

# Złoto w polimetalicznych rudach na Dolnym Śląsku — próba klasyfikacji

Stanisław Z. Mikulski\*

Na podstawie badań mikroskopowych w świetle odbitym i w mikroobszarze opracowano klasyfikację form wystąpień złota sub- i mikroskopowego występującego w złotonośnych rudach polimetalicznych w Sudetach. Złoto submikroskopowe podzielone zostało na 4 podgrupy a złoto mikroskopowe na 7 grup (we wrostkach w siarczku lub/i w asocjacji z innym siarczkiem, w mikrospękaniach, na powierzchni siarczku, w kawernach, w pseudomorfozach oraz złoto wolne) i 19 podgrup. Wśród minerałów złota dominuje elektrum i złoto rodzime, rzadziej pojawia się maldonit. Tworzą one powszechnie paragenezę z minerałami Bi (głównie bismut rodzimy, bismutynit) oraz dodatkowo w Radzimowicach i Bardzie Śląskim również z minerałami Te (hessyt, hedleyit). W zależności od miejsca w złocie mikroskopowym oprócz domieszek Ag i Bi występują domieszki Cu, Te oraz ślady Se. Obecność tak różnych form wystąpień złota świadczy o utworzeniu się jego kolejnych generacji, jak również o jego redystrybucji z pierwotnych nagromadzeń w minerałach kruszcowych.

**Słowa kluczowe:** złoto, klasyfikacja, rudy polimetaliczne, Sudety, Polska

Stanisław Z. Mikulski — **Structural classification of gold from Au-bearing polymetallic ores (Lower Silesia, SW Poland).** Pr. Geol., 48: 911–916.

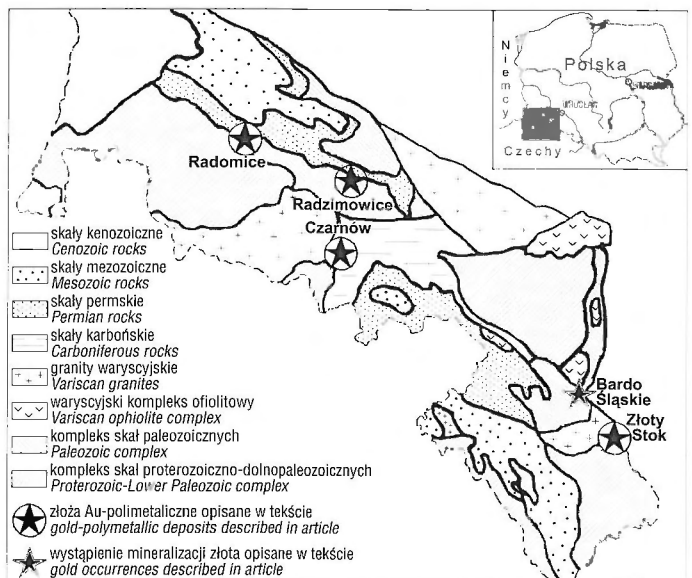
*S u m m a r y.* In the result of microscopic studies in reflected light and microprobe investigation the classification of invisible and visible gold occurring within polymetallic ores in Sudetes is presented. Submicroscopic gold is divided into 4 subgroups, and microscopic gold into 7 groups (inclusions in sulphides and/or in association with other sulphides, in microfissures, on sulphides surface, in caverns, within pseudomorphoses and as a free gold) and 19 subgroups. Electrum, native gold and less common maldonite are representing Au minerals. They are in close association with Bi minerals (mainly native bismuth, bismutinite) and in Radzimowice and Bardo Śląskie with Te minerals (hessite, hedleyite) additionally. Microscopic gold beside Ag and Bi admixtures may contain Cu, Te and Se traces as well. The recognised gold forms indicate their different generations and redistribution from primary concentration within ore minerals.

**Key words:** gold classification, polymetallic ores, Sudetes, Poland

Badania mikroskopowe w świetle odbitym prowadzone po II wojnie światowej w Sudetach, były skoncentrowane głównie na rudach polimetalicznych (Banaś, 1967; Budzyńska, 1971; Kowalski, 1961 i 1969; Manecki, 1965; Paulo & Salamon, 1974; Zimnoch, 1965 i 1985). Powszechnie uznawano, że złoto występuje w formie drobnodyspersyjnej w obrębie minerałów siarczkowych. Wyjątkiem były rezultaty prac Banasia (1965) oraz Paulo i Salamona (1973), którzy udokumentowali obecność złota mikroskopowego w rudach z Kletna i rejonu Kleczy–Radomic. W latach 90. nastąpił rozwój metod badań czego konsekwencją było stwierdzenie licznych wystąpień złota mikroskopowego w różnych typach rud ze starych rejonów złożowych oraz z nowych odsłoneń w Sudetach (patrz literatura).

Przedmiotem szczegółowych badań mikroskopowych w świetle odbitym było ponad 200 preparatów płytek polerowanych, wykonanych ze złotonośnych rud polimetalicznych występujących w Sudetach. Próbkę została pobrana z materiału hałd, naturalnych odsłoneń i starych wyrobisk górniczych w Złotym Stoku, Bardzie Śląskim, Czarnowie, Radzimowicach i Radomicach (ryc. 1). W artykule przedstawiono szczegółową klasyfikację form wystąpień złota submikroskopowego (tzw. „złoto niewidoczne”, ang. *invisible gold*) oraz złota mikroskopowego (tzw. „złoto widzialne”, ang. *visible gold*). Złoto to zostało zaobserwowane w mikroskopie do światła odbitego oraz w mikroobszarze. Najmniejsze możliwe do zaobserwowania inkluzje (wrostki czy mikroziarenka) złota miały rozmiary rzędu setnych części mikrometra. Termin złoto „niewidzialne” odnosi się do złota występującego w postaci submikroskopowej wielkości wrostków w obrębie minerału gospodarza, roztworu

stałego lub chemicznego związku. Takie formy wystąpień złota sprawiają dużo trudności przy jego odzysku za pomocą konwencjonalnego ługowania cyankowego. Oznaczenia jakościowe i ilościowe wykonano w PIG na mikroskopie skaningowym JEOL JSM-35 wyposażonym w spektrometr dyspersji energii (EDS) firmy Oxford Instruments (produkcji japońskiej). Napięcie przyspieszające było 20 kV, średnica wiązki elektronowej 5 µm, dla prądu  $6 \times 10^{-9}$  A. Jako wzorców użyto naturalnych minerałów, a wyniki zostały skorygowane przy pomocy programu ZAF-4. Atlas zdjęć form wystąpień złota został wykonany na mikroskopie Leitz



**Ryc. 1.** Lokalizacja złotonośnych złóż polimetalicznych na tle głównych jednostek litologicznych Sudetów

**Fig. 1.** Location of gold-bearing polymetallic deposits on the main lithological units division of Sudetes

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

Orthoplan zawierającym automatyczną przystawkę fotograficzną Orthomat-E (Mikulski, 2000a).

**Krótką charakterystyka mineralogiczna form wystąpień złota**

**Klasyfikacja form wystąpień złota sub- i mikroskopowego**

W przypadku form submikroskopowych złota podział opiera się na niepełnych, ze względu na brak odpowiedniej aparatury obserwacyjnych i danych. Dlatego jest on raczej próbą przedstawienia zagadnienia niż satysfakcjonującą jego klasyfikacją. Liczba danych i pomiarów była raczej pilotażowa niż szczegółowa.

Inaczej jest w przypadku złota mikroskopowego tu odpowiednia technika wykonania preparatów oraz sprzęt mikroskopowy pozwoliły na dokładne opracowanie zagadnienia.

Złoto submikroskopowe podzielono na 4 grupy (ryc. 2a-d), a złoto mikroskopowe na 7 grup i 19 podgrup (ryc. 2). Poszczególne grupy zawierają następujące formy wystąpień złota mikroskopowego:

Grupa 1 — złoto w formie wrostków w minerałach kruszcowych głównie w siarczku i siarkosolach arsenowych,

Grupa 2 — złoto w asocjacji z siarczkiem B tworzącym wrostek w siarczku A,

Grupa 3 — złoto w mikrospekaniach w siarczku (głównie w arsenopirycie) lub siarkosolach,

Grupa 4 — złoto na powierzchni siarczku,

Grupa 5 — złoto w kawernach,

Grupa 6 — złoto wolne,

Grupa 7 — złoto w pseudomorfozach.

**Złoty Stok.** Mikroziarenka i wrostki złota rodzimego oznaczono w próbkach (Muszer, 1992; Niczyporuk & Speczik, 1993; Mikulski, 1996a, b; Mikulski i in., 1999): rud arsenopirytowo±löllingitowych, rud arsenopirytowych, rud arsenowo±pirotynowych, czarnych i zielonych serpentynitów okruszczonych minerałami arsenowymi, okruszczonych skarnów piroksenowo-granatowych i skał diopsydowo±tremolitowo±kalcytowo±talkowych oraz żył kwarcowych i kalcytowych.

Stwierdzone w mikroskopie kruszczowym złoto występuje w formie:

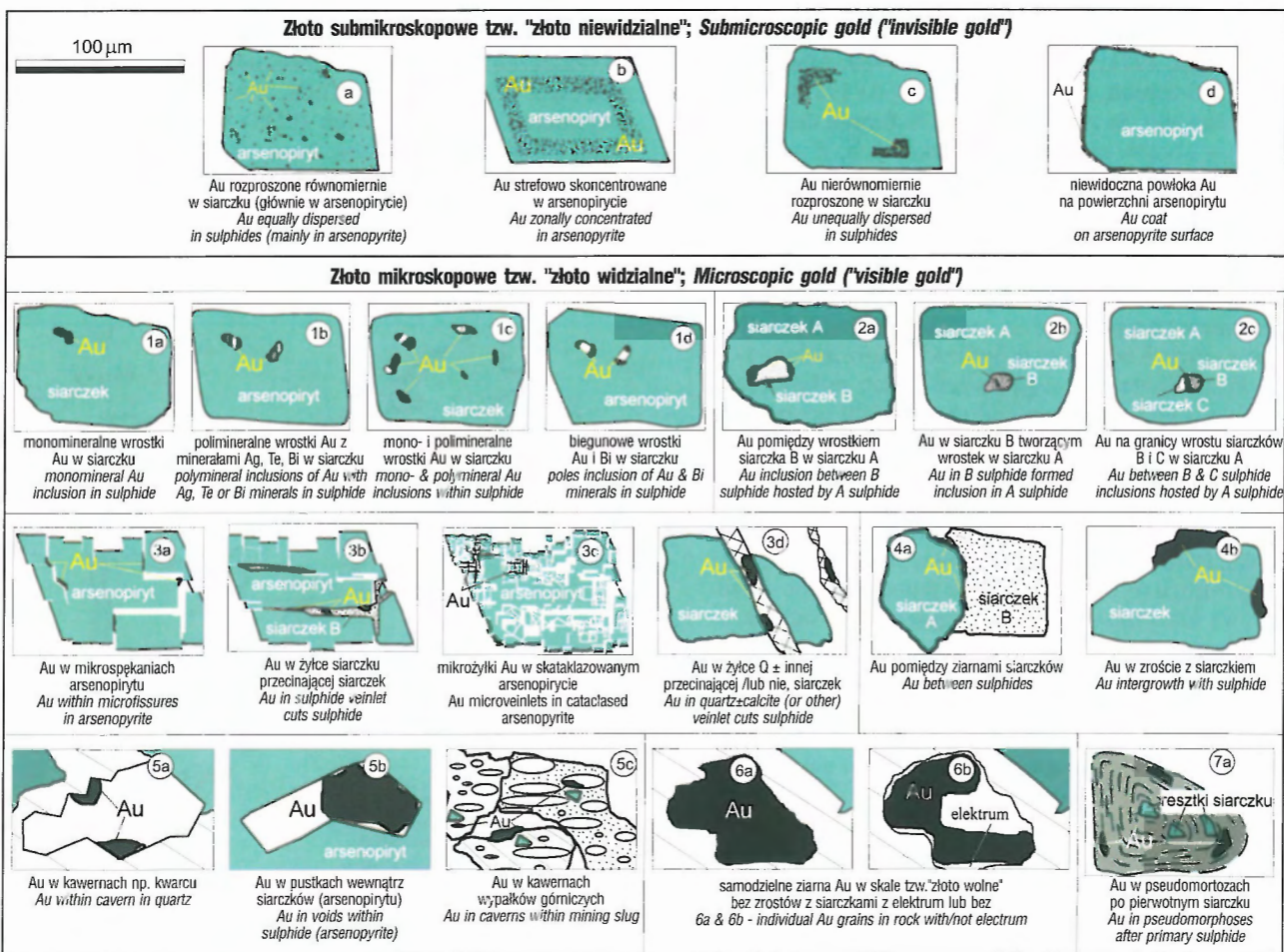
□ wypełnień mikrospeków w obrębie rozproszonej lub żyłkowej mineralizacji (ryc. 2.3a),

□ wrostków w minerałach kruszczowych (ryc. 2.1a-d), (ryc. 3),

□ mikroziarenek w żyłkach kwarcowo-kalcytowych lub uwodnionych tlenków i wodorotlenków Fe (ryc. 2.3d),

□ licznych wrostków złota w obrębie siarkosoli arsenowych Ni, Fe, Co. Szczególnie pomiędzy strefami zbudowanymi z kobaltowego gersdorffitu i niklowego kobaltynu (ryc. 2.4a),

□ samodzielnych ziarenek złota rodzimego stwierdzonych w epigenetycznych żyłkach kwarcowo±kalcytowych oraz w mikrospekaniach w diopsydzie jak również w stanie wolnym w skale (ryc. 2.3a, d, 6b),



**Ryc. 2.** Klasyfikacja form wystąpień złota sub- i mikroskopowego występującego w złotonośnych rudach polimetalicznych w Sudetach  
**Fig. 2.** Classification of sub- and microscopic gold forms in gold-bearing polymetallic ores in Sudetes

□ w pustkach w obrębie arsenopiryty lub siarkosoli arsenowych Ni, Fe, Co (ryc. 2.5b),

□ pseudomorfozach po pierwotnym siarczku (ryc. 2.7a),

□ kawernach wypałów rudy arsenopirytyowo±löllingitowej (ryc. 2.5c).

W świetle odbitym złoto rodzime, zawierające wysoką domieszkę srebra (nawet do 20% wag. Ag), jest złoci- stożółte. Z kolei tzw. czyste złoto (> 90% wag. Au) jest bardziej żółte. Obserwacje mikroskopowe na świeżych preparatach polerowanych pozwalają na łatwe odróżnienie elektrum od złota rodzimego. Stwierdzono występowanie po kilka wrostków złota w jednym ziarnie wyraźnie różniących się intensywnością i odcieniem żółtej barwy. Niektóre z tych wrostków układają się współśrodkowo do strefowych wydzieleni minerałów gospodarzy. Badania w mikroobszarze wrostków złota wykazały domieszki do 31,6% wag. srebra i od 3,8 do 4,5% wag. bizmutu. Wysoki udział ilości srebra (30–45% wag.) w Au-rodzimy wskazuje na obecność elektrum (Au, Ag). Wrostki elektrum o rozmiarach od 0,5 do 20  $\mu\text{m}$  mają wydłużone kształty o krzywoliniowych krawędziach. Oprócz wrostków złota rodzimego z domieszkami Ag i Bi występują wrostki elektrum oraz myrmekitowe przerosty złota i bizmutu. Przerosty te osiągają do 5  $\mu\text{m}$  średnicy. Takie struktury powstają wskutek rozpadu roztworu stałego maldonitu ( $\text{Au}_2\text{Bi}$ ). W częściach biegunowych produktu rozpadu pojawia się złoto rodzime zawierające do kilkudziesięciu procent wagowych bizmutu lub na odwrót bizmut zawierający do 35% wag. Au. Powstawanie maldonitu jest ograniczone do bardzo wąskich przedziałów spadku temperatur (Ramdohr, 1969). W świetle odbitym maldonit jest minerałem o wysokiej refleksyjności jasnoszary z lekko kremowym odcieniem, izotropowy (Utenbogaardt & Burke, 1971). Jest trwały w temperaturze poniżej 373°C.

Nieliczne agregaty złota rodzimego obserwowane w żyłce kwarcowo-kalcytowej są większe od 5  $\mu\text{m}$ . Charakteryzują się one intensywną żółtą barwą i niższą domieszką Ag (na poziomie do kilkunastu % wag.). Ziarenka te mają owalne kształty o postrzępionych krawędziach. Złoto rodzime znalezione w diopsydzie miało znacznie mniejszy rozmiar (2  $\mu\text{m}$ ).

Na podstawie wstępnych wyników badań należy stwierdzić, że złoto submikroskopowe w siarczku i siarkosolach Ni, Fe, Co ze Złotego Stoku występuje głównie w formie c (ryc. 2) oraz w formie a i b (ryc. 2). Złoto „niewidzialne” zostało oznaczone w arsenopirycie, löllingicie, bismutynie oraz w siarkosolach arsenowych Ni, Fe, Co występujących w skałach kalcytowo-krzemianowych i skarnach w kamieniołomie „Złoty Jar”, zlokalizowanym w dawnym obszarze górniczym Pola „Krzyżowa Góra” kopalni w Złotym Stoku. Niektóre wyniki oznaczeń złota w mikroobszarze były obarczone stosunkowo dużym błędem  $\pm 0,84$  % wag. Au. Najwyższe zawartości złota rodzimego oznaczone zostały w bismutynie i arsenopirycie. Kryształy bismutynitu zawierają od 0,94 do 2,22 % wag. Au ( $\bar{x}_{n=3} = 1,65$  % wag.) wysoką domieszkę Ag (do 2,93 % wag.).

Zawartość złota w arsenopirytych ze „Złotego Jaru” mieści się w zakresie od 0,82 do 1,4% wag. ( $\bar{x}_{n=5} = 0,83$  % wag.). Oznaczalne na mikrosondzie zawartości złota występują w drobnoziarnistych arsenopirytych o pokroju pryzmatycznym. Gruboziarniste agregaty arsenopiryty rzadko zawierają oznaczalne ilości złota. Starsza generacja (I) arsenopiryty zawiera więcej złota drobnodispersyjnego niż jego młodsze formy. Prawdopodobnie jest to wynikiem

wyższej zawartości As (46,40–51,62% wag.) w arsenopirycie. Dla porównania arsenopiryty II zawiera od 42,92 do 44,24 % wag. arsenu. W niektórych ziarnach arsenopiryty I oznaczono domieszki Co i Sb. Zaobserwowano, że strefy kryształów z podwyższoną zawartością domieszek wykazują niższą koncentrację Au. Analizy punktowe kilku löllingitów pozwoliły stwierdzić domieszki złota w ilościach do 0,72 % wag. ( $\bar{x}_{n=12} = 0,22$  % wag.). Ślady złota drobnodispersyjnego oznaczono również w siarkosolach arsenowych Ni, Fe, Co w ilości od 0,16 do 0,4 % wag.

**Bardo Śląskie.** Złoto zostało stwierdzone w niezwiertzalnych skałach oraz konkrecjach skalnych zawierających bogatą gruboziarnistą mineralizację arsenopirytyową i/lub maszyną arsenopirytyowo-pirytyowo-chalkopirytyową (Mikulski, 1998).

Złoto mikroskopowe występuje w następującej formie:

□ różnorodnych wrostków w arsenopirycie (ryc. 2.1a–d),

□ wrostków w siarczku (pirotyn, bismutyty lub/i bizmut rodzimy) tworzących wrostki w arsenopirycie (ryc. 2.2a–c).

Złoto rodzime stwierdzone zostało w postaci wrostków w obrębie ziarn arsenopiryty. Bardzo często mają one budowę biegunową i są polimineralne. We wrostkach ze złotem współwystępuje bizmut rodzimy, tellurobismutyty, pirotyn lub inne minerały z grupy tellurków bizmutu (ryc. 4). Wymiary wrostków złota oraz ich kształty są zróżnicowane. Z reguły mają one wymiary od 5  $\mu\text{m}$  do 30  $\mu\text{m}$  i wydłużone nieregularne kształty. Największe wrostki osiągają do 50  $\mu\text{m}$ . W dużym ziarnie arsenopiryty można obserwować liczne wrostki złota rodzimego i elektrum oraz wrostki bizmutu rodzimego i tellurobismutyty lub hedleyitu ( $\text{Bi}_2\text{Te}$ ). Analizy wrostków złota rodzimego wykazały domieszki srebra w zakresie do kilku % wag. oraz ślady Cu.

Elektrum występuje w postaci drobnych wrostków o ksenomorficznych kształtach lub wydłużonych blaszkowatych zarysach w arsenopirycie. Jego rozmiary nie przekraczają kilkudziesięciu mikrometrów. Zawiera stałą domieszkę srebra w ilości do kilkunastu procent wagowych oraz śladową domieszkę Cu. Współwystępuje we wrostkach z bizmutem rodzimym, pirotynem i tellurkami bizmutu.

Forma wystąpień złota submikroskopowego w rudach z Bardo Śląskiego jest trudna do określenia. Pilotażowe analizy wykazały strefowość oraz mniej lub bardziej jednorodną koncentrację Au w strukturze kobaltonosnych arsenopiryty (ryc. 2.a–c).

**Czarnów.** Złoto rodzime oraz elektrum stwierdzone zostało w próbkach zebranych na hałdach nieczynnej kopalni w Czarnowie w następujących typach rud (Mikulski, 1997): arsenopirytyowo±chalkopirytyowo±pirotynowej, arsenopirytyowej występującej w żyłce kwarcowej.

Szczegółowe badania w mikroskopie wykazały, że złoto występuje w następujących formach:

□ różnorodnych mono- i polimineralnych wrostkach (z minerałami bizmutu i srebra) w minerałach siarczku (głównie arsenopiryty, sporadycznie chalkopiryty) (ryc. 2.1a–d),

□ w siarczku (chalkopiryty, pirotyn) tworzących wrostki w arsenopirycie (ryc. 2.2a–c),

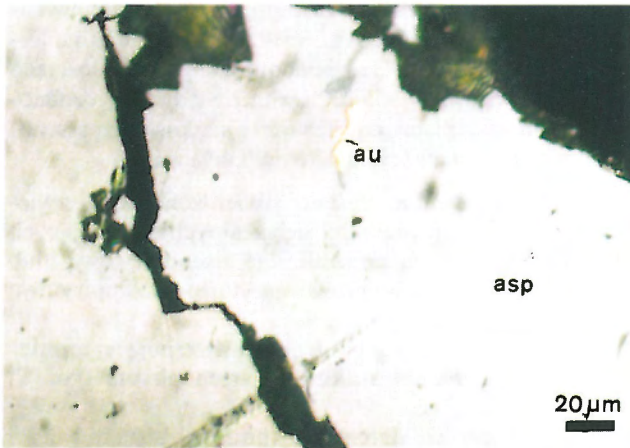
□ w mikrospekaniach arsenopiryty (ryc. 2.3a),

□ w żyłkach siarczku (chalkopiryty, pirotyn) wypełniających spekani w arsenopirycie (ryc. 2.3b),

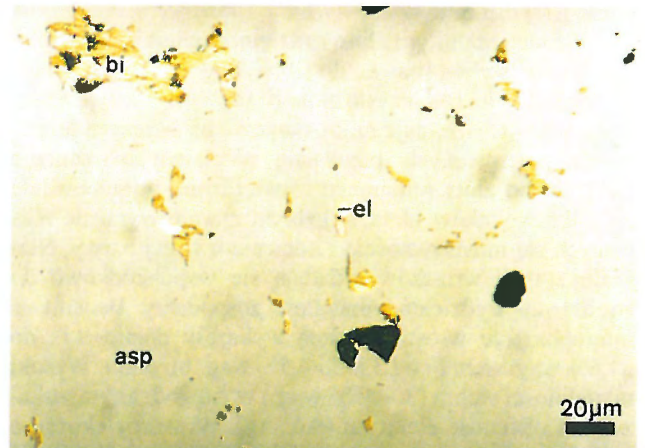
□ w pustkach w obrębie arsenopiryty (ryc. 2.5b).

Wrostki złota rodzimego występują najczęściej w częściach biegunowych bizmutu rodzimego i nie przekraczają 30 mikrometrów (ryc. 2.1d). Niektóre wzrostki bizmutu rodzimego w arsenopirycie mają ostre kształty i wymiary

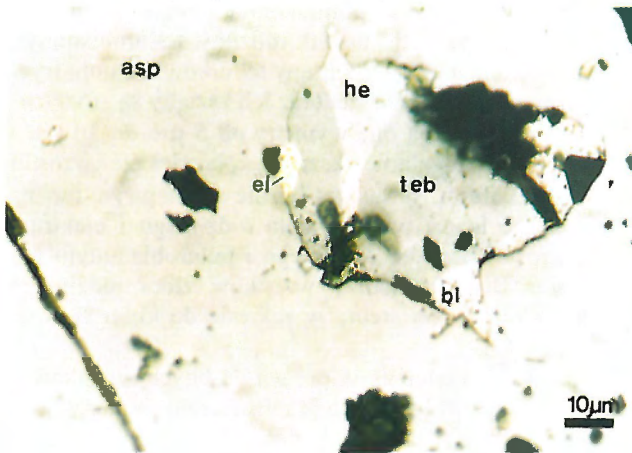
od kilku mikronów do 0,2 milimetra i zawierają one wzrostki złota rodzimego i elektrum (ryc. 2.1b). Nieco większe od wzrostków złota rodzimego są wzrostki elektrum (maksymalnie do 50  $\mu\text{m}$ ), które występują w arsenopirycie zarów-



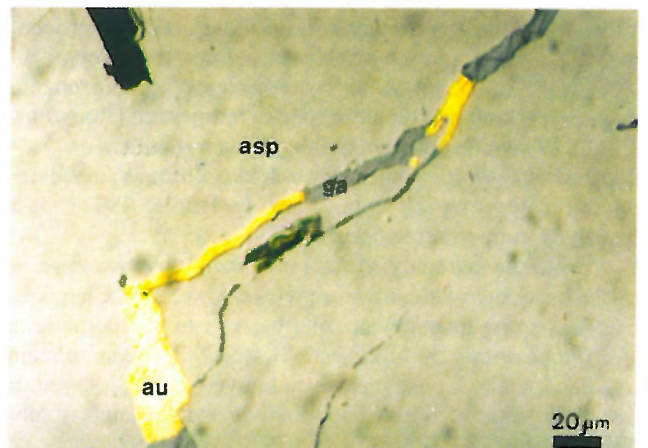
**Ryc. 3.** Wrostek złota rodzimego (au) w arsenopirycie (asp) ze Złotego Stoku. Podgrupa 1a. Światło odbite  
**Fig. 3.** Native gold inclusion (au) in arsenopyrite (asp) from Złoty Stok. Subgroup 1a. Reflected light



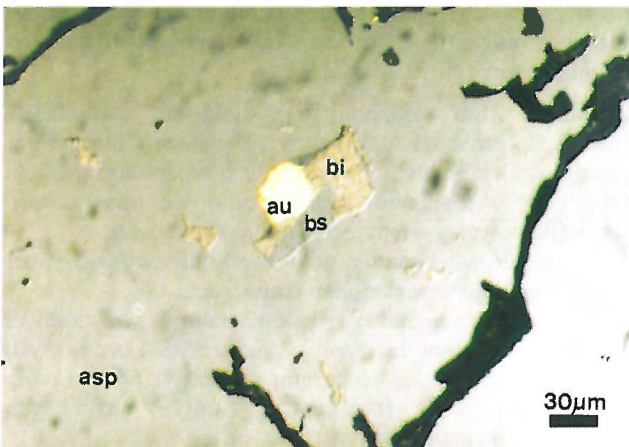
**Ryc. 6.** Arsenopiryt (asp) z licznymi mono- i polimineralnymi wzrostkami elektrum (el) i bizmutu rodzimego (bi). Radzimowice. Podgrupa 1b. Światło odbite  
**Fig. 6.** Arsenopyrite (asp) with numerous mono- and polymineral inclusions of electrum (el) and native bismuth (bi). Radzimowice. Subgroup 1b. Reflected light



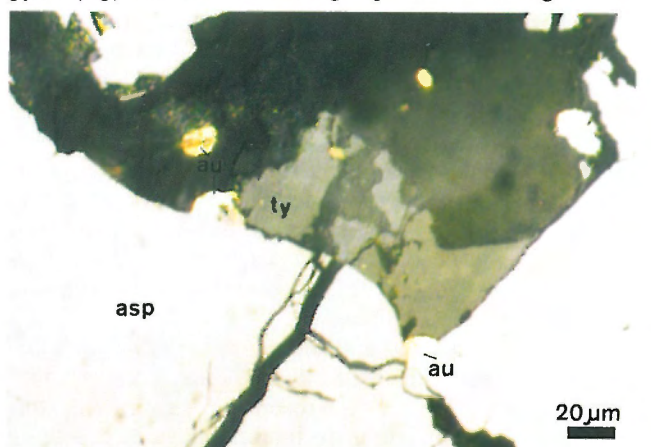
**Ryc. 4.** Polimineralny wzrostek w arsenopirycie (asp), el — elektrum, bi — bizmut rodzimy; he — hedleyite, teb — tellurobismut. Bardo Śląskie. Podgrupa 1c. Światło odbite  
**Fig. 4.** Polymineral inclusion in arsenopyrite (asp), el — electrum, bi — native bismuth, he — hedleyite, teb — tellurobismutite. Reflected light. Subgroup 1c



**Ryc. 7.** Żyłka złota rodzimego (au) z galeną (ga) tnąca arsenopiryt (asp) z Radomice. Podgrupa 3b. Światło odbite  
**Fig. 7.** Veinlets of native gold (au) and galena (ga) cuts arsenopyrite (asp) from Radomice. Subgroup 3b. Reflected light



**Ryc. 5.** Polimineralny wzrostek złota rodzimego (au), bizmutu rodzimego (bi) i bismutynitu (bs) w arsenopirycie (asp) z Czarnowa. Podgrupa 2c. Światło odbite  
**Fig. 5.** Polymineral inclusion of native gold (au), native bismuth (bi) and bismutinite (bs) in arsenopyrite (asp) from Czarnów. Subgroup 2c. Reflected light



**Ryc. 8.** Mikroziarenka złota rodzimego (au) na granicy wzrostu pomiędzy tytanitem (ty) a arsenopirytem (asp) z Radomice. Podgrupy 4b i 6a. Światło odbite  
**Fig. 8.** Micrograins of native gold (au) between titanite (ty) and arsenopyrite intergrowth (asp) from Radzimowice. Subgroups 4b & 6a. Reflected light

no z bizmutem rodzimym i złotem rodzimym jak również stwierdzone zostały na brzegach wrostków lub żyłek chalkopiryty i rzadziej pirotynu w arsenopirycie (ryc. 5). Badania ilościowe w mikroobszarze składu chemicznego wrostków pozwoliły określić zawartość w złocie rodzimym od 76 do 81% wag. Au i od 23 do 18% wag. Ag (Mikulski, 1997). Nie stwierdzono w nim domieszek Cu, Bi i As. Z kolei w składzie elektrum złoto występuje w ilości od ok. 61,7 do 63,9 % wag., a srebro w ilości od 36,6 do 37,7% wag. Szczegółowe badania pozwoliły rozpoznać strefową budowę niektórych złotonośnych wrostków. Części biegunowe wrostków zbudowane z bizmutu rodzimego i złota rodzimego mogą być przedzielone wąską strefą wzbogaconą w srebro reprezentowaną przez elektrum. Elektrum występuje dodatkowo samodzielnie w postaci wrostków lub nieco większych wydłużonych elipsoidalnie ziarenek na granicy ziarn arsenopirytytowych i pirotynowych lub chalkopirytytowych (ryc. 2.2a–c).

Pilotażowe analizy jakościowe w mikroobszarze wykazały niejednorodność koncentracji Au submikroskopowego w strukturze arsenopiryty (ryc. 2.c).

**Radzimowice.** Złoto mikroskopowe stwierdzone zostało w następujących typach skał (Pająk, 1997; Mikulski, 1999): masywnych rudach piritowo±chalkopirytyowo±arsenopirytyowych, żyłach kwarcowych z rudą siarczkową, impregnowanych siarczkami ryolitach, okruszczonych sztokwerkach.

W rezultacie badań mikroskopowych wyróżniono następujące formy wystąpień złota mikroskopowego:

□ różnorodne wrostki w obrębie arsenopiryty (wszystkie elementy podgrupy 1a–d na ryc. 2),

□ wrostki pomiędzy siarczkiem lub w siarczku (pirotyn, bismutytnit, chalkopiryty) tworzącym wrostek w arsenopirycie (ryc. 2.2a–c),

□ w mikrospekaniach arsenopiryty (ryc. 2.3a),

□ w żyłce siarczku (pirotyn) przecinającej arsenopiryty (ryc. 2. 3b),

□ pomiędzy ziarnami siarczków (ryc. 2.4a),

□ w pustkach (kawernach wewnętrznych) w obrębie siarczków (ryc. 2.5b).

Najczęściej obserwowanym pod mikroskopem minerałem złota jest elektrum, nieco rzadziej pojawiają się złoto rodzime oraz maldonit.

Złoto rodzime — monomineralne submikroskopowe wrostki złota rodzimego o średnicy około 5–15  $\mu\text{m}$  zaobserwowano w kobaltonośnym arsenopirycie. Mają one fasolkowatą lub blaszkowatą postać.

Elektrum — tworzy z reguły monomineralne wrostki w kobaltonośnym arsenopirycie oraz blaszkowate mikrowrostki polimineralne (20–30  $\mu\text{m}$ ) z bizmutem rodzimym, bismutytnitem oraz z hessytem ( $\text{Ag}_2\text{Te}$ ), gustawitem ( $\text{AgPbBi}_3\text{S}_6$ ) i siarkotellurkami Ag, Pb i Bi w kobaltonośnym arsenopirycie zastępowanym przez węglany i w piryty (ryc. 6).

Skład chemiczny elektrum wykazuje od ok. 62 do 69% wag. Au oraz 27–30% wag. Ag (Mikulski, 1999).

Maldonit — został stwierdzony w postaci monomineralnych mikrowrostków ok. 10–20  $\mu\text{m}$  średnicy występujących w kobaltonośnym arsenopirycie. Pojawia się również w formie reliktywnych przerostów złota i bizmutu. Określony w mikroobszarze skład chemiczny maldonitu wynosi w procentach wagowych: Au 64–66; Ag 31–32. W niektórych wrostkach maldonitu oznaczono również domieszki Te oraz Pb wskazujące na obecność innych faz mineralnych. Ponadto w niektórych arsenopirytych zawie-

rających maldonit występuje bizmut rodzimy. Maldonit spotykany jest w asocjacji ze złotem oraz tellurkami Ag (hessytem) i siarkotellurkami Ag, Pb i Bi.

Pilotażowe analizy jakościowe w mikroobszarze wykazały niejednorodność koncentracji złota submikroskopowego w strukturze kobaltonośnych arsenopiryty (ryc. 2.c).

**Radomice.** Złoto mikroskopowe w rejonie złożowym Klecza–Radomice–Golejów znalezione zostało w następujących typach skał (Paulo & Salamon, 1973; Olszyński & Mikulski, 1997; Mikulski, 2000a): arsenopirytyowej z okruszczowaniem riodacytów o charakterze impregnacji, arsenopirytyowej o charakterze impregnacyjno-żyłkowej, masywnej rudzie arsenopirytyowej, brekcji kominowej z mineralizacją arsenopirytyową, okruszczonych porfirach i zmienionym riodacycie.

Złoto mikroskopowe zostało stwierdzone w następującej formie:

□ żyłek lub wydzielen w żyłkach siarczków (głównie galena, rzadziej chalkopiryty) tnących arsenopiryty (ryc. 2.3b), (ryc. 7),

□ mikrożyłek w skatakłazowanym arsenopirycie (ryc. 2.3c),

□ wydzielen w mikrospekaniach arsenopiryty (ryc. 2.3a),

□ wydzielen w żyłkach kwarcowo-węglanowych tnących arsenopiryty (ryc. 2.3d),

□ samodzielnych ziarn złota w skale (ryc. 2.6a ,b),

□ zrostów z arsenopirytem (ryc. 2.4b),

□ pojedynczych monomineralnych (ryc. 2.1a) lub biegunowych wrostków (ryc. 2.1d) w arsenopirycie,

□ w pustkach w obrębie arsenopiryty (ryc. 2.5b).

W mikroskopie kruszczowym stwierdzone zostały bardzo liczne agregaty złota rodzimego i elektrum występujące pomiędzy płonnymi minerałami skały niezależnie od innych minerałów kruszczowych. Największy ze stwierdzonych w łupkach łyszczykowych agregat złota rodzimego i elektrum ma długość ok. 0,1 mm i jest widoczny makroskopowo. Elektrum występuje w centralnych częściach agregatu kruszczowego.

Zbadany w mikroobszarze skład chemiczny elektrum wykazał zawartości od 61,4 do 62,3% wag. Au i około 36,5 % wag. Ag. Z kolei skład chemiczny złota rodzimego charakteryzuje się obecnością ok. 94 % wag. Au i tylko 5% wag. Ag. W skale występuje wiele mniejszych skupień złota rozmieszczonych bezładnie (ryc. 8). Cechy optyczne tych ziarenek wskazują że mamy tu do czynienia ze złotem rodzimym o niskiej zawartości Ag.

Forma wystąpień złota submikroskopowego w rudach z Radomic jest trudna do określenia z uwagi na brak odpowiednich pomiarów.

## Podsumowanie

Na podstawie rezultatów szczegółowych badań w mikroskopie do światła odbitego i w mikroobszarze opracowano klasyfikację form jego wystąpień w obrębie złotonośnych rud polimetalicznych w Sudetach. W obrębie złota mikroskopowego wydzielono 7 grup głównych i 19 podgrup. Złoto mikroskopowe występuje najczęściej w formie mono- lub polimineralnych wrostków w arsenopirycie (grupa 1) lub innych minerałach (chalkopiryty, löllingit, bismutytnit, pirotyn, piryty, siarkosole arsenowe Ni, Fe, Co lub inne) tworzących z reguły wrostki z innymi siarczkami w arsenopirytych (grupa 2). W bogatych rudach

**Tab.1. Skład chemiczny złota (próbna) w rudach polimetalicznych złód sudeckich na podstawie badań składu w mikroob-szarze**

Lokalizacja	Próbność Au	
Złoty Stok	865–900	650–680
Bardo Śląskie	930–950	810–815
Czarnów	770–820	620–640
Radzimowice	715–750	600–680
Radomice	820–860; 950	630–710

złota są obecne również inne formy jego wystąpień. Dodatkowo pojawia się ono w obrębie mikrospekań arsenopirytów w postaci różnokształtnych wydzielen (od 5 do 20  $\mu\text{m}$  średnicy) czy mikrożyłek lub samodzielnych ziarenek na powierzchni ziaren arsenopirytu (grupa 4) lub w obrębie minerałów skałotwórczych (grupa 5) czy w żyłkach kwarcowych i/lub węglanowych (grupa 3). Złoto wolne w skale może być widoczne gołym okiem (grupa 6). W Złotym Stoku stwierdzono dodatkowo resztki złota w kawernach wypałów rud löllingitowo-arsenopirytowych (podgrupa 5c) oraz w formie wypełnień mikrokawern w kwarcu (podgrupa 5a).

Wśród minerałów złota dominuje elektrum i złoto rodzime. Domieszki Ag są zmienne i wynoszą od kilku do kilkudziesięciu % wag. Zmienność rozmieszczenia Ag w obrębie złota rodzimego jest z reguły stała dla danego rejonu złożowego i nie przekracza  $\pm 10\%$ . Złoto rodzime i elektrum występujące w formie wrostków tworzy paragenezę z minerałami bizmutu (bizmutem rodzimym i bismutytem) oraz dodatkowo z maldonitem. Maldonit ( $\text{Au}_2\text{Bi}$ ) stwierdzony został w Złotym Stoku, Radzimowicach i Czarnowie. W Radzimowicach i w Bardzie Śląskim występuje ponadto paragoniza złota z minerałami telluru i bizmutu.

Skład chemiczny złota wskazuje na jego zróżnicowanie (tab. 1). Najwyższą czystość wykazuje złoto z Radomic i Barda Śląskiego (próbna złota ok. 950), a najniższą elektrum z Czarnowa i Radomic (próbna ok. 620).

Szczegółowe zbadanie form wystąpień złota pozwala na określenie kolejnych jego generacji i prawidłowe umieszczenie w sukcesji minerałów rudnych (Mikulski, 2000b).

Pracę wykonano w ramach działalności statutowej PIG — temat badawczy nr 6.20.1752.00.0.

## Literatura

- AUGUSTITHIS S.S.A. 1995 — Atlas of the textural patterns of ore minerals and metallogenic processes. WDEG de Gruyter. Berlin. New York.
- BANAŚ M. 1965 — Przejawy mineralizacji w metamorfiku Śnieżnika Kłodzkiego. Pr. Geol. Komis. Nauk Geol. PAN, Oddz. w Krakowie, 27: 7–89.
- BANAŚ M. 1967 — Złoże rudy arsenowej w Czarnowie. Pr. Geol., 15: 239.
- BUDZYŃSKA H. 1971 — Mineralogia złoża arsenowego w Złotym Stoku. Arch. Miner., 29: 29–88.
- CRAIG J.R. & VAUGHAN D.J. 1981 — Ore microscopy and ore petrography. New York.
- KOWALSKI W. M. 1961 — Rozmieszczenie löllingitu i siarczków w złożu arsenowo-złotożnym w Złotym Stoku na Dolnym Śląsku. Zesz. Nauk. AGH. Geol., 4: 17–22.
- KOWALSKI W. M. 1969 — Minerale kruszcowe ze Złotego Stoku (Dolny Śląsk). PAN Oddz. w Krakowie. Pr. Miner. PAN, 16: 23–40.
- KUCHA H. 1989 — Złoto rodzime w rudach Th i REE obszaru Bogatyni (Dolny Śląsk). Rudy i metale nieżelazne, 1: 6–7.
- LIS J. & SYLWESTERZAK H. 1986 — Minerale Dolnego Śląska. Wyd. Geol.

- MANECKI A. 1965 — Studium mineralogiczno-petrograficzne polimetalicznych żył okolicy Wojcieszowa (Dolny Śląsk). Pr. Miner. PAN, 2: 7–65.
- MIKULSKI S.Z. 1996a — Gold mineralization within contact-metamorphic and shear zones in the „Złoty Jar” quarry — the Złoty Stok As-Au deposit area (Sudetes). Geol. Quart. 40: 407–442.
- MIKULSKI S.Z. 1996b — Złoto z kamieniołomu Złoty Jar k. Złotego Stoku (Sudety). Pr. Geol., 44: 1205–1210.
- MIKULSKI S. Z. 1997 — Złoto rodzime w złożu rudy arsenowej w Czarnowie (Sudety Zachodnie). [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: 29–33.
- MIKULSKI S.Z. 1998 — Złotożna mineralizacja kruszcowa z Barda Śląskiego (Sudety Środkowe). Pr. Geol., 46: 1261–1267.
- MIKULSKI S.Z. 1999a — Berezity z Dębowniki — nowy typ genetyczny złotożnej mineralizacji w Sudetach [In:] Wybrane zagadnienia stratygrafii, tektoniki i okruszczenia Dolnego Śląska. A. Muszer (ed.). Wrocław: 54–59.
- MIKULSKI S.Z. 1999b — Scheelite & gold-bearing mineralization in the Ptasznik roof pendant, Sudetes, Poland. [In:] Mineral Deposits: Processes to Processing. Mat. 5<sup>TH</sup> Biennale Meeting SGA –IAGOD, Londyn 22–25.08.99. C.J.Stanley et al. (eds.). A.A.Balkema: 393–396.
- MIKULSKI S.Z. 1999c — Złoto z Radzimowic w Górach Kaczawskich (Sudety) — nowe dane geochemiczne i mineralogiczne. Pr. Geol., 47: 999–1005.
- MIKULSKI S.Z. 2000a — Modele genetyczne złóż złota pierwotnego w Sudetach i atlas form jego wystąpień. CAG Państw. Inst. Geol.
- MIKULSKI S.Z. 2000b (w druku) — Klasyfikacja form wystąpień złota mikroskopowego w złotożnych rudach polimetalicznych z Sudetów. Pol. Tow. Miner. Pr. Spec., 16.
- MIKULSKI S.Z., OLSZYŃSKI W., SPECZIK S. & WOJCIECHOWSKI A. 1999 — Primary gold deposits and occurrences in Sudety Mts. (SW Poland). [In:] Mineral Deposits: Processes to Processing. Mat. 5<sup>TH</sup> Biennale Meeting SGA –IAGOD, Londyn 22–25.08.99. C.J.Stanley et al. (eds.). A.A.Balkema: 1419–1422.
- MIKULSKI S.Z. & SPECZIK S. 1997 — Gold – polymetallic deposits within metasomatic covers of Paleozoic granitoids in the Sudetes (SW Poland). [In:] IUGS/UNESCO Deposit Modeling Program. Workshop Kazakhstan & Kyrgyzstan G. R. Bekzhanov, E. Dudich, G. Gaál, R.J. Jenchuraeva (eds.): 31–33.
- MUSZER A. 1992 — Złoto rodzime ze Złotego Stoku. Arch. Miner., 48: 81–99.
- NICZYPORUK K. & SPECZIK S. 1993 — Gold in arsenic minerals of Złoty Stok. Miner. Pol., 24: 21–32.
- OLSZYŃSKI W. & MIKULSKI S.Z. 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.
- PAJAŁ 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 Góry Kaczawskie Mts. (West Sudeten). Miner. Pol., 4: 85–90.
- PAULO A. & SALAMON W. 1974 — Przyczynek do znajomości złoża polimetalicznego w Starej Górze. Kwart. Geol., 18: 266–276.
- PIESTRZYŃSKI A., MOCHNACKA K., MAYER W. & KUCHA H. 1992 — Native gold (electrum), Fe–Co–Ni arsenides and sulphides in the mica schists from Przecznicza, the Kamienica Range, SW Poland. Miner. Pol., 23: 27–43.
- RAMDOHR P. 1969 — The ore minerals and their intergrowths. Pergamon Press. Oxford: 340.
- SPECZIK S. & PIESTRZYŃSKI A. 1995 — Au-mineralization from the Ślęza ophiolite complex, SW Poland. [In:] Mineral Deposits: from their origin to their environmental impacts, J.Pašava, B. Křibek & K. Žák (eds.). A.A.Balkema: 191–193.
- UYTENBOGAARDT W. & BURKE E.A.J. 1971 — Tables for microscopic identification of ore minerals. Elsevier Publishing Company: 70–72.
- ZIMNOCH E. 1965 — Okruszczenie złoża Stara Góra w świetle nowych danych. Biul. UW. 5: 3–38.
- ZIMNOCH E. 1985 — Mineralizacja kruszcowa złoża „Czarnów” (Sudety). Roczn. Pol. Tow. Geol., 53: 289–306.