

## O katodoluminescencji sudeckich kwarców żyłowych

Krystyna Wołkowicz\*

W kwarcu stanowiącym składnik mono- i polimineralnych sudeckich utworów żyłowych wydzielono cztery odmiany luminescencyjne związane głównie z jego genezą, wykształceniem, obecnością różnego rodzaju zanieczyszczeń i deformacjami sieci krystalicznej. Próbkę z żył kwarcowych metamorfiku izerskiego i granitoidu strzegomskiego charakteryzuje krótkotrwała granatowa, żółta oraz długotrwała ciemnobrązowa i zielonkawa luminescencja. Sporadycznie notowano budowę pasową. Występuje tu także kwarc nie wykazujący świecenia. Kryształy pochodzące z żył kwarcowych w intruzji granitowej Karkonoszy wykazują budowę sektorową oraz oscylacyjną pasową w barwach: beżowej, brunatnej, zielonej, czerwonej. Kwarc pochodzący z żył kwarcowo-polimetalicznych Sudetów często charakteryzuje się budową pasową i sektorową o zielonkawo-brunatnej luminescencji. Miejscami wykazuje też brązowe lub intensywnie żółte świecenie. Często możliwe jest wydzielenie kilku generacji kwarcu i powiązanie ich z paragenetami kruszcowymi. Najbardziej intensywną luminescencją w barwach żółto-brązowej i jasnozielonkawo-brunatnej charakteryzuje się większość badanych kwarców pochodzących ze złóż barytu. Typowa jest tu też budowa pasowa i sektorowa. Barwy luminescencyjne kwarcu wiąże się z obecnością zanieczyszczeń chemicznych (Al, Na, OH) lub z defektami struktury kryształów, natomiast intensywność luminescencji zależy od obecności wrostków, inkluzji i spękań.

**Słowa kluczowe:** kwarc, kwarc żyłowy, katodoluminescencja, Sudety

Krystyna Wołkowicz — On the cathodoluminescence studies of the Sudetic vein quartz (SW Poland). *Prz. Geol.*, 48: 625–633.

*Summary.* Quartz crystals, being a component of mono- and polyminerale vein rocks from the Sudetes, represent four luminescence varieties related to different genesis, development, type and volume of impurities and lattice deformations. Samples from the quartz veins in the Iżera metamorphic unit and the Strzegom granitoid exhibit a short-lived navy blue luminescence and a long-lived dark brown and greenish one. Sporadically a zonal structure was observed as well as quartz grains without luminescence. Quartz crystals from quartz veins in the Karkonosze granitoid intrusion show a sector and an oscillatory zonal structure in beige, russet, green and red colours. Crystals taken from quartz-polymetallic veins from the Sudetes are often characterized with a zonal and a sector structure with a greenish-russet luminescence and locally they exhibit brown and intensive yellow luminescence. Frequently several quartz generations are possible to distinguish, referred to specific ore paragenesis. The most intensive luminescence of yellow-brown and light green-russet colours as well as a sector and a zonal structure are typical for the majority of quartz crystals found in the barite ore-deposits. Luminescence colours of quartz result from an occurrence of chemical impurities (Al, Na, OH) or from defects of crystals structure. Luminescence intensity depends on a presence of inclusions and fissures.

**Key words:** quartz, vein quartz, cathodoluminescence, Sudety Mts

W mozaikowej strukturze Sudetów żyły kwarcowe występują pospolicie, powstawały w ciągu bogatej historii geologicznej tego obszaru we wszystkich jednostkach strukturalnych. Stworzenie czasowo-przestrzennego modelu żyłowej mineralizacji kwarcowej, skorelowanie jej przejawów w różnych elementach strukturalnych byłoby cennym uzupełnieniem obrazu ewolucji Sudetów. Jedną z metod służących do osiągnięcia tego celu jest katodoluminescencja (CL). Metoda ta zastosowana do zbadania kwarcu żyłowego z Marcinkowa (metamorfik Śnieżnika) umożliwiła wydzielenie generacji kwarcu żyłowego i powiązanie ich z paragenetami kruszcowymi (Wołkowicz, 1996). Otrzymane wyniki stały się zachętą do zastosowania CL w szerszych badaniach kwarcu żyłowego z obszaru Sudetów.

Obszery, choć wobec zakrycia terenu, z pewnością niekompletny wykaz żył kwarcowych zawiera monografia *Minerały Dolnego Śląska* (Lis & Sylwestrzak, 1986). Przebieg żył w terenie jest przedstawiony na *Szczegółowych mapach geologicznych Sudetów w skali 1 : 25 000*. Wystąpienia kwarcu żyłowego na tym obszarze były w ostatnich dziesięcioleciach przedmiotem licznych opracowań petrograficznych, złożowych, mineralogicznych, geochemicznych (m.in. Walenczak, 1966, 1969; Kozłowski, 1973) i termobarometrycznych (m.in. Pawłowska, 1973; Kozłowski, 1973, 1978; Kozłowski & Karwowski, 1972, 1973).

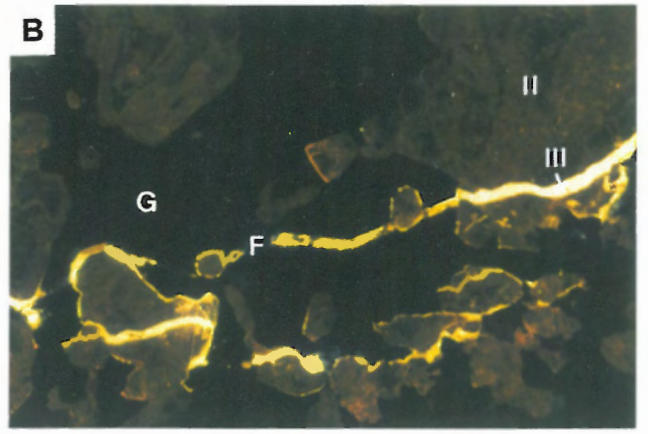
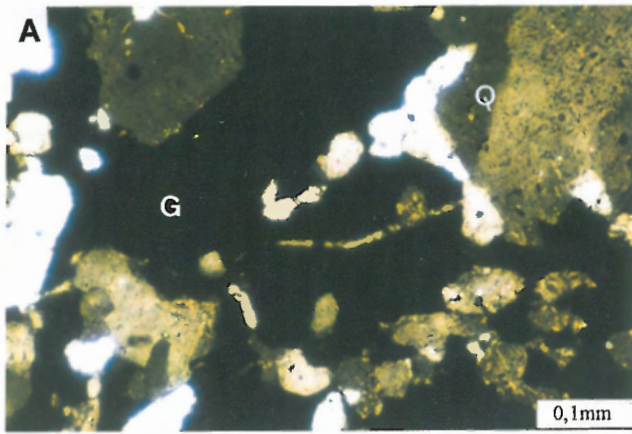
Badaniami objęto kwarc stanowiący składnik mono- i polimineralnych sudeckich utworów żyłowych o różnej genezie. Analizowany materiał skalny pobrano z kamieniołomów, hałd oraz z odsłoneń naturalnych. Próbkę pochodzą z żył kwarcowych, kwarcowo-polimetalicznych i barytowych z fluorytem i kwarcem znajdujących się w różnych jednostkach tektonicznych (wg podziału Oberca, 1972). Lokalizację punktów pobrania próbek przedstawia ryc. 1.

### Zarys genezy badanych kwarców żyłowych

Geneza utworów kwarcowych w metamorfiku izerskim wiąże się z uruchomieniem krzemionki ze skał metamorficznych lub z dopływem roztworów niskotemperaturowych powodujących sylikację skały i krystalizację kwarcu. Procesy te były wieloetapowe. Młodoasyntyjskie skały kwarcowe Pogórza Iżerskiego powstawały przez selektywną sylikację skał starszych od granitu rumburskiego; waryscyjskie przez wypełnienie szczelin tektonicznych, często w obrębie starszych skał kwarcowych (Kotowski, 1972). Żyły hydrotermalne w strefie izerskiej tworzyły się w przedziałach temperatur 440–390°C, 370–210°C, 230–120°C, w granicie karkonoskim w interwale 500–400°C z roztworów bogatych w CO<sub>2</sub>, F, B, Li, Na i Ba (Kozłowski, 1978).

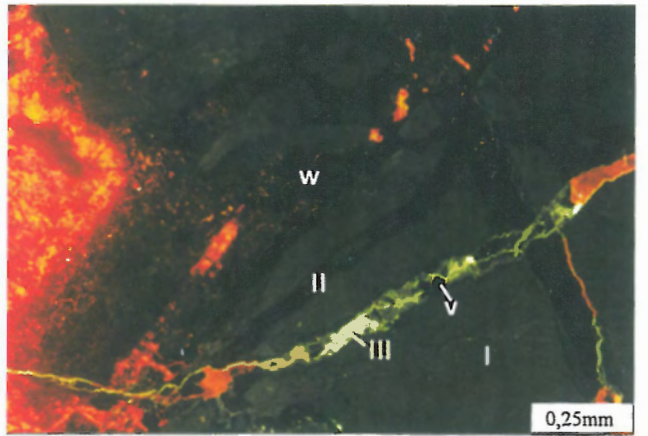
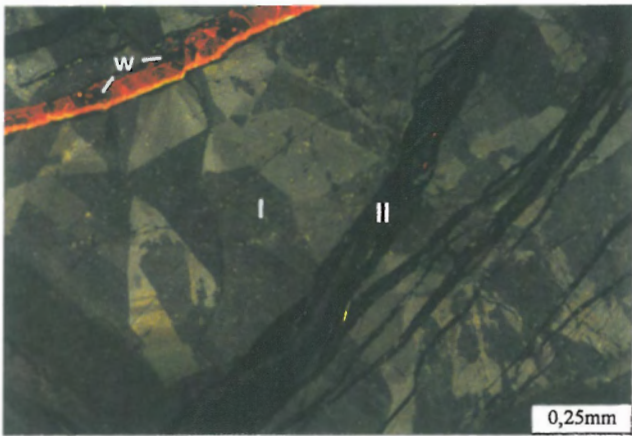
Żyły kwarcowe związane z intruzją granitu Strzegom-Sobótka powstały wskutek działalności słabo alkalicznych roztworów hydrotermalnych, zawierających głównie aniony Cl<sup>-</sup> i HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> i kationy Li<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, które wtargnęły w strefy naruszone tektonicznie i wypierając

\*Państwowy Instytut Geologiczny, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa, e-mail: kwol@pigi.waw.pl



**Ryc. 6.** Krzyżowa Łąka; A — XP, asocjacja kwarcu (Q) i galeny (G); B — CL, skupienia brązowo świecącego kwarcu II i galeny (G) spękane i zabliźnione wykazującym żółtą luminescencję kwarcem III i ciemnofioletowym fluorytem (F)

**Fig. 6.** Krzyżowa Łąka; A — XP, quartz (Q) and galena (G) association; B — CL, the brown quartz II and galena (G) aggregations are cataclased and healed with quartz III (yellow luminescent) and fluorite (F; dark violet)



**Ryc. 7.** Radzimowice; CL; widoczne dwie generacje kwarcu oraz żyłka węglanowa. Kwarc najstarszy (I) wykazuje budowę sektorową i słabą pasową w barwach zielonkawo-brunatnych, kwarc młodszy (II) nie świeci, węglany nie wykazują luminescencji (w) lub świecą na czerwono

**Fig. 7.** Radzimowice; CL; two quartz generations and carbonate veinlet are visible. The oldest quartz shows the sector and weakly visible zonal structure in greenish-russet colour, younger quartz (II) is non-luminescent, the carbonates are red or non-luminescent (w)

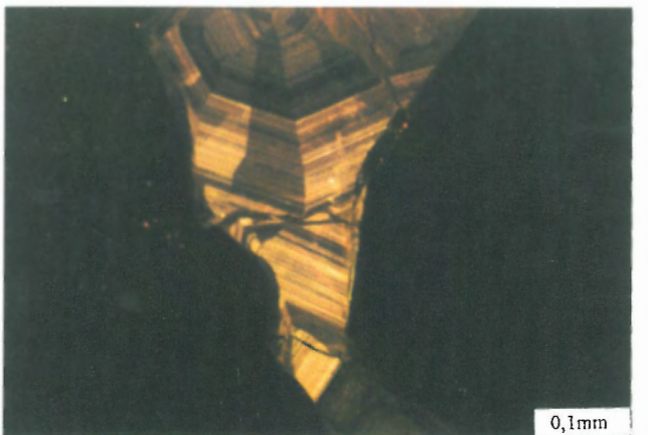
**Ryc. 8.** Radzimowice; CL, w brunatnawo świecącym najstarszym kwarcu (I) pęknięcia zabliźnione węglanami nie wykazującymi luminescencji (w) oraz świecącymi czerwono i żółto, a także kwarcem (II), w którym nie stwierdzono luminescencji; widoczne najmłodsze żyłki jasnożółtego kwarcu (III) w asocjacji z węglanami świecącymi czerwono i nie wykazującymi luminescencji (v)

**Fig. 8.** Radzimowice; CL, microfractures in the oldest russet luminescent quartz (I) filled with non-luminescent carbonates (w) and those red or yellow ones as well as with non-luminescent quartz (II); light yellow quartz (III) in association with red and non-luminescent (v) carbonate in the youngest veinlets



**Ryc. 9.** Kletno; CL; fragment kryształu kwarcu z widocznymi strukturami przyrostowymi podkreślonymi obecnością wrostków, m. in. fluorytu (F). Słabo widoczna budowa pasowa i sektorowa kwarcu (Q) w odcieniach brunatnych i zielonych. Fluoryt wykazuje ciemnoniebieską luminescencję

**Fig. 9.** Kletno; CL; fragment of the quartz crystal. Growth structures are marked by mineral inclusions, e.g. fluorite (F). The zonal and sector structures in russet and green tints are weakly visible in the quartz. Fluorite shows the dark blue luminescence



**Ryc. 10.** Stanisławów; CL; widoczna budowa pasowa i słaba sektorowa kwarcu pierwszej generacji wykazującego żółto-brązową luminescencję. Siarczki nie wykazują luminescencji

**Fig. 10.** Stanisławów; CL; the zonal and indistinct sector structures in yellow-brown colours of first quartz generation. Sulphides are non-luminescent

strowała dynamiczne odkształcenia struktury sieciowej przejawiające się wygaszaniem falistym oraz smużystym. We wszystkich analizowanych ziarnach występują bardziej lub mniej liczne wrostki stałe i inkluzje fluidalne. Miejscami skały są porowate, w części pustek wykrywalizowały kwarce jasnoszare. W nieczynnym kamieniołomie (odkrywka „Nadzieja”) na Rozdrożu Izerskim (ok. 1 km na NE od kamieniołomu „Stanisław” — wzdłuż strefy uskokowej wypełnionej w dużej mierze kwarcem) występuje, w formie szczotki, kwarc jasnoszary przechodzący w bardzo słabo zabarwiony ametyst. Strefy wzrostu poszczególnych kryształów są tu często podkreślone licznymi wrostkami (ryc. 2A). W kamieniołomie „Stanisław” pospolita jest odmiana białego, cukrowatego kwarcu, tworząca mozaikę różnoziarnistych, ząbębiających się ziaren. Powstała ona najprawdopodobniej wskutek przeobrażenia i okwarcowania skał metamorficznych, prawdopodobnie gnejsów.

Opisane kwarcie wykazują na ogół słabą luminescencję. Cukrowaty kwarc z kamieniołomu „Stanisław” w ogóle nie przejawia świecenia. W próbkach kwarcu z Nowej Kamienicy oraz z łomu „Nadzieja” na Rozdrożu Izerskim obserwowano krótkotrwałą granatowoniebieską luminescencję okruchów w tle nie wykazującym świecenia. W próbce z Nowej Kamienicy, w okruchach tych stwierdzono słabo widoczną budowę pasową. Podobnie szybko niknącą granatową luminescencję wykazują m. in. kwarcie z Kraskowa, Taczalina, Sadów, niektóre próbki z Wądroża Wielkiego i Jaroszowa. Krótkotrwałą żółtą luminescencję (jasnożółtawo-szarą, siatkową) obserwowano w próbkach pochodzących z Rozdroża Izerskiego i Kraskowa. Kwarcie z żył i stref okwarcowanych Wądroża Wielkiego i Sadów wykazują miejscami ciemnobrązową luminescencję. W próbkach kwarcu z Wądroża Wielkiego sporadycznie obserwowano okruchy wykazujące zielonobrunatnawe świecenie, okruchy te są spojone kwarcem o brązowej luminescencji.

Odmienny obraz katodoluminescencyjny prezentuje kwarc druzowy pochodzący z łomu „Nadzieja” na Rozdrożu Izerskim. Dobrze widoczna staje się budowa pasowa ziaren (ryc. 2B), poszczególne strefy wykazują luminescencję w barwach brązowo-zielonkawych. CL umożliwiła obserwację wrastania jednego kryształu w drugi (ryc. 2B) oraz uwidoczniała drobne pęknięcia powstałe w trakcie wzrostu jednego z nich (ryc. 2B).

**Strefa zmineralizowana w Żółtych Jamach** k. Szklarskiej Poręby, wg Lisa i Przeniosły (1961) przedstawia szereg żyłek kwarcowo-ametystowych o miąższości do 20 cm, przedzielonych brekcją tektoniczną zbudowaną z ostrokrawędzistych odłamków silnie zmienionego granitu. Brekcja jest zlepiona drobnokrystalicznym, mlecznym kwarcem. Obserwacje autorki wskazują, że okruchy kwarcu, w tym ametystu, oraz okruchy przeobrażonego granitu są spojone białym kwarcem i jasnobrązową masą kataklastyczną. Lokalnie w okruchach kwarcu są widoczne naprzemianległe strefy ametystu, kwarcu mlecznego i jasnoszarego. W CL, w kwarcu jasnoszarym przechodzącym w słabo zabarwiony ametyst, widoczna staje się oscylacyjna budowa pasowa oraz sektorowa w barwach beżowo-brązowawo-brunatnych i zielono-brunatnych (ryc. 3A, B) oraz czerwawo-brunatnych i zielono-brunatnych (ryc. 4A, B). Zauważono, że pod wpływem bombardowania elektronowego oglądany obraz ciemnieje, luminescencja w pasach słabnie. Miejscami ujawnia się najmłodszy kwarc, nie wykazujący luminescencji, widoczny w brzeźnych fragmentach ziaren (ryc. 4A, B). Ma on

zwykle dużo więcej wrostków (wykazujących luminescencję) niż kryształ, na którym wzrasta. Jego krystalizacja mogła zachodzić tuż po kataklazie, równocześnie z dostawaniem się do roztworu zanieczyszczeń pochodzących z rozartych okruchów skalnych. Drobnodziarnista masa kataklastyczna, spajająca ziarna brekcji, daje w CL obraz podobny jak wspomniany brzeźny fragment ziarna kwarcowego.

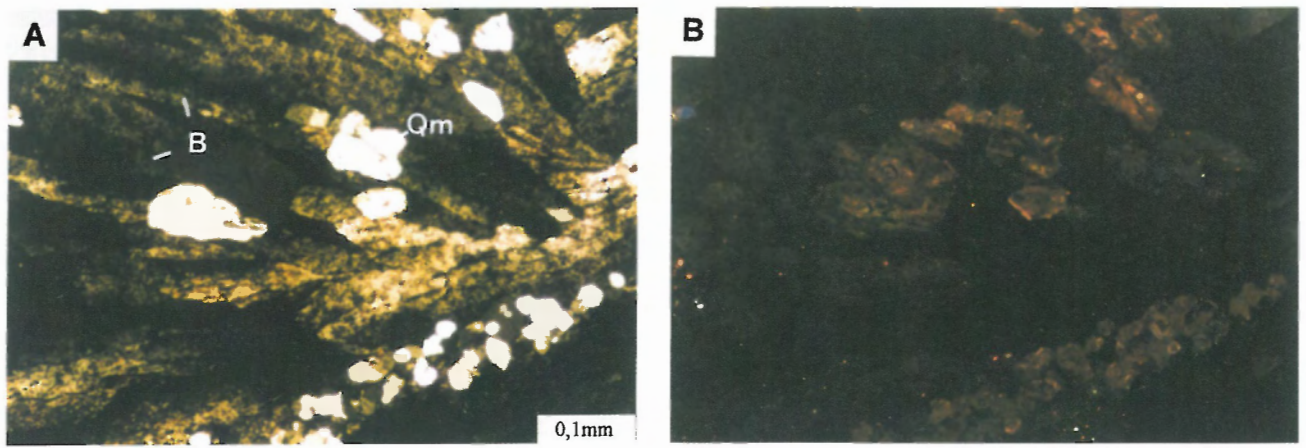
**Z żył kwarcowo-polimetalicznych** (Czarnów, Krzyżowa Łąka k. Mniszkowa, Radzimowice, Pilchowice) pochodzą kwarcie jasnoszare, często przejrzyste, jasnoszaromleczne i białe. Próbkę przedstawiają różnoziarnistą mozaikę silnie pozrastanych kryształów o różnym stopniu idiomorficzności, o zmiennej ilości wrostków, spękaną i zabliznioną młodszymi minerałami, w tym kwarcem. Niektóre skupienia kwarcu są silnie skatakazowane (próbka z rejonu Pilchowic).

W promieniach katodowych badane próbki dają bardzo różnicowany obraz. Na przykład skała kwarcowa z Czarnowa wykazywała bardzo słabą luminescencję, z mało widoczną budową pasową w barwach zgniozielonych. Natomiast próbki pobrane w innym miejscu metamorfiku wschodnich Karkonoszy — na Krzyżowej Łące k. Mniszkowa (Wołkowicz & Wołkowicz, 1985) prezentowały zróżnicowany obraz luminescencji pozwalający na wydzielenie trzech generacji kwarcu. Najstarsza z nich, wykazująca luminescencję w barwach zielonkawo-brunatnych, często charakteryzuje się budową pasową (ryc. 5A, B). Po kataklazie spękania zabliznił kwarc świecący brązowo, występujący w asocjacji z galeną. Jeden z młodszych systemów spękań wypełnia kwarc z fluorytem. Kwarc ten wykazuje długotrwałą żółtą luminescencję (ryc. 6A, B). Najmłodsze szczeliny są zabliznione barytem.

Wśród próbek kwarcu pochodzących z żył struktury kaczawskiej jedne wykazują bardzo skomplikowany układ barw luminescencyjnych trudny do interpretacji, w innych jest on znakomicie czytelny. Do pierwszej grupy należy próbka pochodząca z silnie skatakazowanej okruszczonej żyły kwarcowej z rejonu Pilchowic. W niektórych partiach obserwowano tu przynajmniej dwie generacje o niejednorodnej luminescencji w różnych odcieniach żółci, w innych notowano brunatne świecenie, lokalnie ze spękaniami zabliznionymi kwarcem nie wykazującym luminescencji.

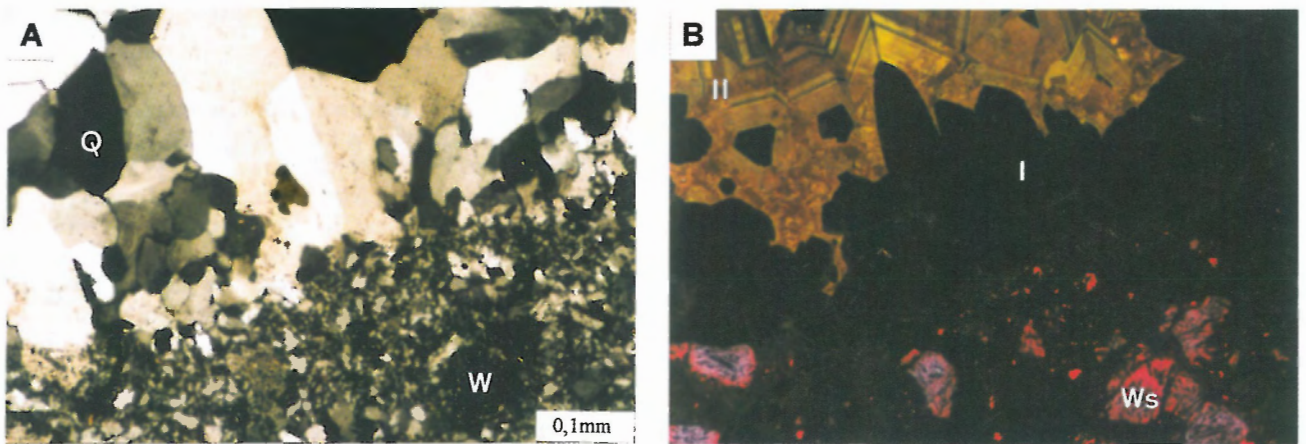
Na obszarze złożowym Radzimowic (Zimnoch, 1965; Manecki, 1965; Sylwestrzak & Wołkowicz, 1985), w próbce pobranej z hałdy, kwarc występujący w asocjacji z minerałami kruszcowymi jest spękany, a spękania są zabliznione kwarcem oraz węglanami (ryc. 7A). W CL uwidaczniają się trzy generacje badanego minerału. Najstarsza z nich wykazuje długotrwałe świecenie w barwach zielonkawo-brunatnych i brunatnawych, miejscami ujawnia się budowa pasowa (słaba) i sektorowa (ryc. 7B). Młodszy kwarc, współwystępujący w żyłkach z węglanami, nie wykazuje luminescencji. Najmłodszy zaś, niewidoczny w tradycyjnych badaniach makro- i mikroskopowych, a ujawniający się dopiero dzięki jasnożółtej luminescencji — wypełnia drobne spękania, często pozostając w zgodności krystalograficznej z zabliznianymi ziarnami kwarcu (ryc. 8A, B).

W próbkach pobranych z Kletna, w metamorfiku Śnieżnika (Banaś, 1965) badano kryształy kwarcu jasnofioletowego pochodzące z żyły kwarcowo-fluorytowej z mineralizacją polimetaliczną. Kwarc charakteryzujący się w standardowych badaniach mikroskopowych bogatą budową pasową, w promieniach katodowych wykazuje na ogół jednolitą ciemnobrązową, długotrwałą luminescencję (noto-



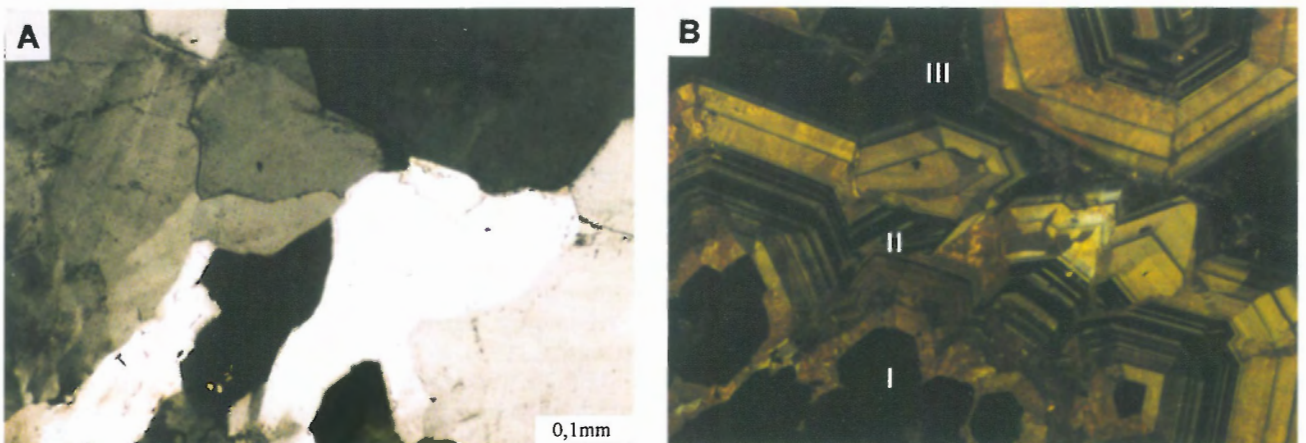
**Ryc. 11.** Stanisławów; A — XP, kwarc drugiej generacji (Qm) wypierający baryt (B); B — CL, plamista brązowa luminescencja kwarcu na tle nie świecącego barytu

**Fig. 11.** Stanisławów; A — XP, second quartz generation (Qm) replacing barite (B); B — CL, patchy brown luminescence of quartz on the background of non-luminescent barite



**Ryc. 12.** Boguszów; A — XP, kwarc grubokrystaliczny (Q) narastający na okruchu przeobrażonej skały wulkanicznej (W); B — CL, widoczne dwa etapy powstawania wypełnienia kwarcowego. Jako pierwszy w formie szczotki wykrył kwarc nie wykazujący luminescencji (I). Na nim narastały kryształy (II) o budowie pasowej w barwach jasnozielonkawo-brunatnych (początkowe pasy wykazują plamistą brązową luminescencję). W okruchu skały wulkanicznej widoczne przeobrażone skalenie (Ws)

**Fig. 12.** Boguszów; A — XP, coarse-crystalline quartz growing on the clast of the altered volcanic rock (W); B — CL, two stages of quartz filling formation. Non-luminescent quartz (I) crystallised first in form of druse. Crystals of second generation of quartz (II) with zonal structure in the light greenish-russet colours grew over the first one. First zones show patchy brown luminescence. Altered feldspars (Ws) are visible in the clast of the volcanic rock



**Ryc. 13.** Boguszów; A — XP, mozaika kwarcu wypełniającego kavernę; B — CL, widoczne trzy etapy tworzenia się wypełnienia kwarcowego. Na nie świecącym kwarcu (I) narasta młodszy (II) o budowie pasowej w barwach jasnozielonkawo-brunatnych. Kryształizację zamyka kwarc nie wykazujący luminescencji (III)

**Fig. 13.** Boguszów; A — XP, quartz mosaic filling a cavern; B — CL, three stages of quartz filling are visible. On the non-luminescent quartz (I) grows the younger one (II) with the zonal structure in the light-greenish-russet colours. Crystallisation is completed by non-luminescent quartz (III)

wano też kwarc zabliźniający spękania, który nie przejawiał świecenia). Wyjątkowo słabo była widoczna budowa pasowa i sektorowa w odcieniach brunatnych i zielonych (ryc. 9A, B). W przeprowadzonych uprzednio przez autorkę obserwacjach katodoluminescencyjnych próbek pochodzących z żył kwarcowo-polimetalicznych z fluorytem w rejonie Marcinkowa (Wołkowicz, 1996) stwierdzono różne odcienie brązowego świecenia poszczególnych generacji kwarcu. Wydaje się więc, że brązowa barwa luminescencji dominuje w kwarcu żyłowym metamorfiku Śnieżnika.

**Próbki kwarcu pobrane ze złóż barytowych** (Stanisławów, Boguszów) są jasnoszare, gruboziarniste, często mają charakter wypełnień druzowych. Przeważnie nie są spękane. Ksenomorficzne lub hipidiomorficzne ziarna mają bardzo małe ilości zanieczyszczeń.

W złożu barytu w Stanisławowie wyróżniono dwie generacje kwarcu (Paulo, 1973). Starsza jest reprezentowana przez jasnoszary, grubo- i średniokrystaliczny, przezroczysty kwarc występujący w asocjacji z kruszcami, charakteryzujący się wyraźną budową pasową ze słabo zaznaczonymi sektorami, ujawnioną dzięki luminescencji w odcieniach żółtobrązowych (ryc. 10A, B). Kwarc młodszej generacji, biały, zastępujący baryt, wykazuje bardzo słabą, plamistą luminescencję w różnych odcieniach brązu (ryc. 11A, B).

W złożu barytu w Boguszowie kwarc występuje w zmiennej, często niewielkiej ilości. Badano osobniki jasnoszare, grubokrystaliczne, wypełniające kawerny w asocjacji z barytem. Jest to trzecia generacja kwarcu z czterech wyróżnionych przez Kowalskiego (1976). Dzięki katodoluminescencji stwierdzono, że proces powstawania tego minerału zachodził w kilku etapach (ryc. 12A, B, 13A, B). Rozpoczął i zakończył go kwarc nie wykazujący luminescencji. Na najstarszych kryształach wykrył kwarc o budowie pasowej wykazujący luminescencję w barwach jasnozielonkawo-brunatnych. Początkowe pasy mają plamisty rozkład barw.

## Wnioski

1. Badane kwarcie wykazują zasadniczo cztery typy luminescencji związane z ich pochodzeniem:

1a. Kwarcie białe i jasnoszare z żył metamorfiku izerckiego oraz kwarcie związane genetycznie z granitoidem strzegomskim (łącznie z występującymi w granitognejsach Wądroża Wielkiego) wykazują na ogół słabą luminescencję w barwach ciemnobrązowych albo charakteryzują się krótkotrwałą granatowoniebieską i żółtą luminescencją, sporadycznie nie wykazują świecenia. W pojedynczych próbkach obserwowano typowe dla kwarcu żyłowego (Zinkernagel, 1978) świecenie w barwach butelkowo-zielonych. Wyjątek stanowią też kwarcie druzowe z kamieniołomu „Nadzieja” na Rozdrożu Izerskim, wykazujące w CL budowę pasową w barwach brązowo-zielonkawych.

1b. Kwarcie jasnoszare, jasnoszaromleczne i białe pochodzące z żył kwarcowo-polimetalicznych wykazują zmienną luminescencję — od bardzo słabej, prawie niewidocznej w kwarcach z Czarnowa, poprzez zielonkawo-brunatną, brązową do żółtej, a niekiedy odznaczają się brakiem świecenia. Występuje tu budowa pasowa i sektorowa. Katodoluminescencja często umożliwia wydzielenie generacji kwarców i powiązanie ich z okruszcowaniem (tak jak np. w Krzyżowej Łące k. Mniszkowa).

1c. Najsilniejszą luminescencję głównie w barwach żółto-brązowych i jasnozielonkawo-brunatnych, wykazuje większość jasnoszarych kwarców ze złóż barytowych

oraz jasnoszare, przechodzące w jasnofioletowe kwarcie ze Złotych Jam k. Szklarskiej Poręby (charakteryzują się one beżowo-brunatnym, czerwonym i zielono-brunatnym świeceniem). W wymienionych kwarcach występuje wyraźna budowa pasowa i sektorowa. Otrzymany obraz może być wynikiem, między innymi, doboru próbek — badaniu poddano przejrzyste, niespękane lub mało spękane kryształy kwarcu, a w przypadku preparatów pochodzących ze złóż barytowych — zawierające wyjątkowo małe ilości zanieczyszczeń. W trakcie obserwacji istniała więc duża możliwość penetracji kryształów promieniami katodowymi.

1d. W przeprowadzonych przez autorkę badaniach interesujący jest przypadek kwarców z Kletna. Budowie pasowej kryształów widocznej w standardowych badaniach mikroskopowych odpowiada na ogół monotony, ciemnobrązowy obraz CL. Powodem słabej luminescencji może być silne zanieczyszczenie kwarcu wrostkami, m. in. hematytu, co zaburza penetrację kryształu w trakcie badania CL. Słaba przejrzystość innych badanych kwarców (zaliczonych do typu 1a) wynika z dużego nagromadzenia inkluzji fluidalnych, a także z silnego spękania badanych próbek.

2. Stwierdzone barwy luminescencyjne mogą mieć różne przyczyny:

2a. Długotrwałą brązową luminescencją, jaką obserwowano między innymi w kwarcach z Kletna, Marcinkowa (Wołkowicz, 1996) czy Krzyżowej Łąki k. Mniszkowa, może być związana z defektami sieci krystalicznej (Ramseyer i in., 1988). Według Ramseyera i Mullisa (1990) najbardziej prawdopodobną przyczyną brązowej luminescencji jest niszczenie struktury kwarcu wskutek napromieniowania promieniami gamma i alfa, co w przypadku Kletna jest wytłumaczeniem bardzo prawdopodobnym, gdyż jest tam znana obecność przejawów mineralizacji uranowej (Banaś, 1965). Brązowa barwa świecenia niektórych próbek kwarców pochodzących z metamorfiku izerskiego oraz związanych genetycznie z granitoidem strzegomskim może wiązać się z obecnością bardzo licznych spękań (kwarc mleczny).

2b. Krótkotrwałą niebieską lub żółtą luminescencję obserwowaną w próbce z Nowej Kamienicy najlepiej tłumaczyć luminescencyjne centra, które są związane z obecnością kationów interstycjalnych w kanałach równoległych do osi c sieci kryształu kwarcu (Ramseyer i in., 1988). Intensywność luminescencji maleje w czasie bombardowania elektronowego i jest efektem wzmocnienia jonizacyjnego dyfuzji centrów luminescencyjnych (Ramseyer i in., 1988). Niebieska luminescencja może być też związana z obecnością Al podstawiającego Si oraz z interstycjalną zawartością Li i Na (Ramseyer & Mullis, 1990).

2c. Brak luminescencji kwarcu, obserwowany w próbkach z kamieniołomu „Stanisław”, występuje przy braku domieszek Al, Li i Na lub ich minimalnej zawartości (Perry i in., 1992).

2d. Niezwykłą długotrwałą żółtą luminescencją, obserwowaną w kwarcach z Krzyżowej Łąki k. Mniszkowa i Radzimowic, można tłumaczyć obecnością domieszki Al (Onasch, 1995).

3. Dla większości przedstawionych w materiale fotograficznym kwarców jest charakterystyczna budowa pasowa. Czasami słabo zaznacza się ona w badaniach makro- czy mikroskopowych, niekiedy jest niewidoczna. Przeważnie wyraźniejsza i bogatsza staje się w katodoluminescencji (wyjątkiem są kwarcie z Kletna).

Przeprowadzone przez Perry'ego i in. (1992) pomiary zawartości pierwiastków śladowych w różnych strefach luminescencyjnych kwarcu wykazały, że zmiany ich kon-

centracji niezupełnie nakładają się na stadia wzrostu widoczne w CL. Z badań tych autorów wynika, że najbardziej prawdopodobnym wyjaśnieniem zmiennej zawartości pierwiastków śladowych są zmiany pH w roztworach hydrotermalnych, z których krystalizował kwarc.

4. W części badanych próbek, dzięki barwnej luminescencji uwidacznia się budowa sektorowa kryształów kwarcu. Może być ona odzwierciedleniem warunków panujących w czasie wzrostu kryształów. Badania Onasha (1995) wykazały, że występuje wyraźne zróżnicowanie w zawartości izotopów tlenu w tych samych pasach na różnych ściankach kryształu kwarcu. Powodem nierównomiernego rozdziału izotopów tlenu i prawdopodobnie też pierwiastków śladowych pomiędzy różne ścianki tego samego kryształu może być ich niejednakowa szybkość wzrostu. Istotna jest również struktura powierzchni oraz mechanizm wzrostu poszczególnych ścianek kryształów.

5. Zainicjowane badania wskazały na duże możliwości zastosowania katodoluminescencji w badaniach sudeckich kwarców żyłowych. Przede wszystkim metoda ta w wielu przypadkach umożliwia obserwację etapów powstania wypełnień kwarcowych (np. w Boguszowie, Krzyżowej Łące, Radzimowicach, Żółtych Jamach), co jest niemożliwe do zaobserwowania tradycyjnymi badaniami mikroskopowymi. W wielu przypadkach pozwala na stwierdzenie występowania budowy pasowej i sektorowej, których obecność świadczy o zmieniających się warunkach środowiska krystalizacji kwarcu. Tekstury ujawniające się w CL wskazują też często kilka stadiów aktywności hydrotermalnej i rozpuszczania krzemionki.

Wydaje się, że największe znaczenie dla rodzaju luminescencji ma typ genetyczny kwarców, sposób ich wykształcenia, obecność różnego rodzaju zanieczyszczeń i deformacji sieci kryształu, a także, być może, temperatura krystalizacji. Natomiast nie stwierdzono zróżnicowania luminescencji w zależności od pochodzenia kwarcu z różnych jednostek strukturalnych.

6. Otrzymane obrazy CL nie obejmują zapewne wszystkich typów luminescencyjnych sudeckich kwarców żyłowych. Oprócz poszerzenia badań celowe byłoby zbadanie próbek przy pomocy EPR oraz spektrometru SIMS w celu wyjaśnienia przyczyn barwnej luminescencji, a także powiązanie typów CL z badaniami temperaturowymi.

Serdeczne podziękowanie składam Magdalenie Sikorskiej oraz Panu Hubertowi Sylwestrzakowi za cenne uwagi w trakcie powstawania niniejszej pracy.

## Literatura

BANAŚ M. 1965 — Przejawy mineralizacji w metamorfiku Śnieżnika Kłodzkiego. Pr. Geol. Komis. Nauk Geol. PAN, Kraków, 2.  
 KOTOWSKI J. 1972 — Stanowisko tektoniczne i geneza skał kwarcowych południowej części Pogórza Izerskiego. Pr. Nauk. Inst. Geotech. PWrocł., 8, Monografie, 2.  
 KOWALSKI W. 1976 — Geochemia, mineralogia i geneza złóż barytu. Arch. Miner., 32: 5–92  
 KOZŁOWSKI A. 1973 — Kwarc pomagmowy masywu strzegomskiego i karkonoskiego; jego środowisko krystalizacji i pierwiastki śladowe. Acta Geol. Pol., 23: 341–365.  
 KOZŁOWSKI A. 1978 — Pneumatolytic and hydrothermal activity in the Karkonosze — Izera block. Acta Geol. Pol., 28: 171–222.  
 KOZŁOWSKI A. & KARWOWSKI Ł. 1972 — Hydrothermal origin of quartz from Jegłowa (Lower Silesia). Bull. Acad. Pol. Sc. Ser. Sc. Terre, 20: 91–96.

KOZŁOWSKI A. & KARWOWSKI Ł. 1973 — Brom i chlor w inkluzjach gazowo-ciekłych w minerałach hydrotermalnych z Dolnego Śląska. Arch. Miner., 31: 281–295.  
 KURAL S. 1991 — Objasnienia do szczegółowej mapy geologicznej Sudetów, ark. Mrowiny. Wyd. Geol.  
 D'LEMOY R. S., KEARSLEY A. T., PEMBROKE J. W., WATt G. R. & WRIGHT P. 1997 — Complex quartz growth histories in granite revealed by scanning cathodoluminescence techniques. Geol. Mag., 134: 549–552.  
 LIS J. & PRZENIOSŁO S. 1961 — O występowaniu żyły ametystu koło Szklarskiej Poręby. Prz. Geol., 9: 152–153  
 LIS J. & SYLWESTRZAK H. 1986 — Minerale Dolnego Śląska. Wyd. Geol.: 348–365.  
 MANECKI A. 1965 — Studium mineralogiczno-petrograficzne polimetalicznych żył okolicy Wojcieszowa (Dolny Śląsk). Pr. Miner. Kom. Nauk Miner. PAN Oddz. w Krakowie, 2.  
 MARSHALL D. J. 1988 — Cathodoluminescence of Geological Materials. Unwin Hyman, Boston.  
 MIERZEJEWSKI M. P., MAJEROWICZ A. & CZERWIŃSKI J. 1983 — Objasnienia do szczegółowej mapy geologicznej Sudetów, ark. Szklarska Poręba. Wyd. Geol.  
 OBERC J. 1972 — Budowa geologiczna Polski. t. 4, Tektonika cz. 2. Sudety i obszary przyległe. Wyd. Geol.  
 OBERC J. & LINDNER M. 1976 — The importance of the spilitic-keratophyre formation in the metallogeny of the Sudetes. [W:] The current metallogenic problems of central Europe IG Warszawa: 256–260.  
 ONASCH CH. & VENNEMANN M. 1995 — Disequilibrium partitioning of oxygen isotopes associated with sector zoning in quartz. Geology, 23: 1103–1106.  
 PAULO A. 1973 — Złoże barytu w Stanisławowie na tle metalogenii Gór Kaczawskich. Pr. Geol. Kom. Nauk. Geol. PAN Oddz. w Krakowie, 76: 72.  
 PAULO A. & SALAMON W. 1974 — Przyczynek do znajomości złoża polimetalicznego w Starej Górze Kwart. Geol., 18: 266–278.  
 PAWŁOWSKA J. 1971 — Stosunki izotopowe siarki w polskich złożach barytowych. Kwart. Geol., 15: 422–440.  
 PAWŁOWSKA J. 1973 — Fizyczno-chemiczne warunki powstawania dolnośląskich złóż barytów. Biul. Inst. Geol., 267: 5–114.  
 PERNY B., EBERHARDT P., RAMSEYER K., MULLIS J. & PANKARATH R. 1992 — Microdistribution of Al, Li, and Na in  $\alpha$ -kwarc: Possible causes and correlation with short-lived cathodoluminescence. Am. Miner., 77: 534–544.  
 RAMSEYER K., BAUMANN J., MATTER A. & MULLIS J. 1988 — Cathodoluminescence colours of  $\alpha$ -quartz. Miner. Mag., 52, 669–677.  
 RAMSEYER K. & MULLIS J. 1990 — Factors influencing short-lived blue cathodoluminescence of  $\alpha$ -quartz. Am. Miner., 75: 791–800.  
 SIKORSKA M. 2000 — Historia sylikacji w piaskowcach kambru z rejonu Wiśniówki w Górach Świętokrzyskich. Prz. Geol., 48: 251–258.  
 SKURZEWSKI A. 1984 — Wulkanity hercyńskie okolic Wojcieszowa. Kwart. Geol., 28: 39–58.  
 SYLWESTRZAK H. & WOŁKOWICZ K. 1985 — Nowy zespół minerałów Sn-W-Mo ze Starej Góry i jego znaczenie genetyczne. Prz. Geol., 33: 73–75.  
 SZALAMACHA M. 1974 — Przejawy mineralizacji barytowo-fluorytowej w strefie usłoko śrudsudeckiego, w Sudetach Zachodnich. Kwart. Geol., 18: 435–436.  
 UBERNA J. 1959 — Kaolin i żyły kwarcowe w rejonie Wądroża Wielkiego. Prz. Geol., 7: 536–537.  
 WALENCZAK Z. 1966 — Geochemistry of gallium and aluminium in quartz. Bull. Acad. Pol. Sc. Ser. Sc. Geol. Geogr., 14: 61–75.  
 WALENCZAK Z. 1969 — Geochemia pierwiastków rozproszonych w kwarcach (Ge, Al, Ga, Fe, Ti, Li, Be). Arch. Miner., 28: 189–335.  
 WOŁKOWICZ K. 1984 — Mineralizacja kruszcowa w kamieniołomie marmuru dolomitycznego w Rędzinach (Dolny Śląsk). Kwart. Geol., 28: 23–38.  
 WOŁKOWICZ K. 1996 — Przejawy mineralizacji w Marcinkowie (metamorfik Śnieżnika). Prz. Geol., 44: 386–390.  
 WOŁKOWICZ K. & WOŁKOWICZ S. 1985 — Mineralizacja kruszcowa wschodniej strefy kontaktowej granitu karkonoskiego na obszarze Mniszkowa-Rędzin. Kwart. Geol., 29: 237–254  
 ZIMNOCH E. 1965 — Okruszczowanie złóż Starej Góry w świetle nowych danych. Biul. Geol. Wydz. Geol. UW, 5: 136.  
 ZINKERNAGEL U. 1978 — Contributions to Sedimentology. Cathodoluminescence of quartz and its application to sandstone petrology, 8. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung Stuttgart.