

Piotr KRZEMIŃSKI\*, Stanisław SPECZIK\*\*

## **Progностyczne złoże rud Cu-Ag w województwie lubuskim (SW Polska)**

Streszczenie: Wieloletnie badania nad związkiem między występowaniem strefy utlenionej Rote Faule a bogatą mineralizacją kruszcową pozwoliły na stwierdzenie prawidłowości w rozmieszczeniu złóż miedzi i srebra w bezpośrednim otoczeniu facji utlenionej. W województwie lubuskim hipotetyczna strefa kontaktu pomiędzy dwiema głównymi facjami geochemicznymi przebiega w kierunku NW-SE na północny wschód od Zielonej Góry do Nowej Soli. W zasięgu omawianej strefy wyznaczono rozległy na 484 km<sup>2</sup> obszar prognostyczny Mozów. W omawianym rejonie mineralizację w utworach cechsztyńskiej serii miedzionośnej zbadano dotychczas w siedmiu dostępnych archiwalnych otworach wiertniczych, gdzie na głębokości od 2000 do 2500 m ponad skałami utlenionymi odnotowano bogatą mineralizację kruszcową. Badany obszar stał się poligonem dla zastosowania nowych technik poszukiwawczych rud. Wyniki prac reinterpretacyjnych wybranych profili sejsmicznych 2D przy zastosowaniu efektywnych współczynników odbicia pozwoliły na szczegółowe rozpoznanie stref zmian litologicznych i miąższościowych poszczególnych cyklotemów cechsztynu oraz elementów tektonicznych związanych z tymi utworami. Uzyskano także bardziej precyzyjne kartowanie stropu czerwonego spągowca. Natomiast specjalne transformacje anomalii Bougera w tym rejonie wykonane w postaci map anomalii rezydualnych oraz map gęstości grawimetrycznych elementów liniowych o zasięgu regionalnym i lokalnym w wyznaczonych przedziałach głębokościowych umożliwiły odwzorowanie tektoniki i zmian litologicznych. Skupienie zbadanych otworów na nieznacznej części obszaru prognostycznego nie daje pełnego obrazu rozprzestrzenienia okruszcowania, niemniej uwzględniając zasadnicze prawidłowości występowania dolnocechsztyńskich ciał złożowych należy sądzić, że pas o wysokiej koncentracji miedzi przedłuża się w utworach łupka miedzionośnego oraz wapienia cechsztyńskiego po zachodniej stronie granicy redoks, jak i w łupku miedzionośnym i białym spągowcu po wschodniej stronie granicy redoks. Analizy dostępnych danych w pełni uzasadniają konieczność prowadzenia prac poszukiwawczo-badawczych w celu rozpoznania skali rozprzestrzenienia się ciała kruszcowego. W obrębie omawianego obszaru obecnie prowadzone są intensywne badania oraz prace wiertnicze.

Słowa kluczowe: obszar prognostyczny, rudy Cu-Ag, facja utleniona, sejsmika 2D

\* Mgr, \*\* Prof. dr hab., Uniwersytet Warszawski, Warszawa; Mozów Copper Sp. z o.o., Warszawa:  
e-mail: s.speczik@uw.edu.pl

## ***Prognostic deposit of Cu-Ag ore in the Lubuskie voivodship (SW Poland)***

**Abstract:** Extensive research completed on the relationship between the oxidized Rote Faule zone and rich ore mineralization has allowed to link the presence of copper and silver deposits in the vicinity of oxidized facies. In the Lubuskie voivodship the hypothetical contact zone between two main geochemical facies runs in the NW-SE direction, northeast of Zielona Góra towards Nowa Sól. The extent of the discussed zone covers 484 km<sup>2</sup> of the Mozów prognostic area. Within the discussed area, Zechstein Kupferschiefer mineralization has been investigated in seven available archival cores, where, at the depths between 2000 to 2500 meters above the oxidized rock, rich ore mineralization was observed. The investigated area became training grounds for ore prospecting using the newest methods. The results of reinterpreting of selected 2D seismic profiles by the use of the effective reflection coefficients allowed to detailed identification of lithological zone changes, and thicknesses of particular Zechstein cyclothems, as well as tectonic elements linked to them. Mapping of the top contact of the Rotliegendes was also completed. In addition, special transformations of the Bouguer anomalies compiled in the form of residual anomaly maps as well as gravimetric density maps of linear elements of regional and local extent at pertinent depth intervals allowed the trace of tectonic and lithological changes. The number of cores investigated in a small part of the prognostic area does not give a complete image of mineralization dispersion, however taking into consideration the basic trend in the occurrence of Lower Zechstein ore bodies, an assumption can be made that the belt of high copper concentrations extends into the Kupferschiefer and the Zechstein Limestone facies on the western border of the redox boundary, as well as in the Kupferschiefer and Weissliegendes facies on the eastern border of the redox boundary. Analyses of available data gives reason to conduct exploration and research in order to determine the dispersion of ore bodies. Within the boundaries of the discussed area, intensive research and drilling is being conducted.

Key words: prognostic area, Cu-Ag ore, oxidized facies, 2D seismic profiles

### ***Wprowadzenie***

Omawiany obszar prognostyczny położony jest w centralnej części województwa lubuskiego, a jego granice obejmują zasięgiem trzy powiaty: sulechowski, krośnieński oraz zielonogórski (rys. 1A). Na mapie strukturalnej Polski jest to zachodnia część monokliny przedsudeckiej (rys. 1B). Przeważająca część terenu położona jest w obrębie obniżenia zielonogórskiego (Sokołowski 1967). Łączna powierzchnia terenu badań wynosi 484 km<sup>2</sup>.

### ***1. Rys historyczny***

Zainteresowanie obszarem, będącym obecnie przedmiotem licznych badań geofizycznych i geologicznych, związane było głównie z określeniem potencjału ropno-gazowego dolomitu głównego, co spowodowało, że spąg cechsztynu nie był głównym celem prowadzonych wierceń. Pierwsze wiercenia w omawianym terenie wykonane zostały w latach sześćdziesiątych XX wieku w rejonie Pomorska, gdzie z trzynastu otworów dwa osiągnęły spąg cechsztynu (Pomorsko 1, Czerwieńsk 1). Kolejne wiercenia prowadzone były w latach osiemdziesiątych oraz dziewięćdziesiątych XX wieku w okolicach miejscowości Kije i Mozów. W rejonie Kijów wykonano dziewięć otworów, z których trzy osiągnęły spąg cechsztynu (Kije 2, 9, 10), a w rejonie Mozowa dwa otwory (Mozów 1, Mozów 2). Dodatkowo w północnej i północno-zachodniej części obszaru wykonano kolejnych dziewięć otworów. Jednak najbardziej wartościowe dane pochodziły z otworów Mozów 1, Kije 10 i Kije 9, które wyznaczają rejon cechujący się wysoką (powyżej 50 kg/m<sup>2</sup>) zasobnością w miedź.

## **2. Zakres i metodyka prac**

Prace badawcze podzielone były na dwa główne etapy. W pierwszym realizowane były zadania związane z przeglądem materiałów archiwalnych dotyczących rdzeni wiertniczych oraz przetworzeniem danych sejsmiki i grawimetrii. Do dnia dzisiejszego zachowało się siedem pełnych profili serii miedzionośnej z otworów w omawianym terenie. W przypadku całkowitego zachowania materiału rdzeniowego, wykonywano pełny zakres badań chemicznych (pierwiastków głównych – Cu, Ag, Zn, Pb, towarzyszących – Co, Mo, Ni, V, śladowych – Cr, Bi, U, Th, As, Ba oraz metali szlachetnych – Au, Pt, Pd) oraz mineralogicznych (szczegółowe opisy z użyciem mikroskopu optycznego). W innym przypadku bazowano na dotychczasowych pracach związanych z tematem (Oszczepalski, Rydzewski 1997). Dane sejsmiczne pochodziły ze szczegółowego zdjęcia sejsmicznego wykonanego w latach osiemdziesiątych XX wieku. Wykorzystanie prac reprocessingowych, polegających na przekształceniu wybranych przekrojów sejsmicznych w postać efektywnych współczynników odbicia (EWO), miało na celu podniesienie rozdzielczości zapisu sejsmicznego i wyeksponowanie zmienności litologicznej oraz tektonicznej skał. Podstawę do obliczeń efektywnych współczynników odbicia stanowiły dane w postaci zbiorów sejsmicznych w układzie SEG-Y, najlepiej z rzeczywistymi wielkościami amplitud (RAP). Obliczenie efektywnych współczynników odbicia umożliwiło przekształcenie falowego obrazu sejsmicznego w ciągi współczynników odbicia przedstawiające kolejne warstwy w badanym ośrodku geologicznym. Bardzo ważnym elementem była korelacja uzyskanych danych z wynikami geofizyki wiertniczej. W ten sposób uzyskano obrazy w postaci profili litologiczno-stratygraficznych. Otrzymane przekroje nakładane były na cyfrowo przetworzone dane grawimetryczne w postaci map anomalii Bougera, map transformowanych oraz grawimetryczno-tektonicznych, obrazujących budowę geologiczną wybranych kompleksów skalnych. Mapy anomalii opracowywano na podstawie archiwalnych zbiorów wartości pomiarów siły ciężkości o zagęszczeniu zdjęcia półszczegółowego. Mapy transformowane wykonano z zastosowaniem metod opartych na filtracji częstotliwościowej obejmującej między innymi gradient poziomy według Rosenbacha (Speczik i in. 2011, 2012).

## **3. Podstawy teoretyczne**

Głównym zagadnieniem pomocnym w poszukiwaniach dolnocechsztyńskich złóż miedzi jest front facji utlenionej zwanej Rote Faule (Rydzewski 1964; Wyżykowski 1971; Gospodarczyk 1978; Oszczepalski, Rydzewski 1983, 1991, 1997). Największe pole utlenione znajduje się na zachód od udokumentowanego złoża Cu-Ag w południowej części monokliny przedsudeckiej i obejmuje obszar perykliny Żar oraz zachodniej części monokliny przedsudeckiej. Mniejsze obszary o silnym wpływie Rote Faule pojawiają się w centralnej i środkowo-wschodniej części monokliny przedsudeckiej (Oszczepalski, Rydzewski 1997; Oszczepalski, Speczik, 2011). Ponadto w odniesieniu do granicy redox widoczna jest pionowa strefowość oraz w skali regionalnej pozioma strefowość rozmieszczenia pierwiastków głównych (Oszczepalski 1989; Oszczepalski, Rydzewski 1991). Główna mineralizacja związana jest z post-sedymentacyjnym wpływem fluidów utleniających, które w trakcie przepływu przez utwory silikoklastyczne czerwonego spągowca ługowały metale,

a następnie precypitowały na kontakcie z utworami redukcyjnymi (Oszczepalski 1999; Speczik i in. 1997, 2007; Oszczepalski i in. 2002). W przepływie solanek mogły być pomocne systemy głębokich spękań oraz rozłamów w podłożu cechsztynu, które zostały w wyniku prac analitycznych skartowane w obszarze badań (Blundell i in. 2002, Borg i in. 2012)

#### **4. Wyniki prac badawczych**

Głównym zadaniem prac geologicznych przed przystąpieniem do prac wiertniczych było wyznaczenie obszarów prognostycznych dla udokumentowania pokładowego (stratoidalnego) złoża polimetalicznego. We wszystkich zbadanych otworach w serii miedzionośnej stwierdzono występowanie skał utlenionych. W zależności od pozycji frontu utlenionego seria miedzionośna była utleniona częściowo lub całkowicie (rys. 3). W pierwszym przypadku ponad utlenionymi skałami zaobserwowano bogatą mineralizację kruszczową zdominowaną przez chalkozyn. W drugim przypadku, gdy utlenieniu uległa cała seria miedzionośna, widoczne były jedynie relikty siarczków metali wraz z hematytem. Otwory, w których została odnotowana bogata mineralizacja, zostały naniesione na wcześniej przygotowane mapy grawimetryczne, do których korelowano linie sejsmiczne 2D. Dzięki zebraniu danych w całość uzyskany został obraz z teoretyczną linią przebiegu frontu utlenionego.

Analiza mapy grawimetrycznej gradientu poziomego według Rosenbacha z naniesionymi głównymi osiami gradientów poziomych wykazała istnienie pozytywnej anomalii o kierunku NW-SE (rys. 2). Wyniki badań mineralogicznych i chemicznych sugerują, że strefa anomalii kontrolowała dostarczanie fluidu ługującego metale w skali lokalnej. Wszystkie pozytywne otwory (Kije 2, 9, 10, Mozów 1) znajdują się po stronie północnej omawianej strefy, natomiast otwory negatywne (Mozów 2, Czerwińsk – mapa nie obejmuje otworu) – po stronie południowej lub w niewielkiej odległości od głównej osi wymienionej strefy. Pomocne stały się także profile sejsmiczne 2D, które potwierdziły tezę na temat istnienia głębokich rozłamów w podłożu cechsztynu. Wykonany reprocessing linii sejsmicznych ujawnił głębokie uskoki w obszarze anomalii oraz szereg płytszych rozłamów w serii skalnej należącej do cechsztynu oraz dolnego permu (rys. 4). Zakładając, iż głębokie rozłamy miały znaczący udział w dostarczaniu solanek utleniających do systemu, przyjęto że omawiana strefa tektoniczna była aktywna w czasie transportu solanek ługujących oraz będzie kontrolowała pozycję frontu utlenionego w serii miedzionośnej. Na podstawie powyższej interpretacji wyznaczono sześć otworów wiertniczych, które zlokalizowano po stronie północnej omawianej strefy w celu potwierdzenia występowania bogatej mineralizacji Cu-Ag.

Prace wiertnicze w pierwszym otworze rozpoznawczym (Mozów 1-C1) zakończono po osiągnięciu stropowych warstw czerwonego spągowca. Dane na temat pozycji frontu utlenionego w skałach serii miedzionośnej nowego otworu potwierdziły zakładany wyżej model rozprzestrzenienia mineralizacji. Ponadto, w strefie redukcyjnej dominującym siarczkiem jest chalkozyn, a dodatkowo stwierdzono liczne ziarna srebra rodzimego. Na kontakcie facji redukcyjnej z utlenioną stwierdzono występowanie miedzi rodzimej oraz towarzyszące jej drobne inkluzje mineralne złota rodzimego (rys. 5A, 5B, 5C, 5D).

## **5. Nowe spojrzenie**

Spąg cechsztynu w omawianym rejonie badań zalega dwukrotnie głębiej niż w obszarze obecnie eksploatowanych w południowej części monokliny przedsudeckiej złóż Cu-Ag, jednak nadal jest to interesujący obszar prognostyczny dla poszukiwań złóż miedzi i srebra. Kryteria mówiące o głębokości i zasobności w dokumentowaniu złóż miedzi w Polsce (Dziennik Ustaw 291, 2011) nie biorą pod uwagę światowego popytu na surowce, a szczególnie rozwoju technik wydobywczych głęboko zalegających pokładów. Z pewnością dużym utrudnieniem w kopalni o głębokości do 2500 m będzie wysoka temperatura oraz duże ciśnienie górotworu. Wysokie straty energii potrzebnej na dostosowanie warunków pracy do człowieka będą musiały być rekompensowane przez wysoką wydajność wydobywania oraz utrzymanie się ceny surowca na wysokim poziomie. Problemy techniczne nie są obecnie przeszkodą, ponieważ technologia automatyki i zdalnego sterowania maszyn w klimatyzowanych pomieszczeniach jest w zasadzie osiągalna. Jednakże znacznie większym problemem mogą stać się przeszkody natury podatkowej lub prawnej. W przypadku inwestycji w budowę kopalni, rentowność zakładów górniczych osiągana jest dopiero w fazie pełnej operatywności, czyli po kilku, a nawet kilkunastu latach od momentu zakończenia budowy. Nałożone na inwestora obciążenia podatkowe powodują odsunięcie momentu zwrotu inwestycji. Fakt ten może znacząco wpłynąć na podjęcie decyzji co do realizacji przedsięwzięcia. Oczywiście nie da się uniknąć obowiązku podatkowego, ale można przenieść obciążenie podatkowe z fazy rozpoznania i budowy zakładów do fazy operacyjnej kopalni. Rozwiązanie to z pewnością zachęciłoby wielu inwestorów do rozpoczęcia działań wiertniczych lub inwestowania w Polsce w rozwój górnictwa rud metali.

## **Wnioski**

Przeprowadzone prace analityczne uwzględniające techniki geofizyczne (grawimetria, sejsmika) oraz geochemiczne i mineralogiczne, pozwoliły na wytyczenie przebiegu hipotetycznego zasięgu facji utlenionej w omawianym obszarze prognostycznym. Wyniki obserwacji mineralogicznych z serii miedzionośnej w archiwalnych otworach oraz nowe dane uzyskane z otworu Mozów 1-C1 potwierdziły występowanie wysokich koncentracji siarczków miedzi ponad utworami utlenionymi. Utwory te w omawianym regionie obejmują skały stropowe czerwonego spągowca oraz spąg łupka miedzionośnego. Rozmieszczenie pozytywnych otworów wiertniczych w stosunku do strefy z głębokimi rozłamami poniżej utworów cechsztynu korelowanej z pozytywną anomalią na mapie gradientu poziomego według Rosenbacha, pozwala dowiązać do siebie granice obszaru z występowaniem wysokich koncentracji metali w facji redukcyjnej. Uskoki kontynuujące się w podłożu cechsztynu mogły spełniać zasadniczą rolę w dostarczaniu solanek transportujących metale do obszaru prognostycznego.

## Literatura

- Blundell D.J., Karnkowski P., Alderton D.H.M., Oszczepalski S., 2002 – Geochemical characteristics across the oxic/anoxic interface (Rote Faule front) within the Kupferschiefer of the Lubin-Sieroszowice mining district (SW Poland). *Chemical Geology* 185, 9–31.
- Borg G., Piestrzyński A., Bachmann G.H., Puttmann W., Walther S., Fiedler M., 2012 – An overview of the European Kupferschiefer deposits. *Society of Economic Geologists, Special Publication* 16, 455–486.
- Dziennik Ustaw Nr 291, 2011 – Rozporządzenie ministra środowiska z dnia 22 grudnia 2011 r. w sprawie dokumentacji geologicznej kopaliny złoża. Pozycja 1712, tabela 16.
- Gospodarczyk E., 1978 – Miedzionośność utworów spągowych cechsztynu na monoklinie przedsudeckiej i peryklinie Żar oraz możliwości dalszych poszukiwań. *Przegląd Geologiczny* 26, 97–102.
- Oszczepalski S., 1989 – Kupferschiefer in southwestern Poland – sedimentary environments, metal zoning and ore controls. In: Boyle RW, Brown AC, Jowett EC, Kirkham RV (eds.), *sediment hosted stratiform copper deposits. Geological Association Canada Special Papers* 36, 571–600.
- Oszczepalski S., 1999 – Origin of Kupferschiefer polymetallic mineralization in Poland. *Mineralium Deposita* 34, 599–613.
- Oszczepalski S., Nowak G.J., Bechtel A., Żak K., 2002 – Evidence of oxidation of the Kupferschiefer in the Lubin–Sieroszowice deposit, Poland: Implications for Cu-Ag and Au-Pt-Pd mineralization. *Geological Quarterly* 46, 1–23.
- Oszczepalski S., Rydzewski A., 1983 – Miedzionośność utworów permu na obszarze przylegającym do złoża Lubin–Sieroszowice. *Przegląd Geologiczny* 31, 437–444.
- Oszczepalski S., Rydzewski A., 1991 – The Kupferschiefer mineralization in Poland. *Zol. Geol. Palant.*, I, 4, 975–999.
- Oszczepalski S., Rydzewski A., 1997 – Atlas metalogiczny cechsztyńskiej serii miedzionośnej w Polsce. Państwowy Instytut Geologiczny – Wydawnictwo Kartograficzne Polskiej Agencji Ekologicznej S.A. Warszawa.
- Oszczepalski S., Speczik S., 2011 – Prospectivity analysis of the Polish Kupferschiefer – new instant. In: Brra F., Reich M., Campos E., Tornos F. (eds.) *Let's Talk Ore Deposits 11<sup>th</sup> SGA Biennial Meeting, Antofagasta*, 294–296.
- Rydzewski A., 1964 – Petrografia i mineralizacja osadów górnego permu na monoklinie przedsudeckiej i peryklinie Żar. *Przegląd Geologiczny* 12, 102–108.
- Sokołowski J., 1967 – Charakterystyka geologiczna i strukturalna obszaru przedsudeckiego. *Geologia Sudetica*. Vol. III, 297 – 367.
- Speczik S., Dziewińska L., Pepel A., Józwiak W., 2011 – Możliwość wykorzystania impulsowej postaci zapisu sejsmicznego do rozpoznania złóż prognostycznych miedzi i srebra w północnej części monokliny przedsudeckiej. *Zeszyty Naukowe IGSMiE PAN* 81, 117–135.
- Speczik S., Dziewińska L., Pepel A., Józwiak W., 2012 – Analiza i przetwarzanie danych geofizycznych jako instrument poszukiwań złóż Cu-Ag na monoklinie przedsudeckiej. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego* 452, 257–286.
- Speczik S., Oszczepalski S., Karwasiecka M., Nowak G.J., 2007 – Kupferschiefer – A hunt for new reserves. [W:] Andrew CJ et al. (eds.) *Digging deeper. IAEG, Dublin*, 237–240.
- Speczik S., Rydzewski A., Oszczepalski S., Piestrzyński A., 1997 – Exploration for Cu-Ag and Au-Pt-Pd Kupferschiefer-type deposits in SW Poland. In: Papunen H. (ed.) *Mineral Deposits: Resources and Exploration – Where do They Meet? Balkema, Rotterdam*, 119–122.
- Wyżykowski J., 1971 – Dotychczasowe wyniki geologicznych prac badawczych a dalsze perspektywy stwierdzenia nowych złóż miedzi w Polsce. *Cuprum*, 12, 20–29.

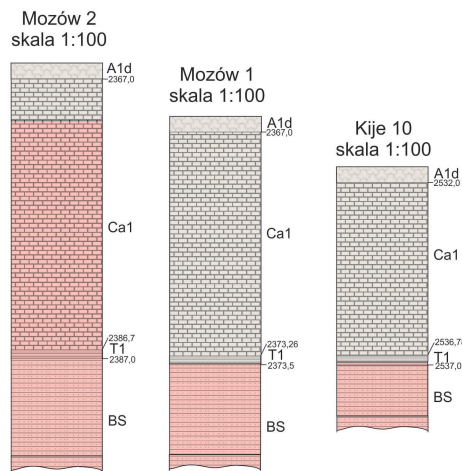


Rys. 1. A. Zasięg obszaru prognostycznego Mozów na tle podziału administracyjnego w województwie lubuskim  
 B. Zasięg omawianego obszaru na tle mapy strukturalnej Polski

Fig. 1. A. The range of Mozów prognostic area against regional and local administrative division  
 B. The range of described area on structural map of Poland

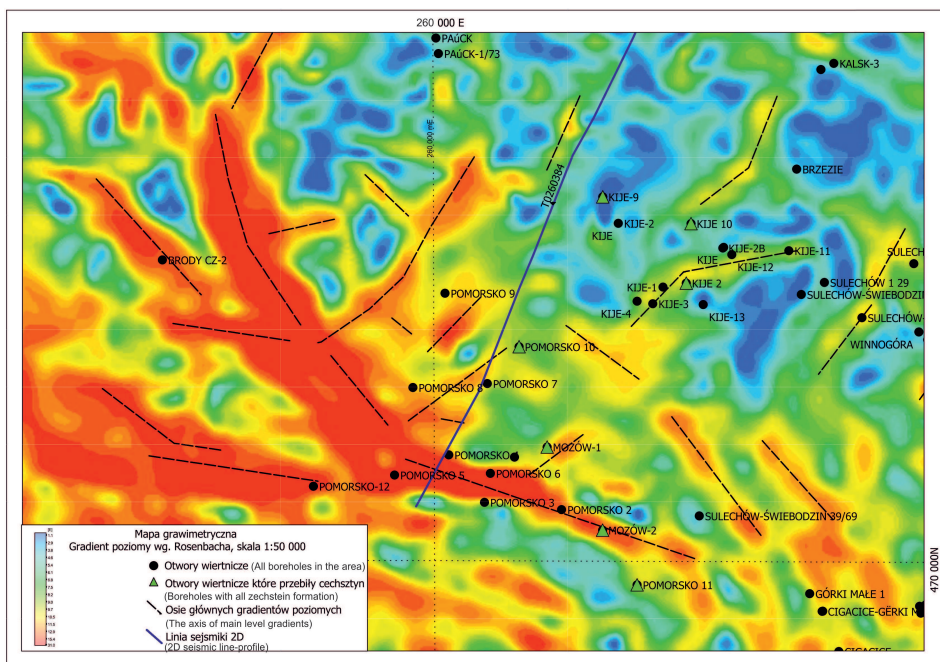






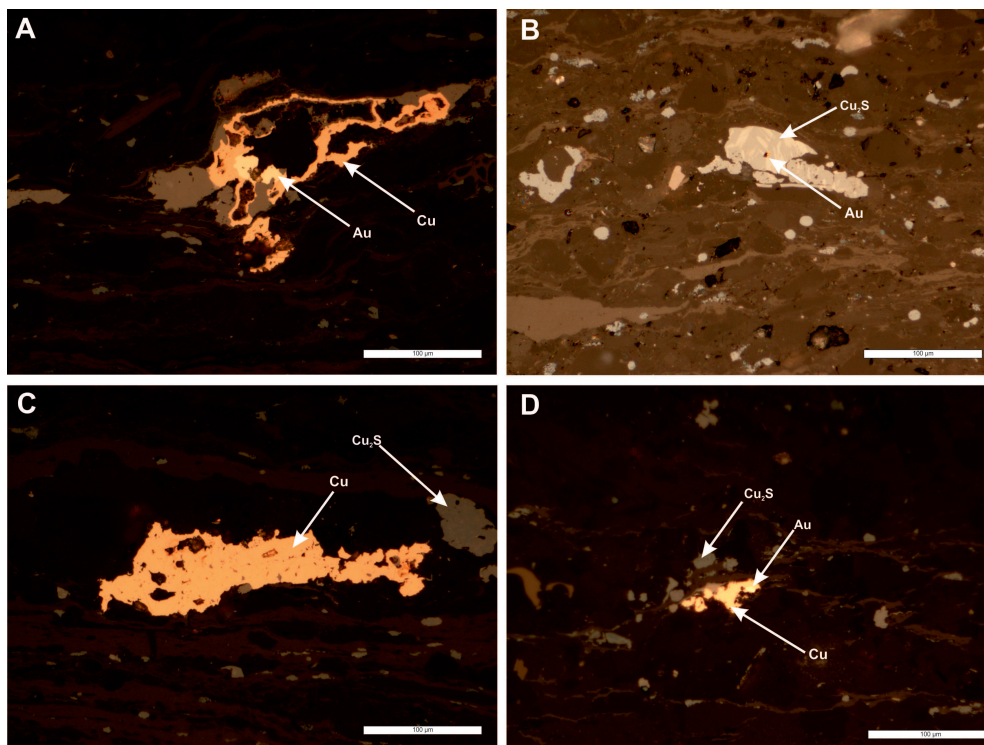
Rys. 3. Przykładowe profile serii miedzionośnej w otworach archiwalnych z naniesionym zasięgiem facji utleniającej (kolor różowy)  
 A1d – anhydryt dolny, Ca1 – wapień cechsztyński, T1 – łupek miedzionośny, BS – biały spągowiec

Fig. 3. The exemplary profiles of copper bearing series in the archival boreholes with vertical range of oxidizing facies (pink color) mapped to.  
 A1d – Lower Anhydrite, Ca1 – Zechstein Limestone, T1 – Copper Shale – Kupferschiefer, BS – White Sandstone – Weisliegendes



Rys. 4. Mapa grawimetryczna omawianego obszaru, gradient poziomy według Rosenbacha w skali 1:50 000

Fig. 4. Gravimetric map of the area, horizontal gradient acc. to Rosenbach, 1:50 000



Rys. 5. Zdjęcia siarczków metali w świetle odbitym

- A – Miedź rodzima w zroście ze złotem rodzimym,
- B – Chalkozyn z inkluzją mineralną złota rodzimego,
- C – Duże ziarno miedzi rodzimej oraz chalkozyn,
- D – Zrost miedzi rodzimej ze złotem rodzimym, drobne ziarna chalkozynu

Fig. 5. Photos of sulphides in reflected light

- A – Native copper with native gold,
- B – chalcocite with small inclusion of native gold,
- C – native copper big grain and chalcocite,
- D – native copper with native gold and chalcocite small grains