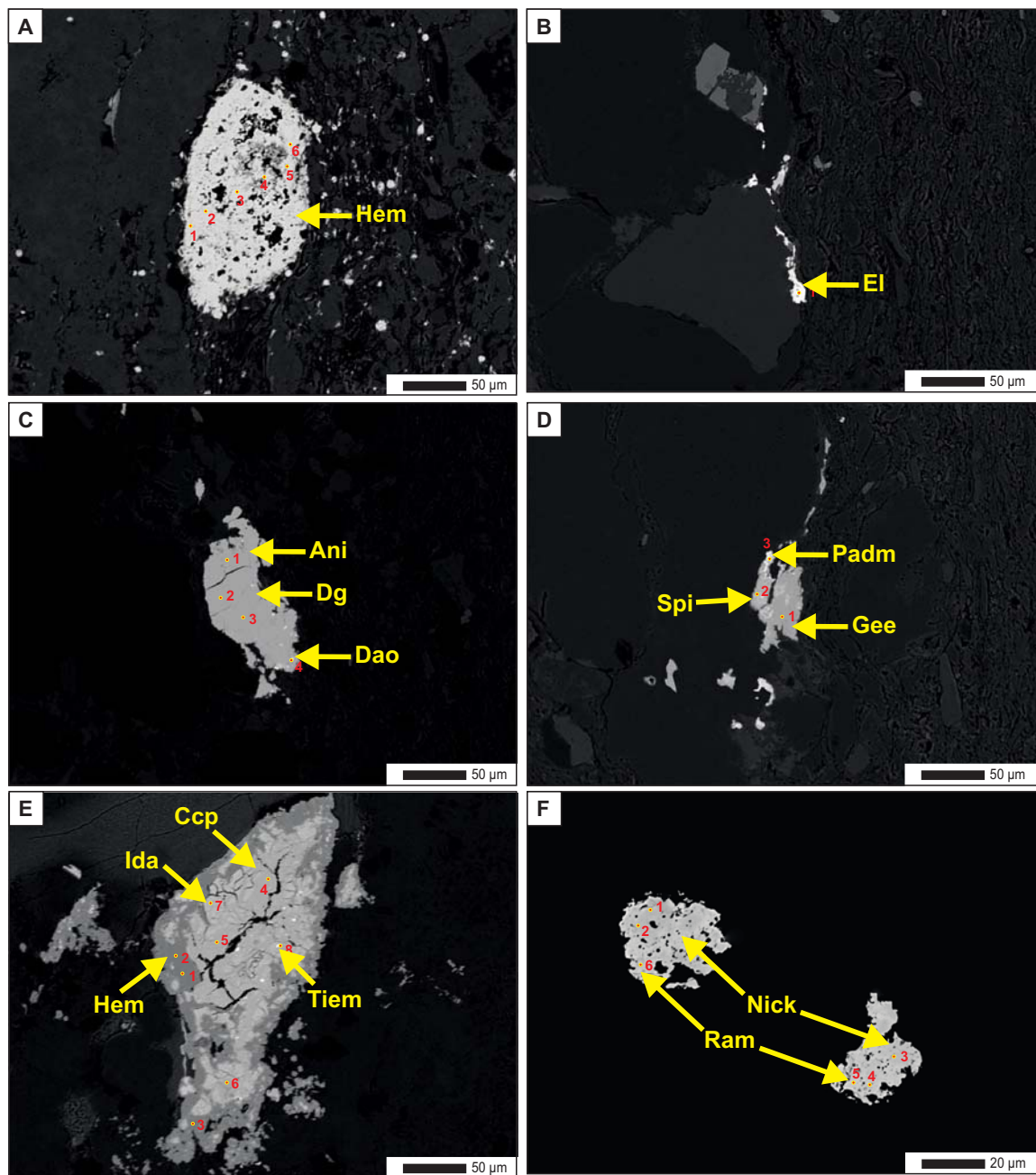


Fig. 8. Obrazy BSE siarczków zidentyfikowanych przy użyciu mikrosondy elektronicznej (objaśnienia skrótów jak w [apendyksie](#))

A – hematyt zastępujący minerały węglanowe, łupek miedzionośny, Dzikowo IG 1; **B** – elektrum w formie otoczek wokół ziarn detrytycznych piaskowca, biały spagowiec/łupek miedzionośny, otwór Stypułów K-13; **C** – skupienie digenitu i anilitu z wrostkami daomanitu, biały spagowiec/łupek miedzionośny, otwór Stypułów K-13; **D** – ziarna geerytu i spionkopitu z inkluzjami padmaitu, biały spagowiec/łupek miedzionośny, otwór Stypułów K-13; **E** – przerosty chalcopirytu z idaitem, z licznymi inkluzjami tiemannitu, zastępowane hematytem, łupek miedzionośny, otwór Koźuchów K-10; **F** – zrosty nikielinu z rammelsbergitem, biały spagowiec, otwór Wrociszów K-3

BSE images of sulphides identified by electron microprobe
(for abbreviations see [Appendix](#))

A – hematite replacing carbonate minerals, Kupferschiefer, Dzikowo IG 1 borehole; **B** – electrum rimming detrital grains, Weissligend/Kupferschiefer, Stypułów K-13 borehole; **C** – grain of digenite and anilite with tiny inclusions of daomanite, Weissligend/Kupferschiefer Stypułów K-13 borehole; **D** – grains of geerite and spionkopite with inclusions of padmaite, Weissligend/Kupferschiefer, Stypułów K-13 borehole; **E** – chalcopyrite-idaite intergrowths with inclusions of tiemannite, replacing by hematite, Kupferschiefer, Koźuchów K-10 borehole; **F** – intergrowths of nickeline with rammelsbergite, Weissligend, Wrociszów K-3 borehole

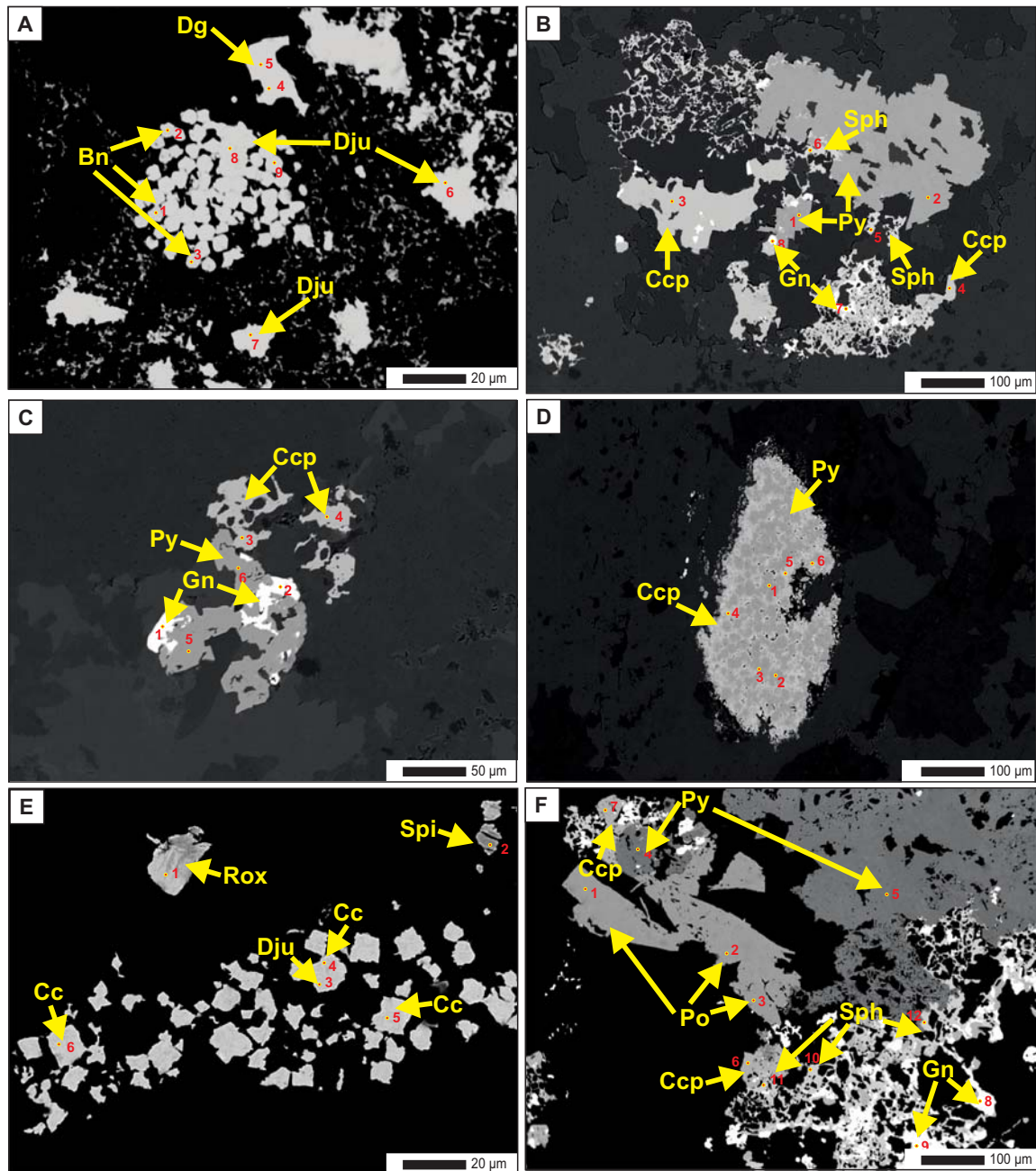


Fig. 9. Obrazy BSE siarczków zidentyfikowanych przy użyciu mikrosondy elektronicznej (objaśnienia skrótów jak w apendyksie)

A – pseudomorfozy bornitowe i djurleitowe po framboidalnym pirycie w towarzystwie ziarn djurleitu i digenitu, wapień cechsztyński, otwór Ciepiałów K-4; **B** – nieregularne skupienia chalkopirytu, galeny, sfalerytu i pirytu zastępujących minerały węglanowe, wapień cechsztyński, otwór Bulin IG 1; **C** – przerosty galenowo-chalkopirytowe w towarzystwie pirytu, wapień cechsztyński, otwór Kożuchów K-10; **D** – nagromadzenie pirytu framboidalnego częściowo zastępowanego lub cementowanego chalkopirytem, wapień cechsztyński, otwór Kożuchów K-10; **E** – nagromadzenia kryształów chalkozynu, djurleitu, roxbyitu i spionkopitu, wapień cechsztyński, otwór Stypułów K-13; **F** – zespół mineralny złożony z chalkopirytu, galeny, sfalerytu, pirytynu i pirytu, wapień cechsztyński/anhydryt dolny, otwór Ciepiałów K-4

BSE images of sulphides identified by electron microprobe
(for abbreviations see [Appendix](#))

A – bornite and djurleite pseudomorphs after framboidal pyrite accompanied by djurleite and digenite, Zechstein Limestone, Ciepiałów K-4 borehole; **B** – irregular grains of chalcopyrite, galena, sphalerite and pyrite replacing carbonates, Zechstein Limestone, Bulin IG 1 borehole; **C** – galena-chalcopyrite intergrowths accompanied by pyrite, Zechstein Limestone, Kożuchów K-10 borehole; **D** – aggregation of pyrite framboids partly replaced or cemented by chalcopyrite, Zechstein Limestone, Kożuchów K-10 borehole; **E** – grains of chalcocite, djurleite, roxbyite and spionkopite, Zechstein Limestone, Stypułów K-13 borehole; **F** – mineral assemblage consisting of chalcopyrite, galena, sphalerite, pyrrhotite and pyrite, Zechstein Limestone/Lower Anhydrite, Ciepiałów K-4 borehole

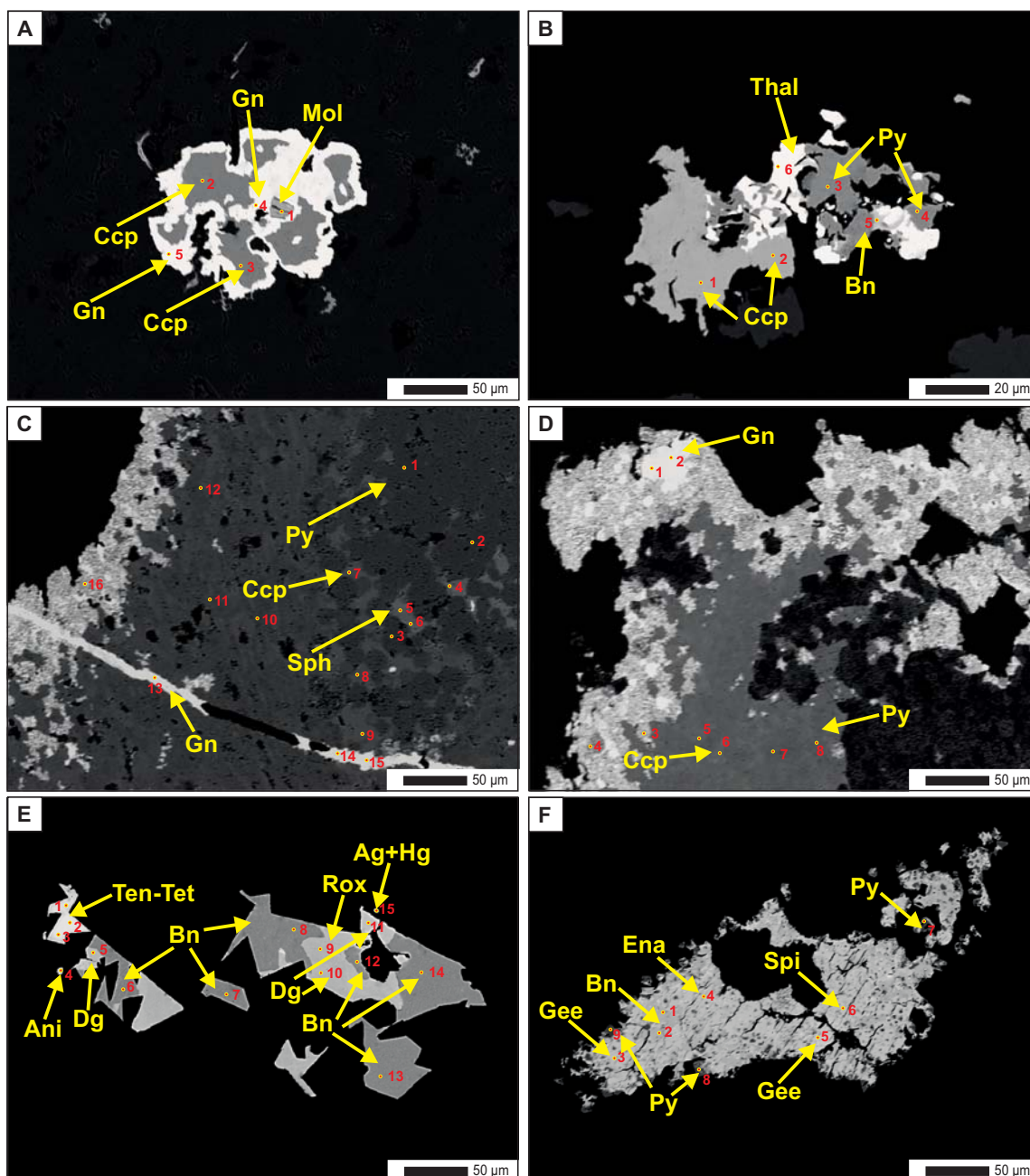


Fig. 10. Obrazy BSE siarczków zidentyfikowanych przy użyciu mikrosondy elektronicznej (objaśnienia skrótów jak w [apendyksie](#))

A – chalkopiryt zastępowany galeną, z wrostkiem molibdenitu, anhydryt dolny, otwór Solniki K-11; **B** – agregat mineralny zbudowany z bornitu, chalkopiryt, pirytu i thalcozytu, wapień cechsztyński, otwór Stypułów K-13; **C** – agregat złożony z pirytu, chalkopirytu i sfalerytu, przecięty mikrożyłką galeny, wapień cechsztyński, otwór Grochowice 31; **D** – gniazdo złożone z galeny, chalkopirytu i pirytu, wapień cechsztyński, otwór Grochowice 31; **E** – wypełnienie wolnej przestrzeni przez tennantyt, tetraedryt, bornit, diegnit, roxbyit i anilit w towarzystwie amalgamatu srebra, wapień cechsztyński, otwór Grochowice 42; **F** – agregat mineralny składający się z bornitu, enargitu, geerytu, spionkopitu oraz pirytu, wapień cechsztyński, otwór Grochowice 42

BSE images of sulphides identified by electron microprobe (for abbreviations see [Appendix](#))

A – chalcopyrite partly replaced by galena with molybdenite inclusion, Lower Anhydrite, Solniki K-11 borehole; **B** – mineral aggregate composed of bornite, chalcopyrite, pyrite and thalcosite, Zechstein Limestone, Stypułów K-13 borehole; **C** – aggregate consisting of pyrite, chalcopyrite and sphalerite cut by galena veinlet, Zechstein Limestone, Grochowice 31 borehole; **D** – nest consisted of galena, chalcopyrite and pyrite, Zechstein Limestone, Grochowice 31 borehole; **E** – open space filled with intergrowths of tennantite and tetrahedrite along with bornite, digenite, roxbyite and anilite accompanied by silver amalgams, Zechstein Limestone, Grochowice 42 borehole; **F** – mineral aggregate consisting of bornite, enargite, gerrite, spionkopite and pyrite, Zechstein Limestone, Grochowice 42 borehole

hematytem. Wyżej leżące anhydryty są wykształcone w facji redukcyjnej i zawierają digenit, kowelin, chalkozyn i piryt. Z kolei w otworach: Borowiec 2, S-482 i S-483 stwierdzono dwa interwały redukcyjne z bogatą mineralizacją miedziową, reprezentowaną przez siarczki typu Cu-S, przedzielone strefą z okruszcowaniem reliktowym. Na przykład w otworze Borowiec 2 ponad utlenionymi utworami białego spągowca i dolnego łupku miedzionośnego występuje redukcyjny łupek miedzionośny o zawartości 5,02% Cu, okruszczony chalkozynem, digenitem i podrzędnie borni-

tem. Wyżej zarejestrowano interwał wapienia cechsztyńskiego o miąższości 2,03 m z mineralizacją reliktową reprezentowaną przez kowelin, digenit i chalkozyn z towarzyszącym im hematytem, natomiast w stropie wapienia cechsztyńskiego i w spągu anhydrytu dolnego ponownie pojawia się interwał redukcyjny z zawartością miedzi od 0,46 do 1,51% oraz podwyższonymi koncentracjami ołowiu (do 0,63%) i cynku (do 0,33%), zmineralizowany bornitem, digenitem i chalkozynem z nielicznymi skupieniami galeny i sfalerytu.

MINERALIZACJA KRUSZCOWA W REJONIE GROCHOWIC

W rejonie Grochowic (włącznie z subrejonem Sławy) udokumentowano obecność minerałów kruszczowych we wszystkich ogniwach litologicznych cechsztyńskiej serii miedzionośnej, od białego spągowca po anhydryt dolny (fig. 2). Utwory utlenione we wszystkich badanych otworach występują wyłącznie w najniższych partiach białego spągowca, cechujących się obecnością pigmentu hematytowego oraz licznych grudek, skupień i kryształów hematytu, miejscami w formie zbitych, ziemistych mas, powodujących powstawanie różnorodnych czerwonych plam. Utlenione skały białego spągowca (np. w wierceniach Grochowice 37) zawierają jedynie bardzo ubogą, reliktową mineralizację siarczkową, reprezentowaną przez nieliczne mikroziarna siarczków miedzi, przeważnie kowelinu, bornitu, digenitu i chalkozynu oraz podrzędnego pirytu (fig. 6A). Siarczki te są korodowane i zastępowane przez hematyt, a otaczają je także aureole pigmentu hematytowego.

W zachodniej części rejonu Grochowic (S-482, S-483, Grochowice 28, Grochowice 35), mineralizacja kruszczowa występująca ponad utworami utlenionymi jest zdominowana przez bogate okruszcowanie typu Cu-S. W białym spągowcu przeważa mineralizacja chalkozynowa (fig. 6B) z digenitem i kowelinem, a w łupku miedzionośnym mineralizacja typu Cu-Fe-S, reprezentowana przez bornit i chalkopiryt przy współdziałaniu galeny, sfalerytu, tennantytu i pirytu (fig. 6C). W piaskowcach kruszce są nieregularnie rozproszone w cementie skały, zastępują fragmenty ziaren detrytycznych, a lokalnie także tworzą spoiwo w partiach stropowych białego spągowca. Obecne są liczne zrosty chalkozynu i kowelinu z digenitem do 400 μm średnicy. Ponadto dosyć częste są nieregularne agregaty mineralne do 500 μm średnicy, składające się z chalkozynu, digenitu oraz kowelinu, silnie zanieczyszczone drobnoziarnistym materiałem terygenicznym. W łupku miedzionośnym skupienia i nagromadzenia poszczególnych siarczków (przeważnie niewielkich rozmiarów do 100 μm długości), przyjmują formy wydłużone zgodnie z laminacją skały. Powszechne są też drobne soczewy, smugi oraz mikrożyłki kruszczowe o przebiegu równoległym do laminacji. Częste są wzajemne zrosty i przerosty bornitu z chalkopirytem (do 200 μm średnicy), zastąpienia ziaren detrytycznych oraz impregnacje intraklastów i soczewek węglanowych przez bornit, chalkopiryt, galenę i sfaleryt.

Liczne są framboidy pirytowe (o średnicach do 60 μm), miejscami zastępowane bornitem bądź chalkopirytem oraz cementowane galeną lub sfalerytem.

We wschodniej części omawianego rejonu (Grochowice 3, M-9, 27, 31, 33, 41 i 42) w utworach białego spągowca przeważa mineralizacja digenitowo-chalkozynowo-bornitowa z kowelinem (Grochowice 3, 31 i 33; fig. 6D) oraz chalkozynowo-bornitowa (fig. 6E) z udziałem sfalerytu i galeny (Grochowice M-9), podczas gdy łupek miedzionośny i spągowe partie wapienia cechsztyńskiego są zdominowane przez asocjację chalkozynowo-bornitową z udziałem kowelinu i digenitu (Grochowice 3 i 33) lub asocjację chalkopirytowo-bornitową (fig. 6F) z galeną i sfalerytem (Grochowice 31, Grochowice M-9; fig. 10 C, D). Mineralizacja w piaskowcach jest dosyć bogata i reprezentowana głównie przez kruszce rozproszone (o średnicy do 150 μm) w cementie węglanowym, miejscami zastępujące ziarna detrytyczne i cement węglanowy. Lokalnie minerały kruszczowe stanowią spoiwo piaskowca. Spotyka się liczne duże zrosty chalkozynu z digenitem, a także bornitu z digenitem i chalkozynem oraz polimineralne zrosty digenitu, chalkozynu i bornitu, przerosty bornitu z kowelinem oraz sfalerytu z galeną. Obserwowane są także drobne, nieregularne wrostki chalkozynu w digenicie i bornicie. Serię węglanowo-łupkową cechuje występowanie minerałów kruszczowych w formie rozproszonych ziaren do 100 μm średnicy, a miejscami w postaci drobnych skupień (do 10 μm średnicy) koncentrujących się w smugi i pasma o długości do 0,5 cm, o lekko falistym przebiegu. Ponadto, siarczki zastępują materiał węglanowy (w tym szczątki mikrofauny) oraz wypełniają drobne spękania i pustki w skale. Spotykane są liczne zrosty bornitu z digenitem, digenitu z chalkozynem i kowelinem oraz kowelinu z bornitem, a także drobne inkluzje kowelinu w bornicie. Sporadycznie występują nieregularne agregaty mineralne o średnicy do 300 μm , składające się z bornitu, digenitu i kowelinu oraz bornitu i chalkopirytu. Sfaleryt i galena powszechnie zastępują niektóre ziarna szkieletowe. Galena może mieć także postać drobnych izometrycznych ziaren niekiedy obrastanych pirytem bądź sfalerytem. Piryt jest obecny w postaci drobnych kryształów, framboidów i jako zastąpienia lub wypełnienia drobnych fragmentów ziaren szkieletowych. Framboidy bywają cementowane sfalerytem i galeną. Badania w mikroobszarze kruszczów obecnych w

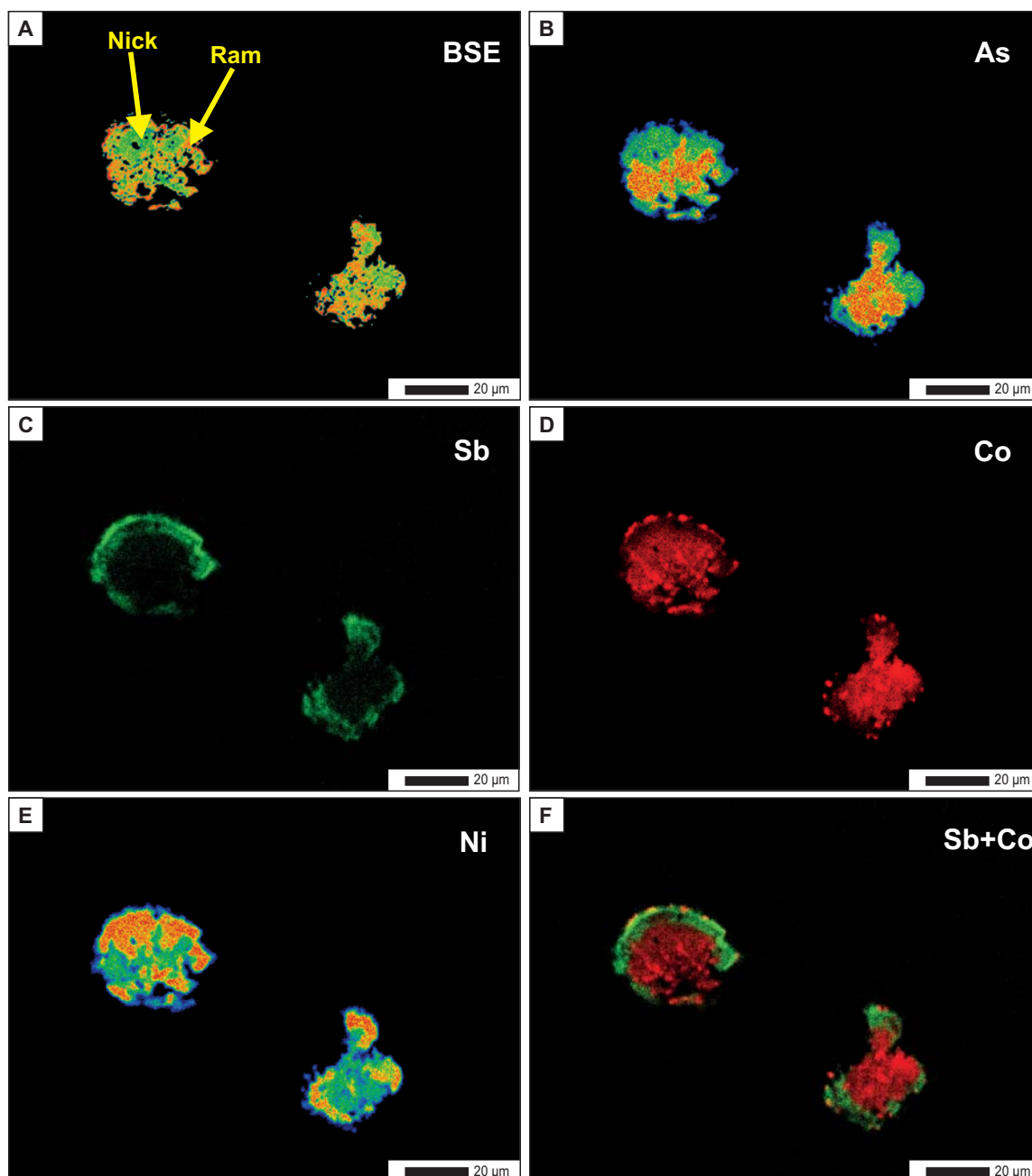


Fig. 11. Obrazy BSE oraz mapy koncentracji pierwiastków dla nieregularnych zrostów nikielinu z rammelsbergitem, biały spągowiec, otwór Wrociszów K-3 (objaśnienia skrótów jak w [apendyksie](#))

BSE-images and the map showing concentration of elements for irregular intergrowths of nickeline with rammelsbergite, Weisslied, Wrociszów K-3 borehole (for abbreviations see [Appendix](#))

wapieniu cechsztyńskim otworu Grochowice 31 potwierdziły obecność chalkozynu, digenitu i kowelinu, a także dzięki nim zidentyfikowano: anilit, geeryt, spionkopit i roxbyit, które są rozproszone w tle skalnym, bądź zastępują minerały węglanowe. Stwierdzono domieszki srebra w anilicie (0,12% wag.), bornicie (0,39% wag.), digenicie (0,92% wag.) i roxbyicie (0,54% wag.), obecność amalgamatów srebra i minerałów z szeregu tennantyt-tetraedryt, a także enargitu ze znaczną domieszką żelaza (7,36% wag.), kobaltu (7,24% wag.) i niklu

(2,28% wag.) ([apendyks](#)). Dodatkowo badania te ujawniły obecność licznych przejściowych faz pirytu z dużą domieszką miedzi (do 20% wag.) i ołowiu (do 28% wag.) oraz występowanie selenu i arsenu w strukturach minerałów takich jak: piryt, sfaleryt, chalkopiryt, galena, bornit i digenit, z maksymalną zawartością 0,61% wag. Se w chalkopirycie oraz 6,36% wag. As w pirycie ([apendyks](#)).

Interesujący jest otwór Grochowice 42, w którym mineralizacja kruszcowa nie jest zbyt bogata, niemniej jest obec-

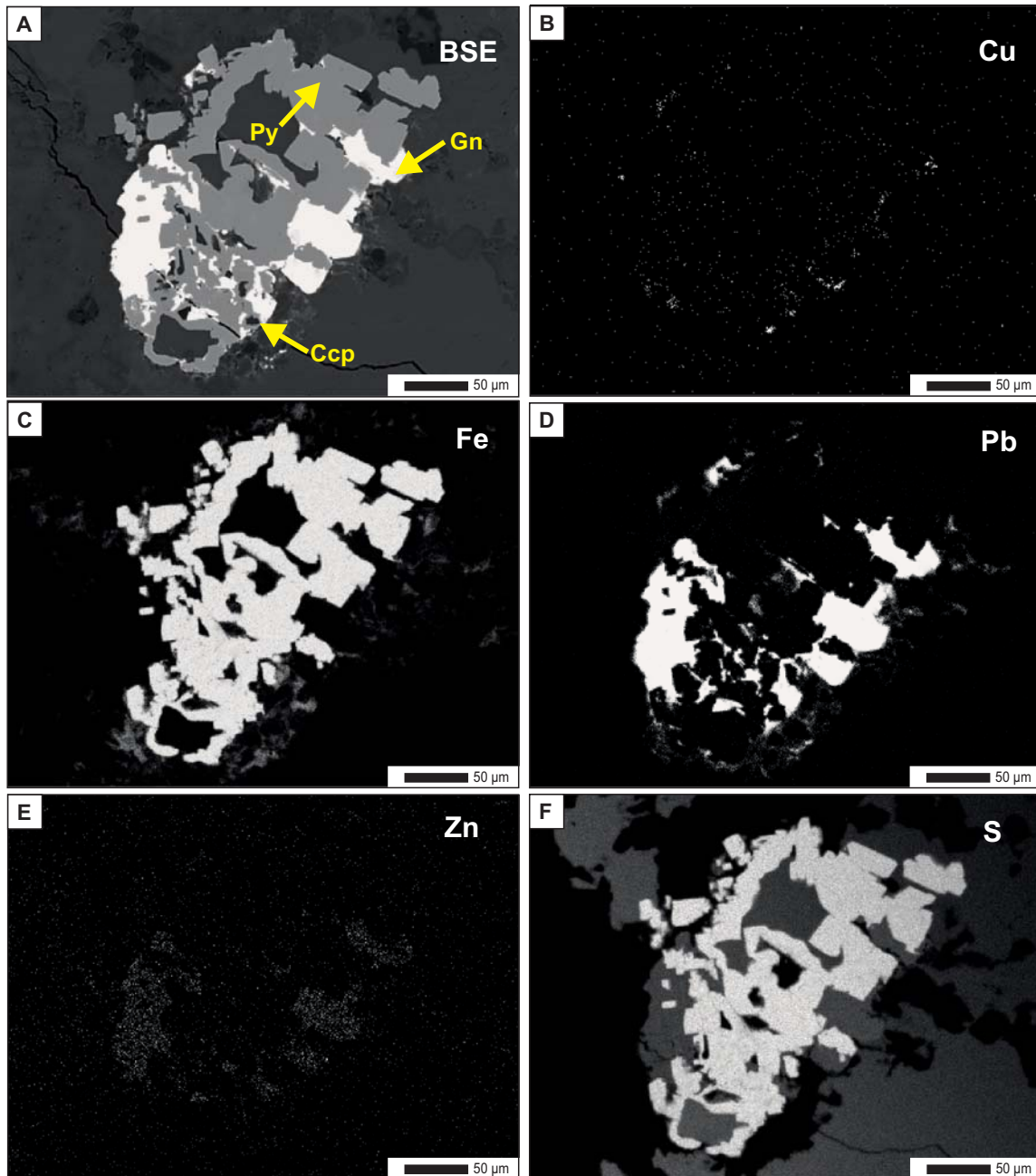


Fig. 12. Obrazy BSE oraz mapy koncentracji pierwiastków dla przerostów galeny i pirytu z drobnymi wrostkami chalkopirytu na krawędziach przerostów, wapień cechsztyński, otwór Kożuchów K-10 (objaśnienia skrótów jak w [apendyksie](#))

BSE images and the map showing concentration of elements for galena-pyrite intergrowths with tiny coatings of chalcopyrite, Zechstein Limestone, Kożuchów K-10 borehole (for abbreviations see [Appendix](#))

na w całym profilu cechsztyńskiej serii miedzionośnej. Biały spagowiec zawiera nieliczne skupienia bornitu, digenitu, kowelinu i chalkozynu (fig. 7A, B), a wapień cechsztyński i najniższe partie anhydrytu dolnego są okruszczowane bornitem, digenitem (fig. 10E, F), kowelinem i chalkozynem (fig. 7C), z bogatą mineralizacją chalkopiryto-galenowo-sfalerytową z pirytem w stropie zmineralizowanego interwału (fig. 7D). Odmienny charakter mineralizacji kruszcowej cechuje otwór Grochowice 27, w którym okruszczowanie jest ubogie i re-

prezentowane przez kowelin, digenit i chalkozyn, obecne jedynie w stropowej próbce białego spagowca, ponad którym w łupku miedzionośnym i dolnej części wapienia cechsztyńskiego występują zaledwie śladowe ilości bornitu i kowelinu z towarzyszącym pirytem (fig. 7E).

W otworze Sława IG 1 zidentyfikowano następujący zespół minerałów kruszczowych: chalkopiryt, bornit, chalkozyn, sfaleryt, galena oraz piryt (Oszczepalski, Chmielewski, 2015b). Najczęstszą postacią występowania tych siarczków są niere-

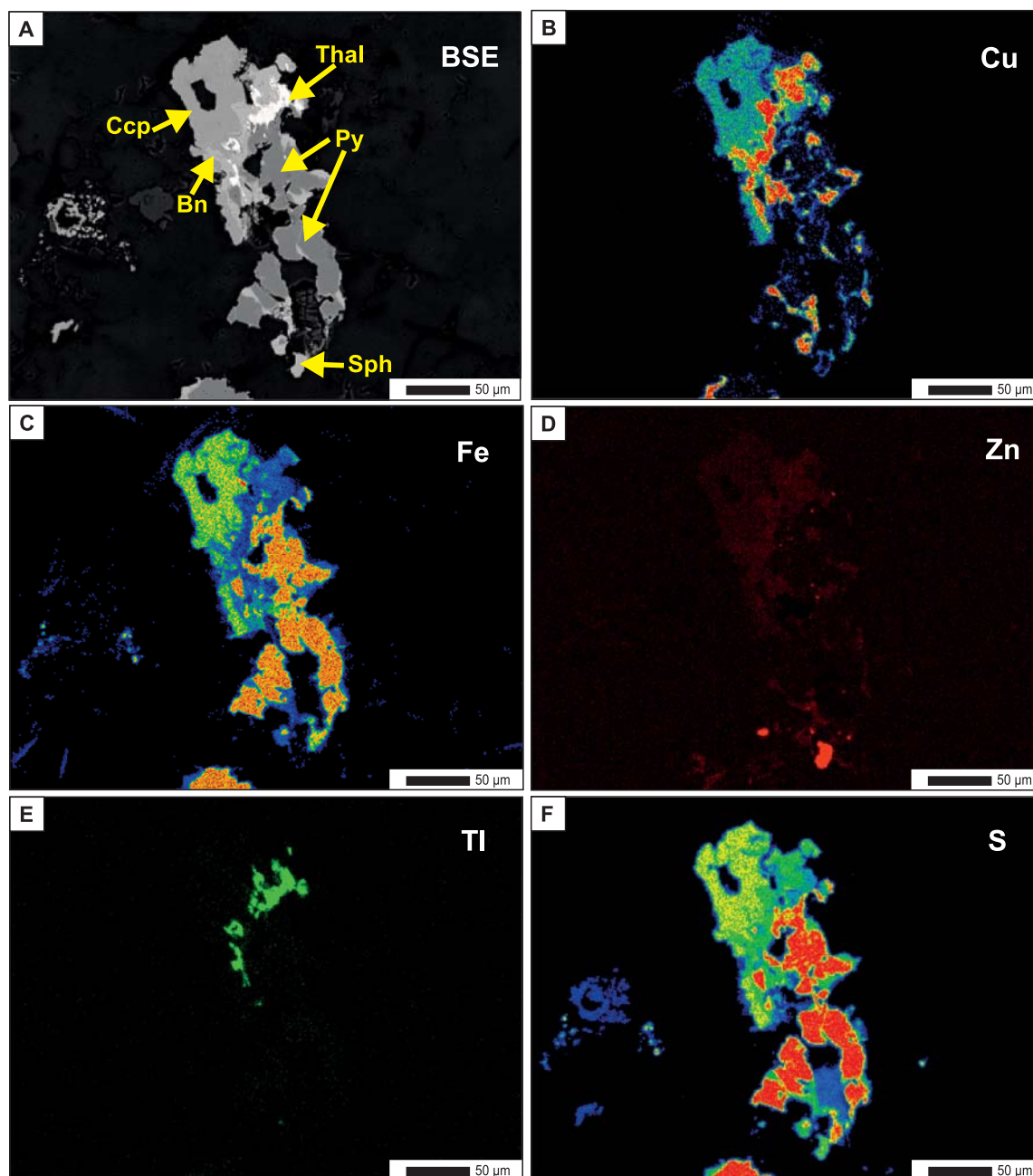


Fig. 13. Obrazy BSE oraz mapy koncentracji pierwiastków dla agregatu mineralnego składającego się z chalkopirytu, bornitu, pirytu, sfalerytu i thalcusytu, wapień cechsztyński, otwór Stypulów K-13 (objaśnienia skrótów jak w [apendyksie](#))

BSE images and the map showing concentration of elements for mineral aggregates consisting of chalcopyrite, bornite, pyrite, sphalerite and thalcusite, Zechstein Limestone, Stypulów K-13 borehole (for abbreviations see [Appendix](#))

gularne i ostrokrawędziste ziarna, płaskie i wydłużone soczewki i gniazda, a także linijne i płasko-soczewkowe formy kruszców, szczególnie liczne w łupku miedzionośnym oraz w dolnej części wapienia cechsztyńskiego. Zwracają uwagę siarczkowe impregnacje węglanów, w tym lamin węglanowych w łupku miedzionośnym. W białym spągowcu dominuje asocjacja galena-chalkozyn, której towarzyszą: bornit,

sfaleryt i piryt. W dolnej jego części mineralizacja ma charakter śladowy, w postaci nielicznych wrostków w cemente węglanowym, natomiast ku górze profilu stopniowo wzrasta udział siarczków, a przy stropie białego spągowca jest powszechne zastępowanie cementu węglanowego przez siarczki metali, a nawet występowanie cementu siarczkowego, spajającego szkielet ziarnowy. W łupku miedzionośnym do-

minującymi kruszcami są bornit i chalkopiryt, którym towarzyszą: sfaleryt, galena i piryt (fig. 7F). Stwierdzono wrostki pirytu w galenie, a także nieliczne zrosty galeny i sfalerytu oraz chalkopirytu i bornitu. Ku stropowi łupku miedzionośnego maleje zawartość siarczków oraz wzrasta udział galeny i sfalerytu kosztem bornitu i chalkopirytu. Wapień cechsztyński cechuje, podobnie jak w stropie łupku miedzionośnego,

mała intensywność okruszcowania, przy czym udział siarczków wyraźnie maleje ku górze profilu. Stwierdzono w nim występowanie galeny, sfalerytu, pirytu oraz śladowych ilości chalkopirytu. Miejscami spotyka się diagonalne żyłki dolomitowe z wrostkami sfalerytu i galeny, okruszcowane szwy stylolitowe oraz wypełnienia przez siarczki wolnych przestrzeni w węglanach.

IMPLIKACJE POSZUKIWAWCZE

Utwory cechsztyńskiej serii miedzionośnej na badanym obszarze reprezentują profile skał utlenionych z mineralizacją hematytową i reliktową mineralizacją kruszcową w jego zachodniej części oraz profile utworów redukcyjnych z bogatą mineralizacją siarczkową na wschodzie obszaru badań (fig. 2).

W rejonie Kożuchowa spągowe utwory cechsztynu cechuje znaczne zaawansowanie procesów utleniających. W rezultacie niemal całe profile cechsztyńskiej serii miedzionośnej są utlenione i zawierają jedynie nieliczne relikty siarczków. Dopiero w najwyższej części profilów wapienia cechsztyńskiego lub w spągu anhidrytu dolnego pojawia się uboga mineralizacja typowa dla strefy przejściowej lub redukcyjnej. Miąższość interwału utlenionego (w obrębie serii łupkowo-węglanowej) jest bardzo zmienna i waha się od kilku centymetrów na krańcach obszaru do ok. 30 m w częściach południowych. W otworze Kożuchów IG 1, gdzie jest najbogatsze okruszcowanie, siarczki występują powyżej utlenionych utworów obejmujących biały spągowiec, łupkę miedzionośną i dolną część wapienia cechsztyńskiego, 2,49 m ponad stropem białego spągowca. Stwierdzono tu obecność bogatego okruszcowania reprezentowanego przez chalkopiryt, chalkozyn, tetraedryt oraz galenę, sfaleryt i piryt (Rydzewski, 1969). Interwał z mineralizacją o miąższości 0,65 m występuje na korzystnej głębokości 820,74–821,39 m i cechuje go średnia zawartość 1,43% Cu i zasobność Cue 34,59 kg/m². Zgodnie z obecnie stosowanymi granicznymi wartościami parametrów definiujących złożę i jego granice dla pokładowych stratoidalnych złóż rud miedzi, przy minimalnej zawartości miedzi w próbce konturującej złożę w wysokości 0,5% Cu i minimalnej zasobności 35 kg/m² Cu_e, Kożuchów IG 1 nie spełnia warunku minimalnej zasobności. Niestety mineralizacja ta nie kontynuuje się w otaczających otworach zrealizowanych w latach późniejszych, w tym także w ostatnio wykonanym otworze Zatonie C3 (Krzemiński, 2014). Wprawdzie istnieje tu wciąż niezbadany obszar (rzędu 20 km²) wokół otworu Kożuchów IG 1, niemniej wysoka pozycja mineralizacji siarczkowej w profilu (porównywalna z zachodnimi krańcami obszaru dokumentacyjnego Lubin–Sieroszowice) nie wskazuje na możliwość udokumentowania istotnych zasobów prognostycznych w okolicy Kożuchowa, większych niż ok. 40 tys. t Cu.

W rejonie Grochowic cechsztyńska seria miedzionośna zawiera w większości profilów bogatą mineralizację miedziowo-srebrową. W rejonie tym wyznaczono trzy obszary perspektywiczne o minimalnej zasobności 35 kg/m² Cu_e:

Grochowice I, Grochowice II i Sława (Oszczepalski i in., 2016; tab. 1). Oprócz tych rejonów, na wschodnim krańcu omawianego terenu występuje część obszaru perspektywicznego Kulów, a na północy fragmenty dwóch innych obszarów perspektywicznych: Wilcze i Jany (fig. 1). Uwzględniając graniczne wartości parametrów definiujących złożę i jego granice, wszystkie te obszary nie spełniają wymogu maksymalnej głębokości, ponieważ spąg serii okruszcowanej przekracza 1500 m.

Obszar Grochowice I przylega do północno-zachodniej części udokumentowanego złoża Bytom Odrzański. Został wyznaczony czterema otworami pozytywnymi: S-483, S-482, Grochowice 35 i Grochowice 28. W otworach tych dominuje okruszcowanie typu Cu-S (chalkozyn, digenit, kowelin) z bornitem w białym spągowcu oraz mineralizacją typu Cu-Fe-S (bornit, chalkopiryt) z udziałem tennantytu, galeny, sfalerytu i pirytu w łupku miedzionośnym. Maksymalne zawartości miedzi stwierdzono w próbkach łupku miedzionośnego z otworów: S-482 (17,65%) i Grochowice 35 (7,17%) oraz w próbkach piaskowców z otworów: Grochowice 35 (2,84%) i S-483 (1,80%). Wysokie są maksymalne zawartości srebra, zwłaszcza w próbkach łupku miedzionośnego: S-482 (600 ppm) i Grochowice 35 (564 ppm) oraz w stropie białego spągowca otworu Grochowice 35 (175 ppm). Na wschodzie obszaru (np. Grochowice 35) w próbkach łupku zaobserwowano wzrost koncentracji cynku (do 3,05%) i ołowiu (do 1,41%). Zgodnie z granicami obszaru Grochowice I, wyznaczonymi na podstawie interpolacji geometrycznej posiadanych danych, może się na nim znajdować ok. 1,125 Mt Cu i ponad 7 tys. t Ag (tab. 1). Pozostałe obszary perspektywiczne: Grochowice II i Sława są niewielkie, z mineralizacją polimetaliczną (chalkozyn, bornit, galena, sfaleryt, piryt, chalkopiryt) zlokalizowaną w piaskowcach i łupkach (Oszczepalski, Chmielewski, 2015a, b).

W profilach rejonu Grochowic zaznacza się bardzo wyraźna prawidłowość polegająca na występowaniu uboższego okruszcowania w dolnej części profilu białego spągowca i w górnej części wapienia cechsztyńskiego oraz bogatej mineralizacji kruszcowej w interwale obejmującym strop Bs, T1 i spąg Ca1, przy czym najbogatsze okruszcowanie przypada zwykle na strop Bs i spąg T1 (fig. 2). Skład mineralny i sposób rozmieszczenia minerałów kruszcowych w rejonie Grochowic jest porównywalny z obserwowanym w centralnej części złoża Lubin–Sieroszowice (Kucha, 2007; Pieczonka i in., 2007).

Powszechna jest pionowa strefowość mineralna, przejawiająca się dominacją siarczków miedzi (głównie z grupy

Tabela 1

**Przypuszczalne zasoby miedzi i srebra
w obszarach perspektywicznych rejonu Grochowice**
Estimated resources of copper and silver in the prospects
of the Grochowice area

Parametr	Grochowice I	Grochowice II	Sława
Obszar [km ²]	15,80	2,35	9,48
Zakres głębokości [m p.p.t.]	1600–1700	1600–1700	1900–2000
Średnia miąższość [m]	1,10	1,52	0,45
Średnia zawartość miedzi [%]	2,59	1,60	1,92
Zasoby miedzi [Mt]	1,125	0,143	0,205
Średnia zawartość srebra [ppm]	170	23	161
Zasoby srebra [t]	7386	205	1717

Cu-S) w stropie białego spągowca, lokalnie także w dolnej części łupku miedzionośnego, przewagą asocjacji bornito-wo-chalkopirytowej z galeną i sfalerytem w górnej części łupku miedzionośnego oraz zdecydowaną dominacją galeny i sfalerytu nad siarczki miedzi w dolnej części profilu wapienia cechsztyńskiego. Jedynie lokalnie (np. Grochowice 42), siarczki miedzi przeważają nie tylko w białym spągowcu, lecz także w wapieniu cechsztyńskim i spągowych partiach anhidrytu dolnego.

W podsumowaniu należy stwierdzić, że zdecydowana dominacja utworów utlenionych nad utworami o charakterze redukcyjnym w rejonie Kożuchowa, a zwłaszcza reliktowy charakter mineralizacji kruszcowej w obrębie utworów utlenionych, wskazuje na znaczną intensywność procesów przeobrażenia pierwotnie redukcyjnych i okruszczonych utworów (fig. 1). Świadczy o tym zarówno przekraczający kontakt utworów utlenionych z redukcyjnymi, w formie strefy przejściowej, współwystępowanie reliktywów siarczków metali z hematytem i goethytem, struktury zastępowania siarczków przez tlenki żelaza, zwłaszcza w obrębie strefy przejściowej oraz zmienna konfiguracja przebiegu granicy redoks, powodująca zachowanie w górnych częściach profilów nieprzeobrażonej mineralizacji kruszcowej ponad utworami utlenionymi (fig. 2). Charakterystyczne dla utworów utlenionych są podwyższone koncentracje złota, podobnie jak w zachodnich krańcach złoża Lubin–Sieroszowice (Oszczepalski, 2007). We wschodniej części tzw. zielonogórskiego obszaru utlenionego są obecne profile utworów utlenionych z kilkoma interwałami podwyższonej mineralizacji o reliktowym charakterze, a przy samej granicy redoks występują profile, w których bogata mineralizacja miedziowa jest przedzielona mineralizacją reliktową, co wskazuje na lateralne zazębienie się utworów z mineralizacją złożową i reliktową. Jednocześnie obserwuje się stopniowe przemieszczanie się interwału okruszczowanego siarczki miedzi w coraz niższe poziomy cechszyńskiej serii

miedzionośnej, w miarę oddalania się od zielonogórskiego obszaru utworów utlenionych. Temu przemieszczaniu towarzyszy wzrost udziału siarczków miedzi systemu Cu-S w rejonach proksymalnych względem utworów utlenionych, a w dalszej odległości od granicy redoks następuje wzrost udziału siarczków typu Cu-Fe-S oraz mineralizacji ołowiowo-cynkowej. To samo następstwo jest widoczne w profilach pionowych.

Uwzględniając znaną prawidłowość przemieszczania się bogatej mineralizacji w coraz to niższe poziomy w miarę oddalania się od obszarów utlenionych, należy sądzić, że w zachodniej części strefy okruszczowanej złoża będzie zlokalizowane w obrębie wapienia cechsztyńskiego (ponad utlenionymi utworami piaskowcowo-łupkowymi), w centrum – w łupku miedzionośnym i wapieniu cechsztyńskim ponad utlenionymi utworami białym spągowcem, a we wschodniej części złoża będzie obecne – jak w obszarze perspektywicznym Grochowice I i we wschodniej części złoża Bytom Odrzański – nie tylko w utworach łupkowo-węglanowych, lecz także w białym spągowcu (fig. 2).

Biorąc pod uwagę wskazane cechy rozmieszczenia przestrzennego mineralizacji siarczkowej względem utworów utlenionych, wielokrotnie w przeszłości wysuwano przypuszczenie, że złoża Bytom Odrzański przedłuża się w kierunku północno-zachodnim, przy czym największe nadzieje wiązano z obszarem prognostycznym Grochowice I oraz rejonami bezpośrednio przylegającymi od wschodu do tzw. zielonogórskiego obszaru utlenionego, ponieważ uważano, że złoża Lubin–Sieroszowice kontynuują się w formie pasa miedzionośnego (o szerokości 5–15 km) wzdłuż wschodniej granicy obszaru ze skałami utlenionymi, w stronę dalej położonych obszarów perspektywicznych: Wilcze, Jany i Mozów (Oszczepalski, Rydzewski, 1983, 1997; Oszczepalski, Speczik, 2011; Krzemiński, Speczik, 2013; Oszczepalski, Chmielewski, 2015a; Oszczepalski i in. 2016). Centralna część spodziewanego pasa miedzionośnego nie była dotychczas objęta pracami wiertniczymi, gdyż odwierty realizowano przede wszystkim w sąsiednich rejonach w ramach poszukiwań ropy i gazu oraz soli potasowych. Z tych względów, a przede wszystkim ze względu na rzadko rozmieszczoną i nieregularną siatkę zbadanych otworów oraz geometryczną interpolację danych, granice wyznaczonych dotychczas obszarów perspektywicznych (por. fig. 1) nie odzwierciedlają w pełni rzeczywistego przebiegu strefy miedzionośnej.

Prowadzona ostatnio przez spółki z grupy Miedzi Copper Corporation eksploracja wiertnicza na obszarze znajdującym się pomiędzy złożem Bytom Odrzański i obszarami perspektywicznymi Jany i Wilcze w pełni potwierdza przewidywane tendencje rozmieszczenia mineralizacji miedziowo-srebrzej (Zieliński, Speczik, 2017). Na podstawie dotychczasowych wyników uzyskanych dzięki odwierceniu 10 otworów w rejonie na północny wschód od Nowej Soli, oszacowano zasoby hipotetyczne na łącznej powierzchni około 450 km² wynoszące ok. 50 Mt Cu i ok. 100 tys. t Ag w interwale znajdującym się na głębokości 1500–2400 m, w tym 7 Mt Cu i 17,8 tys. ton Ag w zasobach w kategorii C₂ oraz 4,5 mln t Cu i 11 tys. t Ag w kategorii D₁ (Zieliński, Speczik, 2017).

Zasadniczymi barierami natury geologicznej i ekonomicznej, które mogą stanowić potencjalne zagrożenia dla zagospodarowania w przyszłości złóż występujących na północny zachód od złoża Bytom Odrzański są: głębokość spągu cechsztynu przekraczająca 1500 m i związane z tym niekorzystne warunki geologiczno-górnice (wysoka temperatura górotworu w granicach 45–55°C, wysokie ciśnienie nadkładu), zagrożenia ropno-gazowe (węglowodory, azot, hel) oraz wysokie koszty wydobycia kopaliny (w tym podatek od jej wydobycia), związane z potencjalnymi zagrożeniami dla konwencjonalnych prac górniczych, wymagających chłodzenia górotworu i likwidacji zagrożeń ropno-gazowych (Speczik i in., 2007,

2013; Oszczepalski, Speczik, 2011; Oszczepalski i in., 2016). Niemniej, uwzględniając postępujący rozwój technologii wydobywczych i stosowane już w świecie innowacyjne rozwiązania w dziedzinie budowy i funkcjonowania głębokich kopalń, eksploatacja głęboko zalegających rud staje się coraz bardziej realna, na co wskazuje „Technical Report of the Miedzi Copper Project, Poland” opracowany przez RungePincocMinorko w 2012 r. i uzupełniony w kwietniu 2017 r. (S. Speczik, inf. ustna), pod warunkiem, że złoża głębokie będą bardziej znacząco zasobne w porównaniu z położonymi płycej (Speczik, 2015; Zieliński, Speczik, 2017).

WNIOSKI

Zbadane otwory, zwłaszcza w strefie redukcyjnej, są rozmieszczone bardzo rzadko i skupione przede wszystkim w obrębie złóż gazowych. Dlatego granice obszarów perspektywicznych, wyznaczone na podstawie geometrycznej interpolacji nierównomiernie rozlokowanych danych, mają hipotetyczny charakter. Jak wynika z dotychczasowych badań prowadzonych na obszarze złoża Lubin–Sieroszowice, ciała kruszcowe przebiegają ściśle wzdłuż granicy redoks. Na tej podstawie należy sądzić, że także na omawianym obszarze najbogatsza mineralizacja powinna występować w najbliższym sąsiedztwie zielonogórskiego obszaru utlenionego, tworząc pas miedzionośny o kierunku północno-zachodnim, stanowiący kontynuację złoża Bytom Odrzański.

Uzyskane dzięki prowadzonej ostatnio eksploracji nowe informacje znacznie uzupełnią obecny stan wiedzy na temat północno-zachodniego przedłużania się złoża Bytom Odrzański, co w konsekwencji może umożliwić udokumentowanie

znajdujących się tam głębokich złóż rud miedzi. Pomimo spodziewanych barier natury geologicznej i ekonomicznej, realizowany w ostatnich latach kompleksowy program eksploacyjny pozwolił na uzyskanie niezwykle istotnych nowych informacji na temat występowania bogatej mineralizacji Cu-Ag we wschodnim otoczeniu tzw. zielonogórskiego obszaru utlenionego, dając przesłanki do ich udokumentowania. Uwzględnienie obecnego stopnia zaawansowania technologii górniczych pozwala na zaplanowanie w niedalekiej przyszłości ich ekonomicznie uzasadnionego zagospodarowania.

Podziękowania. Autorzy dziękują Krzysztofowi Nejbertowi i Rafałowi Siudzie, recenzentom tej pracy, za cenne uwagi oraz Dyrekcji PGNiG SA za wyrażenie zgody na opróbowanie rdzeni wiertniczych.

Opracowanie wykonano ze środków statutowych PIG-PIB (projekty o nr. 61-6505-1501-00-0 i 61-7101-1601-00-0).

LITERATURA

- BACHOWSKI C., KUDEŁKO J., WIRTH H., 2007 — Próby poszerzenia geologicznej bazy zasobowej KGHM Polska Miedź SA. *W: Geologiczne, gospodarcze i społeczne znaczenie odkrycia złoża rud miedzi (red. S. Oszczepalski). Biul. Państw. Inst. Geol., 423: 189–196.*
- 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., 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.*
- CHMIELEWSKI A., OSZCZEPALSKI S., SPECZIK S., 2015 — Relict mineralization in the transition zone, Kupferschiefer series of SW Poland. *W: Mineral resources in a sustainable world (red. A.S. Andre-Mayer i in.). Proceedings Volume 5: 1897–1900. Universite de Lorraine.*
- GOSPODARCZYK E., 1978 — Miedzionośność utworów spagowych cechsztynu na monoklinie przedsudeckiej i peryklinie Żar oraz możliwości dalszych poszukiwań. *Prz. Geol., 26, 2: 97–102.*
- GOSPODARCZYK E., METLERSKI E., 1986 — Rudy miedzi – monoklina przedsudecka. *W: Zasoby perspektywiczne kopalni Polski (red. A. Bolewski, H. Gruszczak): 174–179. Inst. Geol., Warszawa.*
- GOSPODARCZYK E., OSZCZEPALSKI S., RYDZEWSKI A., 1978 — Perspektywy poszukiwań cechsztyńskich rud miedzi w rejonie Koźuchowa. *Kwart. Geol., 23, 2: 477–479.*
- GOSPODARCZYK E., METLERSKI E., RYDZEWSKI A., WYŻYKOWSKI J., 1975 — Poszukiwanie cechsztyńskich rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej. Wyjaśnienie możliwości przedłużania się złoża Lubin–Głogów po upadzie – Dokumentacja otworu Sława IG-1. *Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.*

- GOSPODARCZYK E., LISIAKIEWICZ S., METLERSKI E., OSZCZEPALSKI S., RYDZEWSKI A., WAŻNY H., 1980 — Poszukiwanie cechsztyńskich rud miedzi w rejonie monokliny przedsudeckiej – Dokumentacja wynikowa otworów: M-1 Lipowiec, M-5 Dryżyna, M-9 Grochowice, M-24 Dachów. *Narod. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa.
- GRUSZECKI J., PIKUŁA K., 2008 — Dodatek nr 4 do dokumentacji geologicznej złoża rud miedzi „Bytom Odrzański” w kat. C1+C2. *Narod. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa.
- KOZULA R., GOLCZAK I., 1988 — Dokumentacja geologiczna złoża rud miedzi „Bytom Odrzański” w kat. C₁ i C₂. *Narod. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa.
- KRZEMIŃSKI P., 2014 — Nowe dane na temat epigenetycznej mineralizacji Ni-Co-As z okolic Koźuchowa (SW Polska). *Zesz. Nauk. IGSMiE PAN*, **88**: 149–160.
- KRZEMIŃSKI P., SPECZIK S., 2013 — Prognostyczne złożo rud Cu-Ag w województwie lubuskim (SW Polska). *Zesz. Nauk. IGSMiE PAN*, **85**: 231–240.
- KUCHA H., 2007 — Mineralogia kruszcowa i geochemia ciała rudnego złoża Lubin–Sieroszowice. *W: Geologiczne, gospodarcze i społeczne znaczenie odkrycia złoża rud miedzi* (red. S. Oszczepalski). *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **423**: 77–94.
- MALON A., TYMIŃSKI M., MIKULSKI S.Z., OSZCZEPALSKI S., 2016 — Surowce metaliczne. *W: Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31.XII.2013 r.* (red. M. Szuflicki, A. Malon, M. Tymiński): 51–68. *Państw. Inst. Geol. – Państw. Inst. Badaw.*
- MICHALIK M., 1979 — Utwory plamiste (rote Fäule) występujące w cechszynie Z-1 na południe od Głogowa. *Pr. Miner.*, **54**: 23–39.
- MIKULSKI S.Z., OSZCZEPALSKI S., CZAPOWSKI G., GAŚIEWICZ A., SADŁOWSKA K., MARKOWIAK M., SZTROMWASSER E., BUKOWSKI K., GIEŁŻECKA-MĄDRY D., MĄDRY S., STRZELSKA-SMAKOWSKA B., PAULO A., MICHNIEWICZ M., RADWANIEK-BAK B., CHMIELEWSKI A., KUĆ P., SIKORSKA-MAJKOWSKA M., KOŻMA J., BLIŻNIUK A., PIOTROWSKA M., KOSTRZ-SIKORA P., 2016 — Obszary i zasoby perspektywiczne wystąpień rud metali i surowców chemicznych w Polsce na mapach w skali 1 : 200 000 wraz z ich oceną surowcową oraz ograniczeniami środowiskowymi i zagospodarowania przestrzennego. *Prz. Geol.*, **64**, 9: 657–670.
- OSZCZEPALSKI S., 1980 — Środowisko sedymentacji serii węglanowej Z1 a mineralizacja osadów cechsztyńskich (rejon Zielonej Góry–Koźuchowa). *Kwart. Geol.*, **24**, 3: 571–590.
- 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 miedziożnej na obszarach rezerwowych górnictwa miedziożnego. *W: Geologiczne, gospodarcze i społeczne znaczenie odkrycia złoża rud miedzi* (red. S. Oszczepalski). *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **423**: 109–124.
- OSZCZEPALSKI S., CHMIELEWSKI A., 2015a — Zasoby przewidywane surowców metalicznych Polski na mapie w skali 1 : 200 000 – miedź, srebro, złoto, platyna i pallad w utworach cechsztyńskiej serii miedziożnej. *Prz. Geol.*, **63**, 9: 534–545.
- OSZCZEPALSKI S., CHMIELEWSKI A., 2015b — Litologia i okruszcowanie utworów kontaktu cechsztynu z czerwonym spągowcem. *W: Sława IG-1* (red. K. Leszczyński). *Profile Głęb. Otw. Wiert. Państw. Inst. Geol.*, **146**: 59–66.
- OSZCZEPALSKI S., RYDZEWSKI A., 1983 — Miedziożność utworów permu na obszarze przylegającym do złoża Lubin–Sieroszowice. *Prz. Geol.*, **31**, 7: 437–444.
- OSZCZEPALSKI S., RYDZEWSKI A., 1991 — The Kupferschiefer mineralization in Poland. *Zentralblatt für Geol. Paläont.*, **I**, 4: 975–999.
- OSZCZEPALSKI S., RYDZEWSKI A., 1993 — Rudy miedzi. *W: Zasoby perspektywiczne kopalin Polski wg stanu na 31.XII.1990* (red. B. Bąk, S. Przeniosło): 98–116. *Państw. Inst. Geol.*, Warszawa.
- OSZCZEPALSKI S., RYDZEWSKI A., 1997 — Atlas metalogiczny cechsztyńskiej serii miedziożnej w Polsce. *Państw. Inst. Geol. – Wydaw. Kartograf. Polskiej Agencji Ekol. SA*. Warszawa.
- OSZCZEPALSKI S., SPECZIK S., 2011 — Rudy miedzi i srebra. *W: Bilans perspektywicznych zasobów kopalin Polski wg stanu na 31.XII.2009 r.* (red. S. Wołkowicz, T. Smakowski, S. Speczik): 76–93. *Państw. Inst. Geol.*, Warszawa.
- OSZCZEPALSKI S., RYDZEWSKI A., WAŻNY H., 1982 — Wyniki poszukiwań cechsztyńskich rud miedzi w rejonie Koźuchowa. *Narod. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa.
- OSZCZEPALSKI S., NOWAK G.J., BECHTEL A., ŽÁK 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., SPECZIK S., CHMIELEWSKI A., KRZEMIŃSKI P., 2010 — Ocena możliwości poszerzenia bazy zasobowej – poszukiwanie nowych rezerw w otoczeniu złoża Lubin–Sieroszowice. *Narod. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa.
- OSZCZEPALSKI S., SPECZIK S., MAŁECKA K., CHMIELEWSKI A., 2016 — Prospective copper resources in Poland. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management*, **32**, 2: 5–30.
- OSZCZEPALSKI S., CHMIELEWSKI A., SOWUŁA W., BORTYN J., PIKUŁA K., ZIELIŃSKI K., 2012 — Ocena możliwości występowania cechsztyńskiej mineralizacji Cu-Ag na obszarze województw lubuskiego i wielkopolskiego na podstawie archiwalnych materiałów wiertniczych, w tym wierceń naftowych. *Narod. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa.
- PIECZONKA J., PIESTRZYŃSKI A., LENIK P., CZERW H., 2007 — Rozmieszczenie minerałów kruszcowych w złożu rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej. *W: Geologiczne, gospodarcze i społeczne znaczenie odkrycia złoża rud miedzi* (red. S. Oszczepalski). *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **423**: 95–108.
- PREIDL M., 1971 — Perspektywy poszukiwań złóż rud miedzi w cechszynie. III Krajowy Zjazd Górn. Rud, Lubin 1971: 109–116.
- RYDZEWSKI A., 1964 — Charakterystyka petrograficzno-mineralogiczna utworów dolnego cechsztynu w rejonie złoża miedzi Lubin–Sieroszowice. *W: Miedziożność cechsztynu strefy przedsudeckiej*. *Pr. Inst. Geol.*: 59–84.
- RYDZEWSKI A., 1969 — Petrografia łupków miedziożnych cechsztynu na monoklinie przedsudeckiej. *Biul. Inst. Geol.*, **217**: 113–167.
- RYDZEWSKI A., 1978 — Facja utleniona cechsztyńskiego łupka miedziożnego 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**: 411–426.

- SPECZIK S., 2015 — Szansa czy iluzja? — Głębokie kopalnie miedzi i srebra w Polsce. *Zesz. Nauk. IGSMiE PAN*, **91**: 179–192.
- SPECZIK S., PÜTTMANN W., 1987 — Origin of Kupferschiefer mineralization as suggested by coal petrology and organic geochemical studies. *Acta Geol. Pol.*, **37**, 3/4: 167–187.
- SPECZIK S., OSZCZEPALSKI S., CHMIELEWSKI A., 2013 — Exploration and mining perspective of the Kupferschiefer series in SW Poland: digging deeper? *W: Mineral deposit research for a high-tech world* (red. E. Jonsson i in.). Proceedings of the 12th Biennial SGA Meeting, 12–15 August 2013, 2: 687–690. Uppsala, Sweden.
- SPECZIK S., OSZCZEPALSKI S., NOWAK G., KARWASIEC-KA M., 2007 — Cechsztyński łupek miedzionośny – poszukiwania nowych rezerw. *W: Geologiczne, gospodarcze i społeczne znaczenie odkrycia złoża rud miedzi* (red. S. Oszczepalski). *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **423**: 173–188.
- SPECZIK S., OSZCZEPALSKI S., CHMIELEWSKI A., KRZEMIŃSKI P., 2011 — Litologia, petrografia i cechsztyńska mineralizacja kruszcowa w wybranych profilach wiertniczych z rejonu Nowa Sól, Zabór i Trzebiechów. *Narod. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa.
- SZAMAŁEK K., 2011 — Ocena wystarczalności krajowych zasobów złóż udokumentowanych. *W: Bilans perspektywicznych zasobów kopalni Polski wg stanu na 31.XII.2009 r.* (red. S. Wołkowicz, T. Smakowski, S. Speczik): 16–22. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- WIRTHH., BANASZAK A., RYDZEWSKI A., OSZCZEPALSKI S., 2007 — Obszary rezerwowe i perspektywiczne dla złóż miedzi. *W: Monografia KGHM Polska Miedź SA*, wyd. II (red. A. Piestrzyński, A. Banaszak, M. Zaleska-Kuczmiarczyk): 263–269. KGHM Cuprum Sp. z o.o., Lubin.
- WYŻYKOWSKI J., 1958 — Poszukiwania rud miedzi na obszarze strefy przedsudeckiej. *Prz. Geol.*, **6**, 1: 17–22.
- WYŻYKOWSKI J., 1961 — Północno-zachodni zasięg krystalinikum bloku przedsudeckiego i możliwości poszukiwań cechsztyńskich rud miedzi w tym rejonie. *Prz. Geol.*, **9**, 4: 182–186.
- WYŻYKOWSKI J., 1963 — Najnowsze wyniki badań geologicznych w rejonie Kożuchowa. *Prz. Geol.*, **11**, 4: 182–187.
- WYŻYKOWSKI J., 1964 — Zagadnienie miedzionośności cechsztynu na tle budowy geologicznej strefy przedsudeckiej. *W: Miedzionośność cechsztynu strefy przedsudeckiej. Pr. Inst. Geol.*: 5–57.
- WYŻYKOWSKI J., 1971 — Dotychczasowe wyniki geologicznych prac badawczych a dalsze perspektywy stwierdzenia nowych złóż rud miedzi w Polsce. *Cuprum*, **12**, 4: 20–29.
- ZIELIŃSKI K., SPECZIK S., 2017 — Głębokie złoża miedzi i srebra szansą dla górnictwa metali w Polsce. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **468**: 153–164.

SUMMARY

The PGI-NRI has conducted investigations of the Kupferschiefer series since 1957, when the giant sediment-hosted stratiform Cu-Ag ore deposit was discovered in the central part of the Fore-Sudetic Monocline (Wyżykowski, 1958). Until 1991, a number of drilling programs were completed by PGI-NRI and later research have been focusing mainly on cooperation with the oil industry and their core material. As a result of systematic examination of the drill holes located in the north-western extension, many prospective areas have been delineated (Oszczepalski *et al.*, 2016). Available data was summarized to determinate the spatial variability of ore mineralization as well as to identify and distinguish prospective areas with rich Cu-Ag mineralization that can be documented between the Bytom Odrzański deposit and the eastern border of the Zielona Góra oxidized Rote Fäule area (Figs. 1, 2).

The main goal of this study concerns petrographic examination of ore minerals distribution in Kożuchów-Grochowice area. New findings are based on a compilation of reflected-light microscopy, CAMECA SX 100 electron microprobe measurements and studies (Figs. 3–13).

In the Kożuchów area, the lower part of Zechstein copper-bearing series contains only minor sulphide minerals accompanied by iron oxides while reduced rocks with metal sulphides occur in the uppermost part of the Zechstein Limestone or at the base of the Lower Anhydrite. The uppermost part of oxidized profiles represents the transition zone, which has features that intermediate between the oxidized and reduced zones including colour variation, mineral zonation pattern, and the existence of relict sulphide mineralization repre-

sented by digenite, chalcocite and covellite accompanied by iron oxides and hydroxides, as well as native gold and electrum. Additionally, the transition zone is characterized by lower amounts of hematite and insignificantly higher concentrations of sulphides relative to much oxidized rocks. Much less common is relict bornite-chalcopyrite mineralization with minor tennantite, galena and sphalerite. Random minerals, including: tiemannite, clausenthalite, anilite, djurleite, geerite, roxbyite, spionkopite, yarrowite, elektrum, native gold, Pd-Pt minerals like sobolevskite, daomanite, padmaite, Pt-Pd alloys are registered (Appendix). Slightly richer mineralization occurs only in the uppermost part of the Zechstein Limestone or sporadically in the Lower Anhydrite where reduced facies are found. Three types of mineral association in studied area are recognized: (1) digenite-chalcocite-covellite with variable concentration of bornite, chalcopyrite, galena, sphalerite and pyrite; (2) bornite-chalcopyrite with minor covellite, galena, sphalerite and pyrite; (3) chalcopyrite-galena-sphalerite with bornite. Microprobe studies have also allowed the identification of rarely encountered minerals, such as: pyrrhotite, molybdenite or thalcosite. Majority of copper-bearing profiles in the Kożuchów region are pervasively oxidized. As a result, they contain only relics of sulphides partly replaced by hematite. Typically, numerous oxidized profiles with several intervals containing remnants of copper sulphides have been registered in the eastern side of the oxidized area. Alternations of totally oxidized intervals and intervals with relict sulphides clearly indicate that this type of complex mineralization is a result of advanced upward and lateral flow of mineralizing solutions that overlaps primary mineralization.

Grochowice area, where reduced profiles prevail in copper-bearing series, is characterized by the domination of rich Cu-Ag mineralization within the closest proximity to oxidized fields. The western part of studied area is dominated by Cu-S type sulphides (chalcocite, digenite, covellite) whereas the eastern part is represented by Cu-Fe-S type minerals (bornite, chalcopyrite) with high galena and sphalerite concentrations. Within areas with reduced facies, three prospective areas can be distinguished with the minimum productivity of 35 kg/m² Cueq: Grochowice I, Grochowice II and Sława areas. The Grochowice I area might contain approx. 1.125 Mt Cu and more than 7 thousand tonnes of Ag (Table 1). Other prospective areas: Grochowice II and Sława are smaller and contain polymetallic mineralization (chalcocite, bornite, galena, sphalerite, pyrite, chalcopyrite) located both in the shales and sandstones.

The position of the copper mineralization in copper-bearing series is moving down eastwards with the distance from the oxidized Zielona Góra area (Fig. 2). Characteristically, rich ore mineralization separated by intervals with poor relict mineralization in profiles located proximally to the redox boundary clearly indicates lateral overlapping of ore mineralization. Highest-grade copper mineralization, which is adjacent to the oxidised areas, is predominated by Cu-S type sulphides. Farther away from oxidized areas, high- and low-grade mineralization is represented by Cu-Fe-S type sulphides with minor galena, sphalerite and pyrite. In distal areas, low-grade polymetallic ore mineralization is predominated by chalcopyrite-galena-sphalerite association, accompanied by large amounts of pyrite. The same mineralization pattern is observed in vertical profiles.

Taking into account variability of spatial distribution of ore mineralization in relation to oxidized areas – just as in the case of the western part of the Lubin–Sieroszowice deposit

– the richest mineralization in the studied area is also predicted in the closest neighborhood of the Zielona Góra oxidized area, forming northwest-trending copper belt (5–15 km wide) that rims the oxidized area between the Bytom Odrzański deposit and Wilcze, Jany and Mozów prospects (Oszczepalski, Rydzewski, 1983, 1997; Oszczepalski, Speczik, 2011; Krzeмиński, Speczik, 2013; Oszczepalski, Chmielewski, 2015a; Mikulski i in., 2016; Oszczepalski i in., 2016). The recent drilling prospection by Miedzi Copper Corporation completely confirms predicted tendency of Cu-Ag mineralization distribution (Zieliński, Speczik, 2017). For those reasons, it is extremely essential to verify the resource estimates for prospective areas by extension of exploration drilling programs, which would make it possible in the future to make use preferentially of the prognostic resources in the nearest vicinity of the Lubin-Sieroszowice deposit.

The principal geological and economic barriers, which may constitute a potential hazard for development of undiscovered deposits occurring in the north-west of the Bytom Odrzański deposit are: considerable depth of the Zechstein base exceeding 1500 m and associated unfavorable geological and mining conditions (high temperature of rocks in the range of 45–55°C, high overburden pressure), oil and gas hazards (hydrocarbons, nitrogen and helium) and high mining costs (including mining tax) caused by potential risk to conventional mining operations that require rock-cooling procedures and the elimination of oil and gas hazards. Nevertheless, taking into account the progressive development of mining technology and the world-leading innovative solutions for the construction and operation of deep mines (Speczik i in., 2007, 2013; Oszczepalski, Speczik, 2011; Speczik, 2015, Oszczepalski i in., 2016; Zieliński, Speczik, 2017), the extraction of deep-seated ore bodies is becoming more and more realistic, provided that deep ore deposits will be significantly more rich compared.

APENDYKS

Appendix

Apendyks

Skład chemiczny minerałów zidentyfikowanych przy zastosowaniu mikrosondy elektronowej [% wag.]

Objaśnienia skrótów: amalgamaty srebra (Ag+Hg), anilit (Ani), bornit (Bn), chalkopiryt (Ccp), chalkozyn (Cc), clausthalit (Clau), daomanit (Dao), digenit (Dg), djurleit (Dju), electrum (El), enargit (Ena), galena (Gn), geeryt (Gee), hematyt (Hem), idait (Ida), ilmenit (Ilm), kowelin (Cv), molibdenit (Mol), nikielin (Nick), padmait (Padm), pirotyn (Po), piryt (Py), rammelsbergit (Ram), roxbyit (Rox), sfaleryt (Sph), spionkopit (Spi), tennantyt (Ten), tetradryt (Tet), thalcsusy (Thal), tiemannit (Tiem), yarrowit (Yar); Al_d – anhydryt dolny, Ca₁ – wapień cechsztyński, T₁ – łupek miedzionośny, Bs – biały spągowiec

Litostratygrafia	Próbka	Punkt	Al	Ca	Si	Cl	S	Se	As	Sb	Fe	Zn	Cd
T ₁	Dzikowo IG 1-41	1	0,296	0,373	0,701	0,055	0,027	0	0	0,194	65,199	0	0,001
		2	0,302	0,263	0,6	0,034	0,081	0	0	0,115	66,901	0,101	0,031
		3	0,27	0,166	0,654	0,026	0,021	0	0	0,247	65,564	0	0,031
		4	0,317	0,14	0,659	0,031	0,035	0	0	0,042	65,172	0	0,045
		5	0,262	0,217	0,575	0,033	0,049	0	0,037	0,094	66,466	0,053	0,005
		6	0,276	0,32	0,622	0,038	0,056	0	0	0,207	65,468	0	0,004
T ₁ /Bs	K-13	1	0,014	0,025	0,052	0,066	0,309	0	0	0	0,122	0	0,071
		1	0	0,026	0,017	0,012	21,716	0,547	0	0	0,033	0,061	0,034
	K-13	2	0	0,009	0,023	0,02	21,085	0,513	0,022	0,029	0,066	0,066	0,009
		3	0	0,013	0,019	0,02	21,051	0,6	0	0,038	0,07	0,071	0,02
		4	0,01	0	0,146	0,014	14,712	0,646	17,723	0,947	0,12	0,1	0
	K-13	1	0,016	0,015	0,046	0,034	22,799	0,647	0,03	0	0,035	0,119	0,017
		2	0,049	0,012	0,049	0,11	18,643	7,81	0	0,037	0,041	0,019	0
		3	0,766	0,012	1,053	0,16	1,394	17,843	1,841	0	0,082	0	0
	T ₁	K-10	1	0	0,135	0,028	0,011	0,01	0	0	0,065	69,327	0
2			0	0,116	0,022	0,002	0,017	0	0	0	69,291	0	0,017
3			0,002	0,998	0,021	0,021	0,771	0,01	0	0,032	66,817	0,076	0,039
4			0	0,043	0,015	0,003	33,03	0,54	0	0	30,17	0,045	0
5			0	0,031	0,023	0	32,978	0,423	0	0,028	28,771	0	0,04
6			0,008	0,075	0,009	0,006	30,287	0,435	0	0,02	31,727	0	0,017
7			0	0,047	0,016	0	32,922	0,412	0	0,017	10,345	0	0,009
8			0,026	0,039	0	0,052	0,542	27,347	0	0	0,43	0,03	0,019
Bs	K-3	1	0,015	0	0,118	0,008	0,185	0	50,829	1,969	0,103	0,014	0
		2	0,012	0	0,112	0	0,014	0	51,912	1,254	0,092	0,048	0
		3	0	0,18	0,071	0,009	0,016	0	52,076	0,79	0,106	0,022	0,015
		4	0	0,054	0,082	0,011	0,043	0,065	53,081	0,886	0,053	0,022	0,034
		5	0,017	0,046	0,122	0,022	0,236	0	67,414	0,969	0,102	0	0,015
		6	0	0,018	0,099	0,001	0,359	0,024	67,187	0,514	0,102	0,051	0,02
Ca ₁	K-13	1	0	0,326	0,033	0,003	25,083	0	0,008	0	10,356	0,048	0,03
		2	0,008	0,668	0,036	0,008	25,147	0	0	0,001	10,38	0,179	0
		3	0	1,09	0,025	0	24,856	0	0	0,031	9,878	0,034	0,006
		4	0	0,43	0,044	0,003	21,426	0	0	0,036	0,085	0,113	0,02
		5	0	0,481	0,024	0,01	20,881	0,019	0,042	0,014	0,136	0,112	0,06
		6	0	0,359	0,01	0,009	20,678	0	0	0,017	0,199	0,065	0,01
		7	0,01	0,42	0,027	0,014	20,822	0	0	0	0,19	0,143	0,027
		8	0	0,252	0,038	0,002	20,778	0	0,044	0	0,145	0,07	0
		9	0	0,443	0,037	0,024	20,739	0,061	0	0,018	0,21	0,138	0

Appendix

Chemical composition of minerals identified by microprobe analysis [wt.%]

Abbreviations: silver amalgam (Ag+Hg), anilite (Ani), bornite (Bn), chalcopyrite (Ccp), chalcocite (Cc), clausthalite (Clau), daomanite (Dao), digenite (Dg), djurleite (Dju), electrum (El), enargite (Ena), galena (Gn), geerite (Gee), hematite (Hem), idaite (Ida), ilmenite (Ilm), covellite (Cv), molybdenite (Mol), nickeline (Nick), padmaite (Padm), pyrrhotite (Po), piryte (Py), rammelsbergite (Ram), roxbyite (Rox), sphalerite (Sph), spionkopite (Spi), tennantite (Ten), tetrahedrite (Tet), thalcosite (Thal), tiemannite (Tiem), yarrowite (Yar); A1d – Lower Anhydrite, Ca1 – Zechstein Limestone, T1 – Kupferschiefer, Bs – Weis-sliedend to the shallows

Pb	Cu	Ag	Co	Ni	Mo	Tl	Hg	Bi	Au	Pt	Pd	O	Suma	Minerał
0,108	0,006	0,018	0,054	0	0,384	–	0,086	0,101	0	–	–	29,259	97,862	Hem
0,057	0,052	0,048	0,099	0	0,387	–	0,214	0	0,154	–	–	29,836	101,275	
0,087	0,046	0,005	0,078	0,01	0,319	–	0,063	0	0,075	–	–	29,251	99,913	
0	0	0	0,085	0	0,296	–	0	0	0	–	–	29,119	99,941	
0,079	0,017	0	0,099	0,04	0,404	–	0,142	0	0,041	–	–	29,548	103,161	
0,107	0	0	0,103	0,092	0,359	–	0,152	0	0,055	–	–	29,254	103,113	
0	1,676	32,891	0	0	0,398	–	0	0,045	64,929	–	–	–	100,598	El
0	77,518	0,024	0,02	0	0	–	0	0	0	–	–	–	100,008	Ani
0	78,157	0,036	0,023	0,045	0	–	0	0	0	–	–	–	100,103	Dg
0	77,417	0,021	0,04	0,042	0,019	–	0	0	0	–	–	–	99,441	
0	15,21	0,144	0	0,07	0	–	0	2,671	1,478	–	46,328	–	100,319	Dao
0	75,729	0,076	0	0,046	0	–	0	0,395	0	–	–	–	100,004	Gee
0,134	65,318	3,167	0,026	0	0	–	0	3,858	0	–	–	–	99,273	Spi
0	0,767	3,954	0,039	0,134	0	–	0	48,487	0,201	23,34	–	–	100,073	Padm
0	0,217	0,042	0,058	0,015	0	–	0,026	0,092	0,121	–	–	29,88	100,065	Hem
0,045	0,202	0,041	0,115	0	0,016	–	0	0,024	0,099	–	–	29,863	99,87	
0	1,58	0,013	0,134	0	0,019	–	0,009	0	0,025	–	–	29,139	99,706	
0,192	34,196	0,049	0,094	0	0	–	1,022	0	0,048	–	–	–	99,447	Ccp
0	36,002	0,018	0,029	0,031	0	–	0,751	0	0,15	–	–	–	99,275	
0,029	32,73	0	0,048	0,01	0	–	0,574	0	0	–	–	–	95,975	
0,081	55,535	0	0,027	0,011	0	–	0,213	0	0	–	–	–	99,635	Ida
0,363	0,21	0,056	0,02	0	0	–	70,54	0	0,097	–	–	–	99,771	Tiem
0,02	0,707	0,003	6,598	38,236	0	–	0,061	0,088	0	–	–	–	98,954	Nick
0,045	0,18	0,032	7,204	38,474	0	–	0,175	0,074	0,072	–	–	–	99,7	
0	0,104	0	15,676	30,394	0,024	–	0	0,005	0,096	–	–	–	99,584	
0,04	0,115	0,032	10,313	34,962	0	–	0,16	0	0,022	–	–	–	99,975	
0	0,046	0	11,843	18,707	0,006	–	0,06	0,03	0,05	–	–	–	99,685	Ram
0	0,12	0,005	15,857	14,822	0	–	0,031	0,047	0,073	–	–	–	99,33	
0	62,855	0,013	0,012	0	0	–	0,09	0	0,058	–	–	–	100,598	Bn
0	62,32	0,014	0	0	0	–	0	0,051	0,131	–	–	–	98,915	
0,002	62,004	0,104	0,01	0,004	0	–	0,053	0	0,131	–	–	–	98,943	
0	77,743	0,037	0,016	0	0	–	0,102	0,046	0	–	–	–	98,228	Dg
0	77,954	0,066	0,004	0	0	–	0,014	0	0,094	–	–	–	100,101	Dju
0	78,575	0,001	0,022	0,028	0	–	0	0	0,034	–	–	–	99,911	
0	77,857	0,076	0,018	0,024	0	–	0	0,062	0,028	–	–	–	100,007	
0	78,573	0,108	0	0,007	0	–	0	0,012	0,071	–	–	–	99,718	
0	78,265	0,087	0,008	0,009	0	–	0	0	0	–	–	–	100,1	

Apendyks cd.

Litostratygrafia	Próbka	Punkt	Al	Ca	Si	Cl	S	Se	As	Sb	Fe	Zn	Cd
Ca1	Bulin IG 1	1	0	0,061	0,015	0	53,211	0,007	0	0,002	45,85	0,304	0
		2	0	0,035	0,019	0,014	53,533	0	0	0,041	45,836	0,052	0
		3	0	0,544	0,024	0	34,487	0	0	0,034	30,278	0,135	0
		4	0	0,282	0,014	0,01	34,822	0	0	0	30,164	0,18	0,031
		5	0	0,223	0,047	0,004	33,057	0	0	0	1,022	64,138	1,038
		6	0	0,13	0	0,014	32,933	0	0	0,069	1,477	64,336	1,377
		7	0	0,052	0,031	0,081	14,419	0	0	0	0,06	3,752	0
		8	0	0,064	0,03	0,064	13,518	0	0	0	0,53	0,433	0,036
	K-10	1	0	0,161	0,079	0,106	13,317	0	0	0,271	0,308	0,144	0
		2	0	0,101	0,027	0,083	13,445	0	0,025	0,24	0,699	0,028	0
		3	0,005	0,367	0,024	0,007	34,256	0	0	0	29,847	0,041	0,048
		4	0	0,418	0,044	0,008	34,599	0	0	0,031	30,055	0,074	0
		5	0	0,162	0,023	0,004	52,705	0,045	0	0,041	46,527	0,057	0,047
		6	0	0,15	0,016	0,006	53,064	0	0	0,032	46,533	0,03	0,036
	K-10	1	0	0,012	0,013	0,017	53,168	0	0,035	0,025	45,124	0,085	0
		2	0	0,019	0,015	0,025	52,945	0,022	0,054	0,028	45,491	0,062	0,016
		3	0	0,009	0,005	0,049	53,519	0	0,026	0	45,402	0,006	0,044
		4	0	0,076	0,016	0,014	36,039	0	0,066	0,014	30,937	0,036	0,009
		5	0	0,034	0,016	0,001	38,158	0,029	0	0,027	31,213	0,065	0
		6	0,002	0,182	0	0,073	44,135	0	0,073	0,001	36,522	0,006	0,048
	K-10	1	0	0,455	0,039	0,017	21,979	0	0	0,002	0,115	0,121	0
		2	0	0,45	0,032	0,04	27,623	0	0	0,005	0,156	0,103	0,026
		3	0	0,298	0,049	0,023	20,817	0	0	0,029	0,115	0,055	0
		4	0,013	0,355	0,03	0,049	20,064	0	0	0,017	0,084	0	0,049
5		0	0,302	0,051	0,015	20,342	0	0	0	0,069	0	0,037	
6		0	0,321	0,024	0,037	20,11	0	0,044	0,02	0,154	0,076	0	
A1d/Ca1	K-4	1	0	0,034	0,053	0,018	37,964	0	0	0	62,001	0,064	0,014
		2	0,006	0,044	0,026	0	37,785	0	0,02	0	61,72	0,021	0
		3	0	0,06	0,012	0	38,132	0	0,012	0,004	61,698	0	0,038
		4	0,013	0,007	0,025	0,009	53,22	0	0,199	0,04	46,077	0,215	0,015
		5	0	0,002	0,005	0	53,217	0	0,014	0,03	46,67	0,034	0
		6	0	0,197	0,006	0,012	34,587	0,008	0	0	30,486	0,253	0
		7	0,013	0,071	0,06	0,018	34,418	0	0	0,008	30,566	0,565	0
		8	0	0,01	0,021	0,084	13,259	0	0	0	0,108	0,774	0
		9	0	0,007	0	0,083	13,259	0	0	0	0,073	0,773	0,009
		10	0	0,106	0	0,01	32,371	0	0	0	0,41	66,467	0,271
		11	0,012	0,157	0,067	0,017	31,825	0	0	0,045	0,451	65,974	0,268
		12	0	0,064	0,018	0,003	32,087	0	0	0,059	2,361	64,493	0,323
A1d	K-11	1	0,464	0,044	0,704	0,345	35,527	0,034	0	0,182	2,423	0,038	0,056
		2	0	0,02	0,021	0,02	34,342	0	0	0	30,727	0,023	0,029
		3	0	0,032	0,01	0	34,109	0	0	0	30,152	0,136	0
		4	0,027	0	0,069	0,106	13,006	0	0	0	0,257	0,125	0
		5	0	0,024	0,014	0,084	13,337	0	0	0	0,704	0,088	0,071

Appendix continued

Pb	Cu	Ag	Co	Ni	Mo	Tl	Hg	Bi	Au	Pt	Pd	O	Suma	Minerał
0	0,032	0,017	0,081	0	0	–	0	0	0	–	–	–	99,58	Py
0	0,035	0,062	0,124	0,062	0	–	0	0	0,049	–	–	–	99,862	
0	34,39	0,011	0,066	0,06	0	–	0	0	0,029	–	–	–	100,058	Ccp
0	34,578	0,039	0,018	0,052	0	–	0	0	0	–	–	–	100,19	
0	0,121	0,053	0	0,005	0	–	0	0	0	–	–	–	99,708	Sph
0	0,097	0	0,014	0	0	–	0	0	0	–	–	–	100,447	
81,025	0,102	0	0,04	0,075	0	–	0	0	0,076	–	–	–	99,713	Gn
85,084	0,375	0	0,044	0	0	–	0,005	0	0,069	–	–	–	100,252	
85,476	0,076	0	0	0,047	0	–	0,085	0	0	–	–	–	100,07	
85,512	0,458	0	0	0,003	0	–	0,028	0	0	–	–	–	100,649	
0	34,675	0,006	0,064	0,046	0,019	–	0	0,012	0,056	–	–	–	99,473	Ccp
0	34,827	0,034	0,041	0	0,005	–	0	0	0	–	–	–	100,136	
0	0,057	0,04	0,048	0,025	0,089	–	0	0	0,086	–	–	–	99,956	Py
0	0,247	0	0,046	0	0	–	0	0	0,005	–	–	–	100,165	
0	1,238	0,049	0,163	0,134	0	–	0	0	0,056	–	–	–	100,119	
0	1,398	0,018	0,17	0,082	0	–	0	0	0,027	–	–	–	100,372	
0	0,563	0	0,201	0,157	0	–	0	0	0	–	–	–	99,981	
0,241	31,522	0,006	0,118	0,039	0	–	0	0	0,09	–	–	–	99,223	Ccp
0,277	30,534	0,062	0,118	0,022	0	–	0	0	0	–	–	–	100,556	
0,189	17,014	0,056	0,254	0,051	0	–	0	0,047	0,056	–	–	–	98,709	Py+Cu
0	76,689	0	0,006	0	0,049	–	0	0	0	–	–	–	99,472	Rox
0,002	69,876	0,092	0,01	0,035	0	–	0	0	0	–	–	–	98,45	Spi
0,026	78,413	0,112	0,002	0,071	0	–	0	0	0	–	–	–	100,01	Dju
0	78,265	0,018	0	0,019	0	–	0	0,007	0	–	–	–	98,97	Cc
0	78,923	0,063	0	0,018	0	–	0	0	0	–	–	–	99,82	
0	78,55	0,085	0,022	0,049	0	–	0	0	0,037	–	–	–	99,529	
0,019	0,047	0	0,107	0	0	–	0	0	0	–	–	–	100,321	Po
0	0	0,019	0,137	0	0	–	0,145	0	0,069	–	–	–	99,992	
0	0,012	0,036	0,063	0	0	–	0,097	0	0,038	–	–	–	100,202	
0,297	0,086	0,028	0,085	0	0	–	0	0	0,052	–	–	–	100,368	Py
0	0,051	0,025	0,069	0	0	–	0	0	0,025	–	–	–	100,142	
0	34,443	0,001	0,06	0	0	–	0,006	0	0,019	–	–	–	100,078	Ccp
0	34,622	0,024	0,044	0,024	0	–	0	0	0,008	–	–	–	100,441	
84,457	0,215	0	0,059	0,044	0	–	0,069	0	0,006	–	–	–	99,106	Gn
85,299	0,211	0	0,008	0	0	–	0	0	0,076	–	–	–	99,798	
0,002	0,179	0,081	0	0,01	0	–	0	0	0	–	–	–	99,907	Sph
0,088	0,312	0	0,005	0,01	0	–	0,187	0	0	–	–	–	99,418	
0,102	0,073	0,026	0,041	0,032	0	–	0,184	0	0,039	–	–	–	99,905	
2,321	0,249	0,649	0,653	0,565	56,463	–	0,632	0	0	–	–	–	101,349	Mol
0,016	34,693	0,014	0,063	0	0	–	0	0	0	–	–	–	99,968	Ccp
0	34,795	0,012	0	0,031	0	–	0	0	0	–	–	–	99,277	
85,395	0,398	0	0,034	0,042	0	–	0,035	0	0,073	–	–	–	99,567	Gn
83,888	0,914	0	0,027	0,051	0	–	0	0	0,113	–	–	–	99,315	

Apendyks cd.

Litostratygrafia	Próbka	Punkt	Al	Ca	Si	Cl	S	Se	As	Sb	Fe	Zn	Cd
Ca1	K-13	1	0	0,452	0,056	0	34,532	0	0	0,023	29,284	0,034	0
		2	0,014	0,454	0,03	0	34,617	0	0	0,047	29,303	0,147	0
		3	0,034	0,325	0,187	0,001	52,422	0	0	0	44,327	0	0,016
		4	0,004	3,481	0,106	0,004	50,554	0	0	0,016	44,068	0,056	0
		5	0,001	4,069	0,141	0,109	25,606	0	0	0,016	11,173	0,113	0,009
		6	0	0,265	0,221	0	20,318	0	0,037	0,017	8,035	0,166	0,035
	Grochowice 31	1	0,00	0,01	0,02	0,02	52,29	0,11	0,02	0,01	46,64	0,00	-
		2	0,00	0,03	0,03	0,07	50,60	0,20	0,00	0,01	45,45	0,16	-
		3	0,01	0,02	0,03	0,03	50,53	0,33	0,00	0,03	45,44	0,05	-
		4	0,00	0,00	0,03	0,07	32,87	0,19	0,00	0,02	2,25	64,10	-
		5	0,00	0,02	0,09	0,03	32,87	0,05	0,00	0,01	2,50	63,58	-
		6	0,00	0,01	0,04	0,03	32,43	0,00	0,00	0,00	2,42	63,70	-
		7	0,01	0,00	0,03	0,00	34,48	0,61	0,00	0,03	31,86	0,03	-
		8	0,00	0,00	0,03	0,00	34,28	0,25	0,00	0,01	31,66	0,04	-
		9	0,00	0,00	0,02	0,02	34,47	0,00	0,00	0,00	31,28	0,01	-
		10	0,01	0,03	0,04	0,07	42,60	0,00	0,00	0,02	38,73	0,01	-
		11	0,00	0,00	0,03	0,04	41,58	0,17	0,00	0,00	37,66	0,00	-
		12	0,00	0,02	0,03	0,08	44,40	0,00	0,00	0,02	39,54	2,46	-
		13	0,00	0,00	0,03	0,13	13,44	0,11	0,00	0,00	1,56	0,02	-
		14	0,00	0,04	0,04	0,09	19,86	0,17	0,00	0,00	9,01	0,00	-
		15	0,00	0,08	0,04	0,30	16,21	0,13	0,00	0,00	4,81	0,00	-
		16	0,00	0,04	0,03	0,09	37,47	0,24	0,05	0,00	31,05	0,00	-
	Grochowice 31	1	0,00	0,00	0,05	0,07	13,55	0,00	0,00	0,00	0,31	0,00	-
		2	0,06	0,03	0,12	0,09	13,45	0,00	0,00	0,02	0,26	0,07	-
		3	0,01	0,09	0,08	0,18	29,88	0,00	0,00	0,00	22,23	0,36	-
		4	0,00	0,00	0,03	0,04	40,40	0,00	0,01	0,04	33,41	0,00	-
		5	0,01	0,01	0,02	0,06	37,16	0,00	0,00	0,03	33,54	0,05	-
		6	0,00	0,04	0,04	0,07	38,46	0,07	0,00	0,03	35,24	0,00	-
		7	0,00	0,07	0,05	0,04	44,39	0,04	0,00	0,01	40,43	0,00	-
		8	0,01	0,02	0,04	0,02	44,52	0,09	0,00	0,02	40,58	0,04	-
	Grochowice 42	1	0,00	0,23	0,04	0,01	26,54	0,00	10,91	13,35	0,62	7,41	-
		2	0,00	0,05	0,04	0,02	26,39	0,00	10,22	14,56	0,48	7,65	-
		3	0,00	0,02	0,04	0,02	26,33	0,00	9,84	14,54	0,60	7,50	-
4		0,12	0,79	0,19	0,01	21,63	0,00	0,21	0,72	0,42	0,38	-	
5		0,03	0,25	0,05	0,02	21,45	0,12	0,00	0,02	0,61	0,09	-	
6		0,01	0,19	0,05	0,00	25,57	0,00	0,00	0,04	10,73	0,05	-	
7		0,01	0,30	0,04	0,01	25,58	0,14	0,00	0,02	10,70	0,03	-	
8		0,00	0,20	0,02	0,00	25,75	0,03	0,00	0,00	10,58	0,04	-	
9		0,01	0,12	0,03	0,02	22,14	0,03	0,04	0,00	0,25	0,03	-	
10		0,01	0,12	0,05	0,01	21,36	0,00	0,00	0,01	0,22	0,07	-	
11		0,00	0,31	0,04	0,02	21,51	0,04	0,00	0,00	0,27	0,05	-	

Appendix continued

Pb	Cu	Ag	Co	Ni	Mo	Tl	Hg	Bi	Au	Pt	Pd	O	Suma	Minerał
0	34,356	0	0,011	0,051	0	–	0	0,007	0,037	–	–	–	98,843	Ccp
0	34,346	0,036	0,005	0,019	0	–	0	0	0	–	–	–	99,018	
0	2,107	0,063	0,024	0,029	0	–	0	0	0,022	–	–	–	99,557	Py
0	1,392	0,001	0,078	0,001	0	–	0	0	0,067	–	–	–	99,828	
0,065	58,003	0,074	0	0,016	0	–	0	0	0	–	–	–	99,395	Bn
0	30,464	0,091	0,056	0,082	0	33,22	7,45	0	0,144	–	–	–	100,601	Thal
0,25	0,29	0,03	0,11	0,10	–	–	–	–	–	–	–	–	99,90	Py
0,27	2,32	0,00	0,14	0,11	–	–	–	–	–	–	–	–	99,38	
0,26	3,04	0,05	0,11	0,13	–	–	–	–	–	–	–	–	100,03	
0,12	0,31	0,03	0,02	0,04	–	–	–	–	–	–	–	–	100,04	Sph
0,00	0,43	0,00	0,03	0,02	–	–	–	–	–	–	–	–	99,63	
0,00	0,56	0,00	0,04	0,03	–	–	–	–	–	–	–	–	99,27	
0,01	33,37	0,06	0,05	0,02	–	–	–	–	–	–	–	–	100,55	Ccp
0,00	33,13	0,00	0,05	0,04	–	–	–	–	–	–	–	–	99,50	
0,10	33,28	0,04	0,09	0,00	–	–	–	–	–	–	–	–	99,31	
0,23	18,69	0,03	0,07	0,02	–	–	–	–	–	–	–	–	100,53	Py+Cu
0,11	20,86	0,03	0,07	0,07	–	–	–	–	–	–	–	–	100,61	
0,15	10,77	0,02	0,06	0,02	–	–	–	–	–	–	–	–	97,56	
81,91	1,14	0,00	0,01	0,09	–	–	–	–	–	–	–	–	98,45	Gn
68,22	1,16	0,05	0,02	0,04	–	–	–	–	–	–	–	–	98,69	
73,59	2,00	0,05	0,02	0,04	–	–	–	–	–	–	–	–	97,25	
28,38	0,67	0,10	0,13	0,06	–	–	–	–	–	–	–	–	98,32	Py+Cu
84,30	0,08	0,00	0,07	0,12	–	–	–	–	–	–	–	–	98,55	Gn
82,38	0,15	0,00	0,00	0,05	–	–	–	–	–	–	–	–	96,68	
40,34	0,95	0,00	0,04	0,06	–	–	–	–	–	–	–	–	94,22	Py+Cu
24,44	1,01	0,03	0,13	0,03	–	–	–	–	–	–	–	–	99,58	
0,08	29,40	0,00	0,07	0,05	–	–	–	–	–	–	–	–	100,47	Ccp
0,16	24,18	0,04	0,10	0,05	–	–	–	–	–	–	–	–	98,47	
0,19	16,28	0,04	0,07	0,00	–	–	–	–	–	–	–	–	101,62	Py+Cu
0,13	12,66	0,00	0,13	0,06	–	–	–	–	–	–	–	–	98,29	
0,10	40,05	0,05	0,01	0,02	–	–	0,07	–	–	–	–	–	99,40	Ten-Tet
0,00	40,36	0,03	0,02	0,02	–	–	0,06	–	–	–	–	–	99,89	
0,07	40,80	0,00	0,00	0,04	–	–	0,06	–	–	–	–	–	99,86	
0,00	74,16	0,12	0,01	0,04	–	–	0,00	–	–	–	–	–	98,79	Ani
0,01	77,73	0,11	0,01	0,02	–	–	0,13	–	–	–	–	–	100,64	Dg
0,02	63,32	0,08	0,01	0,01	–	–	0,07	–	–	–	–	–	100,15	Bn
0,02	62,86	0,23	0,02	0,01	–	–	0,02	–	–	–	–	–	99,97	
0,00	63,11	0,24	0,00	0,00	–	–	0,00	–	–	–	–	–	99,96	
0,00	77,92	0,54	0,00	0,02	–	–	0,08	–	–	–	–	–	101,24	Rox
0,00	78,44	0,30	0,01	0,04	–	–	0,12	–	–	–	–	–	100,76	Dg
0,00	76,40	0,92	0,00	0,01	–	–	0,23	–	–	–	–	–	99,80	

Apendyks cd.

Litostratygrafia	Próbka	Punkt	Al	Ca	Si	Cl	S	Se	As	Sb	Fe	Zn	Cd
Ca1	Grochowice 42	12	0,05	0,12	0,06	0,01	25,67	0,00	0,03	0,04	10,24	0,04	–
		13	0,00	0,23	0,03	0,02	25,60	0,01	0,00	0,04	10,80	0,07	–
		14	0,01	0,11	0,04	0,01	25,70	0,10	0,00	0,00	11,27	0,06	–
		15	0,14	1,44	0,34	0,17	0,86	0,00	0,00	0,19	0,19	0,06	–
	Grochowice 42	1	0,00	0,02	0,04	–	26,38	–	0,00	0,00	10,44	0,00	–
		2	0,00	0,03	0,02	–	26,66	–	0,00	0,00	11,30	0,00	–
		3	0,00	0,06	0,02	–	23,72	–	0,63	0,01	1,53	0,09	–
		4	0,01	0,03	0,05	–	26,83	–	14,73	0,00	7,36	0,00	–
		5	0,01	0,07	0,04	–	23,34	–	0,13	0,01	0,96	0,09	–
		6	0,02	0,03	0,04	–	25,39	–	1,69	0,01	3,69	0,11	–
		7	0,01	0,15	0,10	–	51,36	–	2,51	0,00	42,39	0,00	–
		8	0,01	0,27	0,07	–	44,36	–	6,36	0,01	32,53	0,01	–
		9	0,00	0,26	0,01	–	52,08	–	0,86	0,01	44,71	0,00	–

Appendix continued

Pb	Cu	Ag	Co	Ni	Mo	Tl	Hg	Bi	Au	Pt	Pd	O	Suma	Minerał
0,02	63,19	0,21	0,03	0,03	–	–	0,06	–	–	–	–	–	99,78	Bn
0,00	62,83	0,24	0,02	0,02	–	–	0,06	–	–	–	–	–	99,95	
0,03	62,77	0,39	0,04	0,00	–	–	0,01	–	–	–	–	–	100,50	
0,10	2,57	86,21	0,02	0,01	–	–	6,37	–	–	–	–	–	98,66	Ag+Hg
0,00	61,78	–	0,41	0,10	–	–	–	–	–	–	–	–	99,17	Bn
0,00	61,13	–	0,38	0,08	–	–	–	–	–	–	–	–	99,61	
0,12	72,48	–	0,87	0,23	–	–	–	–	–	–	–	–	99,76	Gee
0,07	42,10	–	7,24	2,28	–	–	–	–	–	–	–	–	100,68	Ena
0,18	74,31	–	0,59	0,14	–	–	–	–	–	–	–	–	99,87	Gee
0,03	66,83	–	1,18	0,39	–	–	–	–	–	–	–	–	99,40	Spi
0,05	1,47	–	1,96	0,59	–	–	–	–	–	–	–	–	100,58	Py
0,10	8,46	–	4,54	1,34	–	–	–	–	–	–	–	–	98,05	Py+Cu, As
0,00	1,60	–	0,60	0,21	–	–	–	–	–	–	–	–	100,33	Py

