

## ROZMIESZCZENIE MINERAŁÓW KRUSZCOWYCH W ŁUPKU MIEDZIONOŚNYM ZŁOŻA LUBIN–SIEROSZOWICE

### DISTRIBUTION OF ORE MINERALS IN THE KUPFERSCHIEFER OF THE LUBIN–SIEROSZOWICE DEPOSIT

JADWIGA PIECZONKA<sup>1</sup>, ADAM GŁUSZEK<sup>2</sup>

**Abstrakt.** Sposób rozmieszczenia głównych minerałów kruszcowych zarówno w profilu pionowym, jak i w poziomym, w złożu rud miedzi Lubin–Sieroszowice na monoklinie przedsudeckiej jest wciąż przedmiotem dyskusji. Uzupełnienie bazy danych o wyniki nowych analiz pozwoliło na sporządzenie aktualnych map, obrazujących rozkład tych minerałów w poziomie. W artykule omówiono mapy wykonane dla chalkozynu (z digenitem), bornitu, chalkopirytu, kowelinu, tennantytu, galeny, sfalerytu i piryty (z markasytem) występujących w łupku miedzionośnym. Do ich sporządzenia użyto programu Surfer 9. Jako głównej metody wyznaczania wartości parametru w punktach sieci gridowej użyto kriginu punktowego. Obok map udziału procentowego poszczególnych minerałów kruszcowych, w całkowitej ich ilości, dla każdego z poziomów umownych sporządzono mapę dominacji minerałów kruszcowych. Przedstawiono na niej obszary, w których udział poszczególnych minerałów kruszcowych wynosi powyżej 50%. Analiza map potwierdza, że głównym minerałem rudnym jest chalkozyn. Strefa występowania chalkozynu obejmuje największą część złoża, a maksymalne zawartości koncentrują się w jego centralnej części. Największą różnorodność minerałów kruszcowych zaobserwowano we wschodniej części złoża. Obok pól o dużej zawartości bornitu i chalkopirytu, pojawiają się pola dominacji galeny, sfalerytu, siarczków żelaza, a nawet kowelinu i tennantytu. Pomimo wykonania kilkudziesięciu map, trudno jest stwierdzić prawidłowość w rozmieszczeniu stref występowania poszczególnych minerałów względem siebie. Decyduje ich położenie w stosunku do bariery redox.

**Słowa kluczowe:** rozmieszczenie kruszców, łupek miedzionośny, monoklina przedsudecka.

**Abstract.** The paper discusses spatial distribution of ore minerals within the Lubin–Sieroszowice copper deposit in the Kupferschiefer horizon. Maps of the distribution of the chalcocite group of sulphides, bornite, chalcopyrite, covellite, tennantite, galena, sphalerite and Fe sulphides were constructed based on 2500 analyses of chip samples. In order to show a spatial distribution of major ore minerals, the Surfer 9.0 program was applied. Values of parameters in the square grid were calculated using the point kriging method. Analysis of ore minerals distribution shows that the chalcocite group of minerals predominates in the deposit. The richest chalcocite zone occurs in the central part of the deposit. In its eastern part, several ore minerals, especially bornite and chalcopyrite, prevail locally over the other sulphides. A redox barrier is a key in understanding the spatial distribution of ore minerals in the deposit.

**Key words:** ore minerals distribution, Kupferschiefer, Fore-Sudetic Monocline.

<sup>1</sup> Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; e-mail: jpieczon@geolog.geol.agh.edu.pl

<sup>2</sup> KGHM Polska Miedź S.A.

## WSTĘP

W miarę udostępniania nowych partii złoże rud miedzi i doskonalenia metod analitycznych, rośnie liczba opisanych w nim minerałów kruszcowych (Kucha, 2007; Pieczonka, Piestrzyński, 2008). Przedstawiane są również bardzo zróżnicowane formy ich występowania. Od wielu lat, największe zainteresowanie, nie tylko naukowców, wzbudza jednak sposób rozmieszczenia kruszców w złożu. Wyznaczanie stref perspektywicznych, zróżnicowanych pod względem zawartości głównych minerałów miedzi, takich jak chalkozyn, bornit i chalkopiryt, pozwala na odpowiednią ocenę jakości przygotowywanej do eksploatacji części złoża.

Od wielu lat próbuje się ustalić, czy istnieją prawidłowości w poziomym rozmieszczeniu mineralizacji kruszcowej w złożu rud miedzi (Konstantynowicz, 1971). Kijewski (1998) opisywał strefowość w rozmieszczeniu głównych minerałów, zaznaczając się wyraźnie w przekroju od strefy

utlenionej na zachodzie ku wschodowi. Salamon (1979) wydzielił dwie strefy: pierwszą – reprezentowaną przez minerały grupy Cu–Fe–S i drugą – charakteryzującą się obecnością minerałów typu Cu–S. Poglądy na ten temat były również prezentowane w pracach Oszczepalskiego i Rydzewskiego (1996, 1997). Według tych autorów istnieje ścisły związek pomiędzy obszarami utlenionymi, obecnością ciał rudnych i strefowym rozmieszczeniem metali, który należy tłumaczyć kierunkową dostawą metali i ich odmienną zdolnością migracyjną. Sposób rozmieszczenia minerałów rudnych w łupku miedzionośnym był już wcześniej opisywany w pracy Pieczonki i in. (2007). Nieustanne powiększanie bazy danych o nowe informacje pozwala jednak na bardziej szczegółowe przedstawienie rozmieszczenia siarczków w obrębie już wyznaczonych stref.

## METODYKA

Podstawę artykułu stanowią wyniki analiz mineralogiczno-petrograficznych próbek pobranych z ociosów wyrobisk górniczych (276 profili) oraz rdzeni wiertniczych z otworów powierzchniowych (204 otwory), wykonanych począwszy od lat pięćdziesiątych ubiegłego wieku do 2009 roku. Analizie poddano łącznie 2459 próbek, w tym 1192 próbki z łupku miedzionośnego, które wykorzystano do sporządzenia map, opisanych w niniejszym artykule. Skład ilościowy minerałów kruszcowych w poszczególnych próbkach określano za pomocą planimetru automatycznego. Wykorzystano także wyniki analiz planimetrycznych, wykonanych w ramach sporządzania dokumentacji geologicznych dla czynnych obecnie kopalń rud miedzi. Intensywność okruszcowania oraz udział głównych minerałów kruszcowych: chalkozynu (łącznie z digenitem), bornitu, chalkopiryty, kowelinu, tenantyty, galeny, sfaleryty i piryty (łącznie z markasytem) wyrażono w procentach objętościowych.

Ze względu na znaczne zróżnicowanie okruszcowania w profilu pionowym łupku miedzionośnego, dokonano jego podziału na trzy warstwy umowne: pierwszą wydzieloną w spągu (I warstwa), drugą obejmującą część środkową i trzecią w stropie horyzontu łupkowego. Dla każdej z tych warstw wykonano mapy poziomego rozmieszczenia głów-

nych kruszców, w sumie dla łupku sporządzono 24 mapy. Przykładem map tego typu jest mapa rozmieszczenia chalkopiryty w spągu łupku (fig. 1). Mapy zostały wykonane w lokalnym układzie współrzędnych, stosowanym w kopalniach LGOM.

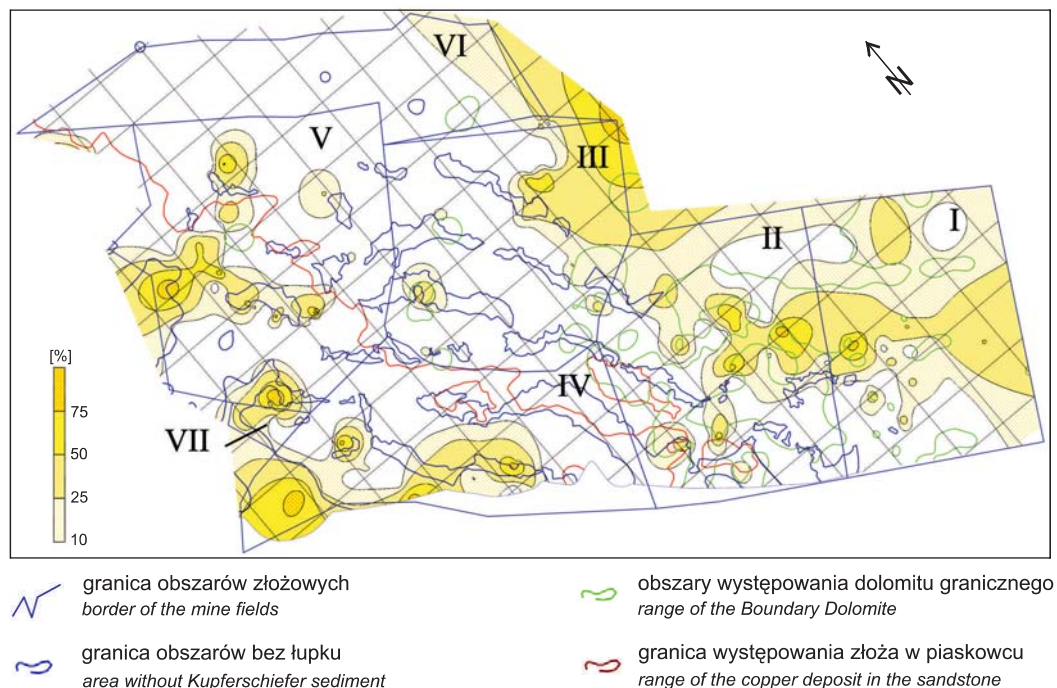
Do sporządzenia map udziału procentowego poszczególnych minerałów kruszcowych, w całkowitej ilości kruszców, dla każdego z wydzielonych poziomów użyto programu Surfer 9. Jako głównej metody wyznaczania wartości parametru w punktach sieci gridowej użyto krigingu punktowego. W każdej z map obliczeniom podlegał obszar o powierzchni  $33 \times 35$  km z gęstością sieci obliczeniowej  $100 \times 100$  m. Do obliczenia wartości parametru w punkcie sieci gridowej używano wszystkich danych traktowanych jak wartości w przestrzeni o zmienności izotropowej. Przy konstrukcji map zastosowano to samo cięcie warstwiczne, obrazujące udział danego składnika: 10, 25, 50 i 75%. Obok map udziału procentowego poszczególnych minerałów, dla każdego z poziomów umownych sporządzono mapę dominacji minerałów kruszcowych. Przedstawiono na niej obszary, w których udział poszczególnych minerałów kruszcowych wynosi powyżej 50%. Figura 2 przedstawia jedną z tych map, wykonaną dla spągu łupku miedzionośnego.

## ROZMIESZCZENIE MINERAŁÓW KRUSZCOWYCH

Analizując wykonane mapy można stwierdzić, że rozmieszczenie minerałów kruszcowych w trzech umownych warstwach łupku miedzionośnego jest mało zróżnicowane.

Chalkozyn zdecydowanie dominuje w łupku miedzionośnym. Strefa jego występowania obejmuje swoim zasię-

giem południową część obszaru Małomic, południową i południowo-zachodnią część obszaru Lubina, większą część obszaru Rudnej oraz prawie całe obszary Polkowic, Sieroszowic i Głogowa Głębokiego. Na dwóch pierwszych obszarach jest ona stosunkowo wąska i ma przebieg NW–SE.

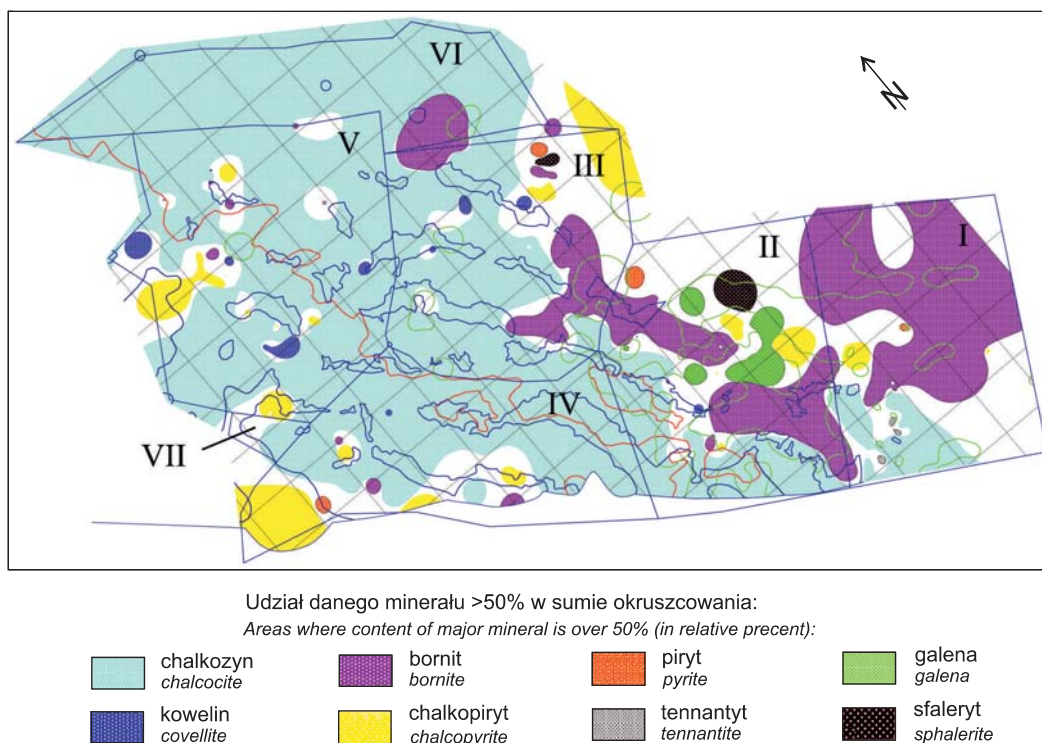


**Fig. 1. Mapa udziału chalkopirytu w I umownej warstwie łupku miedzionośnego (bez skali)**

**Obszary złóżowe:** I – Małomice, II – Lubin, III – Rudna, IV – Polkowice, V – Sieroszowice, VI – Głogów Głęboki, VII – Radwanice

Distribution of the chalcopyrite in the first Kupferschiefer sampling level (not in scale)

**Mine fields:** I – Małomice, II – Lubin, III – Rudna, IV – Polkowice, V – Sieroszowice, VI – Głogów Głęboki, VII – Radwanice



**Fig. 2. Mapa dominacji minerałów kruszczowych w I umownej warstwie łupku miedzionośnego (bez skali)**

Objaśnienia na [figurze 1](#)

Map of dominant ore minerals in the first Kupferschiefer sampling level (not in scale)

For explanations see [Figure 1](#)

Rozszerza się gwałtownie w rejonie Polkowic oraz Rudnej i skręca w kierunku północnym i północno-wschodnim. Strefa o najwyższym udziale chalkozynu tworzy pas biegnący przez centralną część obszaru złożowego; w kierunku zachodnim i wschodnim zawartość tego siarczku stopniowo maleje. Brak chalkozynu (lub jego udział poniżej 10%), obserwuje się we wschodniej części obszaru Rudnej, na przebiegającej części rejonów Lubina i Małomic oraz w licznych, małych, izolowanych płatach, rozmieszczonych w obszarach Rudnej, Polkowic i Sieroszowic. W ich rozprzestrzenieniu można się dopatrzeć kierunku zgodnego z zasadniczym przebiegiem całej strefy chalkozynowej.

W rozmieszczeniu chalkopiryty zaznaczają się trzy wyraźne strefy: centralna, wschodnia i zachodnia (fig. 1). W skład strefy centralnej wchodzi kilka izolowanych pól, w których udział chalkopiryty w sumarycznej zawartości kruszców jest mniejszy od 25%. Granice strefy centralnej, w której udział chalkopiryty jest najmniejszy, z małymi wyjątkami pokrywają się z granicami strefy o najwyższym udziale chalkozynu, a pola występowania chalkopiryty w strefie centralnej pokrywają się z polami o małym udziale chalkozynu w obrębie strefy chalkozynowej. W strefach wschodniej i zachodniej, stanowiących granice strefy centralnej, udział chalkopiryty przekracza lokalnie 75%. Strefa zachodnia jest mniej wyraźna, miejscami nieciągła. Składa się na ogół z pól, w których najwyższe udziały siarczku są widoczne w ich centralnych częściach. W strefie wschodniej, poza polami tego typu, można zaobserwować systematyczny wzrost zawartości chalkopiryty w kierunku wschodnim.

Pola występowania bornitu tworzą dwie strefy, wschodnią i zachodnią. Oddziela je wąski pas widoczny w centralnej części złoża. Obszary, na których występuje bornit, pokrywają się z obszarami występowania chalkopiryty, są jednak od nich większe i zawierają wyższe koncentracje bornitu. Strefa wschodnia, składająca się z wielu połączonych ze sobą pól, ma bardzo zróżnicowany kształt. Największe pole o udziale bornitu powyżej 75% jest widoczne w centralnej części obszaru Lubina. Strefa zachodnia składa się z kilku różnej wielkości izolowanych pól, występujących w obszarach Polkowic i Sieroszowic.

Sposób rozmieszczenia kowelinu, na ogół w postaci pojedynczych, izolowanych pól, wydaje się przypadkowy. W spągu łupku liczba pól jego występowania jest zdecydowanie najwyższa. Rozmieszczenie kowelinu w części wschodniej i zachodniej obszaru złożowego jest podobne. Największą powierzchnię zajmują pola o jego udziale poniżej 50%.

Tennantyt występuje w łupku sporadycznie i w niewielkich ilościach. Największy udział tennantytu (do 75%) zaobserwowano w polu położonym w południowo-zachodniej części Małomic i w rejonie Lubina. Pojedyncze pola o za-

wartości mniejszej od 50% zaobserwowano w obszarach Sieroszowic i Polkowic.

Występowanie galeny jest związane głównie ze wschodnią częścią obszaru złożowego. Pola najbogatsze w ten siarek występują w centralnej części rejonu Małomic, we wschodniej i północnej części rejonu Lubina oraz we wschodniej i południowej części rejonu Rudnej. Wraz z pojedynczymi polami w obszarze Sieroszowic i Radwanic, tworzą one pas o przebiegu NW–SE.

Strefę występowania sfalerytu wyznaczają liczne, izolowane pola o zmiennym kształcie i wielkości. W części wschodniej obszaru złożowego tworzą one pas przechodzący przez zachodnią część Małomic oraz wschodnie partie rejonu Lubina i Rudnej. Przebieg tego pasa, o kierunku NW–SE, jest zgodny z przebiegiem strefy występowania galeny. Duża liczba pól jest też widoczna w zachodniej części złoża, gdzie tworzy drugi pas o takim samym kierunku, zakręcający na północny wschód na obszarze Sieroszowic. Zawartość sfalerytu w łupku, podobnie jak galeny, wzrasta wyraźnie w kierunku jego stropu.

Sposób rozmieszczenia pól, w których występują piryty i markasyty, jest zbliżony bardziej do sposobu rozmieszczenia pól występowania chalkopiryty niż galeny i sfalerytu. Pojedyncze, małe pola tworzą szeroki pas o rozciągłości NW–SE. Jest on ograniczony od wschodu i zachodu dwiema dużymi strefami, w których sumaryczny udział piryty i markasytu rośnie w kierunku granic złoża i przekracza 75%. Jedna z tych stref obejmuje wschodnią i częściowo centralną część obszaru Małomic, a druga południowo-zachodnie fragmenty obszarów Polkowic i Sieroszowic.

Mapy dominacji minerałów kruszczowych, wykonane dla wszystkich trzech umownych warstw łupku, pokazują zdecydowaną przewagę chalkozynu. Sposób jego rozmieszczenia, zarówno w stropie, części środkowej, jak i w spągu łupku miedzionośnego (fig. 2) jest bardzo podobny. Strefa dominacji chalkozynu obejmuje część obszarów Małomic, Lubina i Rudnej oraz prawie w całości obszary Polkowic, Sieroszowic i Głogowa Głębokiego. Jednak należy zaznaczyć, że w granicach tej strefy pojawiają się też pola występowania innych kruszców. Po zachodniej stronie strefy chalkozynowej różnorodność minerałów kruszczowych jest niewielka, natomiast po jej wschodniej stronie zróżnicowanie kruszców jest największe, zwłaszcza w centralnej części Lubina i Małomic oraz we wschodniej części obszaru Rudnej. Pola występowania siarczków tworzą wielobarwną mozaikę, w której największą powierzchnię zajmują pola bornitu. Na obszarze Lubina najliczniejsze są pola galeny, ponadto występują pola chalkopiryty, sfalerytu, piryty i kowelinu, na obszarze Rudnej są to pojedyncze pola piryty, sfalerytu, chalkopiryty i kowelinu, w rejonie Małomic ujawniono najbogatsze na całym obszarze złożowym pole tennantytu.

## DYSKUSJA WYNIKÓW

Na podstawie kilkudziesięciu map wykonanych na przełomie lat 2009/2010, można stwierdzić, że strefy występowania poszczególnych minerałów kruszcowych mają przebieg ukośny do granicy bloku przedsudeckiego. Najbardziej jednolita jest strefa występowania minerałów z grupy chalcokozynu, obejmująca centralną część złoża, ale i w jej granicach znajdują się pola występowania innych kruszców. Najciekawsza, ze względu na dużą różnorodność minerałów kruszcowych, jest część wschodnia. Obecne są tam wszystkie wymienione minerały, natomiast zróżnicowana jest wielkość, liczba i wartość pól ich występowania. Trudno jest też zaobserwować wyraźną prawidłowość w rozmieszczeniu pól poszczególnych minerałów względem siebie. Na taki obraz rozmieszczenia minerałów kruszcowych ma wpływ głównie duża miąższość złoża. Złoże stanowi w pewnym sensie barierę redox. Im większa jest jego grubość, tym większa jest aureola rozproszenia i rozleglejszy obszar, w którym może zachodzić redukcja metali z roztworów. Dużą rolę w stabilności strefy redox odgrywa również miąższość samego łupku. Łupek jest horyzontem izolującym wpływ strefy utlenionej i bliskiego wartości zero potencjału Eh na precipitację siarczków ponad nim. W zachodniej części złoża, zróżnicowanie minerałów rudnych jest mniejsze, ich rozkład może być tłumaczony obecnością niestabilnego frontu utlenienia oraz wyraźnie mniejszą grubością złoża. Brak występowania galeny lub jej udział poniżej 10% w południowo-zachodniej i zachodniej części obszaru złożowego moż-

na tłumaczyć obecnością wspomnianego wcześniej frontu utlenienia, który ma wpływ na grubość złoża, jak również na wielkość wartości Eh. Z kolei w centralnej i wschodniej części złoża, pionowa stratyfikacja kruszców jest lepiej zauważalna. Duże pola z okruszcowaniem Pb–Zn, pojawiające się na wschodzie (głównie w obszarze Lubina), jednoznacznie sugerują obecność silniejszego, negatywnego potencjału Eh, który nie jest wymagany dla siarczków miedzi (Brookins, 1998). Jak wynika z diagramów Eh–pH (*op. cit.*), chalcokozyn jest jedynym głównym siarczkiem obecnym w tym złożu, który może występować również w dolnej części pola utleniającego. Jest to jeden z powodów jego dominacji ilościowej.

Rozmieszczenie minerałów rudnych, które w złożu nie są dominujące, jest zróżnicowane. Przykładowo, tennantyt występuje w łupku sporadycznie i w niewielkich ilościach. Jego obecność jest prawdopodobnie związana ze strefami tektonicznymi oraz z obecnością okruszcowania Co–Ni (Banaś i in., 1998). W innych miejscach minerały te występują wyłącznie w ilościach śladowych, tak jak wiele pozostałych kruszców (Pieczonka i in., 2007). Znając ogólny kierunek rozmieszczenia minerałów rudnych, związany z obecnością frontu utlenienia w części południowo-zachodniej złoża, można się tu również dopatrywać pewnej kierunkowości, na przykład w rozmieszczeniu kowelinu. Kowelin jest obecny w strefach o niskiej wartości Eh, czyli w miejscach występowania chalcokozynu i innych prostych siarczków miedzi.

## LITERATURA

- BANAŚ M., GŁUSZEK A., JAROSZ J., SALAMON W., 1998 — Żyły polimetaliczne w permskich złożach miedzi na monoklinie przedsudeckiej. *Pr. Spec. PTMin.*, **10**: 43–49.
- BROOKINS D.G., 1998 — Eh–pH diagrams for geochemistry. Springer–Verlag, Berlin, Heidelberg.
- KIJEWSKI P., 1998 — Uwagi o strefowości w rozmieszczeniu głównych minerałów kruszcowych złoża rud miedzi. *Pr. Spec. PTMin.*, **10**: 87–92.
- KONSTANTYNOWICZ E., 1971 — Geologia złóż rud miedzi i przejawów miedzionośnych w Polsce. *W*: Monografia przemysłu miedziowego w Polsce (red. E. Konstantynowicz). Wyd. Geol., Warszawa.
- KUCHA H., 2007 — Mineralogia kruszcowa i geochemia ciała rudnego złoża Lubin–Sieroszowice. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **423**: 77–94.
- OSZCZEPALSKI S., RYDZEWSKI A., 1996 — Rozmieszczenie metali w basenie cechsztyńskim. *W*: Monografia KGHM Polska Miedź S.A. (red. A. Piestrzyński): 115–122. CBPM Cuprum, Wrocław.
- OSZCZEPALSKI S., RYDZEWSKI A., 1997 — Atlas metalogeniczny cechsztyńskiej serii miedzionośnej w Polsce. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- PIECZONKA J., PIESTRZYŃSKI A., 2008 — Mineralogy and geochemistry of ore minerals from secondary oxidized zones. *Ann. Soc. Geol. Pol.*, **78**, 3: 196–242.
- PIECZONKA J., PIESTRZYŃSKI A., LENIK P., CZERW H., 2007 — Rozmieszczenie minerałów kruszcowych w złożu rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **423**: 95–108.
- SALAMON W., 1979 — Ag i Mo w cechsztyńskich osadach na monoklinie przedsudeckiej. *Pr. Miner. PAN Kraków*, **62**.