

## Złoto z Radzimowic w Górach Kaczawskich (Sudety) — nowe dane geochemiczne i mineralogiczne

Stanisław Zbigniew Mikulski\*

Oznaczenia chemiczne złotośnych rud siarczkowych z Radzimowic wykazały wysokie zawartości złota ( $\bar{x}_{n=23}=21,5$  g/t) oraz srebra ( $\bar{x}_{n=23}=92,3$  g/t). Proporcja Au do Ag w różnych typach rud jest zmienna waha się od 1:3 do 1:80 (średnio ok. 1:3 ÷ 6 w masywnych rudach o zawartości złota > 3g/t). Złoto wykazuje pozytywną korelację z Ag, S, Bi, Co, Cd, Cu, CaO (od 0,94 do 0,61 z  $p < 0,05$  dla  $n=23$ ). Na podstawie badań mikroskopowych rozpoznano szereg minerałów kruszczowych wśród których opisano po raz pierwszy asocjację mineralną złota, srebra (złoto rodzime, elektrum — 60÷70% wag. Au), bizmutu (malonit — ok. 65% wag. Au, bizmut rodzimy, bismutytnit), tellurków i siarkotellurków Ag, Pb i Bi (hessyt, gustavit), różnorodnych węglanów (ankeryt, dolomit, kalcyt, syderyt) i młodszej generacji kwarcu związanej z wystąpieniami kobaltonośnego arsenopirytytu. W zrostach z arsenopirytem stwierdzono również scheelit o strefowej budowie kryształów. Wstępne oznaczenia izotopowe siarki w paragenetycznych siarczkach mają zawartości od 1,31 do -1,13  $\delta^{34}S$  (CDT) i mogą wskazywać na pomagmowe źródło siarki. Obecność asocjacji mineralnej Au–Ag–Bi–Te–Pb–węglany±kwarc w rudach siarczkowych, umiarkowanie niska proporcja Au:Ag, niska próba złota widzialnego (600–680), jak również pozycja większości zbadanych rud siarczkowych w trójkącie klasyfikacyjnym Au–Ag–base metals (wg Poulsen, 1996) wskazują na rozwój procesów leptotermalnych w złożu Radzimowickim. Pojawienie się mineralizacji było związane z rozwojem procesów hydrotermalnych wokół subwulkanicznej intruzji ryolitów masywu Żeleźniaka. Okruszczowanie złotośnymi siarczkami nastąpiło po uformowaniu się ryolitowego lakolitu w trakcie i po krystalizacji żył lamprofirowych i andezytowych.

**Słowa kluczowe:** złoto, leptotermalna asocjacja mineralna Au–Ag–Bi–Te–Pb–węglany±kwarc, Radzimowice, Góry Kaczawskie, Sudety, Polska

Mikulski Stanisław Z. — Gold from Radzimowice deposit in Kaczawa Mts. (Sudetes) — new geochemical and mineralogical data (SW Poland). Prz. Geol., 47: 999–1005.

*Summary.* Chemical analyses of gold-bearing sulfide ores from Radzimowice revealed a high concentrations of gold ( $\bar{x}_{n=23}=21.5$  g/t) and silver ( $\bar{x}_{n=23}=92.3$  g/t). The Au/Ag ratio varies between 1:3 to 1:80 but in ore grade material (>3 g/t) is 1:3 ÷ 6. Gold has positive correlation with Ag, S, Bi, Co, Cd, Cu and CaO ( $r=0.94-0.61$ ; with  $p < 0,05$  for  $n=23$ ). In the result of ore microscopic studies the new mineral association of Au, Ag (electrum — 60÷70 wt. % Au), Bi (malonite — ca. 65 wt. % Au, native bismuth, bismuthynite), tellurides and sulfotellurides of Ag, Pb and Bi (hessite, gustavite), different carbonates (ankerite, siderite, calcite and dolomite) and quartz with Co-bearing arsenopyrite is described. Moreover scheelite of zonal structure with arsenopyrite intergrowths was noticed. Preliminary results of  $\delta^{34}S$  from sulfides had values from 1.31 to -1.13  $\delta^{34}S$  (CDT). Appearance of new described mineral association of Au–Ag–Bi–Te–Pb with carbonate minerals and younger generation of quartz within sulfide ores, rather moderately low an average Au : Ag ratio, low gold fineness (600–680) and position of most ore samples on the ternary diagram of Au–Ag–base metals (according to Poulsen, 1996) fall in the epithermal gold deposit field, strongly indicate for development of lower temperature processes within Radzimowice deposit. This ore stage is representing the transition between moderate and low temperatures mineral association connected with development of postmagmatic hydrothermal processes around the Żeleźniak rhyolite subvolcanic intrusion.

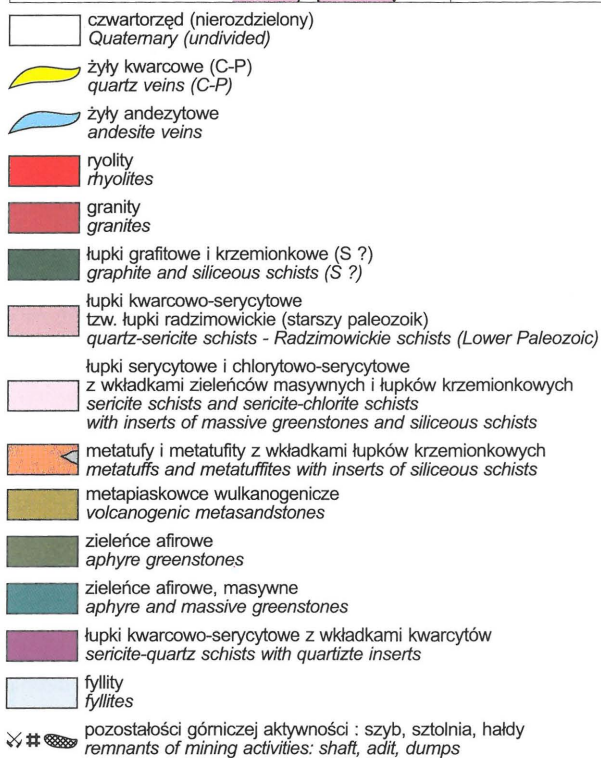
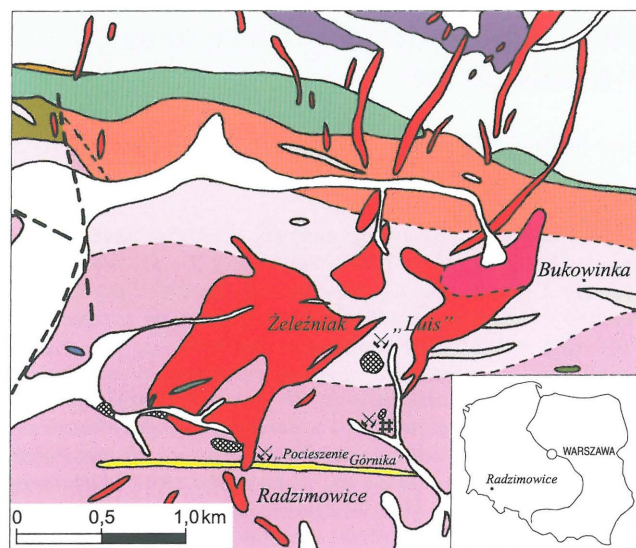
**Key words:** gold, leptothermal Au–Ag–Bi–Te–Pb–carbonate±quartz association, Radzimowice, Kaczawa Mts., Sudetes, Poland

Rejon złoża jest zlokalizowany w południowej części metamorfiku kaczawskiego w obrębie jednostki fałdowej Bolków–Wojcieszów (Teisseire, 1956). Występują tam dolnopaleozoiczne łupki radzimowickie (łupki kwarcowo-serycytowo-grafitowe) z przeławieniami łupków krzemionkowych, w które wdarł się w młodszy paleozoiku subwulkaniczny ryolit o kształcie lakolitu (Skurzewski, 1984). Dominującym elementem morfologicznym rejonu złoża są dwa ryolitowe masywy wzgórz Żeleźniak i Bukowinka, współwystępujące z nimi granity oraz szereg rozchodzących się promieniście apofiz (ryc. 1). W masywie Żeleźniaka spotyka się także żyły andezytowe (Kozdrój, 1995).

Początki górnictwa w Radzimowicach sięgają XV w., gdy przedmiotem eksploatacji były rudy miedzi i srebra. Za czasów pruskich zaczęto wydobywać i przerabiać również rudy arsenowe (Domaszewska, 1964). W latach 1905–1925 roczna produkcja różnego rodzaju koncentratów kształtowała się na poziomie ok. 3–4 tys. t (Dziekoński, 1972). Mineralizację złoża Radzimowice stanowi kilkanaście okruszczowanych siarczkami żył rudnych, z których systematycznie eksploatowano tylko kilka. Większość żył kwarcowo-siarczkowych

biegnie zgodnie z kierunkiem osi antyklinalnego wypiętrzenia serii epimetamorficznych łupków radzimowickich. Żyły mają bieg o kierunku W–E i prawie pionowo zapadają na N bądź na S. Ich długość po biegu wynosi przeciętnie od 200–300 m. Wyróżnia się pod tym względem żyła „Pocieszenie Górnika“, mająca ponad 2,0 km długości. Średnia grubość żył waha się w granicach kilkunastu cm, maksymalnie do 1,4 m (żyła „Wanda“). Głównymi minerałami rudnymi eksploatowanymi ze złoża były chalkopiryt i arsenopiryt. Ponadto w złożu stwierdzono występowanie licznych minerałów kruszczowych: piryty, sfaleryt, tetradryt, bourmonit, boulangeryt, jamesonit, galenę, akantyt, aikinit, antymonit, wurcyt, linneit, dolomit, syderyt, baryt, kalcyt, kwarc (Manecki, 1965), pirotyt, valeriit, stannin, kubanit, markasyt, rutyl, kobaltyn, kowelin, cerusyt (Zimnoch, 1965) oraz wolframit, kasyteryt, molibdenit, bismutytnit, fluoryt (Sylwestrzak & Wołkowicz, 1985). Według starych raportów kopalnianych zawartość arsenu w rudach wynosiła średnio 1,0–20,0% wag., miedzi 0,8–8,2% wag., a srebra 40,0–306 g/t. Najbogatszą pod tym względem była żyła „Wanda“, a najuboższą żyła „Pocieszenie Górnika“. Okruszczowanie występuje w formie żył, impregnacji skał otaczających, masywnych skupień oraz sztokwerków. Salbandy żył są zbudowane głównie z ryolitów i różnego rodzaju łupków metamorficznych i mogą zawierać silną impregnację siarczkami. Żyła „Pocieszenie Górnika“

\*Państwowy Instytut Geologiczny, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa



Ryc. 1. Fragment mapy geologicznej rejonu złoża w Radzimowicach, arkusz Wojcieszów (wg Cwojdziańskiego & Kozdroja, 1994)

Fig. 1. Part of the geological map of the Radzimowice Ore District — Wojcieszów sheet (acc. to Cwojdziański & Kozdrój, 1994)

towarzyszy również kersantyt (Manecki, 1965). Średnie zawartości złota na podstawie raportów eksploatacyjnych kopalni „Wilhelm” w poszczególnych żyłach były zróżnicowane i mieściły się w przedziale od kilku do kilkunastu g/t (np. najwyższe średnie koncentracje w żyłach „Klara” 17 g/t, a w żyłach „Wanda” 19 g/t) (Manecki, 1965).

Obecnie złożo jest przedmiotem koncesji poszukiwawczej przyznanej przez Departament Geologii MOŚZNiL irlandzkiej firmie Gleniff.

### Metodyka wykonanych prac

Analizy chemiczne próbek rud z Radzimowic zostały wykonane w Centralnym Laboratorium Chemicznym PiG.

Złoto oznaczono metodą absorpcji atomowej ze wzbudzeniem elektrotermicznym (GFAAS) i płomieniowym (FAAS) z zastosowaniem spektrometru Perkin-Elmer 4100ZL.

Pełne analizy chemiczne wykonano zgodnie z metodyką stosowaną w PiG za pomocą XRF (Spektrofotometr Philips PW 2400) oraz ASA (Spektrometr FAAS, ATI Unicomp Solar 939). Kalibracyjne oznaczenia siarki wykonano w Pracowni Chromatografii.

Badania w świetle odbitym na płytkach polerowanych przeprowadzono za pomocą mikroskopu firmy Leitz typu Orthoplan.

Skład chemiczny elektrum oraz innych mikroelementów minerałów kruszcowych wykonano w Pracowni Petrologii PiG za pomocą mikrosondy rentgenowskiej typu Link Isis firmy Oxford współpracującej z mikroskopem elektronowym typu JEOL JSM-35. Oznaczenia izotopów siarki  $\delta^{34}\text{S}$  (CDT) wykonano w Instytucie Fizyki Instrumentalnej we Wrocławiu i w Instytucie Fizyki UMCS w Lublinie.

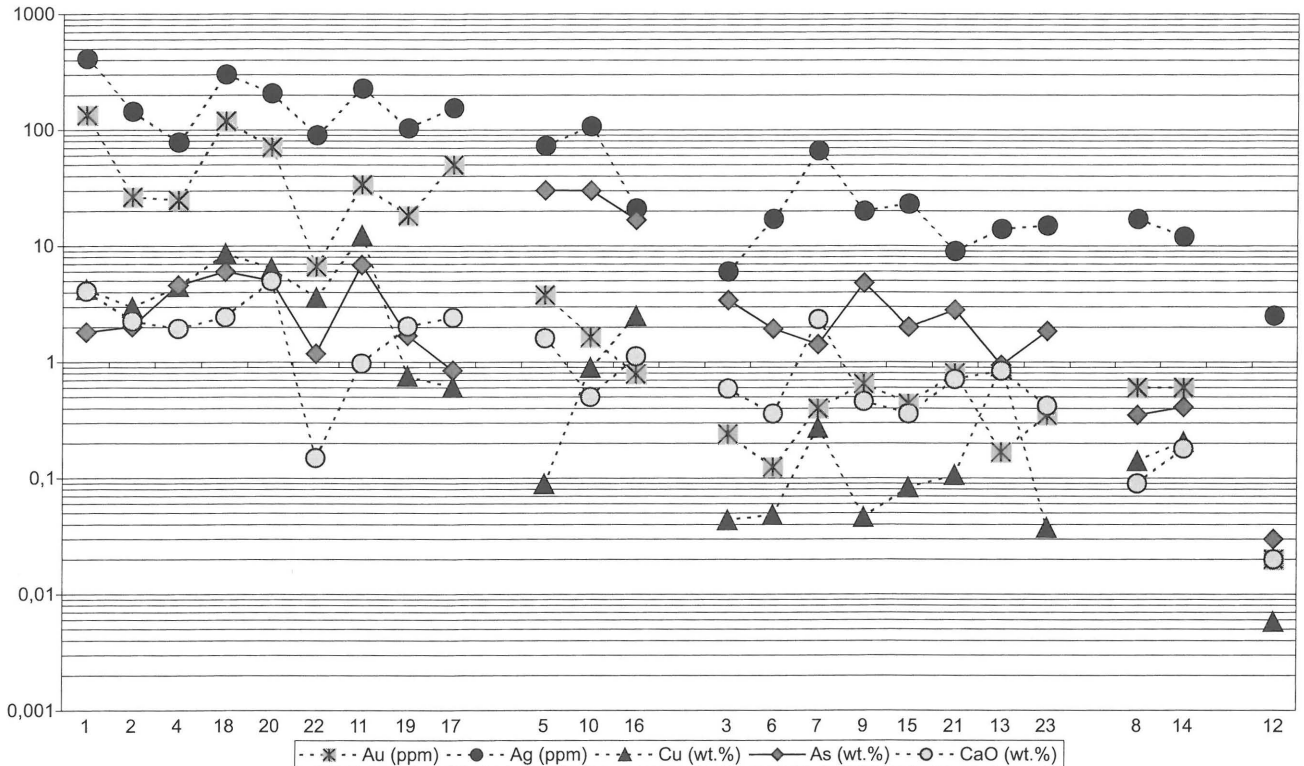
### Omówienie rezultatów analiz chemicznych rud radzimowickich

Przedmiotem pełnych oznaczeń geochemicznych były 23 próbki rud radzimowickich pobrane ze sztolni Wilhelm oraz ze starych hałd w rejonie Lipy (ryc. 1). Wśród zanalizowanych skał można wydzielić następujące typy: masywne rudy pirytowo±chalkopirytowo-arsenopirytowe, żyły kwarcowe z rudą siarczkową, impregnowane siarczkami ryolity, osiarczkowane sztokwerki, masywne rudy hematytowe (Lipa), zwietrzałe rudy siarczkowe i płonny ryolit. Dystrybucja Au i Ag jest zróżnicowana w zależności od typu okruszczenia (Mikulski, 1999). Dla populacji 18 reprezentatywnych próbek z Radzimowic stosunek Au:Ag mieści się w granicach od 1:3 do 1:80 (średnia około 1:20). W masywnych rudach siarczkowych waha się od 1:3 do 1:10 (średnia 1:8), a w okruszczonych porfirach wynosi ok. 1:20. Z kolei w skałach i żyłach słabo okruszczonych spada poniżej 1:40 i 1:100. W rudach siarczkowych o zawartości złota powyżej 3 g/t stosunek Au : Ag jest 1:3 ÷ 6.

Średnia zawartość złota wynosi 21,5 ppm dla n=23. Zakres zmienności Au mieści się w przedziale od 0,02 do 135 ppm. Na ryc. 2 jest widoczne zróżnicowanie koncentracji Au, Ag, As, Cu i CaO w rudach oraz wyraźnie dodatnie ich wzajemne korelacje. Najbogatsze w złoto są masywne rudy chalkopirytowo-pirytowo-arsenopirytowe, w których koncentracje Au są powyżej 20 g/t. Złoto wykazuje wysoką dodatnią korelację ze srebrem (0,94; oznaczone korelacje są istotne z  $p < 0,05$ ) oraz niższe korelacje z siarką, bizmutem, kobaltem, kadmem i miedzią (0,76–0,61) (ryc. 3, 4). Zwraca uwagę pozytywna współzależność wystąpień Au oraz CaO (0,76) oraz zdecydowanie ujemna z  $\text{SiO}_2$  (-0,49).

Srebro oprócz współwystępowania ze złotem wykazuje również pozytywną korelację z CaO, siarką, miedzią, bizmutem i kobaltem (0,75–0,60). Średnia zawartość srebra jest najwyższa wśród rozpatrywanych złóż formacji arsenowo-złotońskiej w Sudetach (Mikulski, 1999) i wynosi 92,3 ppm (n=23). Zakres wystąpień Ag mieści się w przedziale od poniżej 2,5 do 413 ppm. Najwyższe koncentracje Ag w masywnych rudach są związane z obecnością minerałów własnych srebra i minerałów Cu.

Złoto i srebro nie wykazują dla całej populacji zbadanych próbek korelacji z As. Średnia zawartość arsenu w omawianych rudach = 5,5% wag., a jego maksymalna zawartość wynosi ponad 30% wag. W próbkach o najwyż-



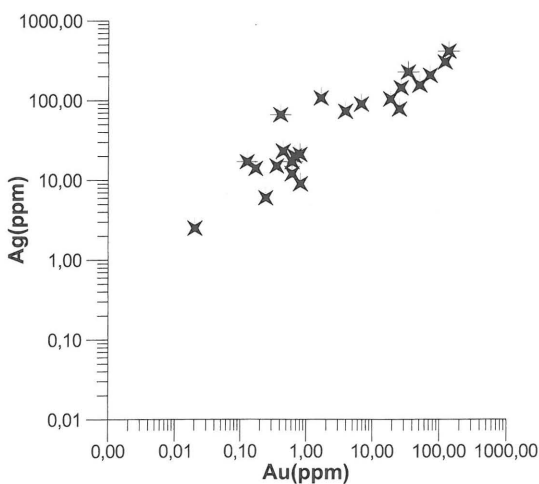
**Ryc. 2.** Wykres logarytmiczny zawartości Au, Ag (w ppm) As, Cu i CaO (w % wag.) w skałach ze złoża w Radzimowicach. Numery próbek w serii: 1÷17 (masywne rudy pirytowo-chalkopirytowo-arsenopirytowe); 5÷16 (masywne rudy arsenopirytowe); 3÷23 (różne skały okruszczone siarczkami); 8 i 14 (masywne rudy hematytowe z Lipy); 12 (płonny porfir)

**Fig. 2.** Logarithmic plot of Au, Ag (in ppm), Cu, As and CaO (in wt. %) contents in rocks from the Radzimowice Ore District. The sample nos.: 1÷17 (massive pyrrhotite-chalcopyrite-arsenopyrite ores); 5÷16 (massive arsenopyrite ores); 3÷23 (different rocks with sulfide mineralization); 8 and 14 (massive hematite ore from Lipa); 12 (barren porphyre)

szej zawartości arsenu koncentracje złota są nie wyższe niż 1–3 g/t. W porównaniu z masywnymi rudami polimetalicznymi są znacznie niższe.

Najwyższe koncentracje miedzi w masywnych rudach osiągają około 10% wag. ( $\bar{x}_{n=23} = 2,15\%$  wag.). Maksymalna stwierdzona zawartość Pb i Zn w rudach wynoszą odpowiednio 1,5 i 0,24% wag. Zwraca uwagę lokalnie wysoka koncentracja Bi (0,2% wag.) i Co (0,4% wag.).

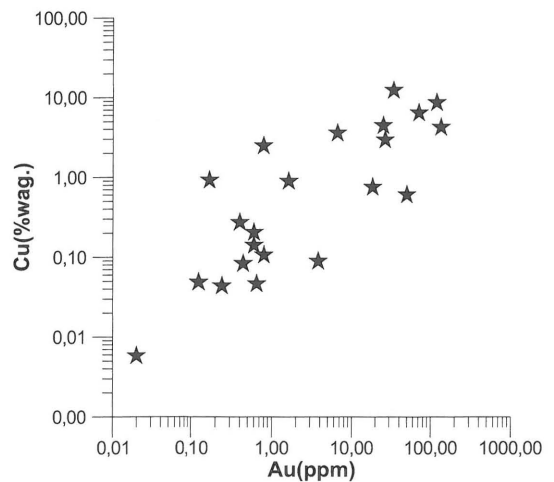
W pojedynczych rudach siarczkowych suma polimetalu (base metals; Cu+Zn+Pb) osiąga ponad 12% wag. Najbogatsze w złoto są próbki zawierające około 4% wag. polimetalu.



**Ryc. 3.** Wykres logarytmiczny zmienności Au od Ag w ppm  
**Fig. 3.** Logarithmic plot variation of Au versus Ag (in ppm)

Metasomatoza skał zaznacza się m.in. silną sylikacją, karbonatyzacją, argilizacją, serycytazacją, feldspatyzacją, pirytyzacją (Maneck, 1965), prehnityzacją (Mikulski, 1999). Jednak bezpośrednio złotonosne okruszczenie związane jest z karbonatyzacją i osiarczkowaniem, a pozostałe zmiany dotyczą skał okolorudnych. Maksymalne zawartości CaO w masywnych rudach siarczkowych wynoszą ok. 5,0% wag. ( $\bar{x}_{n=23} = 1,3\%$  wag.).

Przedmiotem badań były również masywne rudy hematytowe z Lipy, które zawierają około 0,6 ppm Au i kil-



**Ryc. 4.** Wykres logarytmiczny zmienności Au (w ppm) od Cu (% wag.)  
**Fig. 4.** Logarithmic plot variation of Au (in ppm) versus Cu (in wt. %)

kanaście ppm Ag (ryc. 2). Zawartości metali szlachetnych, jak również innych pierwiastków metalicznych w zwietrzałych rudach ulegają obniżeniu.

### Forma wystąpień złota w świetle badań mikroskopowych oraz nowe minerały w rudach radzimowickich

Prace geologów niemieckich (m.in. Traube, 1888; Stauffacher, 1914; Petrascheck, 1933 *vide* Manecki, 1965), jak również Maneckiego (1965), Zimnoch (1965), Paulo i Salamona (1974) nie ujawniły żadnych mikroskopowych form złota. Paulo i Salamon (1973) opisali jako pierwsi dwie generacje złota rodzimego w rudach siarczkowych z żył kwarcowych z rejonu Klecza–Radomice–Golejów, zlokalizowanego kilka kilometrów na W od Radzimowic. Ponadto, Olszyński i Mikulski (1997) stwierdzili złoto rodzime oraz agregaty elektrum–złoto rodzime, występujące samodzielnie wśród minerałów płonnych, w spękanych łupkach serycytowo-muskowitowo-chlorytowo-kwarcowych z Radomice k. Wlenia. Pająk (1997) opisał submikroskopowej wielkości wrostki bizmutu rodzimego i złota w arsenopirycie z Radzimowic.

W zbadanych rudach z Radzimowic stwierdzono następujące minerały kruszcowe: arsenopiryty, piryty, löllingit, gersdorffit, pirotyn, chalkopiryty, sfaleryty, tetraedryty, galenę, akantyt, złoto rodzime, bournonit, boulangeryty, bizmut rodzimy, bismutynit, markasyt, rutyl, goethyt, hematyt oraz pierwszy raz znalezione w złożu: scheelit, elektrum,

maldonit, hessyt, gustawit, siarkotelurki i telurki Ag, Pb i Bi. Poniżej przedstawiono krótki opis kruszców:

**Arsenopiryty** jest głównym minerałem arsenowym. Tworzy różnicowanych rozmiarów (0, X mm do 1 cm średnicy) ksenomorficzne lub hipidiomorficzne kryształy. Najczęściej grubokrystaliczne agregaty ziarniste arsenopiryty są silnie spękane. Lokalnie ziarna arsenopiryty zawierają liczne mikrowrostki minerałów Au, Ag, Bi, Te i Pb. Skład chemiczny arsenopiryty z Radzimowic zawiera wysoką domieszkę kobaltu. Praktycznie wszystkie zbadane arsenopiryty zawierające mikrowrostki siarkosoli Ag i Pb, telurki i bizmutki zawierały stałą kilkuprocentową domieszkę Co. Skład chemiczny kobaltonośnego arsenopiryty jest następujący (w % wag.): S — 17÷18; Fe — 28÷34; As — 47÷50 oraz domieszka Co 1÷5 i śladowe domieszki Ni i Cu (tab. 1).

**Löllingit** — został stwierdzony w postaci niewielkich (poniżej 0,5 mm długości) ksenomorficznych przerostów z arsenopirytem.

**Gersdorffit** — tworzy pojedyncze hipidiomorficzne kryształy o rozmiarach poniżej 0,5 mm średnicy.

**Piryty** — jego główna generacja współwystępuje z arsenopirytem, w postaci wzajemnych przerostów. Tworzą one hipidiomorficzne silnie skatakazowane agregaty ziarniste o różnicowanych rozmiarach.

**Scheelit** — został stwierdzony w postaci stosunkowo dużych (1,0 mm średnicy) idiomorficznych kryształów wykazujących budowę strefową. Obserwowano ziarna scheelitu w zrostach z arsenopirytem (ryc. 5).

Tab. 1. Skład chemiczny kobaltonośnych arsenopiryty z Radzimowic

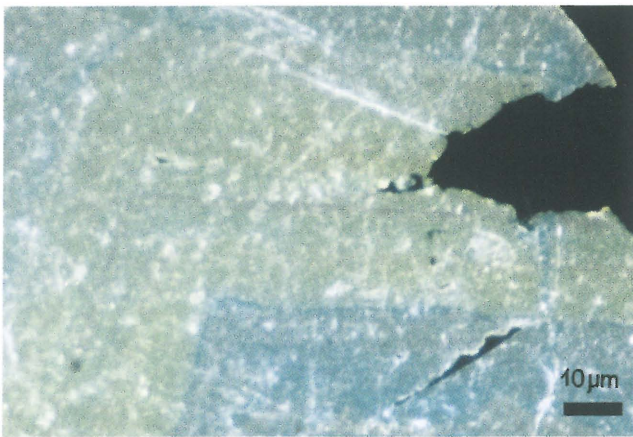
Pierwiastek (% wag.)	Ziarno A; punkty:			Ziarno B; punkty:			Ziarno C; punkt:	Ziarno D; punkt:
	3	2	4	13	14	16	1	1
S	17,71	18,08	17,33	17,02	17,44	17,17	17,14	17,28
Fe	30,36	33,84	28,61	28,38	29,84	29,55	28,58	28,32
As	48,25	47,19	47,99	48,68	49,77	47,86	47,52	48,12
Co	3,53	0,44*	5,32	4,98	3,88	3,58	5,10	5,16
Ni	0,08*	0,11*	0,03*	0,40*	—	—	0,06*	0,19*
Suma	99,93	99,66	99,28	99,46	100,93	98,16	98,40	99,07

\* wynik obarczony błędem > od 1σ (odch. stand.)

Tab. 2. Skład chemiczny elektrum i maldonitu w arsenopiryty z Radzimowic

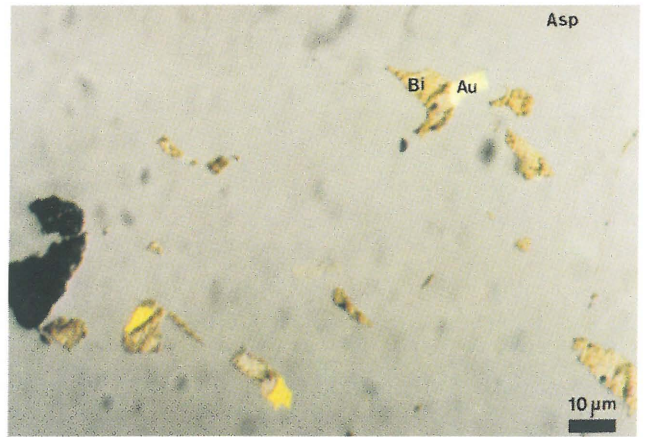
Pierwiastek (% wag.)	Elektrum			Elektrum		Maldonit		Maldonit	
	Ziarno B; punkty:			Ziarno C; punkty:		Ziarno H; punkty		Ziarno D; punkty:	
	7	8	9	1	2	1	4	4	5
Fe	—	—	—	—	0,83	1,53	2,10	8,96	11,70
As	—	—	—	—	—	—	—	15,21	13,96
Se	—	—	—	—	0,17*	—	—	—	—
Co	—	—	—	—	—	0,61	0,09*	—	—
Ag	35,32	37,19	33,95	29,56	27,58	—	—	—	—
Te	—	—	—	1,68	0,90	—	—	4,15	8,32
Au	65,20	61,13	68,42	68,59	65,28	65,58	64,79	31,66	22,01
Pb	—	—	—	—	3,26*	—	—	2,03*	7,88
Bi	—	—	—	—	—	31,00	31,77	40,85	37,84

\* wynik obarczony błędem > od 1σ (odch. stand.)



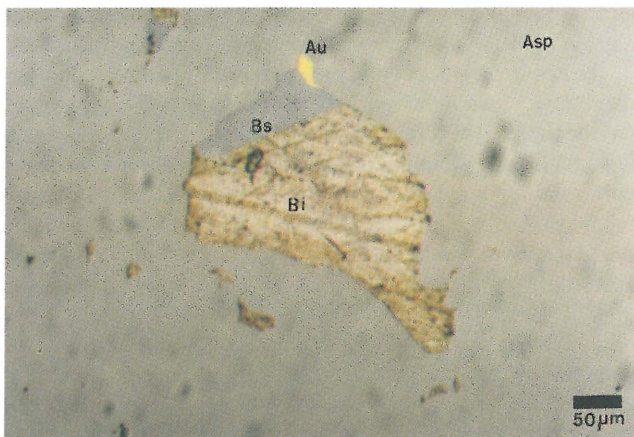
Ryc. 5. Kryształ scheelitu z budową strefową widoczną w świetle katodoluminescencji

Fig. 5. Zone structure of the scheelite crystal from the Radzimiwovice deposit. Cathodoluminescence light



Ryc. 7. Mikrowrostki elektrumu (Au) i bizmutu rodzimego (Bi) w kobaltońskim arsenopirycie. Światło odbite, bez analizatora

Fig. 7. Inclusions of electrum (Au) and native bismuth (Bi) in Co-bearing arsenopyrite. Reflected light, 1 nicole



Ryc. 6. Polimineralny wróstek elektrumu (Au), bizmutu rodzimego (Bi) i bismutynitu (Bs) w kobaltońskim arsenopirycie (Asp). Światło odbite, bez analizatora

Fig. 6. Inclusions of electrum (Au), native bismuth (Bi) and bismuthinite (Bs) in Co-bearing arsenopyrite (Asp). Reflected light, 1 nicole

**Elektrum** — tworzy z reguły monomineralne wrostki w kobaltońskim arsenopirycie oraz blaszkowate mikrowrostki polimineralne z bizmutem rodzimym, bismutynitem oraz z hessytem (ryc. 6, 7). Skład chemiczny elektrumu (tab. 3) wykazuje od ok. 62 do 69 wag. Au oraz 27÷37 wag. Ag.

**Złoto rodzime** — obserwowane pod mikroskopem wyraźnie żółtsze wrostki złota niż białozółte wrostki elektrumu nie zostały znalezione w mikroobszarze. Monomineralne submikroskopowe wrostki złota rodzimego o średnicy ok. 5÷15  $\mu\text{m}$  zaobserwowano w kobaltońskim arsenopirycie. Mają one fasolkowatą lub blaszkowatą postać.

**Maldonit** — został stwierdzony w postaci monomineralnych mikrowrostków około 10÷20  $\mu\text{m}$  średnicy występujących w kobaltońskim arsenopirycie. Pojawia się również w formie reliktowych przerostów złota i bizmutu, będących produktem rozpadu roztworu stałego maldonitu ( $\text{Au}_2\text{Bi}$ ) w temperaturze około 270°C (Elliot, 1965 patrz Afifi i in., 1988). W świetle odbitym maldonit jest minerałem o wysokiej refleksyjności, jasnoszary z lekko kremowym odcieniem, izotropowy. Jest trwały w temperaturze poniżej 373°C (Czwilowa i in., 1988). Określony w mikroobszarze skład chemiczny maldonitu wynosi w % wag.: Au — 64÷66; Ag — 31÷32 (tab. 2). W niektórych wrostkach malo-

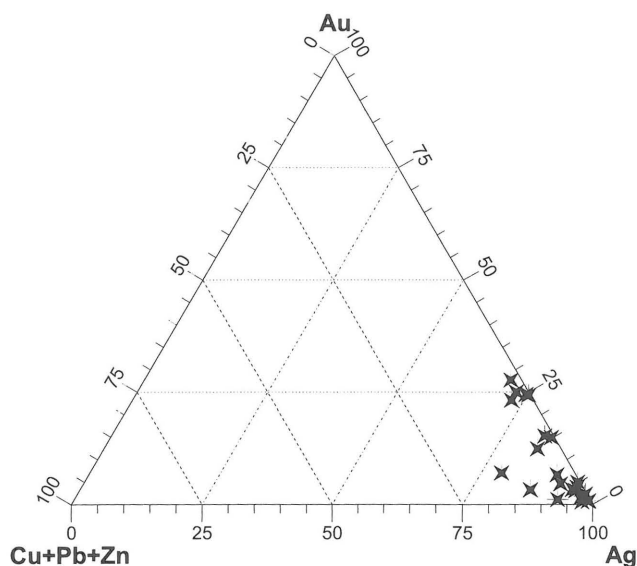
dnitu oznaczono również domieszki Te oraz Pb wskazujące na obecność innych faz mineralnych. Ponadto w niektórych arsenopirytych zawierających maldonit występuje bizmut rodzimy. Maldonit jest spotykany w asocjacji ze złotem oraz tellurkami Ag (hessytem) i siarkotellurkami Ag, Pb, Bi.

**Minerały grupy gustawitu** — należą do siarkosoli Ag–Pb–Bi, często poszczególne człony mineralne są rozpatrywane jako elementy serii gustawit ( $\text{AgPbBi}_3\text{S}_6$ ) — lillianit ( $\text{Pb}_3\text{Bi}_2\text{S}_6$ ) (Czwilowa i in., 1988). Na podstawie danych eksperymentalnych można przyjąć, że większa część minerałów grupy gustawitu krystalizuje poniżej 400°C przy subolidusowych przemianach wysokotemperaturowych stałych roztworów  $\text{Ag}_2\text{S}$ – $\text{PbS}$ – $\text{Bi}_2\text{S}_3$  (Czwilowa i in., 1988). Gustawit stwierdzony został zarówno w grejzowych formacjach siarczkowo-kasyterytowych, jak i niskotemperaturowych złożach wulkanogenicznych Ag–Pb i Au. W świetle odbitym minerały tej grupy są do siebie zbliżone i rozróżnienie poszczególnych członów mineralnych jest praktycznie niemożliwe. Mają one białą barwę, wysoką zdolność refleksyjną bliską galenie, słabe dwójodbcie i słaby efekt anizotropii. Do minerałów grupy gustawitu zalicza się: schirmerit, ourayit, eskimoit, vikingit, treasuryt i gustawit.

**Gustawit ( $\text{AgPbBi}_3\text{S}_6$ )** — został zidentyfikowany w obrębie ziarnistych agregatów chalkopirytowo-arsenopirytowo-magnetytowych spojonych ankerytem. Wraz z gustawitem współwystępują siarkotellurki Ag, Pb i Bi. Zrosty gustawitu mają ok. 30  $\mu\text{m}$  średnicy i pokrój słupkowy. Oznaczony w mikroobszarze skład gustawitu jest bardzo zbliżony do jego składu teoretycznego (w % wag.): Ag 9÷12; Pb 18÷28; Bi 48÷57; S 8÷15 oraz domieszki Te, Au, Fe i Cu (tab. 3). Gustawit został stwierdzony również w polimineralnych mikrowrostkach z elektrum i siarkotellurkami Ag, Pb i Bi w postaci blaszkowych mikrowrostków (20–30  $\mu\text{m}$ ) w pirycie oraz w zastępujących go uwodnionych tlenkach Fe.

Najprawdopodobniej w obrębie gustawitu zaobserwowany został treasuryt ( $\text{Ag}_7\text{Pb}_6\text{Bi}_{15}\text{S}_{32}$ ), stosunkowo rzadki mineral znany ze złóż wulkanogenicznych Au i Ag–Pb.

**Siarkotellurek Ag, Pb i Bi** — występuje w zrostach z arsenopirytem i chalkopirytem o rozmiarach ok. 50  $\mu\text{m}$  średnicy. Mineral ten charakteryzuje liściasty pokrój. Lokalnie narasta na kobaltońskim arsenopirycie. Skład chemiczny w % wag.: Ag — 28÷32; Bi — 31÷35; Te — 14÷16; Pb — 10÷13; S — 6÷7 oraz domieszki Cu i Co. W obrębie tego siar-



Ryc. 8. Trójkąt klasyfikacyjny złóż srebra i miedzi w układzie Au-Ag-(Cu+Pb+Zn) wg Poulsen (1996 *vide* Dube i Lauziere, 1997) z naniesionymi próbkami z Radzimowic

Fig. 8. Ternary diagrams of Au-Ag-base metals (according to Poulsen, 1996 *vide* Dube & Lauziere, 1997) of mineralized samples from the Radzimowice Ore District

W radzimowickim kotelurku stwierdzono ksenomorficzne mikrowrostki minerału Ag i Te najprawdopodobniej hessytu ( $\text{Ag}_2\text{Te}$ ).

**Tellurki Ag, Pb i Bi** — pojawiają się w formie wydłużonych wrostków o długości do ok. 50  $\mu\text{m}$  w kobalto-nośnym arsenopirycie. Ich skład chemiczny jest b. niejednorodny i wskazuje na obecność faz pośrednich najprawdopodobniej z szeregu rucklideit ( $\text{PbBi}_2\text{Te}_4$ ) — wołynskit ( $\text{AgBiTe}_2$ ) (tab. 3).

**Hessyt  $\text{Ag}_2\text{Te}$**  — jest najbardziej rozprzestrzenionym tellurkiem Ag. W Radzimowicach został stwierdzony wraz z elektrum w kobalto-nośnym arsenopirycie zastępowanym przez węglany reprezentowane głównie przez ankeryt, syderyt, dolomit lub kalcyt. Wydzielenia hessytu w arsenopirycie osiągają od 10 do 40  $\mu\text{m}$  średnicy. W obrębie hessytu zaobserwowano również inkluzje gustawitu. Zdolność refleksyjna hessytu jest nieco niższa od galeny, barwa jasnoszara z odcieniem zielonkawym, wykazuje barwne

dwójdrobienie oraz anizotropię. Jego skład chemiczny jest zbliżony do składu teoretycznego chociaż w niektórych ziarnach hessytu stwierdzono niedobór Ag. Zawartość Ag (w % wag.) mieści się w przedziale 54÷63, a telluru 31÷37, dodatkowo występują domieszki Au i Pb (tab. 3).

### Podsumowanie

Geneza złożowej mineralizacji w Radzimowicach była łączona, jak dotychczas, głównie z krystalizacją siarczków z wysokotemperaturowych roztworów hydrotermalnych związanych genetycznie z węglaną intruzją granitoidową (karkonoską ?) (Petrascheck, 1933; *vide* Manecki, 1965; Zimnoch, 1965; Paulo & Salamon, 1974). Dodatkowym dowodem potwierdzającym związek mineralizacji złożowej z granitoidami była stwierdzona później obecność mineralizacji wolframitowo-kasyterytowo-molibdenitowej w okazie znalezionym na hałdzie w Radzimowicach (Sylwestrzak & Wołkiewicz, 1985). Pospolite objawy zastępowania metasomatycznego sugerowały według Paulo i Salomona (1974) raczej niezbyt płytką głębokość tworzenia się żył kruszcowych.

Nowe dane geochemiczne i mineralogiczne (asocjacja węglanów±kwarcu z minerałami Au-Ag-Bi-Te) wskazują na obecność niżjtemperaturowego okruszcowania. Obecność tellurków metali najczęściej jest notowana w obrębie epitermalnych żył związanych ze środowiskiem powstawania skał sub- lub wulkanicznych (Afifi i in., 1988). Relacje fazowe w systemie Au-Ag-Te (Cabri, 1965) dowodzą że tellurki krystalizują z reguły w temperaturach poniżej 354°C, a zwykle poniżej 250°C.

W Radzimowicach pierwotnie bogatsza mineralizacja siarczkowa uległa kataklazie, a wypełniająca szczeliny znacznie uboższa w swej masie asocjacja siarczków (drobnoziarnisty idiomorficzny arsenopiryt, chalkopiryt, sfaleryt, galena, piryt, antymonit, markasyt), siarkosoli Pb, bizmutków, siarkotellurków i tellurów Ag, Pb, Bi oraz metali rodzimych stowarzyszonych z węglanami (ankeryt±syderyt±kalcyt±dolomit) i młodszą generacją kwarcu jest pochodną procesów, które występują w strefie leptotermalnej (pogranicze stref mezo- i epitermalnej np. Guilbert & Park, 1986, str. 535). W czasie rozwoju tych procesów uległy częściowej redystrybucji metale zawarte we wcześniejszej paragenezie siarczkowej (np. pierwotne

Tab. 3. Skład chemiczny tellurków i siarkotellurków Ag, Pb i Bi z Radzimowic

Pierwiastek (%wag.)	Hessyt ( $\text{Ag}_2\text{Te}$ ) ziarno:					Tellurek Ag, Pb, i Bi			Gustawit ( $\text{AgPbBi}_3\text{S}_6$ )				Siarkotellurek Ag, Pb, Bi		
	B pkt 1	B pkt 5	B pkt 11	B pkt 12	G pkt 1	D pkt 1	D pkt 2	D pkt 3	A pkt 3	C pkt 1	H pkt 2	H pkt 4	E pkt 5	F pkt 4	F pkt 5
S	0,31	0,26	1,09	0,32	1,11	—	—	—	14,05	14,50	11,80	11,10	6,93	7,21	6,06
Fe	1,06	0,84	0,33*	1,00	—	1,10	1,43	1,71	0,82	1,75	2,46	5,25	2,58	0,44	0,29*
Ni	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,23*
Cu	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3,06*	0,24*	0,26*
As	—	1,75*	1,43*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Se	—	—	—	—	—	0,12*	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ag	58,38	61,51	53,99	62,53	59,32	29,08	36,35	47,91	9,66	11,03	9,51	9,77	32,28	28,45	30,78
Te	33,11	34,76	30,81	36,23	34,16	13,52	16,68	27,72	—	—	—	—	15,74	14,28	15,01
Au	—	0,04*	1,05*	—	—	0,36*	1,75	—	—	—	0,89	1,45	—	—	—
Pb	5,56	2,58*	3,76*	—	—	20,62	18,50	12,69	24,86	22,57	20,55	21,11	10,30	12,70	13,14
Bi	—	—	9,02	—	3,23*	33,64	26,57	12,17	47,91	48,09	55,48	52,72	30,99	35,12	34,19
Suma	98,42	101,74	101,48	100,08	97,82	98,44	101,28	102,2	97,3	97,14	100,69	101,4	101,88	98,44	99,96

**Tab. 4. Wstępne wyniki analiz izotopów siarki  $\delta^{34}\text{S}$ CDT z Radzimowic**

Skala	Minerał	$\delta^{34}\text{S}$ (CDT)
Ruda piryto-arsenopiryto-chalkopiryto	piryt	1,14
Masywna ruda piryto	piryt	0,33
Ruda arsenopiryto-chalkopiryto w ryolicie	piryt	0,15
Ruda arsenopiryto-piryto	piryt	1,31
Masywna ruda piryto-sfaleryto-galenowo-chalkopiryto	piryt	0,96
Masywna ruda piryto-sfaleryto-galenowo-chalkopiryto	galena	-1,13
Porfir kwarcowy z żyłką Q i arsenopirytem	arsenopiryt	-0,16

Au zawarte w sieci krystalicznej kobaltonośnego arsenopirytu), jak również pojawiły się nowe pierwiastki typowe dla środowisk niżjtemperaturowych (np. Ag, Te, Sb). Średnia proporcja Au do Ag w siarczkowych rudach w Radzimowicach wynosi 1:20 i jest raczej charakterystyczna dla złóż formacji niżjtemperaturowych (Boyle, 1979). Wysokiej korelacji złota ze srebrem (0,94) towarzyszy wyraźnie pozytywne współwystępowanie Cu, CaO, S, Bi i Co. Sugeruje to silne związanie precipitacji Au wraz z siarczkami Cu, bizmutem, węglanami i kobaltonośnymi minerałami. Brak jest korelacji Au i Ag z arsenem (odpowiednio -0,10 i 0,03). Z kolei korelacja tych metali szlachetnych z  $\text{SiO}_2$  jest wyraźnie ujemna z (-49; Ag - 50). Większość wyników oznaczeń chemicznych dla próbek z Radzimowic umieszczonych w trójkącie klasyfikacji genetycznej Au-Ag-base metals (wg Poulsen, 1996; *vide* Dube i in., 1997) mieści się w polu złóż zaliczanych do epitermalnych złóż złota (ryc. 8).

Szerokie rozwinięcie metasomatozy wokół okruszczonych żył jest reprezentowane głównie przez proces argilityzacji (Maneck, 1965), który jest typowy dla zmian niżjtemperaturowych (np. Guilbert & Park, 1986).

Wstępne oznaczenia izotopów siarki  $\delta^{34}\text{S}$  w siarczkach z Radzimowic mieszczą się w stosunkowo wąskim zakresie (tab. 4). W gruboziarnistym pirycie wartości siarki są w granicach od 0,15 do 1,31  $\delta^{34}\text{S}$  (CDT) w galenie i arsenopirytyce wynoszą odpowiednio -1,13 i -0,16  $\delta^{34}\text{S}$  (CDT). Dane te mogą wskazywać na pomagmowe źródło siarki (Ohmoto & Goldhaber, 1997) z pierwotnej magmy granitoidowej z serii pośredniej pomiędzy serią ilmenitową i magnetytową (Ishihara i in., 1996).

W świetle wyżej wymienionych danych należy stwierdzić, że mineralizacja w Radzimowicach jest wynikiem nałożenia się wyraźnie różnych genetycznie etapów okruszczowania przebiegających w interwale czasowym i w odmiennych warunkach fizyko-chemicznych wynikających z ewolucji geotektonicznej obszaru. Subwulkaniczna intruzja ryolitowa będąca następstwem postkolizyjnej intruzji granitoidowej (karkonoskiej ?) nie była ostatnim etapem ewolucji magmy. Ze stopów resztkowych wykryły się żyły andezytów. Obecność żył lamprofirowych może wskazywać również na powstanie głębokich rozłamów sięgających do górnego płaszczu. Żyłowe okruszczowanie uformowało się po wypiętrzeniu lakkolitoowego ryolitu i powstaniu szeregu równoległych ekstensyjnych szczelin penetrowanych przez postintru-

zywne hydrotermalne roztwory minerałotwórcze. Z etapami rozwoju procesów subwulkanicznych należałoby wiązać genezę leptotermalnej asocjacji mineralnej Au-Ag-Bi-Te-Pb stowarzyszonej z różnymi węglanami i młodszymi generacjami kwarcu, która nałożyła się na główną masę siarczkową.

## Literatura

- AFIFI A.M., KELLY W.C. & ESSENE E.J. 1988 — Phase relations among Tellurides, Sulfides, and Oxides. *Economic Geol.*, 83: 377-404.
- BARTON P. B. & SKINNER B.J. 1979 — Sulfide mineral stabilities, [In:] *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*, Barnes H.L. (ed.). New York, John Wiley & Sons: 278-403.
- BOYLE R. W. — The geochemistry of gold and its deposits. *Geol. Surv. Canada Bull.*, 280: 197-207.
- CABRI L. J. 1965 — Phase relations in the Au-Ag-Te system and their mineralogical significance. *Economic Geol.*, 60: 1569-1606.
- CWOJDZIŃSKI S. & KOZDRÓJ W. 1994 — Szczegółowa mapa geologiczna Sudetów: ark. Wojcieszów. Wyd. Kart. PAE S.A. Warszawa.
- CZWIŁOWA T., BEZSMERTNA M., SPIRIDIONOW E. AGROSKIN A., PAPAŁAN G., WINOGRADOWA R., LEBIEDIEWA S., ZAWJAŁOW J., FILIMONOWA A., PETROW W., RAUTIAN L. & SWIESZNIKOWA O. 1988 — *Sprawoznaczenie-oprzedmiotlenie rudnych mineralow w oświetleniu swiata*. Niedra. Moskwa: 120, 244-246.
- DOMASZEWSKA T. 1964 — Występowanie i eksploatacja złota na Dolnym Śląsku. *Prz. Geol.*, 12: 180-184.
- DUBE B. & LAUZIERE K. 1997 — Gold metallogeny of the Cape Ray Fault zone, SW New Foundland. *Geol. Surv. Canada*.
- DZIEKOŃSKI T. 1972 — Wydobywanie i metalurgia kruszców na Dolnym Śląsku od XIII do XX w. *Ossolineum, PAN, Inst. Hist. Kul. Mater.*, 4: 256-257.
- GUILBERT J. & PARK C.F. 1986 — *The geology of ore deposits*. W.H. Freeman & Company New York.
- ISHIHARA S., IVANOV V. & RATKIN V. 1996 — Gold deposits and their  $\delta^{34}\text{S}$  ratios of the Sikhote-Alin, Russia — a comparative study with those of the Sanyo belt of Japan. *Resource Geol.*, 46: 267-277.
- KOZDRÓJ W. 1995 — *Objaśnienia do szczegółowej mapy geologicznej Sudetów, ark. Wojcieszów*. Państw. Inst. Geol.
- KRYZA R. & MUSZYŃSKI A. 1992 — Pre-Variscan volcanic-sedimentary succession of the central southern Góry Kaczawskie, SW Poland. *Outline geology. Ann. Soc. Geol. Pol.*, 62: 117-140.
- MANECKI, A. 1965 — *Studium mineralogiczno-petrograficzne polimetalicznych żył okolic Wojcieszowa (Dolny Śląsk)*. Pr. Miner. Kom. Nauk Miner. PAN Oddz. w Krakowie, nr 2: 7-56.
- MIKULSKI S.Z. 1999 — *Kompleksowe badania porównawcze formacji arsenowo-złotonośnej w Sudetach*. CAG Państw. Inst. Geol.
- OBERC J. 1972 — *Budowa geologiczna Polski*. T.4, cz. 2: *Sudety i obszary przyległe*. Wyd. Geol.
- OHMOTO H. & GOLDBERGER B. 1997 — Sulfur and carbon Isotopes, [In:] *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*, Barnes H.L. (ed.). New York, John Wiley & Sons, Inc.
- OLSZYŃSKI W. & MIKULSKI S. 1997 — *Złoto rodzime w łupkach z Radomic k. Wlenia, [In:] Metale Szlachetne w NE części Masywu Czeskiego i w obszarach przyległych — geneza, występowanie, perspektywy*, A. Muszer (ed.). *Konf. Nauk. Jarnołtówek 19-21.06.1997 r.* Wrocław: 86-90.
- PAJĄK M. 1997 — *Wstępne dane o występowaniu złota rodzimego w Radzimowicach (G. Kaczawskie), [In:] Metale Szlachetne w NE części Masywu Czeskiego i w obszarach przyległych — geneza, występowanie, perspektywy*, A. Muszer (ed.). *Konf. Nauk. Jarnołtówek 19-21.06.1997 r.* Wrocław: 42-47.
- PAULO A. & SALAMON W. 1973 — Native gold in ore veins in the western parts of Kaczawskie Mts. (West Sudeten). *Miner. Pol.*, 4: 85-90.
- PAULO A. & SALAMON W. 1974 — *Przyczynek do znajomości złóż polimetalicznych w Starej Górze*. *Kwart. Geol.*, 18: 266-276.
- POULSEN K.H. 1996 — Lode gold, [In:] *Geology of Canadian Mineral Deposit Types*, O.R. Eckstrand (ed.), W.D. Sinclair i R.I. Thorpe. Geological Survey of Canada, *Geology of Canada*, 8: 323-328.
- RAMDOHR P. 1969 — *The ore minerals and their intergrowths*. Pergamon Press. Oxford.
- SKURZEWSKI A. 1984 — *Wulkanity hercyńskie w rejonie Wojcieszowa*. *Kwart. Geol.*, 28: 39-58.
- SYLWESTRZAK H. & WOŁKOWICZ K. 1985 — *Nowy zespół Sn-W-Mo ze Starej Góry (Dolny Śląsk) i jego znaczenie genetyczne*. *Prz. Geol.*, 33: 73-75.
- TEISSEYRE H. 1956 — *Depresja Świebodzić jako jednostka geologiczna*. *Biul. Inst. Geol.*, 106: 5-35.
- ZIMNOCH E. 1965 — *Okruszczowanie złóż Stara Góra w świetle nowych danych*. *Biul. UW*, 5: 3-38.