

## MINERALIZACJA KRUSZCOWA W OBRĘBIE ZMETASOMATYZOWANEJ INTRUZJI MAGMOWEJ W REJONIE KOZIEGŁÓW (BLOK GÓRNOŚLĄSKI)

### ORE MINERALIZATION WITHIN A METASOMATISED MAGMATIC INTRUSION AT KOZIEGŁOWY AREA (UPPER SILESIA BLOCK, POLAND)

MAGDALENA PAŃCZYK<sup>1</sup>, MAREK MARKOWIAK<sup>2</sup>, GRZEGORZ ZIELIŃSKI<sup>1</sup>, LESZEK GIRO<sup>1</sup>

**Abstrakt.** Głównym celem pracy była identyfikacja minerałów kruszcowych obserwowanych w obrębie intensywnie przeobrażonych zasobnych w krzemionkę skał subwulkanicznych występujących w rejonie Koziegłów. Badane skały występują w północno-wschodniej części bloku górnośląskiego w bezpośrednim sąsiedztwie strefy uskoku Kraków–Lubliniec. Szczegółowe badania obejmowały zarówno analizy mikroskopowe, jak i oznaczenia składu chemicznego w mikroobszarze.

**Słowa kluczowe:** skały magmowe, mineralizacja tlenkowa i siarczkowa, blok górnośląski, strefa uskoku Kraków–Lubliniec.

**Abstract.** The main aim of this study is to determine and identify ore minerals observed within the intensely altered silica-rich subvolcanic rocks located near Koziegłowy. The rocks occur in the northeastern part of the Upper Silesian Block, close to the Kraków–Lubliniec Fault Zone. The research work was performed in two main steps including both complete microscopic investigations and detailed electron microprobe chemical analysis.

**Key words:** magmatic rocks, oxide and sulfide mineralization, Upper Silesia Block, Kraków–Lubliniec Fault Zone.

## WSTĘP

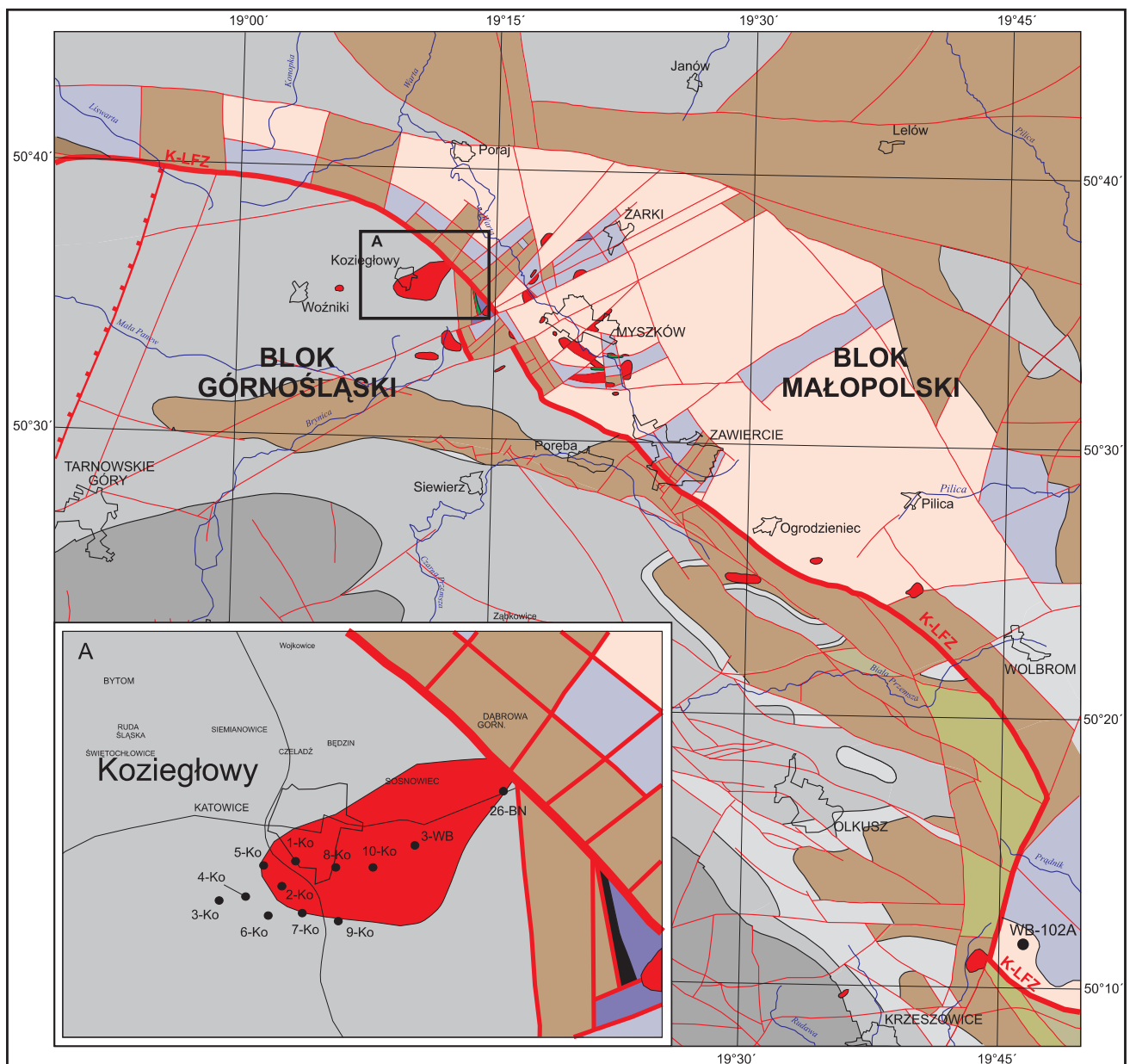
Badania geologiczne skał intruzyjnych i wulkanicznych związanych ze strefą dyslokacyjną Kraków–Lubliniec rozpoczęto już na początku XX wieku. Prace poszukiwawcze złóż metali i intensywna penetracja podłoża głębokimi wiertniami trwająca do dziś przyczyniły się do rozpoznania około 50 różnych typów skał magmowych występujących w profilach ponad 250 otworów wiertniczych i kilkunastu odsłonięciach (Markiewicz, 2002; Markiewicz, Markowiak, 1998). Najbardziej rozpowszechnionymi skałami magmowymi na obszarze brzeżnej części bloku górnośląskiego są

tw. porfiry (dacyty, ryolity). Nawiercono je w rejonie Koziegłów, Mysłowa, a także w rejonie Olkusza. Oprócz porfirów w obrębie bloku górnośląskiego spotykane są diabazy (rejon Olkusza, Sułoszowej i Mysłowa), gabra diabazowe (rejon Olkusza), jak również lamprofiry (rejon Siewierza, Olkusza i Sułoszowej) (Żaba, 1999). Liczne odsłonięcia skał wulkanicznych występują w rejonie Krzeszowic (Buła, 1994).

Głównym celem podjętych badań była identyfikacja minerałów kruszcowych, obecnych w obrębie dużej intruzji, tzw. porfirów z Koziegłów, występujących w północno-

<sup>1</sup> Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; e-mail: magdalena.pańczyk@pgi.gov.pl, grzegorz.zieliński@pgi.gov.pl, leszek.giro@pgi.gov.pl

<sup>2</sup> Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Górnośląski, ul. Królowej Jadwigi, 41-200 Sosnowiec; e-mail: marek.markowiak@pgi.gov.pl



- |   |   |   |
|---|---|---|
| górnokarbońskie utwory węglonośne GZW<br><i>Upper Carboniferous coal-bearing formations</i> | sylurskie skały węglanowe i klastyczne<br><i>Silurian carbonate and clastic rocks</i>         | porfiry (ryolity, dacyty), granitoidy<br><i>porphyries (rhyolites, dacites), granitoids</i> |
| karbońskie skały klastyczne (kulm)<br><i>Upper Carboniferous clastic formations (culm)</i>  | ordowickie skały węglanowe i klastyczne<br><i>Ordovician carbonate and clastic rocks</i>      | diabazy<br><i>diabases</i>  |
| karbońskie skały węglanowe<br><i>Lower Carboniferous carbonate formations</i>               | kambr dolny (formacja z Goczałkowic)<br><i>Lower Cambrian clastic rocks (Goczałkowice Fm)</i> | uskoki<br><i>faults</i>   |
| dewońskie skały węglanowe<br><i>Devonian carbonate rocks</i>                                | kambr dolny (formacja z Borzęty)<br><i>Lower Cambrian clastic rocks (Borzęta Fm)</i>          | strefa uskokuwa Kraków-Lubliniec<br><i>Kraków-Lubliniec Fault Zone</i>                      |
| dolnodewońskie skały klastyczne<br><i>Lower Devonian clastic rocks</i>                      | ediakar – skały anchimetamorficzne<br><i>Ediacaran anchimetamorphosed clastic rocks</i>       | lokalizacja otworów wiertniczych<br><i>location of boreholes</i>                            |

**Fig. 1.** Rozmieszczenie badanych otworów wiertniczych na tle mapy geologicznej rejonu strefy uskokuwej Kraków-Lubliniec (wg Buły, Habryna, red., 2008)

Location of the studied boreholes on the background of a geological map of the Kraków-Lubliniec Fault Zone (after Buły, Habryn, eds., 2008)

-wschodniej części bloku górnośląskiego (fig. 1). Na tym obszarze wiercenia były prowadzone w latach 1980–1990 w ramach wieloletniego projektu pt. „Projekt badań geologiczno-poszukiwawczych rud cynku i ołowiu w północnej części regionu śląsko-krakowskiego, Obszaru Boronów–Niegowo” zatwierdzonego decyzją Prezesa CUG w dniu 18 stycznia 1980 roku. Ze względu na to, iż nie została rozpoznana perspektywiczna mineralizacja złożowa (Wielgomas, 1991), nie kontynuowano szczegółowych badań. Problem dalszego rozpoznania mineralizacji w utworach podłoża mezozoiku został dopiero podjęty w opracowaniu „Prognoza złożowa podłoża paleozoicznego (i pokrywy mezozoicznej triasu) północno-wschodniego obrzeżenia GZW” (Oszczepalski i in., 2008), którego głównym celem było dokonanie oceny jako-

ściowej i ilościowej okruszcowania w podłożu paleozoiczno-prekambryjskim (z wyjątkiem złoża Myszków) i pokrywie mezozoicznej (z wyłączeniem obszarów udokumentowanych złóż rud cynku i ołowiu) w strefie kontaktu bloków górnośląskiego i małopolskiego na podstawie archiwalnych rdzeni wiertniczych oraz przedstawienie prognozy złożowej, wraz z określeniem obszarów prognostycznych i potencjalnych bloków koncesyjnych. Stwierdzono, że porfiry z obszaru Koziegłów tylko lokalnie zawierają rozproszony w tle skalnym piryt i chalkopiryt, a na powierzchniach spękań oraz w mikrożyłkach kalcytowych występuje piryt i galena. Skały subwulkaniczne z obszaru Koziegłów posiadają jedynie podwyższone zawartości ołowiu i cynku i nie są obszarem perspektywnym dla poszukiwania złóż kruszców (*op. cit.*).

## LOKALIZACJA OBSZARU BADAŃ NA TLE BUDOWY GEOLOGICZNEJ

Strefa uskokowa Kraków–Lubliniec, wchodząca w skład większej, transkontynentalnej dyslokacji Hamburg–Kraków (Żaba, 1999), charakteryzowała się wieloetapową aktywnością w paleozoiku, której towarzyszył intensywny magmatyzm (Buła, Żaba, 2005), zarówno w obrębie bloku małopolskiego, jak i górnośląskiego. Bloki małopolski i górnośląski różnią się budową prekambryjskiego fundamentu oraz odmiennym wykształceniem utworów paleozoicznych (*op. cit.*). Przejawy magmatyzmu w obrębie obu bloków są skoncentrowane głównie w ich brzeżnych partiach, w bezpośrednim sąsiedztwie strefy uskokowej Kraków–Lubliniec (fig. 1).

Wcześniej uważano, że aktywność magmowa, związana bezpośrednio ze strefą dyslokacyjną, miała charakter dwuetapowy: późnosylurski i karbońsko-permski (Żaba, 1999 i prace tam cytowane), lecz pogląd ten został zweryfikowany datowaniami izotopowymi Ar-Ar (Nawrocki i in., 2010) i U-Pb SHRIMP wyseparowanych ziaren cyrkonów (Nawrocki i in., 2007, 2008; Żelaźniewicz i in., 2008). Uzyskane wyniki sugerują trzyetapowy magmatyzm w bezpośrednim sąsiedztwie strefy uskokowej Kraków–Lubliniec (Nawrocki i in., 2010). Pierwszy etap (dioryty z profilu otworu wiertniczego Sosnowiec IG 1, blok górnośląski) miał miejsce w dewonie (ems), drugi etap – intruzje diabazów (diabaz z profilu 137-WB, blok górnośląski) w karbonie (wizen), natomiast najmłodsze intruzje magmowe występujące w obrębie bloku górnośląskiego i dolnośląskiego wydатовano na perm (Nawrocki i in., 2007, 2008, 2010).

Obszar badań jest zlokalizowany w północno-wschodniej części bloku górnośląskiego, w bezpośrednim sąsiedztwie strefy uskokowej Kraków–Lubliniec. Intruzje magmowe z rejonu Koziegłów (fig. 1) przecinają utwory karbonu dolnego, reprezentowanego przez ciemnoszare łupki ilaste, ilasto-mułowcowe, ilasto-piaszczyste i piaskowce, najczęściej zwięzłe, spękane, niekiedy przechodzące w łupki wapniste, iłowce, margle, zlepieńce lub wapienie (Wielgomas i in., 1991). Na utworach karbonu niezgodnie występują osady triasu (piaskowiec pstry dolny) – iły, iłowce i mułowce pstre, sporadycznie z wkładkami zlepieńców. Intruzje subwulkaniczne przecinające utwory karbonu przybierają postać dużego, nieregularnego harpolitu, rozgałęziającego się ku zachodowi na dwie dajki, a następnie wiązki cienkich dajek, które zaklasyfikowano do porfirów ryolitowych i dacytowych (Wielgomas i in., 1991) lub ryodacytów (Górecka, Nowakowski, 1979). Skały te charakteryzują się barwą szaroczerwoną i brązowoczerwoną, budową porfirową; zawierają od 30 do 50% obj. fenokryształów, wśród których dominują plagioklasy i kwarc, zaś podrzędnie występuje biotyt. Niekiedy w bezpośrednim sąsiedztwie strefy kontaktowej ze skałami osłony obserwowano tekstury fluidalne i liczne porwaki ciemnych iłowców. W otworze wiertniczym 4-Ko w interwale głębokości 491,5–501,0 m stwierdzono obecność żyły lamprofirowej (minetta) o pozornej miąższości ok. 10 m (Wielgomas i in., 1991).

## MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Badaniami objęto skały magmowe pochodzące z profili otworów wiertniczych zlokalizowanych w północno-wschodniej, krawędziowej części bloku górnośląskiego z obszaru Koziegłów (fig. 1). Na podstawie analizy materiałów archiwalnych opisano i opróbowano 11 otworów

wiertniczych penetrujących intruzję magmową: 1-Ko, 2-Ko, 3-Ko, 4-Ko, 5-Ko, 7-Ko, 8-Ko, 9-Ko, 10-Ko, 3-WB, 26-BN. Na podstawie obserwacji makroskopowych, z 39 wyselekcjonowanych próbek wykonano odkryte, polerowane płytki cienkie.

Badania mineralogiczno-petrograficzne przeprowadzono w świetle odbitym i przechodzącym w celu określenia litologii, tekstury, składu mineralnego i rodzaju okruszczenia. Badania petrograficzne wykonano z użyciem mikroskopu NIKON ECLIPSE LV100 POL z wykorzystaniem oprogramowania NIS-Elements AR 2.20, natomiast badanie w świetle odbitym wykonano na mikroskopie NIKON E600 POL.

Szczegółowe badania w mikroobszarze odbyły się dwuetapowo. Wykonano zdjęcia w świetle elektronów wtórnie rozproszonych (BSE) i analizy składu fazowego i chemicznego minerałów w mikroobszarze przy pomocy spektrometru dyspersji energii EDS (system Link ISIS, napięcie przyspieszające – 20 kV, prąd wiązki 2 nA, średnica wiązki 1 n, czas zliczania impulsów 50 s) zainstalowanego na mikroskopie skaningowym JEOL JSM-35 w Laboratorium Analiz w Mikroobszarze PIG-PIB (20 płytek cienkich). Wyselekcjonowane z najciekawszą mineralizacją kruszczową cztery płytki cienkie (4-Ko głęb. 494,5 m; 5-Ko głęb. 406,5 m; 10-Ko głęb. 455,8 i 473,3 m) zostały przebadane z wykorzystaniem mikroskopy elektronowej CAMECA SX 100. Analizowano skład chemiczny w mikroobszarze wybranych ziaren siarczków i siarkosoli (lokalnie z przerostami faz uwodnionych tlenków Fe+Ti) z użyciem spektrometrów

WDS, przy następujących parametrach: napięcie przyspieszające HV – 20 kV; prąd emisji I<sub>emi</sub> – 60 μA, prąd wiązki I(nA) – 10 nA. Na spektrometrze SP2 (kryształ dyfrakcyjny o podwyższonej czułości LPET; 2d = 8,75; K = 0,000144) analizowano linie energetyczne następujących pierwiastków: S Kα, P Kα, K Kα, Ca Kα, Ag Lα, Sb Lα, Pb Mα. Natomiast na spektrometrze SP3 (kryształ dyfrakcyjny o podwyższonej czułości LLIF; 2d = 4,0267; K = 0,000058) analizowano linie: Ti Kα, Cr Kα, Mn Kα, Fe Kα, Co Kα, Ni Kα, Cu Kα, Zn Kα. Spektrometr SP4 (kryształ dyfrakcyjny TAP 2d = 25,745; K = 0,00218) wykorzystano do analizy linii następujących pierwiastków: Mg Kα, Al Kα, Si Kα, As Lα, natomiast spektrometr SP5 (kryształ dyfrakcyjny PC0, 2d = 45,62; K = 0,0011) do analizy F Kα i Na Kα. Wyniki analiz chemicznych w mikroobszarze przedstawiono w procentach wagowych. Wykonano mappingi (rozkłady intensywności sygnału na zadanym obszarze) przy takich samych parametrach wiązki elektronowej, jak podczas analiz ilościowych. Otrzymane mapy rozkładu poszczególnych pierwiastków i obrazy BSE zostały przetworzone (ponakładane) w programie SX 100 w celu zobrazowania wzajemnych relacji między składnikami w badanych minerałach. Dla podkreślenia istotnych różnic zastosowano sztuczną skalę barw Quanti.

## PETROGRAFIA BADANYCH SKAŁ

Porfiry (ryolitoidy) z rejonu Koziegłów charakteryzują się teksturą porfirową (z przejściami do glomeroporfirowej), bezkierunkową, najczęściej masywną. Tło skalne jest drobno- i mikrokryształiczne, od afanitowego do mikropoikilitowego (przerosty kwarcu i skaleni) z mikrolitami minerałów nieprzezroczystych i mieszanopakietowych; uległo bardzo intensywnym procesom metasomatycznym. Proporcje pomiędzy udziałem mikrokryształicznego tła skalnego a zawartością fenokryształów są zróżnicowane, prawdopodobnie wskutek zrekrytalizowania i przeobrażenia pierwotnie występującego szkliwa. Skała zawiera fenokryształy plagioklastu, kwarcu, podrzędnie skalenia alkalicznego, występujące w różnych proporcjach. Minerały maficzne zwykle są reprezentowane przez intensywnie schlorytyzowany biotyty; spotyka się też pseudomorfozy po minerałach maficznych o niezidentyfikowanym pierwotnym składzie. Plagioklasty o pokroju tabliczkowym, zarówno fenokryształy, jak i listewki tła, są bardzo intensywnie przeobrażone w wyniku albityzacji, chlorytyzacji i niekiedy karbonatyzacji. Prawdopodobnie pierwotnie charakteryzowały się budową pasową – z centrami o składzie oligoklast–andezyn i zewnętrznymi obwódkami odpowiadającymi albitowi i oligoklastowi, ponieważ sporadycznie zachowały się relikty ich pierwotnego

składu chemicznego. Plagioklasty niekiedy tworzą zrosty glomeroporfirowe, a także mają wrostki apatyty, cyrkonu, monacytu i biotyty. Skalenie alkaliczne uległy bardzo intensywnej albityzacji i sporadycznie kaolinityzacji. Kwarc najczęściej ma pokrój charakterystyczny dla wysokotemperaturowego; bywa spękany, ma obtopione kształty, często z zatokami korozyjnymi. Biotyty zawierające wrostki rutylu i apatyty, uległy intensywnej chlorytyzacji. Licznie występują minerały akcesoryczne, takie jak apatyt, cyrkon, monacyt, rutyl, magnetyt i tytanomagnetyt. W próbkach porfirów z Koziegłów natrafiono również na kilka skupień minerałów ziem rzadkich należących do fluorowęglanów (grupa bastnäsytu). Ich skład najbardziej zbliżony jest do minerału synchysite-(Ce) o wzorze Ca(Ce,La)(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>F. Minerały te tworzą skupienia o wielkości maksymalnie około 0,1 mm, zwykle poprzerastane tlenkami tytanu.

Tło skalne uległo intensywnej karbonatyzacji przechodzącej w dolomityzację, albityzacji, sylikfikacji, chlorytyzacji, niekiedy bywa zsercytyzowane. W obrębie tła skalnego jest spotykany ankeryt i wtórne tlenki żelaza. Miejscami zarówno fenokryształy, jak i tło skalne są tak intensywnie przeobrażone, że nie jest możliwe ich rozróżnienie.

## OKRUSZCOWANIE SKAŁ MAGMOWYCH REJONU KOZIEGLÓW

### MINERAŁY Fe I Ti

Niemal we wszystkich badanych próbkach stwierdzono bardzo zbliżone do siebie okruszcowanie pierwotne, powstałe na etapie krystalizacji magmy. Jest ono reprezentowane przez dwa podstawowe minerały: tytanohematyt i młodszy od niego tytanomagnetyt.

**Tytanohematyt** jest rozumiany jako pierwotny minerał, który uległ rozpadowi na ilmenit i hematyt, tworzące równoległe, blaszkowe przerosty, ze zbliżonym udziałem obu minerałów. Kryształy tytanohematytu o pokroju tabliczkowym osiągają wielkość przeważnie poniżej 0,2 mm, maksymalnie 0,4 mm. Niekiedy są otoczone przez narośnięte kryształy magnetytu (zrosty glomerofiorowe). W tytanohematycie w formie wrostków spotyka się cyrkon i apatyt. Stan zachowania tytanohematytu w profilach badanych otworów wiertniczych jest zróżnicowany; dobrze zachowane występują np. w profilu 8-Ko, na głęb. 374,5 m (fig. 2A), czy w profilu 9-Ko na głęb. 522,2 m. Czasami następuje przeobrażenie ilmenitu w tlenki tytanu (rutyl lub anataz) i rekrytalizacja składników. Nieco rzadziej można obserwować zastępowanie hematytu przez piryty, w różnym stopniu, aż do niemal całkowitego zastąpienia tego minerału (fig. 2B). W centrum pierwotnego tytanohematytu ilość Ti jest jeszcze znaczna, wynosząca około 20%, na zewnątrz maleje do około 6% Ti. Często hematyt ulega wylugowaniu, a ilmenit przechodzi w tlenki tytanu i tytanit. Dzieje się tak na przykład w profilu 10-Ko, gdzie intensywność przeobrażeń rośnie wraz z głębokością, a po tytanohematycie pozostały jedynie słabo czytelne relikty w postaci skupień tlenków tytanu.

Szczegółowe analizy chemiczne w mikroobszarze ujawniają w tytanohematycie zawartości  $TiO_2$  od 11,63 do 31,9% (średnio 23,34%). W kilku przypadkach w hematycie stwierdzono obecność niewielkich domieszek Mn.

**Tytanomagnetyt** jest rozumiany jako pierwotny minerał, który uległ rozpadowi na magnetyt i prawdopodobnie ulvit (ulvospinel –  $Fe_2TiO_4$ ) – struktury rozpadu roztworów stałych (fig. 2C). Tworzy on kryształy o pokroju izometrycznym, zwykle hipidio- lub idiomorficzne, o wielkości maksymalnie do 0,65 mm, przeważnie poniżej 0,2 mm. W magnetycie pochodzącym z rozpadu tytanomagnetytu występują niewielkie domieszki  $TiO_2$  dochodzące do 3,53% (średnio 1,78%). Magnetyt przeważnie ulega utlenieniu w hematyt (martytyzacja), niekiedy z zachowaniem reliktyw magnetytu (fig. 2D). Ulvospinel może się utleniać, dając magnetyt i ilmenit, a ilmenit bywa zastępowany przez rutyl. W badanych próbkach pustki po ulvospinelu częściowo są wypełnione rutylem. W tytanomagnetycie podobnie jak w tytanohematycie spotyka się wrostki apatytu. W hematycie powstałym w wyniku martytyzacji magnetytu występuje również domieszka  $TiO_2$  do 4,06% (średnio 1,72%), a więc podobnie jak w pierwotnym magnetycie. We wtórnym hematycie (w trzech punktach na siedem badanych) stwierdzono domieszki wodoru (od 0,6–0,93%  $V_2O_5$ ).

Lokalnie większe kryształy magnetytu są zastępowane prawdopodobnie przez maghemit. Pełna identyfikacja minerału wymagałaby dodatkowych badań, np. metodą spektrometrii mössbauerowskiej. W minerale tym miejscami widoczne są niejednorodności. Tworzą je głównie tlenki Ti i podrzędnie tytanit. Analizy chemiczne w mikroobszarze wykazały zmienną domieszkę  $TiO_2$  dochodzącą do 6,15%, a także domieszkę chromu, która jednak może być wynikiem zanieczyszczenia w trakcie polerowania próbki.

Niekiedy widoczne jest zastępowanie magnetytu przez piryty, a czasem piryty występują w centrum kryształów magnetytu (fig. 2E). W kryształach magnetytu spotyka się wrostki apatytu, niekiedy otoczone obwódką biotytu.

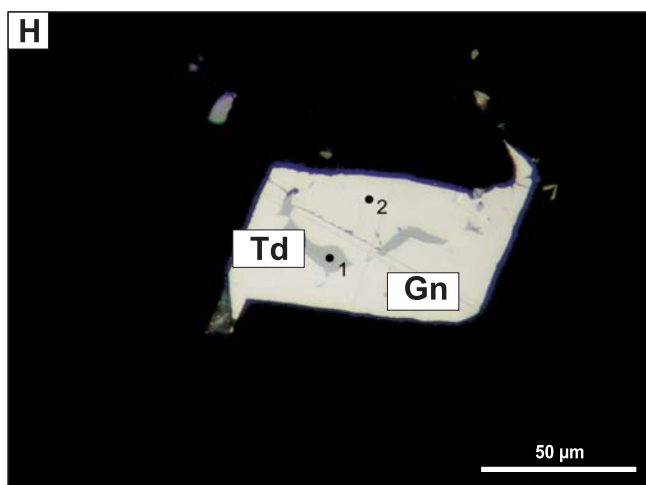
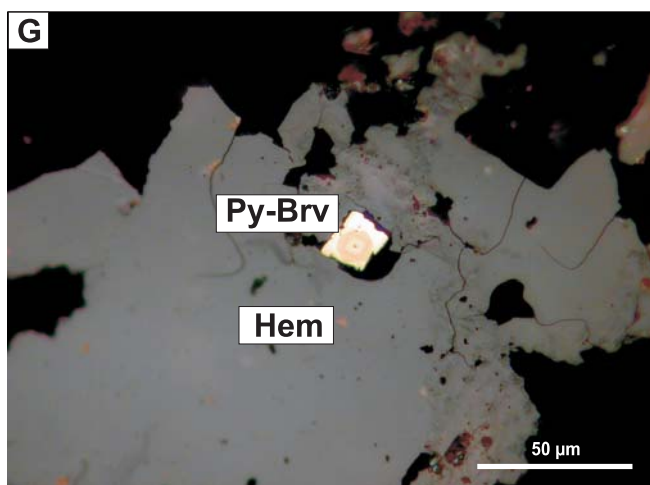
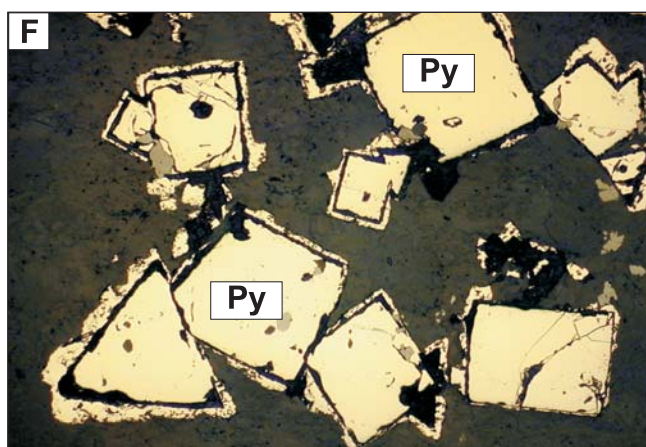
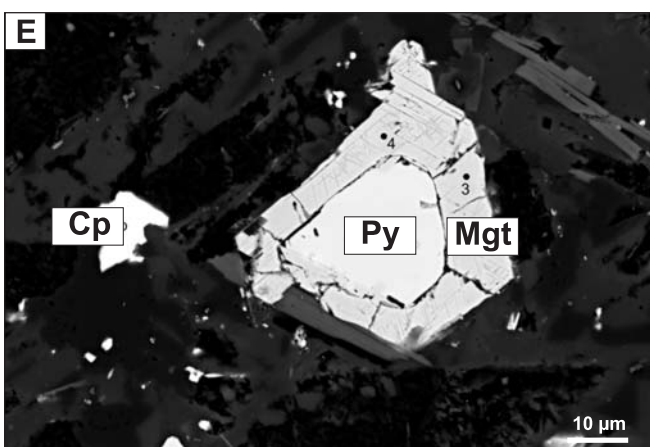
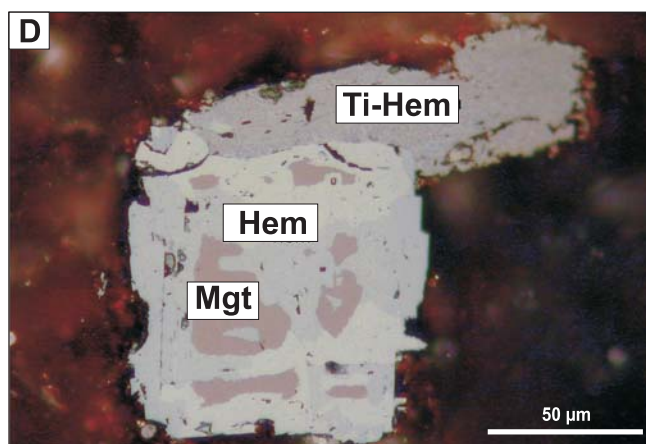
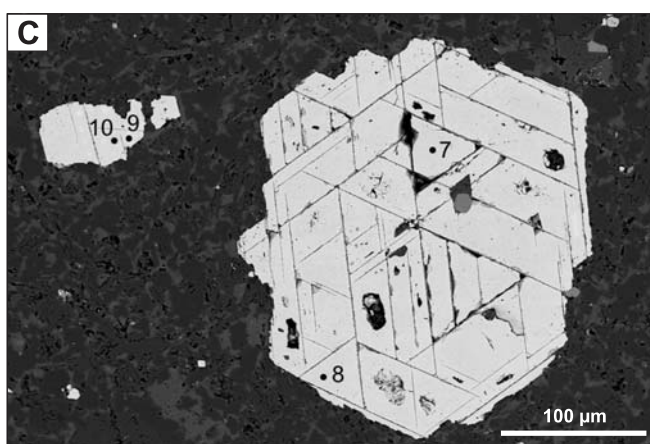
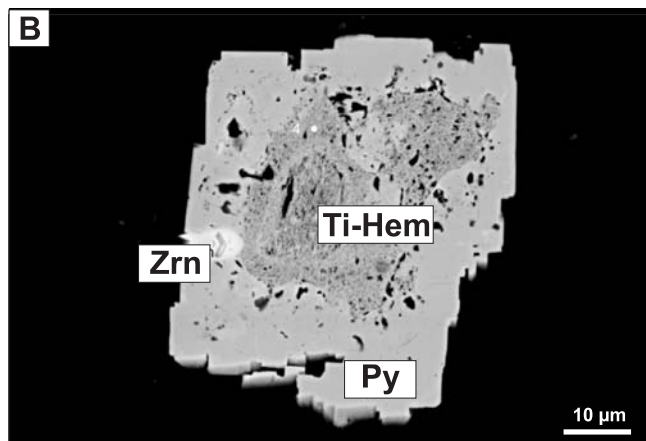
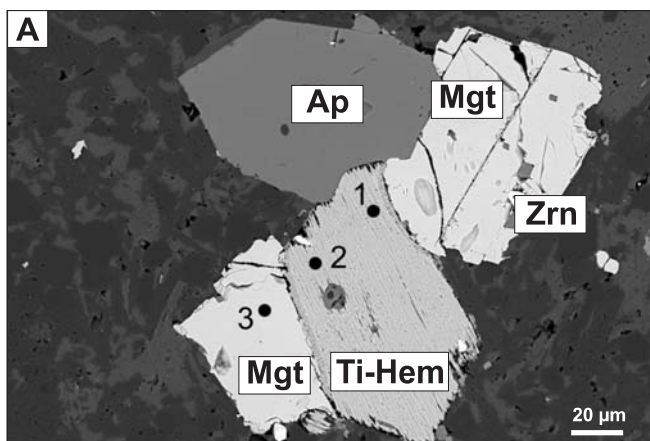
Wtórny (hipergeniczny) minerał Fe jest getyt o pokroju włóknistym, występujący dość często w profilu 5-Ko w próbkach z głęb. 352,5 i 355,8 m, rzadziej w profilu 1-Ko, głęb. 552,9 m, oraz 4-Ko, głęb. 632,5 m (getyt-lepidokrokite tworzące tekstury siatkowe). W profilu 8-Ko na głęb. 580,1 m stwierdzono zastępowanie hematytu wtórnego po magnetycie przez getyt.

Najlepiej zachowane minerały Fe i Ti występują w profilach 8-Ko i 9-Ko, a najsilniejsze ich przeobrażenia stwierdzono w profilach 10-Ko i 3-Ko.

### SIARCZKI, SIARKOSOLE I TELLURKI

Najpowszechniej występującym minerałem siarczkowym w badanych skałach jest **piryt**. Jest on minerałem wtórnym, pochodzenia hydrotermalnego. Najbardziej intensywne procesy pirytyzacji zarejestrowano w profilu 10-Ko oraz lokalnie w profilach 2-Ko i 4-Ko. W ilościach śladowych piryty pojawiają się w próbkach z profili 5-Ko, 7-Ko, 8-Ko i 9-Ko. W profilu 4-Ko szczególnie intensywne okruszcowanie pirytem występuje w próbce lamprofiru z głęb. 494,5 m, gdzie zastępuje także drobne kryształy magnetytu. Z kolei w próbce z profilu 2-Ko (głęb. 617,2 m) można obserwować zmienną intensywność zastępowania hematytu (w tytanohematytach) przez piryty. Piryty najczęściej występują w formie drobnych (poniżej 0,1 mm) hipidiomorficznych kryształów. Jedynie w profilu 10-Ko tworzy większe kryształy do 0,7 mm średnicy, jak również liczne agregaty krystaliczne o wielkości do 2 mm. W pirytyce poza licznymi wrostkami skały płonnej spotyka się wrostki galeny, pirotynu i chalkopiryty, niekiedy również tlenków tytanu. Sporadycznie są widoczne dwie generacje piryty (fig. 2F). W pirytyce często występują drobne domieszki As – do 1,6%.

Spośród badanych profili wyróżnia się 5-Ko, w którym kilka próbek (np. z głęb. 352,5 i 406,5 m) zawiera **bravoit**, rozumiany jako piryty z domieszką Ni i Co (maksymalne zawartości wynoszą odpowiednio 18,87 i 9,43% – tab. 1). Często widoczna jest wyraźna zonalna budowa kryształów (fig. 2G, 3A–H). Suma Ni i Co osiąga do 28,30% w jednym z kryształów w próbce z profilu 5-Ko, z głęb. 406,5 m (tab. 1).



**Fig. 2. Mikrofotografie badanych minerałów kruszczowych**

**A.** Zrost tytanohematytu (Ti-Hem) z magnetytem (Mgt) i apatytem (Ap); wrostek cyrkonu (Zrn) w magnetycie; zdjęcie w świetle elektronów wtórnie rozproszonych (BSE); otwór wiert. 8-Ko, głęb. 374,5 m. **B.** Piryt (Py) z wrostkiem cyrkonu (Zrn) narastający na tytanohematycie (Ti-Hem); zdjęcie w świetle elektronów wtórnie rozproszonych (BSE); otwór wiert. 2-Ko, głęb. 617,2 m. **C.** Titanomagnetyt zastępowany przez hematyt; zdjęcie w świetle elektronów wtórnie rozproszonych (BSE); otwór wiert. 5-Ko, głęb. 352,5 m. **D.** Zrost pierwotnego magnetytu (Mgt) z tytanohematytem (Ti-Hem); magnetyt w większości zastąpiony przez hematyt (Hem); światło odbite, imersja; otwór wiert. 5-Ko, głęb. 355,8 m. **E.** Kryształ magnetytu (Mgt) z pirytem (Py) i chalkopirytu (Cp); zdjęcie w świetle elektronów wtórnie rozproszonych (BSE); otwór wiert. 4-Ko, głęb. 494,5 m. **F.** Dwie generacje pirytu (Py); światło odbite, imersja; otwór wiert. 10-Ko, głęb. 337,0 m. **G.** Kryształ pirytu z wrostkiem bravoitu (Py-Brv); światło odbite, imersja; otwór wiert. 5-Ko, głęb. 352,5 m. **H.** Idiomorficzny kryształ galeny (Gn) z wrostkami tetraedrytu (Td); światło odbite, imersja; otwór wiert. 10-Ko, głęb. 455,8 m

## Microphotographs of studied ore minerals

**A.** Glomerocrysts of titanohematite (Ti-Hem), magnetite (Mgt) and apatite (Ap) with zircon (Zrn) inclusion; back-scatter electron image (BSE); 8-Ko borehole, depth 374.5 m. **B.** Titanohematite (Ti-Hem) is overprinted by pyrite (Py); back-scatter electron image (BSE); 2-Ko borehole, depth 617.2 m. **C.** Titanomagnetite replaced by hematite; back-scatter electron image (BSE), 5-Ko borehole, depth 352.5 m. **D.** The intergrowth of original magnetite with titanomagnetite (Ti-Hem); the magnetite (Mgt) is replaced by hematite (Hem); reflected light, oil immersion; 5-Ko borehole, depth 355.8 m. **E.** Magnetite (Mgt) crystals with pyrite (Py) and chalcopyrite (Cp); back-scatter electron image (BSE); 4-Ko borehole, depth 494.5 m. **F.** Two generations of pyrite (Py); reflected light, oil immersion; 10-Ko, depth 337.0 m. **G.** Pyrite crystal with bravoite inclusion (Py-Brv); reflected light, oil immersion; 5-Ko, depth 352.5 m. **H.** Idiomorphic galena (Gn) crystal with inclusion of tetrahedrite (Td); reflected light, oil immersion; 10-Ko borehole, depth 455.8 m

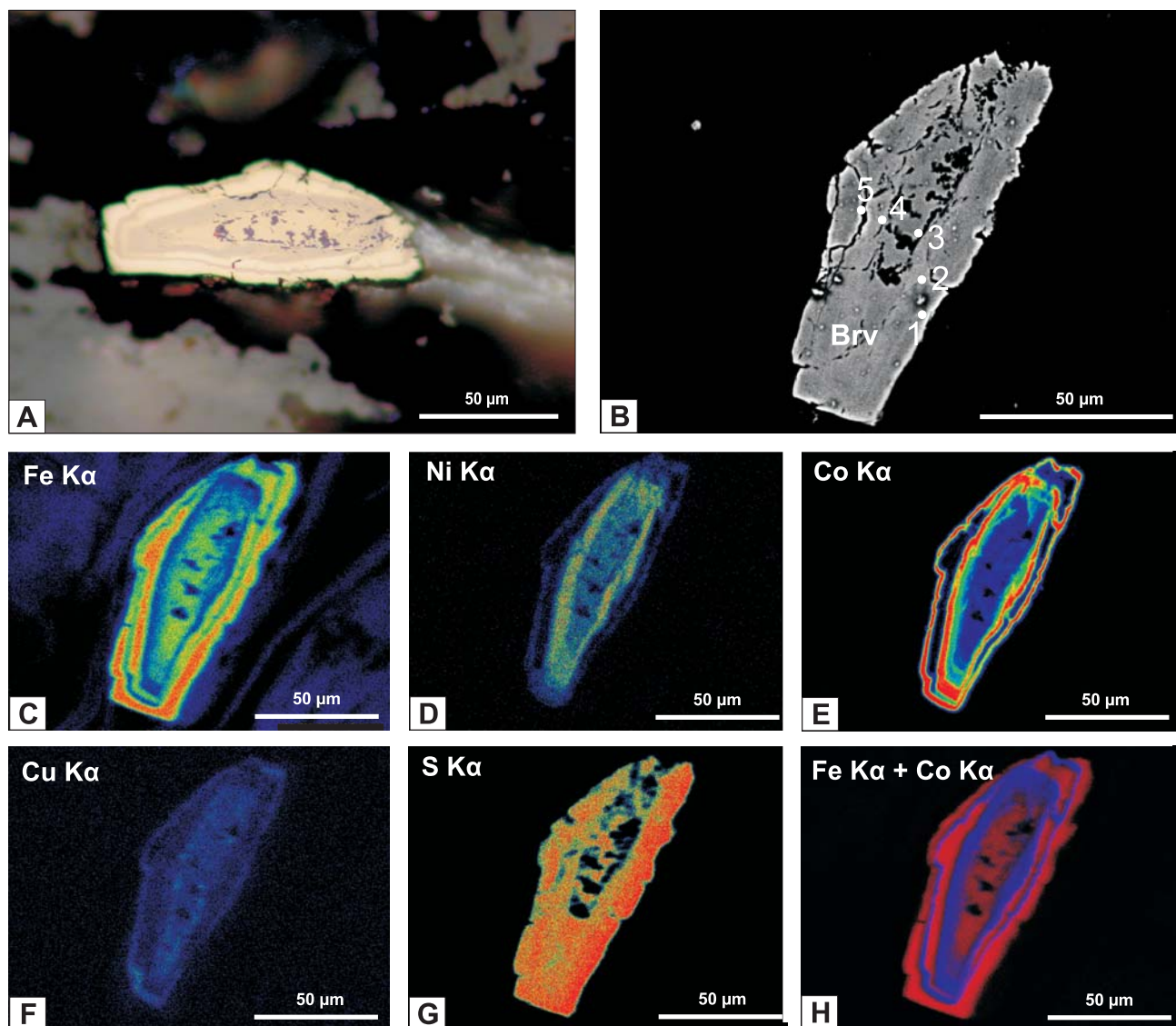
**Tabela 1****Wybrane analizy chemiczne w mikroobszarze bravoitu**

Selected chemical analyses (EPMA) of bravoite

	Profil otworu wiertniczego									
	2-Ko	2-Ko	5-Ko	5-Ko	5-Ko	5-Ko	5-Ko	5-Ko	5-Ko	5-Ko
Głębokość [m]	617,2	617,2	352,5	352,5	352,5	352,5	406,5	406,5	406,5	406,5
Punkt	p. 4	p. 5	p. 1	p. 2	p. 3	p. 4	fig. 3B, p. 1	fig. 3B, p. 2	fig. 3B, p. 3	fig. 3B, p. 4
S	44,77	30,42	54,18	53,33	52,97	53,44	53,06	52,22	50,44	51,55
Fe	40,63	28,91	41,71	40,83	40,96	39,07	43,32	19,58	33,24	21,17
Co	×	×	2,1	1,4	2	2,04	1,96	9,43	3,62	7,56
Ni	×	×	2,14	3,61	2,31	4,51	1,48	18,87	9,14	17,28
Cu	×	×	×	×	×	×	×	×	×	x
As	1,6	1,03	×	×	×	×	×	0,64	–	0,54
Ti	6,38	20,3	×	×	×	×	×	×	2,48	x
Sr	×	×	×	×	×	×	0,51	×	0,85	0,5
Si	×	×	×	×	×	0,24	×	×	×	×
O	7,26	17,9	×	×	×	×	×	×	×	×
Suma	100,64	98,56	100,13	99,17	98,24	99,3	100,65	100,74	99,75	98,6

× – nie analizowano

× – not analysed



**Fig. 3.** Kryształ bravoitu z próbki pobranej z profilu otworu wiertniczego 5-Ko (głęb. 406,5 m)

**A.** Bravoit, mikrofotografia w świetle odbitym, immersja. **B.** Zdjęcie bravoitu w świetle elektronów wtórnie rozproszonych (BSE) z zaznaczonymi punktami analiz chemicznych w mikroobszarze. **C.** Mapa WDS rozkładu Fe (linia Fe  $K\alpha$ , kryształ LLIF). **D.** Mapa WDS rozkładu Ni (linia Ni  $K\alpha$ , kryształ LLIF). **E.** Mapa WDS rozkładu Co (linia Co  $K\alpha$ , kryształ LLIF). **F.** Mapa WDS rozkładu Cu (linia Cu  $K\alpha$ , kryształ LLIF). **G.** Mapa WDS rozkładu S (linia S  $K\alpha$ , kryształ LPET). **H.** Mix (kombinacja) map WDS rozkładu Fe i Co (linie  $K\alpha$  dla obu pierwiastków, kryształ LLIF)

#### Bravoite crystal from 5-Ko borehole (depth 406.5 m)

**A.** Bravoite, reflected light, oil immersion. **B.** Back-scatter electron image (BSE) of bravoite with location of chemical micro-analyses. **C.** Wavelength-dispersive X-ray maps of distribution of Fe (Fe  $K\alpha$ -line, LLIF diffraction crystal). **D.** Wavelength-dispersive X-ray maps of distribution of Ni (Ni  $K\alpha$ -line, LLIF diffraction crystal). **E.** Wavelength-dispersive X-ray maps of distribution of Co (Co  $K\alpha$ -line, LLIF diffraction crystal). **F.** Wavelength-dispersive X-ray maps of distribution of Cu (Cu  $K\alpha$ -line, LLIF diffraction crystal). **G.** Wavelength-dispersive X-ray maps of distribution of S (S  $K\alpha$ -line, LPET diffraction crystal). **H.** Combination of map of distribution of Fe and Co (Fe  $K\alpha$ -line and Co  $K\alpha$ -line, LLIF diffraction crystal)

Innym dość powszechnie występującym siarczkiem, ale w ilościach śladowych, jest **chalkopiryt**. Jego obecności nie zanotowano jedynie w próbkach z profilu: 1-Ko, 2-Ko, 3-Ko, 8-Ko i 3-WB. Największe kryształy chalkopiryty (0,15 mm) stwierdzono w lamprofirze (4-Ko, głęb. 494,5 m). W profilu 10-Ko chalkopiryt występuje niekiedy jako wrostki w piryocie, obok galeny i rzadziej pirotytynu. Lokalnie tworzy zrosty z galeną, sfalerytem i minerałami z szeregu tennantyt–tetraedryt. W takich zrostach wykazuje on domieszkę As do 1,36%.

**Galena** jest rzadziej spotykana niż chalkopiryt. Występuje głównie w profilu 10-Ko, przede wszystkim w formie wrostków w piryocie, rzadziej samodzielnie w postaci ksenomorficznych kryształów o wielkości maksymalnie 0,2 mm, najczęściej poniżej 0,1 mm. Na głęb. 455,8 m napotkano idiomorficzny kryształ galeny występujący w skupieniu ankerytu, wewnątrz z wrostkami tetraedrytu (fig. 2H). W profilu 5-Ko, głęb. 352,5 m, galena zastępuje skupienie piryot–bravoit.

Tabela 2

Wybrane analizy chemiczne w mikroobszarze tennantytu i tetraedrytu  
Selected chemical analyses (EPMA) of tennantite and tetraedryte

	Profil otworu wiertniczego													
	10-Ko	10-Ko	10-Ko	10-Ko	10-Ko	10-Ko	10-Ko	10-Ko	10-Ko	10-Ko	10-Ko	10-Ko	10-Ko	10-Ko
Głębokość [m]	368,0	368,0	368,0	455,8	473,3	473,3	473,3	473,3	473,3	473,3	473,3	473,3	473,3	482,7
Punkt	p. 3	p. 4	p. 5	fig. 2H, p. 1	fig. 4B, p. 1	fig. 4B, p. 3	fig. 4B, p. 4	fig. 4B, p. 5	fig. 4B, p. 6	fig. 4B, p. 9	fig. 4B, p. 10	fig. 4B, p. 11	fig. 4B, p. 14	p. 6
S	24,69	24,03	24,83	24,27	25,65	24,87	25,80	26,1	24,65	25,84	25,95	24,72	25,44	26,32
Fe	2,36	1,47	1,76	–	1,14	0,81	1,33	1,25	1,13	1,04	1,34	1,01	1,76	1,39
Zn	7,47	7,17	7,81	7,93	8,70	7,75	7,91	7,87	6,32	7,09	6,82	8,60	7,03	8,88
Cu	36,90	34,91	36,87	35,84	38,51	37,34	38,63	38,92	37,55	40,12	38,05	38,46	40,17	39,09
As	18,65	14,39	18,35	5,21	15,51	10,69	14,15	18,06	7,76	18,24	12,12	10,68	17,74	24,13
Sb	1,35	0,43	1,76	25,57	10,65	17,54	12,87	7,64	21,74	7,99	15,73	15,91	7,63	–
Bi	7,89	16,79	7,52	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
Ag	×	×	×	1,31	×	×	×	–	0,85	–	–	–	×	–
Suma	99,31	99,19	98,90	100,13	100,16	99,00	100,69	99,84	100,00	100,32	100,01	99,38	99,77	99,81

× – nie analizowano, „–” – zawartość poniżej poziomu wykrywalności

× – not analysed, “–” – concentration below detection limit

Tabela 3

Wybrane analizy chemiczne w mikroobszarze hessytu  
Selected chemical analyses (EPMA) of hessite

	Otwór wiertniczy				
	10-Ko	10-Ko	10-Ko	10-Ko	10-Ko
Głębokość	375,0	375,0	375,0	375,0	375,0
Punkt	p. 4	p. 5	p. 6	p. 7	p. 8
Ag	61,62	53,00	52,85	59,33	58,56
Te	37,06	33,79	35,01	36,09	35,80
S	–	0,42	0,32	–	–
Fe	1,34	1,13	0,71	1,17	1,1
Au	–	–	–	–	–
Suma	100,02	88,34	88,89	96,59	95,46

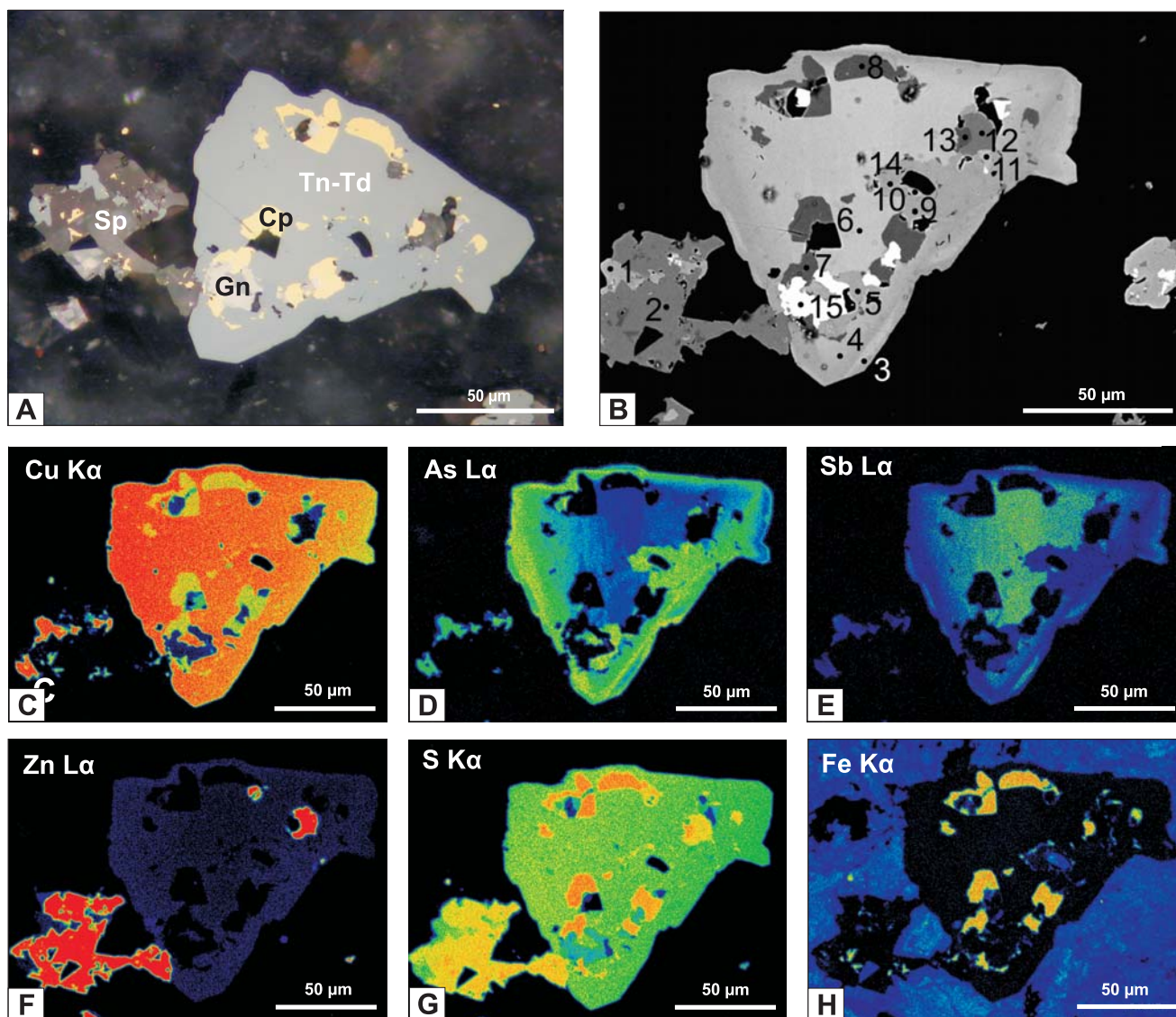
Minerały szeregu **tennantyt–tetraedryt** napotkano jedynie w profilu 10-Ko, w próbkach z głęb. 368,0; 455,8; 473,3 i 482,7 m. Jak już wspomniano, minerały te często tworzą zrosty z galeną, sfalerytem i chalkopirytym, a w przypadku próbki z głęb. 455,8 m, są to wrostki w galenie (fig. 2H). Z kolei na głęb. 368,0 m napotkano w pirycie drobne (do 30  $\mu\text{m}$ ) wrostki rzadko spotykanego minerału – tennantytu bizmutowego (**annivite**):  $\text{Cu}_{10}(\text{Zn}, \text{Fe})_2(\text{As}, \text{Bi}, \text{Sb})_4\text{S}_{13}$ , z zawartością 7,52–16,79% wag. Bi, o dużej zmienności składu (tab. 2).

Minerały szeregu tennantyt–tetraedryt wykazują niekiedy budowę zonalną (fig. 4) i cechują się dużymi wahaniami

zawartości As (5,21–24,13%) i Sb (do 25,57%) (tab. 2). W dwóch przypadkach w tetraedrytach ujawniono domieszkę srebra do 1,31% (tab. 2). Wraz z galeną, sfalerytem i chalkopirytym stanowią najmłodszą asocjację mineralną związaną z pomagmowymi procesami hydrotermalnymi (fig. 4 A–H).

Minerałom szeregu tennantyt–tetraedryt w profilu 10-Ko (w próbkach z głęb. 473,3 i 482,7 m) towarzyszy **sfaleryt** (fig. 4 A, B, F). Sfaleryty zawierają niewielkie domieszki Fe od 0,75 do 2,50% wag. oraz Cu od 0,98 do 3,45% wag.

**Bornit** stwierdzono w profilu 3-WB (głęb. 358,0 m), 4-Ko (głęb. 494,5 m) i 10-Ko (głęb. 368,0 m). W otworze 3-WB tworzy wrostki o wielkości 4  $\mu\text{m}$  w kryształach tytano-



**Fig. 4.** Zrosty mineralne galeny (Gn), sfalerytu (Sp), chalkopirytu (Cp) i minerałów szeregu tennantyt–tetraedryt (Tn-Td) w próbce z profilu otworu wiertniczego 10-Ko (głęb. 473,3 m)

**A.** Analizowana próbka, światło odbite, immersja. **B.** Zdjęcie w świetle elektronów wtórnie rozproszonych (BSE) z zaznaczonymi punktami analiz chemicznych w mikroobszarze. **C.** Mapa WDS rozkładu Cu (linia Cu K $\alpha$ , kryształ LLIF). **D.** Mapa WDS rozkładu As (linia As L $\alpha$ , kryształ LTAP). **E.** Mapa WDS rozkładu Sb (linia Sb L $\alpha$ , kryształ PET). **F.** Mapa WDS rozkładu Zn (linia Zn L $\alpha$ , kryształ LTAP). **G.** Mapa WDS rozkładu S (linia S K $\alpha$ , kryształ LPET). **H.** Mapa WDS rozkładu Fe (linia Fe K $\alpha$ , kryształ LLIF)

Intergrowths of galena, sphalerite, chalcopyrite and tennantite–tetrahedrite minerals from 10-Ko borehole (depth 473.3 m)

**A.** Analysed sample reflected light, oil immersion. **B.** Back-scatter electron image (BSE) of analysed sample with location of chemical micro-analyses. **C.** Wavelength-dispersive X-ray maps of distribution of Cu (Cu K $\alpha$ -line, LLIF diffraction crystal). **D.** Wavelength-dispersive X-ray maps of distribution of As (As L $\alpha$ -line, LTAP diffraction crystal). **E.** Wavelength-dispersive X-ray maps of distribution of Sb (Sb L $\alpha$ -line, PET diffraction crystal). **F.** Wavelength-dispersive X-ray maps of distribution of Zn (Zn L $\alpha$ -line, LTAP diffraction crystal). **G.** Wavelength-dispersive X-ray maps of distribution of S (S K $\alpha$ -line, LPET diffraction crystal). **H.** Wavelength-dispersive X-ray maps of distribution of Fe (Fe K $\alpha$ -line, LLIF diffraction crystal)

magnetytu z widocznymi strukturami rozpadu roztworów stałych, natomiast w otworze 4-Ko występuje jako drobne wrostki w kryształach chalkopirytu. W 10-Ko tworzy zrosty z pirytem.

**Pirotyn** stwierdzono jedynie w otworze 10-Ko, jako drobne wrostki w pirycie, sporadycznie w postaci samodzielnych kryształów (głęb. 368,0 m).

W jednym przypadku (w otworze 10-Ko na głębokości 375,0 m) natrafiono na **hessyt** (Ag<sub>2</sub>Te) występujący w formie wrostków w pirycie. Większy z wrostków ma wielkość około 20  $\mu$ m. Hessyt zawiera niewielką domieszkę Fe, lecz nie zawiera złota (tab. 3).

## WNIOSKI

1. Porfiry rejonu Kozieglów charakteryzują się jednorodnym okruszcowaniem pierwotnym, złożonym z tytanohematytu (w postaci struktur rozpadu roztworów stałych złożonych z ilmenitu i hematytu) i tytanomagnetytu (w postaci struktur rozpadu roztworów stałych z zachowanym jedynie magnetitem), nieco młodszego względem tytanohematytu.

2. Seria skał magmowych występująca w rejonie Kozieglów uległa bardzo intensywnym procesom wtórnym, takim jak: albityzacja, chlorytyzacja, karbonatyzacja, a także serycytyzacja, dolomityzacja i feldspatyżacja, które spowodowały intensywne przeobrażenie występujących tam fenokryształów i tła skalnego, a także uruchomienie zarówno pierwiastków głównych, jak i śladowych.

3. Z procesami metasomatycznymi jest związane okruszcowanie pirytem (lokalnie pirytem Ni-Co).

4. Kolejnym etapem były słabo zaznaczone procesy hydrotermalne z przejawami mineralizacji kruszcowej, najsilniej rozwiniętej w otworze 10-Ko. Śladowe okruszcowanie jest reprezentowane przez chalkopiryt, galenę, tennantyt-te-

traedryt (wraz z odmianą bizmutową – annivitem), sfaleryt, bornit, pirotyn i hessyt.

5. Charakter procesów metasomatycznych i okruszcowania jest zbliżony z obserwowanym w strefie peryferycznej złoża Myszków (Lasoń, 2003), a więc odpowiada procesom zachodzącym w odległości około 500–700 m od centrum złożowej mineralizacji Mo-Cu-W typu porfirowego. W opracowaniu Oszczepalskiego i in. (2008) wytypowano obszar prognostyczny obejmujący rejon Mysłowa i otwór 6-WB nawierający porfiry intruzji kozieglowskiej w jej południowo-wschodniej części. W śródporfirowej enklawie kwarcytów karbońskich stwierdzono tam zawartość Mo wynoszącą 887 ppm. Nie można wykluczyć, że badane otwory rejonu Kozieglów nawierają strefę peryferyczną nierozpoznanego dotychczas ciała kruszcowego, znajdującego się przypuszczalnie w rejonie otworu 10-Ko.

*Badania zostały sfinansowane ze środków statutowych Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego (temat nr 61.2501.0702.00.0).*

## LITERATURA

- BUŁA Z., 1994 — Problemy stratygrafii i wykształcenia osadów starszego paleozoiku północno-wschodniego obrzeżenia GZW. Przew. 65 Zjazdu Pol. Tow. Geol. Sosnowiec. *Pr. Nauk. UŚL.*, **1431**: 31–57.
- BUŁA Z., HABRYN R. (red.), 2008 — Atlas geologiczno-strukturalny podłoża paleozoicznego Karpat Zewnętrznych i zapadliśka przedkarpacciego. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- BUŁA Z., ŻABA J., 2005 — Pozycja tektoniczna Górnośląskiego Zagłębia Węglowego na tle prekambryjskiego i dolnopaleozoicznego podłoża. Przew. LXXVI Zjazdu Nauk. PTG: 14–42. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- GÓRECKA E., NOWAKOWSKI A., 1979 — Ore deposits associated with acidintrusives and related rocks in the Zawiercie region. *W: Research on the genesis zinc-lead deposits of Upper Silesia, Poland. Pr. Inst. Geol.*, **95**: 97–107.
- LASOŃ K., 2003 — Geochemia molibdenowo-wolframowego złoża porfirowego Myszków. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **405**: 87–108.
- MARKIEWICZ J., 2002 — Główne cechy rozwoju magmatyzmu w krąwędziowych częściach bloku górnośląskiego i małopolskiego. Centr. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- MARKIEWICZ J., MARKOWIAK M., 1998 — Inwentaryzacja (kolekcja skał i baza danych) paleozoicznych skał krystalicznych i piroklastycznych regionu krakowsko-częstochowskiego. Centr. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- NAWROCKI J., LEWANDOWSKA A., FANNING M., 2007 — Wiek izotopowy a wiek paleomagnetyczny ryodacytów z Zalasza koło Krakowa (S Polska). *Prz. Geol.*, **55**: 475–478.
- NAWROCKI J., FANNING M., LEWANDOWSKA A., POLECHOŃSKA O., WERNER T., 2008 — Palaeomagnetism and the age of the Cracow volcanic rocks (S Poland). *Geoph. J. Inter.*, **174**: 475–488.
- NAWROCKI J., KRZEMIŃSKI L., PAŃCZYK M., 2010 — <sup>40</sup>Ar–<sup>39</sup>Ar ages of selected rocks and minerals from the Kraków–Lubliniec Fault Zone and its relation to Palaeozoic structural evolution of the Małopolska and Brunovistulian terranes (S Poland). *Geol. Quart.*, **54**: 289–300.
- OSZCZEPALSKI S., MARKOWIAK M., BUŁA Z., LASOŃ K., MIKULSKI S., HABRYN R., TRUSZEL M., PAŃCZYK M., SIKORA R., WOŹNIAK P., MUCHA J., WASILEWSKA M., KARWOWSKI Ł., MARKIEWICZ J., WOJCIECHOWSKI A., URBAŃSKI P., SATERNUS A., CUDAK J., BRAŃSKI P., 2008 — Prognoza złożowa podłoża paleozoiczno-prekambryjskiego NE obrzeżenia GZW. Centr. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- WIELGOMAS L. i in., 1991 — Dokumentacja geologiczna – rejon Kozieglowy. Centr. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- ŻABA J., 1999 — Ewolucja strukturalna utworów dolnopaleozoicznych w strefie granicznej bloków górnośląskiego i małopolskiego. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, **166**: 1–162.
- ŻELAŻNIEWICZ A., PAŃCZYK M., NAWROCKI J., FANNING M., 2008 — A Carboniferous/Permian, calc-alkaline, I-type granodiorite from the Małopolska Block, Southern Poland: implications from geochemical and U-Pb zircon age data. *Geol. Quart.*, **52**: 301–308.

## SUMMARY

The intensely metasomatised magmatic intrusion from Koziegłowy is located within the northeastern part of Upper Silesian Block close to the Kraków–Lubliniec Fault Zone. Detailed mineralogical studies (including electron probe microanalyses) revealed the presence of ores minerals, such as: titanohematite, titanomagnetite, chalcopyrite, galena, tennantite–tetrahedrite, annivite, sphalerite, bornite and hessite. The studied rocks are characterized by similar paragenesis of primary ore minerals: titanohematite and titanomagnetite, which preserved as relicts. The rocks were strongly altered

by sodium and calcium metasomatic processes, associated with pyrite crystallization (the second stage of crystallization of ore minerals). The last stage of ore mineralization can be related to postmagmatic hydrothermal processes. Ores, such as: chalcopyrite, galena, tennantite–tetrahedrite, annivite, sphalerite, bornite and hessite, are characteristic and associated with outer zone of hydrothermal alteration developing around the magmatic intrusions. Most probably, the identified poor ore mineralization represents the peripheral zone of undiscovered ore deposits.