

Mineralizacja Cu-Ag w utworach cechsztynu – zarys historii poszukiwań i badań prowadzonych przez PIG

Sławomir Oszczepalski¹, Andrzej Chmielewski¹



S. Oszczepalski

A. Chmielewski

Cu-Ag Zechstein-hosted mineralization – an outline of the history and research by the Polish Geological Institute. *Prz. Geol.*, 67: 587–593.

Abstract. Discovered by J. Wyżykowski in 1957, the Lubin–Sieroszowice deposit is a classic representative of the giant Kupferschiefer-type Cu-Ag stratabound deposit. Its disclosure and documentation was provided by the research work of many geologists of the Polish Geological Institute and many other institutions. During the period of 60 years, the mining and metallurgical industry has been developed to such extent that Poland is now among the world's major producers of copper and silver. This discovery marked the beginning of the recognition of the deposit and gave rise to further exploration for prospective areas elsewhere in SW Poland. Detailed studies of Rote Fäule alteration have shown that redox boundary is the principal guide to exploration. Later studies of numerous boreholes allowed the researchers to distinguish 38

prospective areas on the reductive side of the redox border and Au-Pt-Pd enrichments in oxidized rocks. The Kupferschiefer-type deposits were long considered classic examples of syngenetic mineralization. However, the close relationship between the occurrence of Cu-Ag orebodies and oxidized altered areas, and ore zones progressively transgressive to bedding relative to the Rote Fäule front indicates that these deposits were formed as a result of fluid-rock interaction caused by ascending migration of moderately low-temperature basinal chloride brines from the underlying red beds within reasonable periods of diagenesis of the reduced hosts. The hematitization was the result of an influx of oxidizing solutions across the centers of oxidized areas that acted as the innermost parts of the telescoped Rote Fäule/ore systems. The early-to-late diagenetic timing of mineralization is constrained by paleomagnetic age of hematite, K-Ar dating of authigenic illite and Re-Os dating of Cu sulfides. The fluid circulation was due to paleogeothermal activity, compactive expulsion, recirculation and (or) seismic movements, corresponding to intracontinental Permian–Triassic rifting. Due to the depletion of shallow resources, extensive deep exploration drilling is required to verify the resource potential in concession prospects existing around the documented deposits. The long-term challenges related to the substantial copper and silver scarcity problems in the future demand for overcoming geological barriers (considerable depths, high overburden pressure, elevated temperature, gas hazard) require the use of innovative technology, creation of favorable investment conditions and preparation of a long-term raw materials strategy.

Keywords: centenary of the Polish Geological Institute, Cu-Ag deposits, the 60th anniversary of the discovery, Kupferschiefer, Rote Fäule, origin, the future

Złoża rud miedziowo-srebrowych w utworach dolnego cechsztynu są zaliczane do grupy złóż stratyfikowanych (SSC – *sediment-hosted stratiform copper deposits*), związanych z osadami redukcyjnymi, w których zasadniczym horyzontem kruszonośnym jest łupek miedzionośny, gdyż występują w formie pokładu obejmującego serię osadów (tzw. cechsztyńską serię miedzionośną) o wąskim zasięgu stratygraficznym, nieznacznej miąższości (zwykle do kilkunastu metrów) i znacznym rozprzestrzenieniu lateralnym. Ze względu jednak na występowanie mineralizacji kruszczowej w różnych poziomach cechsztyńskiej serii miedzionośnej, mineralizację tę należy zaliczyć do typu stratoidalnego.

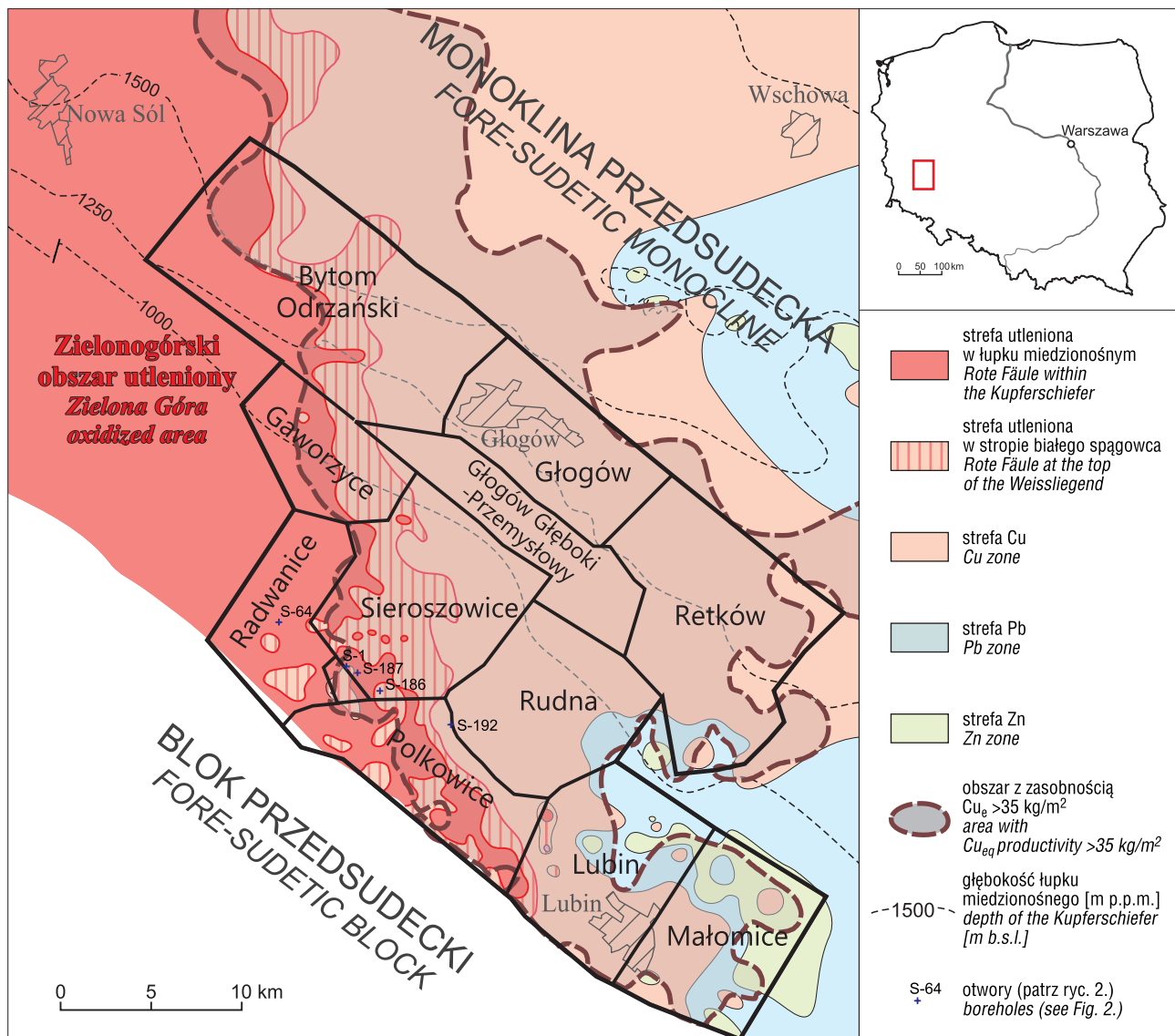
POSZUKIWANIA

Odkrycie złoża rud miedzi w rejonie Lubin–Sieroszowice, dokonane przez zespół pracowników Instytutu Geologicznego pod kierownictwem J. Wyżykowskiego w 1957 r., po odwierceniu otworu Sieroszowice S-1 (ryc. 1), a następnie sporządzenie pierwszej dokumentacji geologicznej tego złoża w 1959 r., stworzyło podwaliny pod wiedzę na temat budowy geologicznej monokliny przedsudeckiej. Na podstawie wyników z 24 wierceń ustalono, że ówczesnie udokumentowane złożo, występujące na obszarze

o powierzchni 175 km², liczyło 1 364 mln t rudy zawierającej 19,34 mln t Cu o średniej zawartości 1,42% Cu (Wyżykowski, 1958, 1959). Odkrycie to umożliwiło po raz pierwszy określenie perspektyw dalszych poszukiwań złóż rud miedzi związanych z utworami cechsztynu (Wyżykowski, 1964). W następnych latach IG kontynuował poszukiwania wiertnicze w północnym i wschodnim otoczeniu złoża lubińskiego – zgodnie z *Generalnym projektem poszukiwań złóż rud miedzi*, autorstwa J. Wyżykowskiego – wykonując otwory: Głogów IG 1, Gawrony IG 1, Dłużyce IG 1 i Zaborów IG 1, które umożliwiły wstępne rozpoznanie, zupełnie wówczas nieznanego rejonu otaczającego odkryte złożo (Wyżykowski, 1971). Szczegółowy przebieg tych i następnych poszukiwań opisano w wielu późniejszych publikacjach (zob. Oszczepalski i in., 2018).

Kolejny etap poszukiwań otworzył opracowany w IG w 1974 r. *Projekt poszukiwań cechsztyńskich rud miedzi na obszarach zachodniej części monokliny przedsudeckiej, perykliny Żar i niecki północnosudeckiej*. W jego ramach rozpoczęto prospekcję wiertniczą na przedpolu dokumentowanych złóż Nowego Zagłębia Miedziowego oraz na peryklinie Żar, wykazując możliwość kontynuacji złoża Lubin–Sieroszowice w kierunku północnym na większych głębokościach, sięgających 2000 m (Gospodarczyk, 1978). IG nie tylko realizował własne wiercenia poszukiwawcze,

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



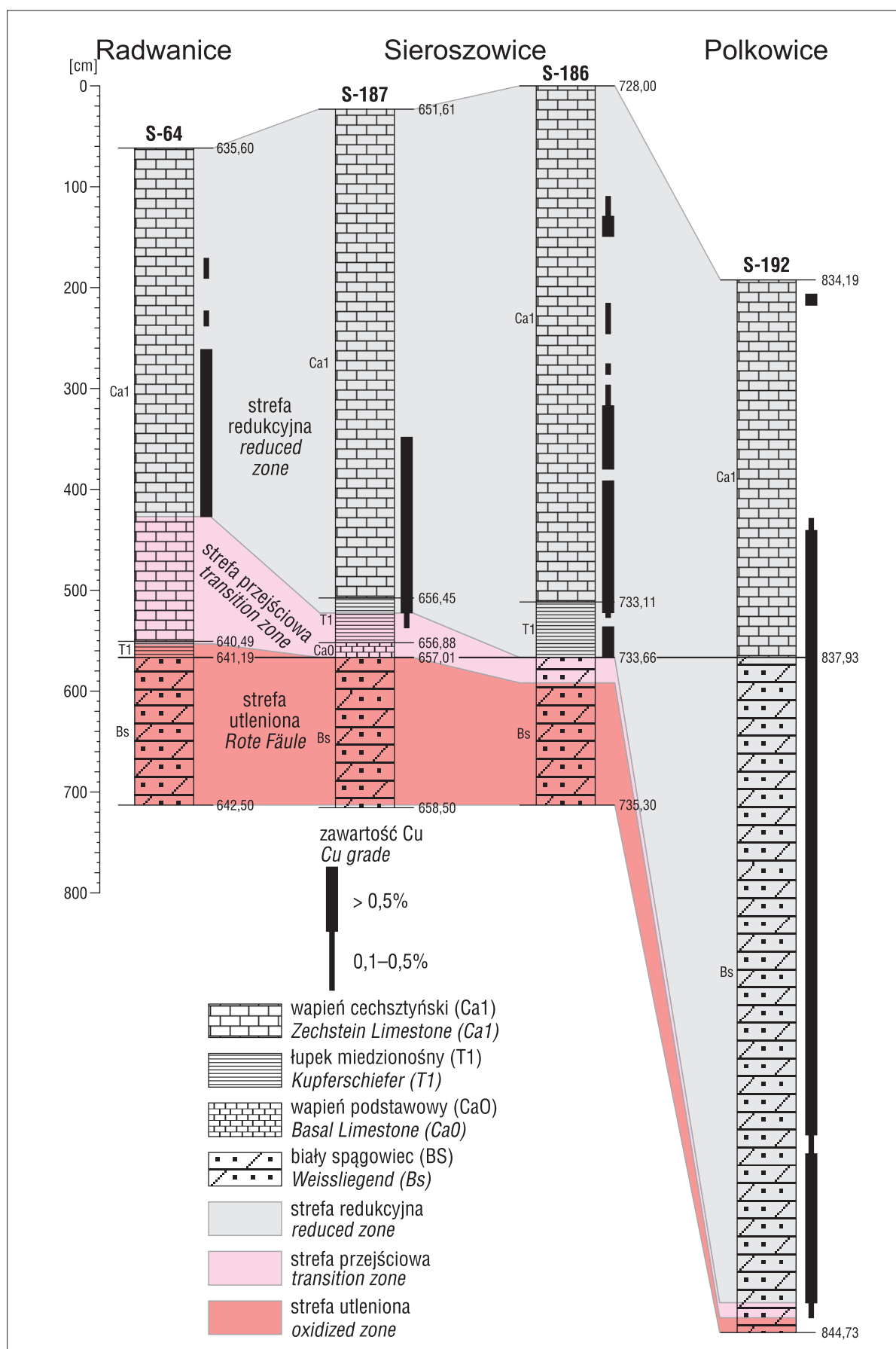
Ryc. 1. Strefowość występowania metali względem obszaru utlenionego (*Rote Fäule*)
Fig. 1. Metal zoning pattern in relation to the oxidized area (*Rote Fäule*)

lecz także od końca lat 60. prowadził regularne badania dostępnych rdzeni wiertniczych przemysłu naftowego, co skutkowało systematycznym przyrostem danych na temat rozprzestrzenienia mineralizacji kruszcowej. Poznanie zasadniczej prawidłowości występowania najbogatszego okruszcowania miedziowo-srebrowego w najbliższym otoczeniu utworów utlenionych (*Rote Fäule*), zarówno lateralnie (ryc. 1), jak i w pionie (ryc. 2), sprawiło, że śledzenie przebiegu lateralnego kontaktu utworów utlenionych z redukcyjnymi stało się podstawą stosowanej strategii poszukiwawczej cechsztyńskich złóż Cu-Ag w skali regionalnej (Rydzewski, 1978; Oszczepalski, Rydzewski, 1983).

W latach 1975–1991 kontynuowano realizację projektu z 1974 r., wykonując 9 wierceń poszukiwawczych na pograniczu niecki północnosudeckiej i perykliny Żar, 9 odwiertów w rejonie Kożuchowa oraz 8 następnych otworów na pograniczu monokliny przedsudeckiej i perykliny Żar. Efektem prowadzonych prac i badań było sporządzenie oceny perspektyw zasobowych SW Polski (Oszczepalski, Rydzewski, 1993).

W związku z transformacją ustrojową od 1992 r. PIG przestał wykonywać wiercenia prowadzone w ramach poszukiwań rud miedzi. Aby jednak podtrzymać stały dopływ

nowych danych, zwłaszcza w związku z zaprzestaniem eksploatacji złóż w kopalniach Starego Zagłębia Miedziowego (*Lena* – 1973, *Lubichów* – 1976 i *Konrad* – 1989) oraz w następstwie udokumentowania następnych złóż Nowego Zagłębia Miedziowego, zintensyfikowano badania dostępnych rdzeni (pochodzących z wierceń PIG i przemysłu naftowego), w celu precyzyjniejszego określenia perspektyw złożowych w otoczeniu udokumentowanych złóż (Rydzewski i in., 1996). Wraz ze stopniowym przyrostem informacji geologicznych możliwe stało się podsumowanie wyników badań w formie atlasu map metalogenicznych polskiej części basenu cechsztyńskiego (Oszczepalski, Rydzewski, 1997), z którego wynika ścisła zależność występowania mineralizacji rudnej od położenia granicy redoks oraz pionowa i pozioma strefowość metaliczna w sekwencji Cu-Pb-Zn (ryc. 1, 2) i mineralna – kolejno chalkopiryt – galena – sfaleryt – piryt, w miarę oddalania się od utworów utlenionych (ryc. 3). Za najbardziej perspektywiczne uznano północno-zachodnie przedłużenie złoża Lubin–Sieroszowice, północną część perykliny Żar i jej pogranicze z niecką północnosudecką oraz rejon Mirkowa, Sulmierzyc, Janowa, Borzęcina i Wielowski. Prawidłowości te wykorzystano



Ryc. 2. Korelacja wybranych profili cechsztyńskiej serii miedzionośnej z południowo-zachodniej części złoża Lubin–Sieroszowice (lokalizacja otworów wiertniczych na ryc. 1)

Fig. 2. Correlation of the selected profiles of the Zechstein copper-bearing series across the SW part of the Lubin–Sieroszowice deposit (for location of boreholes see Fig. 1)

w trakcie sporządzania dokumentacji geologicznej złoża rud miedziowo-srebrowego Głogów–Głęboki w kat. C1 (Przeniosło i in., 1998) i dodatków do innych dokumentacji, a także w omówieniu perspektyw zasobowych wokół zagospodarowanych złóż (Oszczepalski, Rydzewski, 2007; Wirth i in., 2007).

W końcu lat 90. zrealizowano prace poszukiwawcze w rejonie kopalni Polkowice–Sieroszowice, w wyniku których w zalegających poniżej horyzontu miedzionośnego utlenionych utworach *Rote Fäule*, uważanych wcześniej za płonne, rozpoznano mineralizację Au-Pt-Pd (Oszczepalski i in., 1997). Badania archiwalnych rdzeni wiertniczych umożliwiły stwierdzenie regionalnego rozprzestrzenienia tej mineralizacji na całym obszarze złoża Lubin–Sieroszowice (Oszczepalski, Rydzewski, 1998; Oszczepalski, 2007). Także w niecce północnosudeckiej w utlenionych skałach z pogranicza czerwonego spągowca i cechsztynu wykazano obecność wzbogaceń w złoto i platynowce (Speczik, Wojciechowski, 1997; Oszczepalski i in., 2011). Stwierdzono, że niemal wszystkie utlenione utwory cechsztyńskiej formacji miedzionośnej w SW Polsce zawierają podwyższoną koncentrację złota, platyny i palladu (Oszczepalski, Chmielewski, 2015; Mikulski i in., 2016), a także pierwiastków ziem rzadkich (Bechtel i in., 2001; Oszczepalski i in., 2016a). Wyznaczono 15 perspektywicznych obszarów występowania złota oraz 3 obszary występowania Pt i Pd, w których średnia miąższość utworów zmineralizowanych zmienia się w granicach 0,02–1,55 m, a średnia zawartość metali szlachetnych sięga w nich 865 ppb Au, 413 ppb Pt i 1020 ppb Pd. Wszystkie te wystąpienia nie tworzą samodzielnych złóż (z wyjątkiem rejonu Nowy Kościół–Lena), lecz ich obecność bezpośrednio pod rudami Cu-Ag stwarza możliwość odzysku Au, Pt i Pd w związku z eksploatacją rud miedziowo-srebrowych.

W ostatnim czasie, dzięki zbadaniu rdzeni z następnymi kilkudziesięciu otworów, dokonano przełomowych ocen zasobowych wyznaczonych obszarów perspektywicznych mineralizacji miedziowo-srebrowej (Oszczepalski, Speczik, 2011; Oszczepalski, Chmielewski, 2015; Mikulski i in., 2016). Wskazano przewidywane regionalne trendy (Zientek i in., 2015) oraz podsumowano (na podstawie danych zgromadzonych z ponad 1600 otworów) wszystkie informacje w celu wyznaczenia obszarów perspektywicznych z zasobami prognostycznymi, perspektywicznymi i hipotetycznymi na całym obszarze SW Polski (Oszczepalski i in., 2016b). Pojawiające się w tych kolejnych ocenach różne zasięgi i szacunki zasobów obszarów perspektywicznych wynikają nie tylko ze zmian kryteriów wyznaczania tych obszarów, lecz przede wszystkim ze stałego wzrostu liczby zbadanych otworów wiertniczych. Największe zmiany regionalnych trendów rozmieszczenia mineralizacji w stosunku do oceny z 2011 r. nastąpiły w północnej części monokliny przedsudeckiej, gdzie wyróżniono po raz pierwszy strefę mineralizacji pirytowej związanej z wyniesieniem wolsztyńsko-pogorzelskim. Wyznaczono granice 31 obszarów utlenionych, wśród których do największych należą obszary: zielonogórski, ostrzeszowski, rokitnicki i czeszewski. Obszary utlenione są otoczone strefą miedzionośną o zmiennej szerokości, w granicach od 5 do ok. 25 km, w obrębie której wyznaczono 38 obszarów perspektywicznych, w tym 4 najistotniejsze obszary z zasobami prognostycznymi, przylegające bezpośrednio do złoża Lubin–Sieroszowice (Grochowice, Kulów, Białołęka, Luboszyce), stanowiące rezerwę zasobową dla udokumentowanych złóż Nowego Zagłębia

Miedziowego. Na tych obszarach, o łącznej powierzchni ok. 114 km², może się znajdować ok. 9 Mt Cu i 34 tys. t Ag na głębokości od 1500 do 1700 m, w interwale o miąższości od 1,1 do 2,1 m o średniej zawartości 0,97–3,14% Cu i 44–170 ppm Ag.

Zwracają także uwagę zasoby perspektywiczne we wschodniej części monokliny przedsudeckiej (w okolicach Dębnicy, Henrykowic, Janowa, Sulmierzyc), wynoszące 15,67 mln t Cu i 27,72 tys. t Ag, na głębokości w granicach 1400–2000 m p.p.t., łącznie zajmujące obszar 198,65 km², oraz w kilku rejonach perspektywicznych z ogromnymi zasobami na głębokości poniżej 2000 m p.p.t. (Oszczepalski i in., 2016b). Wszystkie wyznaczone obszary perspektywiczne były w ostatnich latach objęte koncesjami poszukiwawczymi, obecnie aktywnymi lub zaniechanymi. Największa możliwość udokumentowania złóż rud Cu-Ag istnieje w pasie miedzionośnym, stanowiącym północno-zachodnie przedłużenie złoża Lubin–Sieroszowice (Oszczepalski i in., 2017), a także w rejonie Sulmierzyc oraz na peryclinie Żar i w niecce północnosudeckiej. We wszystkich rejonach aktywnych koncesji trwają obecnie poszukiwania wiertnicze.

GENEZA

W początkowych etapach rozpoznawania mineralizacji w utworach cechsztynu dominował pogląd o syngenetycznym i syndiagenetycznym jej pochodzeniu. Przełom w określeniu genezy mineralizacji w utworach cechsztynu nastąpił w efekcie udokumentowania ścisłej zależności pomiędzy występowaniem złóż rud Cu-Ag i obszarów utlenionych. Już pierwsze publikacje na ten temat wskazywały na istnienie tego oczywistego związku, lecz początkowo preferowano syngenetyczno-diagenetyczny mechanizm formowania mineralizacji siarczkowej, ze względu na pokładową formę złóż, dominację drobnoziarnistych kruszców rozproszonych i ich przywiązanie do redukcyjnej facji osadów (Rydzewski, 1969, 1976). W następstwie stwierdzenia powszechnych zastąpień składników materiału osadowego przez kruszce oraz wtórnego utleniania najwcześniej powstałych siarczków miedzi, z czasem zaczął dominować pogląd, że główny etap okruszcowania zachodził podczas diagenety osadów wskutek ascenzyjnej migracji roztworów metalonośnych (Rydzewski, 1978; Oszczepalski, Rydzewski, 1983; Oszczepalski, 1989). Dowodzi tego także brak związku między występowaniem utworów utlenionych i ciał kruszczowych a paleogeografią utworów spągowych cechsztynu (Oszczepalski, Rydzewski, 1987; Oszczepalski, 1989).

W następnych latach kontynuowano intensywne badania strefy kontaktowej pomiędzy utworami utlenionymi i redukcyjnymi, wykazując przywiązanie złóż rud Cu-Ag do granicy redoks oraz wyznaczając po raz pierwszy strefę przejściową pomiędzy utworami utlenionymi i redukcyjnymi (Oszczepalski, Rydzewski, 1991). Wyniki szczegółowych badań tej strefy dowiodły, że zachodziły w niej procesy przeobrażeniowe manifestujące się obecnością licznych zastąpień piryty i siarczków miedzi przez hydrotermalny hematyt (Oszczepalski, 1994). Stwierdzenie hematytowych pseudomorfoz po framboidalnym piryście w utworach utlenionych i pseudomorfoz siarczków miedzi po framboidalnym piryście w utworach redukcyjnych stało się dowodem podepozycyjnej genezy mineralizacji miedziowej (Oszczepalski, 1999). W wyniku procesów mineralizacyjnych w utlenionych utworach nastąpił wzrost

nie złóż rud miedziowo-srebrowych wokół obszarów utlenionych. Strefowość metaliczna i mineralna, a także występowanie miedzi i srebra oraz złota i platynowców po przeciwnych stronach granicy redoks jest wynikiem kierunkowej dostawy metali przez roztwory rozprzestrzeniające się na zewnątrz od centrów ascencji.

O podpozycyjnym, głównie późnodiagenetycznym, wieku mineralizacji obecnej w cechsztyńskiej serii miedzionośnej świadczą także przeprowadzone datowania. Badania paleomagnetyczne hematytu (Jowett i in., 1987a) ujawniły triasowy wiek procesu hematytyzacji (250–220 Ma), skorygowany do zakresu 255–245 Ma, tj. późny perm–wczesny trias (Nawrocki, 2000), świadczący pośrednio o wieku złóż Cu-Ag otaczających obszary utlenione. Z kolei datowania metodą K-Ar illitu neogenicznego, obfitego zarówno w utworach utlenionych, jak i w łupkowej rudzie miedzi, wskazują pośrednio na triasowo-wczesnojurski wiek (216–190 Ma) mineralizacji (Bechtel i in., 1999). Badania metodą Re-Os potwierdziły późnotriasowy wiek 217 ± 2 Ma chalkopiryty z kopalni w Lubinie oraz wiek 212 ± 7 Ma rudy miedzi z Lubina–Polkowice (Mikulski, Stein, 2017). Uwzględniając wzmiankowane wyniki datowań można przyjąć, iż formowanie się mineralizacji w utworach cechsztyńskiej serii miedzionośnej mogło być procesem długotrwałym, zachodzącym głównie w okresie od kilku do kilkadziesiąt mln lat po depozycji łupku miedzionośnego, datowanego na 258 Ma (Peryt i in., 2012). Możliwe było współdziałanie przepływów związanych z kompaktacją basenu i cyrkulacją solanek wywołaną polem geotermicznym (Jowett i in., 1987b), a także recyrkulacja roztworów mineralizujących (Cathles i in., 1993) i ich dopływ uskokiemi tworzącymi się w czasie ruchów sejsmicznych w związku z permsko-triasowym riftingiem intrakontynentalnym (Blundell i in., 2001).

PRZYSZŁOŚĆ

Obecnie polski przemysł miedziowy wykorzystuje rudy związane ze stratoidalnymi złożami rud Cu-Ag monokliny przedsudeckiej, w obrębie tzw. Nowego Zagłębia Miedziowego, w którym znajduje się 9 złóż, w tym 6 zagospodarowanych: Głogów Głęboki Przemysłowy, Lubin–Małomice, Polkowice, Radwanice–Gaworzyce, Rudna i Sieroszowice – z czynnymi kopalniami: Lubin, Polkowice–Sieroszowice i Rudna, oraz 3 złoża niezagospodarowane: Bytom Odrzański, Głogów i Retków. Łączne zasoby bilansowe wynoszą 1 828,86 mln t rudy (33,17 mln t Cu, 99,124 tys. t Ag), w tym w złożach zagospodarowanych – 1 689,33 mln t rudy o zawartości 30,93 mln t Cu i 88,04 tys. t Ag, a w złożach niezagospodarowanych do głębokości 1250 m wynoszą 139,53 mln t rudy, zawierającej 2,24 mln t Cu i 11,08 tys. t Ag (Malon i in., 2018). W roku 2017 wydobyto 31,185 mln t rudy o zawartości 1,50% Cu i 47,8 ppm Ag, zawierającej 467 tys. t Cu i 1490 t Ag oraz wyprodukowano z własnych koncentratów 358,9 tys. t Cu, 1218 t Ag, 571,7 kg Au, 26 tys. t Pb, 1,79 tys. t siarczynu niklu, 73,9 t Se, 39,2 kg koncentratu Pt-Pd oraz kwas siarkowy i siarczan miedzi. Ponadto, mimo zaniechania eksploatacji, bilans zasobów obejmuje także złoża niecki północnosudeckiej (tzw. Starego Zagłębia Miedziowego): Niecka Grodziecka, Nowy Kościół i Wartowice, w których zasoby bilansowe wynoszą łącznie 103 mln t rudy zawierającej 1,42 mln t Cu i 5 344 t Ag. Ze względu na występowanie w złożach mie-

dzi licznych pierwiastków towarzyszących, dotąd nieodzy-skiwanych, wskazano potrzebę wykorzystania znacznych zasobów kobaltu, wanadu i molibdenu (Mikulski i in., 2018).

Udokumentowane zasoby rud Cu-Ag są stopniowo wyczerpywane, a stopień zagospodarowania zasobów bilansowych jest bardzo wysoki. Szacując wystarczalność statyczną zasobów bilansowych w złożach zagospodarowanych w wysokości 1 689,33 mln t rudy można sądzić, że przy obecnym poziomie wydobycia zasoby te zapewniają trwałość produkcji na dość długi, lecz określony czas 54 lat, a z uwzględnieniem zasobów w złożach niezagospodarowanych na ok. 59 lat. Zwiększenie tego horyzontu czasowego może nastąpić poprzez optymalne wykorzystanie zasobów, stabilizację produkcji górniczej na nieco niższym niż obecnie poziomie lub wykorzystanie głębiej zalegających złóż rezerwowych i perspektywicznych. Wobec realnych obecnie możliwości eksploatacji złóż głębokich, PIG-PIB nadal prowadzi wyprzedzającą analizę perspektyw występowania mineralizacji Cu-Ag, a także Au, Pt i Pd oraz innych metali, nie tylko w najbliższym otoczeniu udokumentowanych złóż rud Cu-Ag, ale także na pozostałym obszarze Polski, w celu precyzyjnego wyznaczenia granic obszarów perspektywicznych do zagospodarowania w przyszłości przez górnictwo miedziowe (Oszczepalski, Chmielewski, 2015; Oszczepalski i in., 2016b, 2017). Oprócz kontynuacji badania rdzeni otworów archiwalnych niezbędna będzie eksploracja wiertnicza, rozpoczęta już w wielu rejonach w ramach przyznanych koncesji poszukiwawczych, która umożliwi rozpoznanie i udokumentowanie zasobów przede wszystkim we względnie korzystnym zakresie głębokości, gdyż eksploatacja złóż głębokich będzie wymagać pokonania barier geologicznych (ciśnienie, temperatura, zagrożenie gazowe), zastosowania innowacyjnej technologii, stworzenia sprzyjających warunków inwestycyjnych oraz przygotowania długoterminowej strategii surowcowej.

LITERATURA

- ASAEL D., MATTHEWS A., OSZCZEPALSKI S., BAR-MATTHEWS M., HALICZ L. 2009 – Fluid speciation controls of low temperature copper isotope fractionation applied to the Kupferschiefer and Timna ore deposits. *Chem. Geol.*, 262: 147–158.
- BECHTEL A., ELLIOTT W.C., WAMPLER J.M., OSZCZEPALSKI S. 1999 – Clay mineralogy, crystallinity and K-Ar ages of illites within the Polish Zechstein basin: implications for the age of Kupferschiefer mineralization. *Econ. Geol.*, 94: 261–272.
- BECHTEL A., GHAZI A.M., ELLIOTT W.C., OSZCZEPALSKI S. 2001 – The occurrences of the rare earth elements and the platinum group elements in relation to base metal zoning in the vicinity of *Rote Fäule* in the Kupferschiefer of Poland. *Appl. Geochem.*, 16: 375–386.
- BLUNDELL D.J., KARNKOWSKI P., ALDERTON D.H.M., OSZCZEPALSKI S., KUCHA H. 2003 – Copper mineralization of the Polish Kupferschiefer: A proposed basement fault-fracture system of fluid flow. *Econ. Geol.*, 98: 1487–1495.
- CATHLES L.M.III, OSZCZEPALSKI S., JOWETT E.C. 1993 – Mass balance evaluation of the late diagenetic hypothesis for Kupferschiefer Cu mineralization in the Lubin basin of southwestern Poland. *Econ. Geol.*, 88: 948–956.
- 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:] Andre-Mayer A.S., Cathelineau M., Muchez P., Pirard E., Sindern S. (red.), *Mineral resources in a sustainable world. GeoResources*, Université de Lorraine, Proc. Vol., 5: 1897–1900.

- GOSPODARCZYK E. 1978 – Miedzionośność utworów spagowych cechsztynu na monoklinie przedsudeckiej i peryklinie Żar oraz możliwości dalszych poszukiwań. *Prz. Geol.*, 26 (2): 97–102.
- JOWETT E.C., PEARCE G.W., RYDZEWSKI A. 1987a – A Mid-Triassic paleomagnetic age of the Kupferschiefer mineralization in Poland based on a revised apparent polar wander path for Europe and Russia. *J. Geoph. Res.*, 92: 581–598.
- JOWETT E.C., RYDZEWSKI A., JOWETT R.J. 1987b – The Kupferschiefer Cu-Ag ore deposits in Poland: a re-appraisal of the evidence of their origin and presentation of a new genetic model. *Can. J. Earth Sci.*, 24: 2016–2037.
- JOWETT E.C., RYE R.O., OSZCZEPALSKI S., RYDZEWSKI A. 1991 – Isotopic evidence for the addition of sulfur during formation of the Kupferschiefer ore deposits in Poland. *Zbl. Geol. Paläont.*, 1 (4): 1001–1015.
- MALON A., TYMIŃSKI M., MIKULSKI S.Z., OSZCZEPALSKI S. 2018 – Surowce metaliczne. [W:] Szufflicki M., Malon A., Tymiński M. (red.), Bilans zasobów złóż kopalni w Polsce wg stanu na 31 XII 2017 r. Państw. Inst. Geol. -PIB, Warszawa: 49–66.
- MIKULSKI S.Z., STEIN H.J. 2017 – Wiek izotopowy Re-Os siarczkowej mineralizacji Cu-Ag oraz jej charakterystyka mineralogiczna i geochemiczna z obszaru złożowego Lubin-Polkowice (SW Polska). *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 468: 79–96.
- MIKULSKI S.Z., OSZCZEPALSKI S., CZAPOWSKI G., GAŚIEWICZ A., SADŁOWSKA K., MARKOWIAK M., SZTROMWASSER E., BUKOWSKI K., GIEŁZECKA-MĄDRY D., MĄDRY S., STRZELSKA-SMAKOWSKA B., PAULO A., MICHNIEWICZ M., RADWANEK-BAK B., CHMIELEWSKI A., MĄDRY S., KUĆ P., SIKORSKA-MAYKOWSKA 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.
- MIKULSKI S.Z., OSZCZEPALSKI S., SADŁOWSKA K., CHMIELEWSKI A., MAŁEK R. 2018 – Występowanie pierwiastków towarzyszących i krytycznych w wybranych udokumentowanych złożach rud Zn-Pb, Cu-Ag, Fe-Ti-V, Mo-Cu-W, Sn, Au-As i Ni w Polsce. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 472: 21–52.
- NAWROCKI J. 2000 – Clay mineralogy, crystallinity, and K-Ar ages of illites within the Polish Zechstein Basin: implications for the age of Kupferschiefer mineralisation – A discussion. *Econ. Geol.*, 95: 241–242.
- OSZCZEPALSKI S. 1989 – Kupferschiefer in southwestern Poland: sedimentary environments, metal zoning, and ore controls. [W:] Boyle R.W., Brown A.C., Jowett E.C., Kirkham R.V. (red.), *Sediment-hosted stratiform copper deposits*. GAC Sp. Paper, 36: 571–600.
- OSZCZEPALSKI S. 1994 – Oxidative alteration of the Kupferschiefer in Poland: oxide-sulphide parageneses and implications for ore-forming models. *Geol. Quart.*, 38 (4): 651–672.
- OSZCZEPALSKI S. 1999 – Origin of the Kupferschiefer polymetallic mineralization in Poland. *Miner. Depos.*, 34: 599–613.
- OSZCZEPALSKI S. 2007 – Mineralizacja Au-Pt-Pd w cechsztyńskiej serii miedzionośnej na obszarach rezerwowych górnictwa miedziowego. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 423: 109–124.
- OSZCZEPALSKI S., CHMIELEWSKI A. 2015 – Zasoby przewidywane surowców metalicznych Polski na mapie w skali 1:200 000 – miedź, srebro, złoto, platyna i pallad w utworach cechsztyńskiej serii miedzionośnej. *Prz. Geol.*, 63 (9): 534–545.
- OSZCZEPALSKI S., CHMIELEWSKI A. 2018 – Mineralizacja kruszcowa w cechsztyńskim anhydrycie dolnym na monoklinie przedsudeckiej. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 472: 135–154.
- OSZCZEPALSKI S., RYDZEWSKI A. 1983 – Miedzionośność utworów permu na obszarze przylegającym do złoża Lubin-Sieroszowice. *Prz. Geol.*, 31 (7): 437–444.
- OSZCZEPALSKI S., RYDZEWSKI A. 1987 – Paleogeography and sedimentary model of the Kupferschiefer in Poland. *Lecture Notes in Earth Sciences*, 10: 189–205.
- OSZCZEPALSKI S., RYDZEWSKI A. 1991 – The Kupferschiefer mineralization in Poland. *Zbl. Geol. Paläont.*, 1 (4): 975–999.
- OSZCZEPALSKI S., RYDZEWSKI A. 1993 – Rudy miedzi. [W:] Bąk B., Przeniosło S. (red.), *Zasoby perspektywiczne kopalni Polski wg stanu na 31.XII.1990 r.* Państw. Inst. Geol.: 98–116.
- OSZCZEPALSKI S., RYDZEWSKI A. 1997 – Atlas metalogiczny cechsztyńskiej serii miedzionośnej w Polsce. *Państw. Inst. Geol., PAE SA.*
- OSZCZEPALSKI S., RYDZEWSKI A. 1998 – Złoto, platyna i pallad w złożu Lubin-Sieroszowice na podstawie danych z otworów wiertniczych. *Pr. Spec. Pol. Tow. Miner.*, 10: 51–70.
- OSZCZEPALSKI S., RYDZEWSKI A. 2007 – Rozmieszczenie metali w basenie cechsztyńskim. [W:] Piestrzyński A., Banaszak A., Zaleska-Kuczmiarczyk M. (red.), *Monografia KGHM Polska Miedź SA*, wyd. II. Allexim sp.z o.o., Wrocław: 95–101.
- OSZCZEPALSKI S., SPECZIK S. 2011 – Rudy miedzi i srebra. [W:] Wołkiewicz S., Smakowski T., Speczik S. (red.), *Bilans perspektywicznych zasobów kopalni Polski wg stanu na 31.XII.2009 r.* Państw. Inst. Geol.: 76–93.
- OSZCZEPALSKI S., PIESTRZYŃSKI A., RYDZEWSKI A., SPECZIK S., NICZYPORUK K. 1997 – Poszukiwania cechsztyńskiej mineralizacji Au-Pt-Pd w SW Polsce. [W:] A.Muszer (red.), *Metale szlachetne w NE części Masywu Czeskiego i w obszarach przyległych – geneza, występowanie, perspektywy*. Konferencja Naukowa, Jamońtówek 19–21.06.1997 r., Wrocław: 48–55.
- OSZCZEPALSKI S., NOWAK G.J., BECHTEL A., ŻĄK 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., WOJCIECHOWSKI A. 2011 – Gold mineralization in the Kupferschiefer oxidized series of the North Sudetic trough, SW Poland. [W:] Kozłowski A., Mikulski S.Z. (red.), *Gold in Poland*. Arch. Min. Monogr., 2: 153–168.
- OSZCZEPALSKI S., CHMIELEWSKI A., MIKULSKI S.Z. 2016a – Controls on the distribution of rare earth elements in the Kupferschiefer series of SW Poland. *Geol. Quart.*, 60 (4): 811–826.
- OSZCZEPALSKI S., SPECZIK S., MAŁECKA K., CHMIELEWSKI A. 2016b – Prospective copper resources in Poland. *Gosp. Sur. Miner – Mineral Res. Manag.*, 32 (2): 5–30.
- OSZCZEPALSKI S., CHMIELEWSKI A., SPECZIK S. 2017 – Zmienność mineralizacji kruszcowej w rejonie północno-zachodniego przedłużenia złoża Lubin-Sieroszowice. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 468: 109–141.
- OSZCZEPALSKI S., WISZNIEWSKA J., MIKULSKI S. 2018 – Badania złóż surowców metalicznych przez Państwowy Instytut Geologiczny. *Prz. Geol.*, 66 (9): 529–541.
- PERYT T.M., DURAKIEWICZ T., KOTARBA M.J., OSZCZEPALSKI S., PERYT D. 2012 – Carbon isotope stratigraphy of the basal Zechstein (Lopingian) strata in Northern Poland and its global correlation. *Geol. Quart.*, 56: 285–298.
- PRZENIOSŁO S. (red.), MALON A., OSZCZEPALSKI S., RYDZEWSKI A., SIEKIERA D., BOŃDA R., CHOJĘTA H., MURAS J., WAŚIK I., KJEWski P., SIEROŃ H., KALISZ M., CZMIEL J., MARKIEWICZ A., SUPeL J. 1998 – Dokumentacja geologiczna złoża rud miedziowo-srebrowego Głogów-Głęboki w kat. C1. *Nar. Arch. Geol., PIG-PIB*, Warszawa.
- RYDZEWSKI A. 1969 – Petrografia łupków miedzionośnych cechsztynu na monoklinie przedsudeckiej. *Biul. Inst. Geol.*, 217: 113–167.
- RYDZEWSKI A. 1976 – Geneza dolnocechsztyńskiej mineralizacji poli-metalicznej. *Prz. Geol.*, 24 (4): 176–181.
- RYDZEWSKI A. 1978 – Facja utleniona cechsztyńskiego łupka miedzionośnego na obszarze monokliny przedsudeckiej. *Prz. Geol.*, 26 (2): 102–108.
- RYDZEWSKI A., BANASZAK A., OSZCZEPALSKI S. 1996 – Obszary perspektywiczne dla złóż miedzi. [W:] Piestrzyński A. (red.), *Monografia KGHM Polska Miedź S.A.*: 332–339.
- SPECZIK S., WOJCIECHOWSKI A. 1997 – Złotonośne utwory z pogranicza czerwonego spagowca i cechsztynu niecki północnosudeckiej w okolicach Nowego Kościola. *Prz. Geol.*, 45 (9): 872–874.
- SPECZIK S., OSZCZEPALSKI S., NOWAK G., KARWASIECKA M. 2007 – Cechsztyński łupek miedzionośny – poszukiwania nowych rezerw. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 423: 173–188.
- WIRTH H., BANASZAK A., RYDZEWSKI A., OSZCZEPALSKI S. 2007 – Obszary rezerwowe i perspektywiczne dla złóż miedzi. [W:] Piestrzyński A., Banaszak A., Zaleska-Kuczmiarczyk M. (red.), *Monografia KGHM Polska Miedź SA*, wyd. II. Allexim sp.z o.o., Wrocław: 263–269.
- WYŻYKOWSKI J. 1958 – Poszukiwania rud miedzi na obszarze strefy przedsudeckiej. *Prz. Geol.*, 6 (1): 17–22.
- WYŻYKOWSKI J. 1959 – Dokumentacja geologiczna złoża rud miedzi Sieroszowice-Lubin w rejonie Głogowa i Legnicy. *Nar. Arch. Geol., PIG-PIB*, Warszawa.
- WYŻYKOWSKI J. 1964 – Zagadnienie miedzionośności cechsztynu na tle budowy geologicznej strefy przedsudeckiej. [W:] *Miedzionośność cechsztynu strefy przedsudeckiej*. Pr. Inst. Geol., 76 : 5–57.
- WYŻYKOWSKI J. 1971 – Dotychczasowe wyniki geologicznych prac badawczych a dalsze perspektywy stwierdzenia nowych złóż rud miedzi w Polsce. *Cuprum*, 12: 20–29.
- ZIENTEK M.L., OSZCZEPALSKI S., PARKS H.L., BLISS J.D., BORG G., BOX S.E., DENNING P.D., HAYES T.S., SPIETH V., TAYLOR C.D. 2015 – Assessment of undiscovered copper resources associated with the Permian Kupferschiefer, Southern Permian Basin, Europe. *U.S. Geol. Surv. Scient. Invest. Rep.* 2010-5090-U: 1-94.