

Badania geochemiczno-mineralogiczne i geofizyczne (VLF) w poszukiwaniach złóż złota typu żyłowego w dawnym Okręgu Rudnym Klecza-Radomice w Górach Kaczawskich

Stanisław Z. Mikulski¹, Szymon Ostrowski¹



S.Z. Mikulski



S. Ostrowski

Geochemical, mineralogical and geophysical studies (VLF) in the prospecting for vein-type gold deposits in the former Klecza–Radomice Ore District in the Kaczawskie Mountains. Prz. Geol., 71: 219–223; doi: 10.7306/2023.17

Abstract. The abandoned Klecza–Radomice gold mining area in the Kaczawskie Mountains is prospective for new occurrences of vein-type gold deposits. Research of sulphide ore samples from old mining wastes confirmed a rich gold abundance in this area. Chemical bulk-rock analyses proved a high content of gold (up to 60 ppm Au) and a common occurrence of microscopic gold (mainly electrum). The application of geophysical VLF surveys showed a number of linear anomalies indicating the possibility of the emergence of new ore veins between the areas of former mining exploitation. This area is very promising for gold prospecting and should be the subject of further geophysical research using the induced polarization method (IP),

and verified by shallow prospecting drillings. Execution of this type of comprehensive exploration and research work would open a completely new stage of prospecting for primary gold deposits in the Sudetes.

Keywords: gold deposit, geophysics prospecting, VLF, orogenic gold, historic mines, Klecza–Radomice Ore District, Kaczawskie Mountains, Sudetes

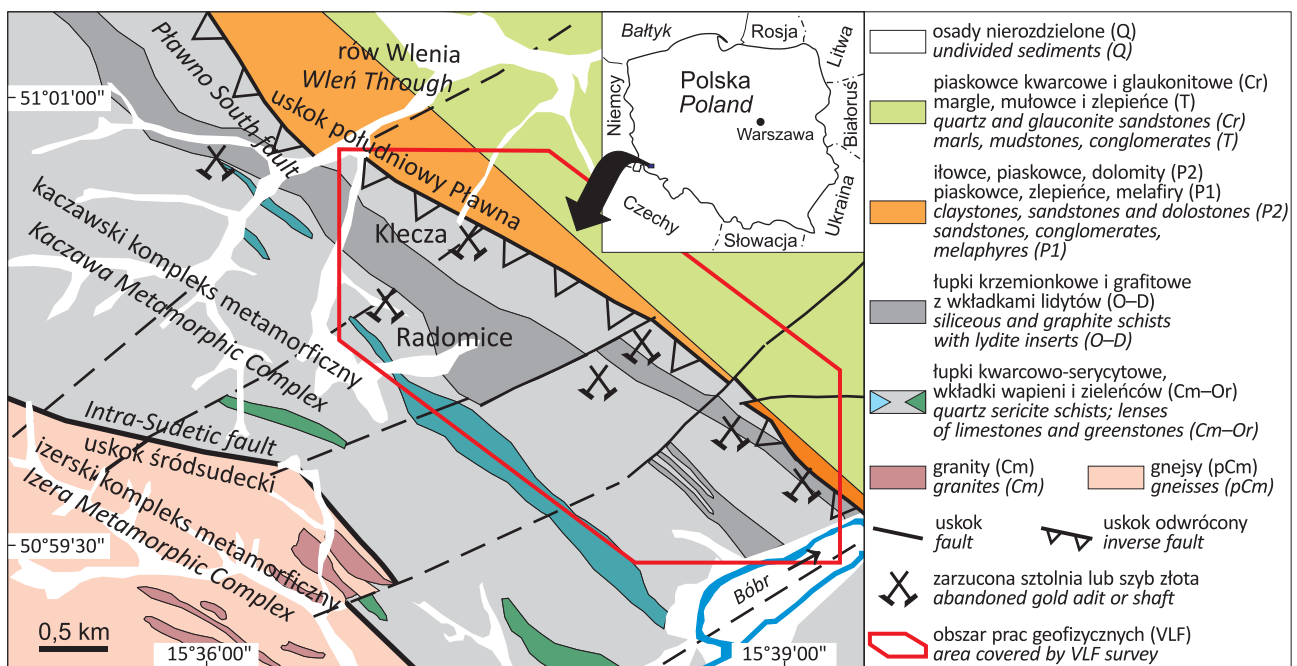
Dawne obszary górnictwa złota były i są przedmiotem licznych prac poszukiwawczych ze względu na możliwość występowania w ich otoczeniu bogatych mineralizacji rudnych. Interesujące pod tym względem są żyłowe złoża polimetaliczne ze złotem, które były przedmiotem płytkiej eksploatacji górniczej, jednak ze względu na ograniczenia techniczne jak również skomplikowaną budowę geologiczną wydobywanie kopaliny z ich głębszych stref okazało się niemożliwe. W Sudetach złoża tego typu były eksploatowane już od średniowiecza, jednak z licznymi przerwami i na ogół w początkach XX w. zakończono w tych obszarach działalność górnictwa (Dziekoński, 1972). Oprócz złota, i często srebra, przedmiotem odzysku z rud polimetalicznych były również miedź, ołów, cynk, arsen, żelazo, a lokalnie także kobalt lub cyna.

W Państwowym Instytucie Geologicznym – Państwowym Instytucie Badawczym (PIG-PIB) w ramach realizacji zadań państwowej służby geologicznej przeprowadzono badania geologiczne oraz geofizyczne w dawnym obszarze górnictwa złota i arsenu w rejonie Kleczy oraz Radomic w Górach Kaczawskich (Mikulski i in., 2021). Zakres prac obejmował badania geochemiczne i mineralogiczne próbek rud zebranych na hałdach po dawnym kopalnictwie złota oraz prace geofizyczne metodą VLF (*very low frequency* – bardzo niskiej częstotliwości). Prace geofizyczne metodą VLF przeprowadzono w celu rozpoznania możliwości kontynuacji znanych żył rudnych poza obszarem dawnej eksploatacji górniczej oraz identyfikacji nowych, dotychczas nieznanymi, zakrytych żył rudnych, zalegających płytko pod powierzchnią w strefach o skomplikowanej tektonice. Badania geochemiczne wykonano w PIG-PIB z wykorzystaniem metodyki ICP-MS, WD-XRF oraz GFAAS.

OBSZAR BADAŃ

Powierzchniowe prace geologiczne i geofizyczne przeprowadzono w Okręgu Rudnym Klecza–Radomice (Klecza–Radomice Ore District – KROD), zamkniętym w 1933 r., który jest zaliczany do tzw. południowo-kaczawskiego obszaru perspektywicznego pod względem występień złóż złota typu żyłowego, o szacunkowych zasobach co najmniej kilku ton Au (Mikulski, Oszczepalski, 2020 wraz z literaturą). KROD występuje w obrębie skał zaliczanych do kaczawskiego kompleksu metamorficznego (KKM) należącego do podłoża Sudetów Zachodnich, jednostki uważanej za kontynuację saksoturzyńskiej strefy waryscydów europejskich w północno-wschodniej części Masywu Czeskiego (Cymerman, 2002). Skały zaliczane do KKM są tam reprezentowane przez fliszopodobne osady wieku ordowicko-dewońskiego, które uległy deformacji i przeobrażeniu w warunkach facji zieleńcowej (Kryza, Muszyński, 1992). W latach 1922–1933 w obszarze tym ponownie uruchomiono wydobywanie rud złota i arsenu z żył kwarcowo-siarczkowych, prowadzone na niewielką skalę za pomocą sztolni na 2–3 poziomach eksploatacyjnych na głębokości ok. 40–100 m p.p.t. (Grimming, 1933). W rejonie Kleczy i Radomic złotożarna mineralizacja kruszcowa występuje w kilkunastu żyłach kwarcowo-siarczkowych o zmiennej grubości (0,25–1,5 m), długości (90–150 m) i głębokości do ok. 100 m (Mikulski, 2007). Żyły mają stromy upad (65–85°), głównie w kierunku zachodnim, oraz dwa kierunki rozciągłości – dominujący wzdłuż kierunku NE-SW i podrzędny wzdłuż kierunku NW-SE. Większe żyły są zlokalizowane w strefach spękań, blisko lub wzdłuż osiowych płaszczyzn antyklin F1 (Cymerman,

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4; 00-975 Warszawa; stanislaw.mikulski@pgi.gov.pl; szymon.ostrowski@pgi.gov.pl; ORCID ID: S.Z. Mikulski – 0000-0002-9941-5630; S. Ostrowski – 0000-0003-2766-941X



Ryc. 1. Lokalizacja prac geologicznych i geofizycznych (VLF) w dawnym Okręgu Rudnym Klecza–Radomice na schematycznej mapie geologicznej (wg Milewicz, 1962; Szalamacha, 1970, 1974; Milewicz, Frąckiewicz, 1983 – zmodyfikowane)

Fig. 1. Location of the Klecza–Radomice Ore District (KROD) on the schematic geological map (after Milewicz, 1962; Szalamacha, 1970, 1974; Milewicz, Frąckiewicz, 1983 – modified)

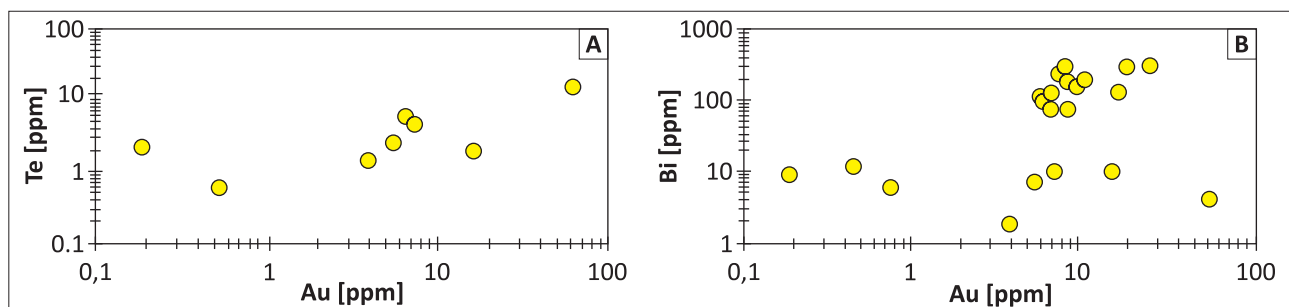
2002). Kilka żył biegnie skośnie w bezpośredniej strefie odwróconego uskoku Pławna (ryc. 1). Lokalnie stwierdzono występowanie żył typu siodłowego. Mineralizacja złotonośna występuje głównie w żyłach kwarcowo-siarczkowych, przecinających silnie skataklazowane łupki kwarcowo-serycytowe i kwarcowo-serycytowo-grafitowe. Żyły grubokrystalicznego kwarcu o barwie szarej lub też mleczno-białej są nieregularne, o zróżnicowanej grubości od kilku do kilkudziesięciu cm (3–45 cm). Skały rudne wykazują silne zmiany metasomatyczne, przejawiające się sylyfikacją, serycytyzacją, karbonatyzacją, chlorytyzacją, feldspatyzacją oraz osiarczkowaniem.

WYNIKI BADAŃ GEOCHEMICZNYCH I MINERALOGICZNYCH

Najbogatsza w złoto jest mineralizacja typu maszynego z przewagą arsenopiryty i miejscami piryty. Siarczki występują w formie żył oraz cementu wypełniającego skataklazowane łupki. Zawartość złota i arsenu w próbkach

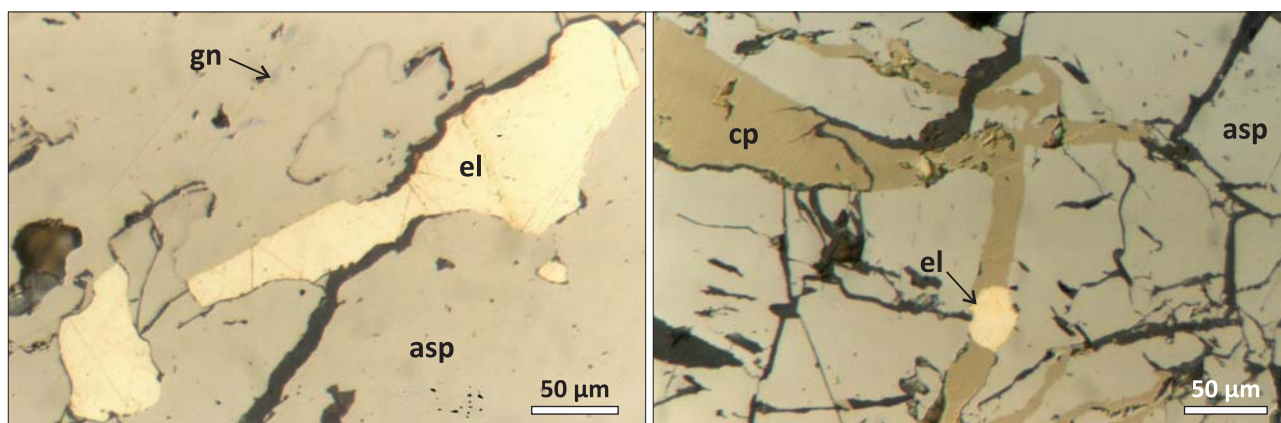
rud mieściła się w zakresie 0,2–60 ppm Au oraz 2–15% As. Koncentracja metali podstawowych (Cu, Pb i Zn) nie przekraczała 0,2%. Zawartość metali potwierdziły wyniki wcześniejszych badań prowadzonych w innych miejscach KROD (Mikulski, 2007). W próbkach tych rud zbadano także zawartość pierwiastków krytycznych. Stwierdzono ich niewielkie wzbogacenie w tellur (<15 ppm) oraz bizmut (<300 ppm; ryc. 2). W badaniach mikroskopowych mineralizacji typu maszynego zaobserwowano bizmut rodzimy w asocjacji z elektrum, a w zwiertzałych rudach bizmutynit. Złoto występuje jako złoto submikroskopowe (<1 μm średnicy) lub tzw. złoto trudnoługowalne (*refractory gold*) w strukturze piryty (ok. 68,5 ppm Au) oraz arsenopiryty (15 ppm Au), a także jako złoto mikroskopowe (>1 μm średnicy) w postaci: mikroinkluzji i żyłek w siarczках oraz jako samodzielne kryształy w strefach kataklazy skał i rud siarczkowych (ryc. 3; Paulo, Salamon, 1973; Olszyński, Mikulski, 1997; Mikulski, 2007).

W KROD wydzielono 4 generacje złota mikroskopowego (Mikulski, 2007). Oprócz elektrum o zawartości



Ryc. 2. Wykresy logarytmiczne wariacji Au od Te (A) i Au od Bi (B) w złotonośnych siarczkowych rudach ze złoża Au w Radomicach

Fig. 2. Log-log plots of variances of Au from Te (A) and Au from Bi (B) in gold-bearing sulphide ores from the Au deposit in Radomice



Ryc. 3. Złoto mikroskopowe (el – elektrum) w postaci wypełnień mikrospęknięć w arsenopirycie (asp) w asocjacji z chalkopirytem (cp) i galeną (gn) w żyłce kwarcowej z dawnego obszaru górnictwa złota Klecza–Radomice – światło odbite

Fig. 3. Microscopic gold (el – electrum) in the form of fillings of arsenopyrite (asp) micro-cracks associated with chalcopyrite (cp) and galena (gn) in quartz vein from the Klecza–Radomice Ore District – reflected light

10–30% wag. Ag jest obecne złoto rodzime wykazujące małe domieszki Ag (<5–7 % wag.). Arsenopiryty z rejonu Kleczy i Radomic zawierają stałą domieszkę kobaltu (0,1–0,9% atom.) i mają skład chemiczny (As, Fe i S) różniący się o 1–2% atomowych od składu stechiometrycznego. Zakres temperatur ich krystalizacji określono na podstawie tzw. geotermometru arsenopirytowego na: 491–390°C (Kleczka) oraz 440–315°C (Radomice). Wydzielono 4 generacje pirytów różniące się zawartością domieszek izomorficznych As, Co i Ni (Co/Ni w zakresie 0,01–5; Mikulski, 2007). Masywna mineralizacja rudna jest często spękana i scementowana węglanami (głównie ankeritem i dolomit) oraz podrzędnie siarczkami reprezentowanymi przez chalkopiryty, galenę, sfaleryt oraz rzadko kobaltyn i minerały z grupy tetraedrytu. Mineralizacja KROD została zaliczona do orogenicznych złóż złota (*orogenic gold deposits*) zgodnie z kryteriami według Groves i in. (1998) oraz Goldfarb i in. (2001), głównie ze względu na występowanie w obrębie terranu metamorficznego, silną kontrolę strukturalną mineralizacji, małą wartość proporcji Au/Ag, nieznaczną zawartość takich metali, jak Cu, Pb i Zn, oraz małe zasolenie roztworów mineralnych (<7% wag. ekwiwalentu NaCl; Mikulski, 2003). Wiek izotopowy Co-arsenopirytu z Kleczy, uzyskany metodą Re-Os, wyniósł 316,6±0,4 mln lat (Mikulski i in., 2005).

WYNIKI BADAŃ GEOFIZYCZNYCH

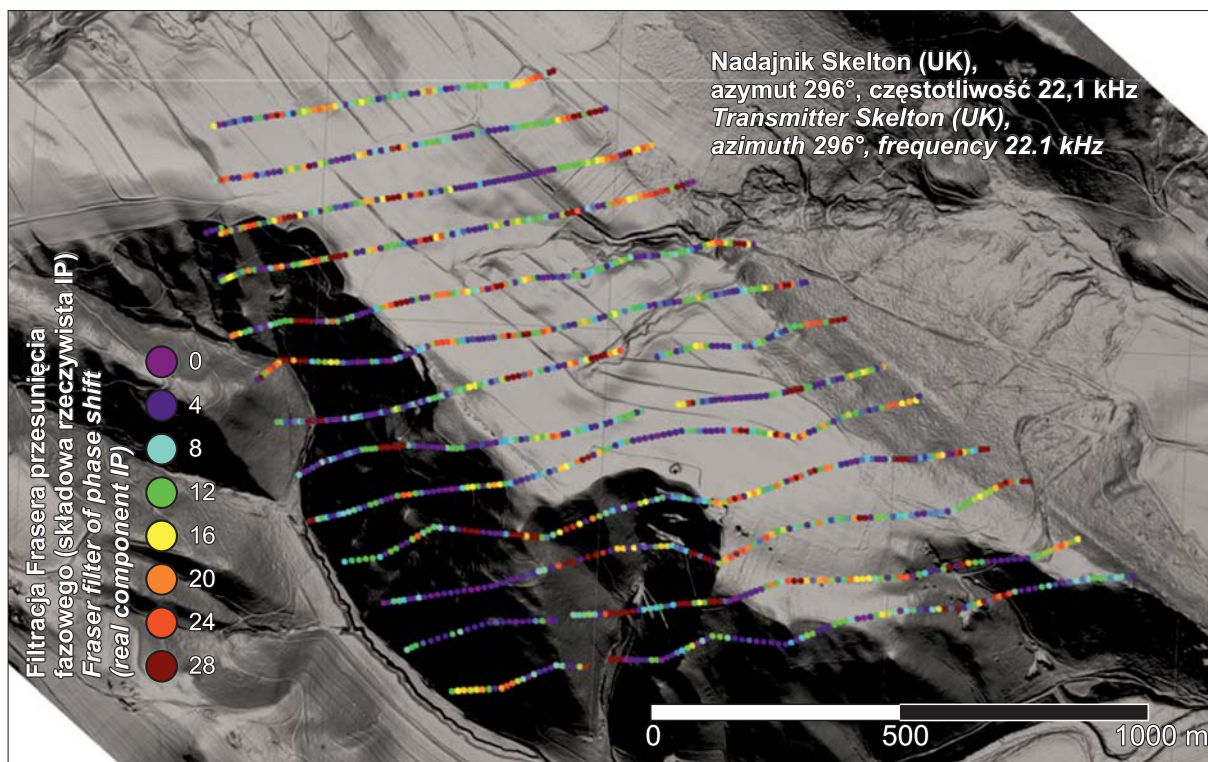
Zastosowanie metod geofizycznych, takich jak VLF (technika elektromagnetyczna wykorzystująca bardzo niskie częstotliwości), w szybkim mapowaniu elementów strukturalnych (Ramesh Babu i in., 2007; Gnaneshwar i in., 2011) oraz w poszukiwaniu złóż rud metali typu żyłowego (Ostrowski, 2014) były szeroko stosowane od dziesięcioleci (Phillips, Richards, 1975). W wielu miejscach wyniki prospekcji metodą VLF umożliwiły rozpoznanie kontynuacji przebiegu znanych żył kruszcowych lub wskazały na ich zupełnie nowe występowanie.

W latach 2017–2018 PIG-PIB przeprowadził na terenie dawnego górnictwa złota w KROD badanie geofizyczne techniką VLF. Badania te prowadzono na dwóch stanowiskach obejmujących obszar ok. 3 km², w promieniu ok. 1 km

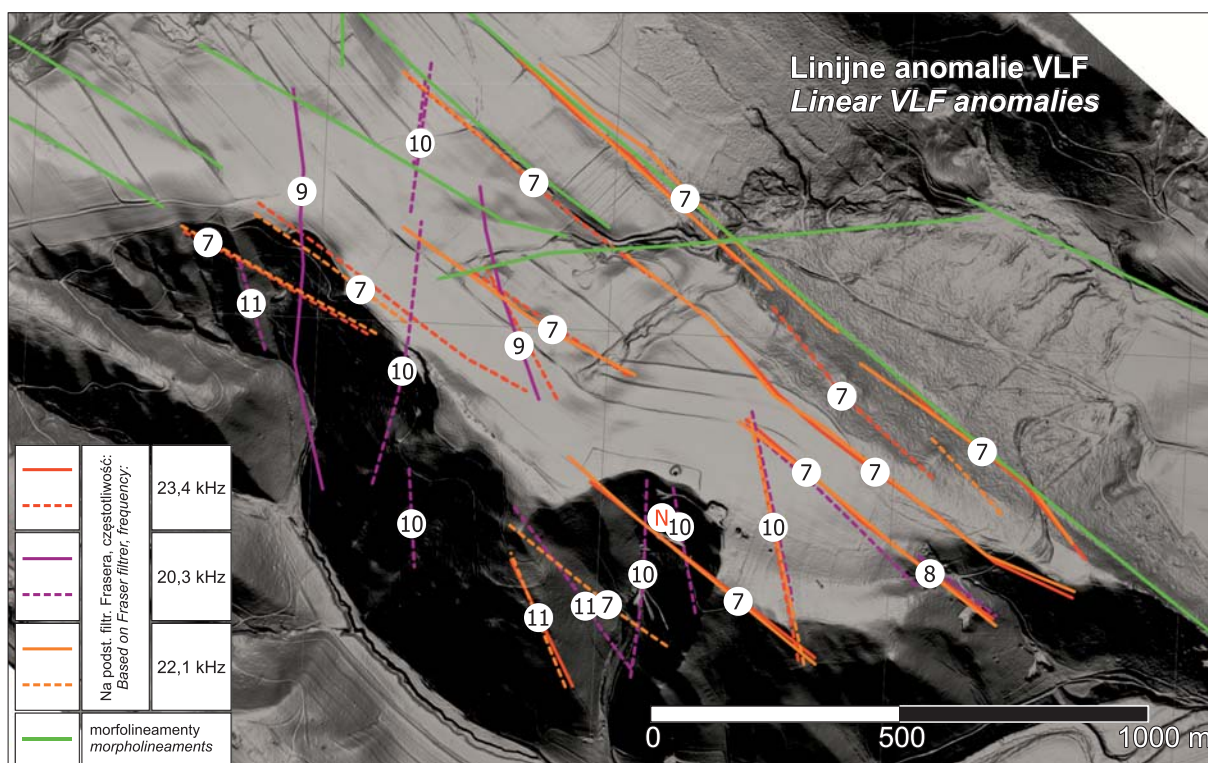
od dwóch zarzuconych kopalń. Pomiary wykonano na 30 liniach pomiarowych, oddalonych od siebie o ok. 100 m, o długości od 0,3 do prawie 1,5 km i łącznej długości ponad 30 km. Rejestrowano całkowite natężenie składowej magnetycznej pola pierwotnego oraz wartość dwóch składowych fazowych: magnetycznej składowej pola wtórnego – składowej realnej (*in-phase component*) i urojonej (*quadrature component, out-of-phase component*), stosując trzy różne częstotliwości generowane przez trzy potężne nadajniki radiowe służące do komunikacji dalekiego zasięgu. Dane poddano filtracji Frasera (Fraser, 1969), a wyniki (niefiltrowane i filtrowane) skompilowano do serii map punktowych (ryc. 4). Interpretacja otrzymanych map poprzez łączenie anomalii VLF na sąsiadujących liniach pomiarowych pozwoliła wyznaczyć przebieg anomalii liniowych, które można uznać za prawdopodobny przebieg żył kruszcowych (ryc. 5). Obserwowane cztery populacje anomalii liniowych można przypisać do różnych elementów strukturalnych. Najbardziej obiecującymi miejscami do dalszych badań rud (w tym lokalizacji płytkich wierceń) są, naszym zdaniem, węzły, w których krzyżują się anomalie z populacji 7, 10 i 9, i mogło w nich dojść do krystalizacji żył rudonośnych.

PODSUMOWANIE

Na podstawie wyników badań geochemicznych i mineralogicznych próbek rud pochodzących z hałd po dawnym górnictwie złota w rejonie Kleczy i Radomic potwierdzono występowanie bogatej mineralizacji złotoносnej, związanej z żyłami kwarcowo-siarczkowymi. Masywne rudy siarczkowe zawierają do kilkudziesięciu ppm złota, któremu towarzyszy srebro i śladowa zawartość bizmutu. Przeprowadzona w całym obszarze górniczym szczegółowa prospekcja geofizyczna metodą VLF wykazała wiele anomalii liniowych, odpowiadających z dużym prawdopodobieństwem przebiegowi dotychczas nierozpoznanych żył kruszcowych. Punkty przecięcia tych anomalii są miejscami, w których można się spodziewać koncentracji żył, i powinny być obiektami dalszego rozpoznania geofizycznego i wiertniczego.



Ryc. 4. Fragment mapy punktowej filtracji Frasera dla składowej rzeczywistej indukowanego pola VLF. Przykład zastosowania układu pomiarowego oraz wartości filtracji dla jednej ze składowych przesunięcia fazowego
Fig. 4. Part of the point-map of filtered in-phase component of induced VLF field. Illustration of the survey setting and one of the Fraser-filtered phase shift components



Ryc. 5. Fragment mapy zinterpretowanych liniowych anomalii VLF. Anomalie są wynikiem obecności liniowych obiektów strukturalnych o przewodnictwie kontrastującym z otaczającym ośrodkiem skalnym. Numery oznaczają populacje anomalii
Fig. 5. Part of the map of interpreted linear VLF anomalies. The anomalies are results of linear structural features with conductivity contrasting to the surrounding medium. The numbers are for anomalies mode

Obszar górniczy Klecza–Radomice jest uznawany za jeden z najbardziej perspektywicznych pod względem możliwości znalezienia wystąpień złóż złota w Sudetach (Mikulski, 2015; Mikulski, Oszczepalski, 2020).

Pojedyncze żyły złota mają na ogół niewielkie zasoby metali, jednak charakteryzuje je duża zawartość złota w rudzie (>10 ppm Au) oraz występowanie grupowe w pasie łupków, w pobliżu głębokich i regionalnych stref tektonicznych, stanowiących drogi migracji rozтворów mineralnych wzbogaconych w złoto. Nagromadzenie złota w pojedynczych żyłach rudnych zawiera się w zakresie od kilku do kilkuset kilogramów, a żyły występujące w tego typu środowiskach geologicznych grupują się na ogół w klastry po kilkadziesiąt żył, czyniąc tego typu obszary zasobne w złoto. Obszar Klecza–Radomice znajduje się w południowo-kaczawskiej strefie złotonosnej, rozciągającej się na odcinku od Ubocza po Mysłów (10 × 50 km). W strefie tej rozpoznano liczne żyły oraz przejawy złotonosnej mineralizacji kruszcowej typu żyłowego (Mikulski, 2007).

W świetle uzyskanych wyników badań geochemicznych i geofizycznych obszar dawnego kopalnictwa złota w okolicach Kleczy i Radomic powinien być przedmiotem dalszych prac geofizycznych z zastosowaniem metody polaryzacji wzbudzonej w celu zweryfikowania anomalii VLF oraz w przypadku pozytywnych rezultatów obiektem rozpoznawania za pomocą płytkich wierceń (150–200 m). Wydaje się również zasadne powielenie proponowanego schematu badań (mapowanie VLF – profilowanie IP – wiercenie) w innych obszarach o znanych wystąpieniach złota w żyłach kwarcowo-siarczkowych w Sudetach (Mikulski, 2020). Weryfikacja wiertnicza wyników powierzchniowych prac geologicznych i geofizycznych mogłaby otworzyć nowy etap poszukiwań złóż rud polimetalicznych ze złotem w Sudetach.

Prezentowane wyniki prac uzyskano w PIG-PIB podczas realizacji projektu finansowanego przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, zgodnie z umową nr 289/2018.

LITERATURA

CYMERMAN Z. 2002 – Analiza strukturalno-kinematyczna i waryscyjska ewolucja tektoniczna kompleksu kaczawskiego. Pr. Państw. Inst. Geol., 175: 1–147.
 DZIEKOŃSKI T. 1972 – Wydobywanie i metalurgia kruszców na Dolnym Śląsku od XIII do XX w. Ossolineum, PAN.
 FRASER D.C. 1969 – Contouring of VLF-EM data. Geophysics, 34: 958–967.
 GNANESHWAR P., SHIVAJI A., SRINIVAS Y., JETTIAIAH P., SUNDARARAJAN N. 2011 – Very-low-frequency electromagnetic VLF-EM measurements in the Schirmacheroasen area, East Antarctica. Polar Science, 5: 11–19.
 GOLDFARB R.J., GROVES D.I., GARDOLL S. 2001 – Orogenic gold and geologic time: a global synthesis. Ore Geol. Rev., 18: 1–75.
 GRIMMING H. 1933 – Gutachten das Gold und Arsenerzvorkommen von Hüsdorf-Wünschendorf. Nar. Arch. Geol. nr 4421/11, Warszawa.

GROVES D.I., GOLDFARB R.J., GEBRE-MARIAM M., HAGEMANN S.G., ROBERT F. 1998 – Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution on relationship to other gold deposit types. Ore Geol. Rev., 13: 7–27.
 KRZYŻAR R., MUSZYŃSKI A. 1992 – Pre-Variscan volcanic-sedimentary succession of the central southern Góry Kaczawskie, SW Poland: outline geology. Ann. Soc. Geologorum Poloniae, 62: 117–140.
 MIKULSKI S.Z. 2003 – Orogenic quartz-sulphide-gold veins from the Klecza–Radomice Ore District in the Kaczawa Mountains (W Sudetes). [W:] Eliopoulos S. (red.). Mineral Exploration and Sustainable Development. Millpress, Rotterdam: 787–790.
 MIKULSKI S.Z. 2007 – The late-Variscan gold mineralization in the Kaczawa Mountains, Western Sudetes. Polish Geological Institute Sp. Papers, 22: 1–162.
 MIKULSKI S.Z. 2015 – Mapy obszarów perspektywicznych wystąpień rud metali w Polsce w skali 1:200 000: pierwotne rudy złota towarzyszące mineralizacji siarczkowej na Dolnym i Górnym Śląsku oraz w Małopolsce. Prz. Geol., 63 (9): 546–555.
 MIKULSKI S.Z. 2020 – Opis stanu rozpoznania geologiczno-złożowego oraz wskazanie nowych kierunków badań dotyczących najbardziej perspektywicznych obszarów dla wystąpień złóż Au. 7.1. Planowany obszar prac: Obszar południowo-kaczawski perspektywiczny dla rud Au. [W:] Mikulski S.Z., Markowiak M., Oszczepalski S., Lenik P., Salwa S., Sadłowska K., Wiszniewska J., Zadanie 3.2. Opracowanie pięcioletniego planu rewaluacji stanu rozpoznania geologicznego kraju z wykorzystaniem nowoczesnych technik eksploracyjnych w szczególności rud metali. Nar. Arch. Geol., Warszawa, nr 1944/2021: 172–189.
 MIKULSKI S.Z., OSZCZEPALSKI S. 2020 – 8.5. Rudy złota (Gold Ores). [W:] Szamałek K., Szufflicki M., Mizerski W. (red.), Bilans perspektywicznych zasobów kopalni Polski wg stanu na 31.12.2018 r. Państw. Inst. Geol.-PIB, Warszawa 2020: 174–187.
 MIKULSKI S.Z., MARKEY R.J., STEIN H.J. 2005 – Re-Os ages for auriferous sulphides from the gold deposits in the Kaczawa Mountains, SW Poland. [W:] Mao J., Bierlein F.P. (red.). Mineral Deposit Research: Meeting the Global Challenge, Springer-Verlag Berlin, Germany: 793–796.
 MIKULSKI S.Z., OSTROWSKI S., CYMERMAN Z., MAŁEK R., SADŁOWSKA K., FARBISZ J., HANDKE B. 2021 – Ocena możliwości pozyskiwania surowców rzadkich (w szczególności niektórych metali) z obszarów i złóż do tej pory nie rozpoznawanych pod tym kątem. Podzadanie 4.1. Nar. Arch. Geol., Warszawa, nr 1955/2021.
 MILEWICZ J. 1962 – Szczegółowa mapa geologiczna Sudetów w skali 1 : 25 000, arkusz Lubomierz. Wyd. Geol., Warszawa.
 MILEWICZ J., FRĄCKIEWICZ W. 1983 – Szczegółowa mapa geologiczna Sudetów w skali 1 : 25 000, arkusz Wleń. Wyd. Geol., Warszawa.
 OLSZYŃSKI W., MIKULSKI S.Z. 1997 – Złoto rodzime w łupkach z Radomic koło Wlenia. [W:] Muszer A. (red.), Metale szlachetne w NE części Masywu Czeskiego i w obszarach przyległych: geneza, występowanie, perspektywy. Jarnołtówek 19–21.06.1997. Inst. Nauk Geol. Uniw. Wroc., Wrocław: 86–90.
 OSTROWSKI S. 2014 – Mapping with VLF tool – gold investigation case study that yielded unexpected structural minutiae. Geol. Sudetica, 42: 68.
 PAULO A., SALAMON W. 1973 – Native gold in ore veins of the Western part of Góry Kaczawskie Mts. Western Sudetes. Miner. Polon., 4 (2): 85–91.
 PHILLIPS W.J., RICHARDS W.E. 1975 – A study of the effectiveness of the VLF method for the location of narrow mineralized zones. Geoprospection, 13: 215–226.
 RAMESH BABU V., RAM S., SUNDARARAJAN N. 2007 – Modeling of magnetic and VLF-EM with an application to basement fractures – a case study from Raigad, India. Geophysics, 71: 133–140.
 SZALAŁAMACHA J. 1970 – Szczegółowa mapa geologiczna Sudetów w skali 1 : 25 000, arkusz Stara Kamienica. Wyd. Geol., Warszawa.
 SZALAŁAMACHA J. 1974 – Szczegółowa mapa geologiczna Sudetów w skali 1 : 25 000, arkusz Siedlęcín. Wyd. Geol., Warszawa.

Praca wpłynęła do redakcji 14.03.2023 r.
 Akceptowano do druku 4.04.2023 r.