

## Osobliwa mineralizacja rudna w serpentynitach antygorytowych kopalni Nasławice koło Sobótki (Dolny Śląsk)

### Peculiar ore mineralization in antigorite serpentinites in the Nasławice mine near Sobótka (Lower Silesia)



*Prof. dr hab. Wiesław Heflik\**



*Dr hab. inż. Magdalena  
Dumańska-Słowik\**



*Mgr inż. Mirosław Kotowski\*\**

**Treść:** W pracy przedstawiono charakterystykę mineralogiczno-petrograficzną grubokrystalicznej mineralizacji dolomitowo-magneytowej napotkanej w obrębie północno-zachodniej części kopalni serpentynitów w Nasławicach koło Sobótki (Dolny Śląsk). Takie grubokrystaliczne wykształcenie tych dwóch minerałów w obrębie serpentynitów Wzgórz Nasławickich napotkano po raz pierwszy. Mineralizacja ta występuje w strefie kontaktu tektonicznego serpentynitu z wczesnowaryscyjską intruzją gabrową. W wyniku badań mikroskopowych w świetle przechodzącym oraz mikrospektroskopii Ramana stwierdzono, że asocjacja tych dwóch minerałów (dolomitu i magnetytu) stanowi produkt krystalizacji roztworów hydrotermalnych. Składniki chemiczne, żelazo i magnez, potrzebne do krystalizacji tych faz pochodzą głównie z rozkładu piroksenów i oliwinów oraz produktów protokrystalizacji obecnych w protolicie serpentynitowym. Wapń doprowadzony został pogabrowymi roztworami hydrotermalnymi.

**Abstract:** The paper presents mineralogical and petrographical characteristics of coarse-crystalline dolomite-magnetite mineralization found within the north-western part of the serpentinite mine in Nasławice near Sobótka (Lower Silesia). Such a coarse-crystalline formation of these two minerals within the serpentinites of the Nasławice Hills was encountered here for the first time. The mineralization occurs in the tectonic contact zone of the serpentinite with the Early Variscan gabbroic intrusion. The observations under polarized transmitted light microscopy and analyses of Raman microspectroscopy revealed that the association of these two minerals (dolomite and magnetite) has been a product of post-magmatic, hydrothermal activity. The chemical components, i.e. iron and magnesium, required for the crystallisation of these phases were mainly derived from the decomposition of pyroxenes and olivines and the products of protocristallisation found in the serpentinite protolith. Calcium was supplied by post-gabbroic hydrothermal solutions.

#### **Słowa kluczowe:**

*Dolny Śląsk, mineralizacja, serpentynity, Mg, Fe, Ca*

#### **Keywords:**

*Lower Silesia, mineralization, serpentinites, Mg, Fe, Ca*

\* ) AGH, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

\*\* ) KOSD Wrocław Sp.z.o.o. Sp.k., Nasławice

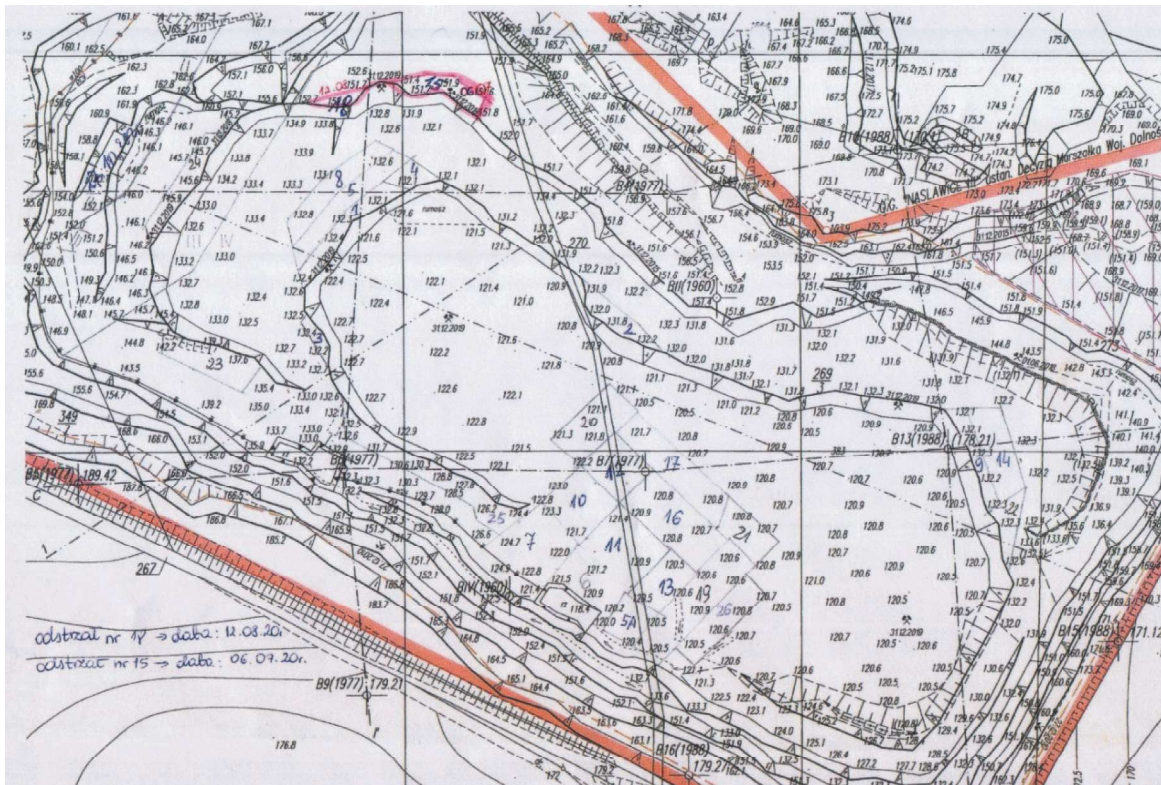
## 1. Wprowadzenie

Podczas rutynowej eksploatacji serpentynitu antygorytowego w północno-zachodniej części wyrobiska kopalni Nasławice (rys. 1) w grudniu 2020 r. natrafiono na osobliwą mineralizację magnetytowo-dolomitową, stanowiącą fragment grubokrystalicznej skały, złożonej głównie z magnetytu i dolomitu z cienką „otuliną” serpentynitu (rys. 2). Jej grubokrystaliczne wykształcenie sugeruje, że może stanowić fragment żyły o strukturze pegmatytowej, soczewki lub gniazda. Jest to niewątpliwie największe skupienie minerału rudnego, jaki dotychczas napotkano w serpentynitach, nie tylko odsłoniętych w złożu w kopalni Nasławice, ale w ogóle w obrębie Wzgórz Nasławickich.

Głównym celem niniejszej pracy jest charakterystyka mineralogiczno-petrograficzna napotkanej asocjacji rudno-węglanowej oraz jej geneza. Przedstawienie tych dwóch zasadniczych elementów w tekście pracy poprzedzone jest omówieniem dotychczasowej znajomości mineralizacji rudnej w serpentynitach antygorytowych Wzgórz Nasławickich.

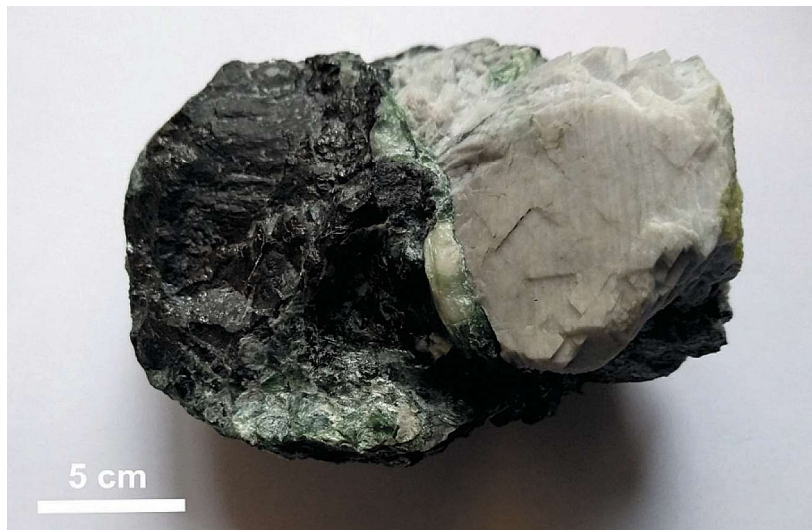
## 2. Metodyka badań

W badaniach zastosowano obserwacje makro- i mikroskopowe w świetle przechodzącym, elektronomikroskopowe (SEM-EDS) oraz spektroskopię Ramana (RS). Badania mikroskopowe w świetle przechodzącym wykonano przy użyciu



Rys. 1. Plan sytuacyjny złoża serpentynitu kopalni Nasławice z lokalizacją badanej mineralizacji magnetytowo-dolomitowej

Fig. 1. The serpentinite deposit in the Nasławice mine with sampling area of the magnetite-dolomite mineralization



Rys. 2. Parageneza dolomitu z magnetytem w „otulinie” serpentynitu

Fig. 2. The paragenesis of dolomite and magnetite in serpentinite

mikroskopu polaryzacyjnego Olympus BX51 sprzężonego z kamerą cyfrową DP112, pracującego przy powiększeniach od 4x do 40x i znajdującego się na wyposażeniu Katedry Mineralogii, Petrografii i Geochemii Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, AGH w Krakowie.

Badania elektronomikroskopowe i ramanowskie wykonano w Laboratorium Badań Fazowych, Strukturalnych, Teksturalnych i Geochemicznych Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, AGH w Krakowie. Obserwacje elektronomikroskopowe przeprowadzono z wykorzystaniem elektronowego mikroskopu skaningowego FEI Quanta 200F wyposażonego w detektor EDS przy natężeniu prądu równym  $2 \times 10^{-8}$  A i napięciu wynoszącym 20 kV. Badania wykonano w warunkach niskiej próżni na płytkach cienkich i naturalnych powierzchniach przełamu.

Badania metodą spektroskopii Ramana przeprowadzono z wykorzystaniem aparatu DXR Raman Microscope Thermo Scientific wyposażonego w mikroskop optyczny do światła odbitego Olympus z obiektywami 100x, 50x i 10x i sprzężonego ze spektrometrem ramanowskim DXR. W badaniach użyto lasera o mocy 10 mW, emitującego falę o długości 532 nm. Wielkość przesłony wynosiła 1-2  $\mu\text{m}$ . Identyfikacja faz została przeprowadzona z wykorzystaniem oprogramowania Omnic oraz CrystalSleuth.

### 3. Charakterystyka mineralizacji rudnej w serpentynitach Wzgórz Nasławickich

Według Sałacińskiego (1989) największe nagromadzenia minerałów kruszczowych wśród serpentynitów masywu Gogolów-Jordanów, występują w złożu chromitu w Tapadłach, w zachodniej części tego kompleksu. Większość kruszców obecnych w serpentynitach Wzgórz Nasławickich stanowi formę rozproszoną lub koncentruje się w salbandach żyłek wypełnionych serpentynem lub węglanami. Rozproszone minerały kruszczowe tworzą agregaty, których jądro stanowi chromit, część zewnętrzną - magnetyt, a między nimi znajduje się forma mineralna o pośrednim składzie (Przybyłowicz, Hubicka-Ptasińska, 1984). Część rozproszonego magnetytu występuje jako drobnodispersyjne impregnacje minerałów skałotwórczych, wypełniających pseudomorfozy po oliwinie i piroksenie.

Magnetyt w obrębie omawianych skał występuje w dwóch odmianach, pierwotnej i wtórnej. Ziarna magnetytu pierwotnego są stosunkowo duże, zwykle do kilku mikrometrów. Niekiedy magnetyt pierwotny stanowi wrostki w obrębie innych minerałów nieprzezroczystych. Słabo zserpentyinizowane skały ultrazasadowe (perydotyty) zawierają wyłącznie

magnetyt pierwotny. Magnetyt wtórny wykształcony jest głównie w formie drobnych ziaren (od kilku do kilkudziesięciu mikrometrów). Jest ksenomorficzny i zróżnicowany pod względem morfologicznym. Najczęściej stanowi skupienia paciorkowo-sznureczkowe lub mgławicowe.

Głównym minerałem rudnym w serpentynitach Wzgórz Nasławickich jest magnetyt wtórny i hematyt. Podrzędnie występują chromit, magnetyt pierwotny, pirotyn i piryty. Magnetyt wtórny skoncentrowany jest głównie wśród minerałów nieprzezroczystych. Pojawił się w wyniku uwolnienia żelaza zawartego w oliwinach i piroksenie i częściowego jego utlenienia do kationu trójwartościowego podczas serpentyzacji dunitów, perydotytów i wehrilitów, zachodzącej na omawianym terenie. Krystalizował w spękaniach oliwinu lub wzdłuż płaszczyzn łupliwości piroksenów, a z czasem wzdłuż kontaktów intergranularnych.

Hematyt jest drugim po magnetycie wtórnym minerałem rudnym, który należy do składników pobocznych lub akcesorycznych. Tworzy się kosztem magnetytu w procesie martytyzacji (Niškiewicz 1989). Proces martytyzacji magnetytu zarówno pierwotnego, jak i wtórnego, w różnych miejscach złoża serpentynitu Wzgórz Nasławickich jest w różnym stopniu zaawansowany.

Chromit w badanych serpentynitach jest minerałem pobocznym lub akcesorycznym. Stanowi różnej wielkości ksenomorficzne ziarna, najczęściej spękane, na obrzeżach objęte obwódkami wtórnego magnetytu. Niekiedy stanowi relikty w blastach magnetytu. Jako poboczny lub akcesoryczny w opisywanych skałach jest też pirotyn. Wykształcony jest w formie drobnych, ksenomorficznych ziaren. Występuje pojedynczo lub tworzy drobne wrostki w minerałach przezroczystych. Piryty należy do rzadkości. Sporadycznie uczestniczą także takie minerały jak chalkopiryty, vallerit i bravoit.

### 4. Wyniki badań

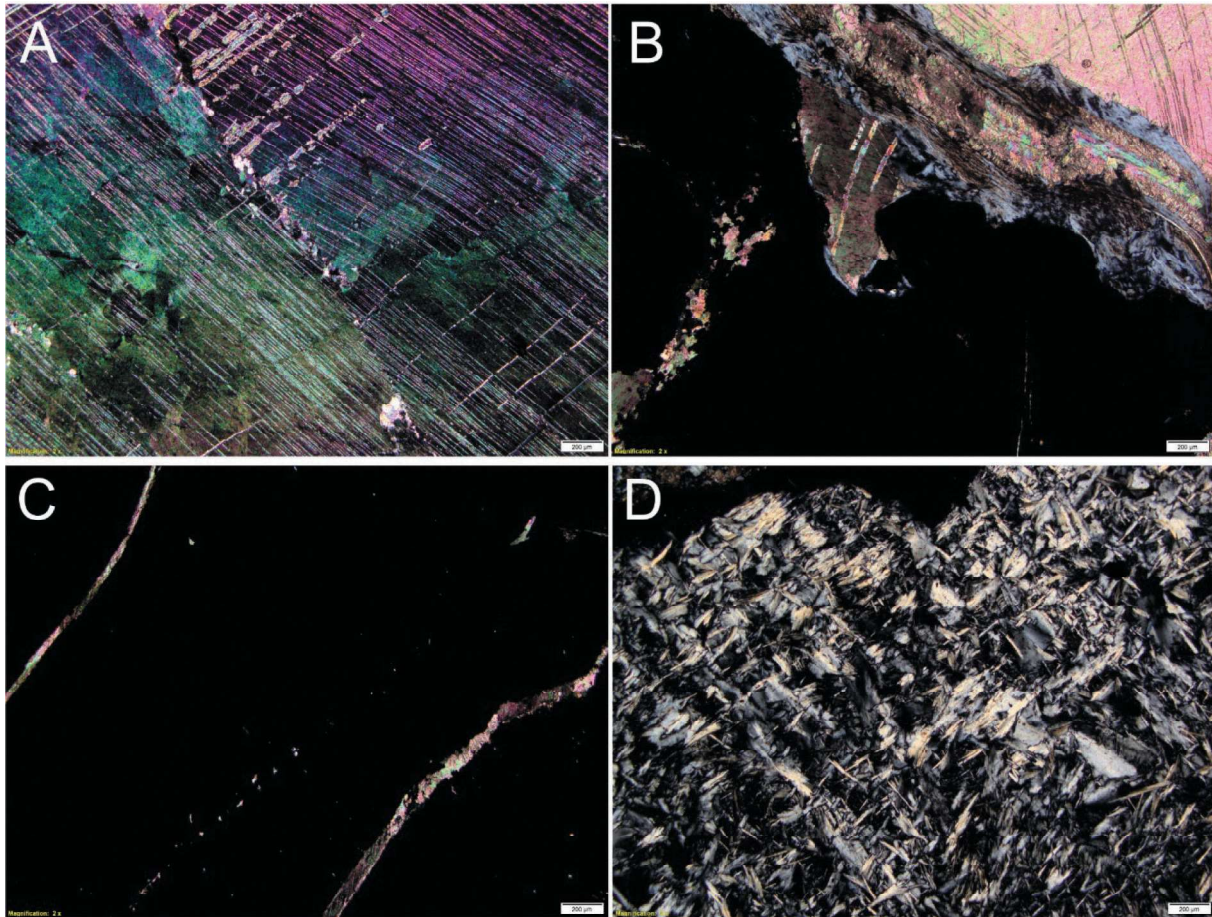
Makroskopowo, badana asocjacja mineralna zbudowana jest z dwóch głównych składników - grubokrystalicznego minerału rudnego o barwie czarnej oraz grubokrystalicznego węglanu o barwie białej z lekkim odcieniem niebieskawym oraz szklistym i miejscami perłowym połysku. Parageneza tych dwóch minerałów miejscami przylega do cienkiej „łupiny” jasnozielonego serpentynitu. Mechanicznie rozkruszony węglan rozpada się na różnej wielkości formy romboedryczne (rys. 3), charakterystyczne dla węglanów. Potraktowany zimnym kwasem solnym nie reaguje, co sugeruje obecność dolomitu.

W obserwacjach mikroskopowych zauważa się, że węglan jest dynamicznie zniekształcony, niejednostajnie ściemnia



Rys. 3. Romboedry dolomitu

Fig. 3. The rhombohedra of dolomite



Rys. 4. Obrazy mikroskopowe w świetle przechodzącym dolomitu i magnetytu oraz otuliny serpentynitowej z Naslawic, NX: A - zdefektowany kryształ dolomitu, B - kontakt dolomitu z magnetytem, C - kryształ magnetytu poprzeciany żyłkami dolomitu, D - serpentynit antygorytowy.

Fig. 4. Microphotos of dolomite, magnetite covered by serpentinite from Naslawice, NX: A- defected dolomite crystal, B- contact between dolomite and magnetite, C- magnetite crystal crossed by dolomite veins, D- antigorite serpentine

światło. W niektórych miejscach kryształy tego minerału poprzerastane są wydłużonymi tabliczkami serpentynu. W miejscach gdzie występują drobno- i średnio-krystaliczne skupienia węglanu, wówczas poprzerastane są cienkimi żyłkami zbudowanymi z młodszej generacji tego minerału.

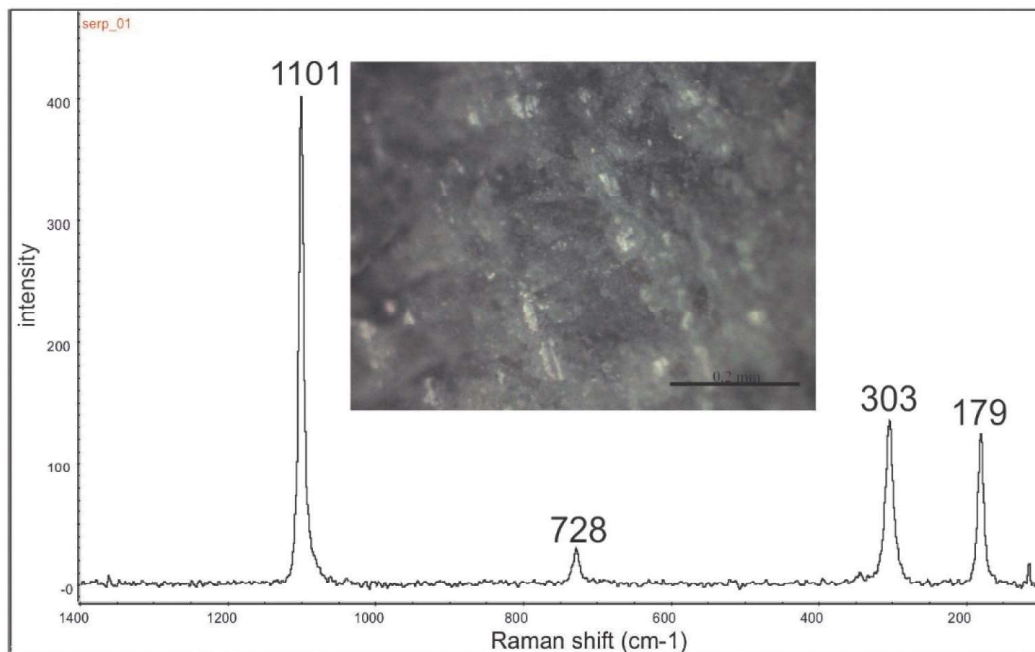
Na widmie ramanowskim (rys. 5) zarejestrowano obecność pasm ok. 1101, 728, 303, i 179  $\text{cm}^{-1}$ , diagnostycznych dla dolomitu. Najbardziej intensywne pasmo 1101  $\text{cm}^{-1}$  pochodzi od drgań symetrycznych, rozciągających  $\text{CO}_3$ . Słabe pasmo ok. 728  $\text{cm}^{-1}$  jest związane z drganiami symetrycznymi, deformacyjnymi grup  $\text{CO}_3$ . Pasma 303 i 179  $\text{cm}^{-1}$  pochodzą od drgań translacyjnych jonów Ca, Mg i  $\text{CO}_3$  (Gunasekaran i in. 2006). Na widmie EDS dolomitu poza głównymi składnikami, tj. Ca, Mg, C i O, są widoczne ślady Fe i Si (rys. 6).

Minerał rudny tworzy skupienia ziarniste, w których lokalnie zarysowują się kryształy o pokroju izometrycznym, nieprzezroczyste o połysku metalicznym, półmetalicznym, a miejscami tłustym. Wykazują silne właściwości magnetyczne, charakterystyczne dla magnetytu. Często są poprzerastane cienkimi żyłkami zbudowanymi z dolomitu. Na widmie Ramana zarejestrowano pasma ok. 671, 546 i 310  $\text{cm}^{-1}$  (rys. 7) charakterystyczne dla magnetytu, odpowiadające drganiom  $A_g$ ,  $T_{2g}$  i  $E_g$  (Shebanova, Lazor 2003). W widmie EDS poza liniami od Fe i O, typowymi składnikami tlenku żelaza, stwierdzono także śladową obecność Ca, Mg, Fe i Si (rys. 6).

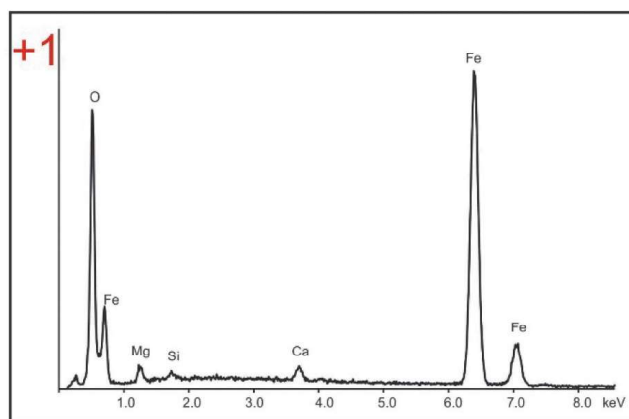
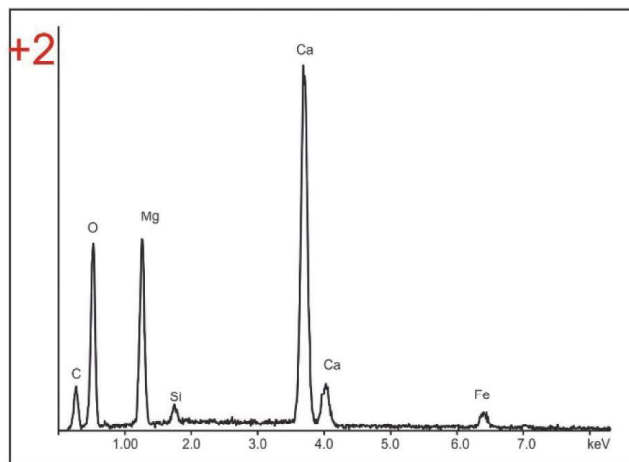
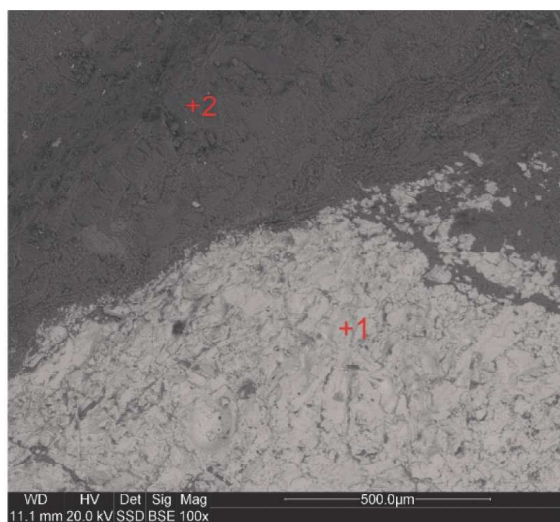
„Otulina” serpentynitowa towarzysząca asocjacji magnetytowo-dolomitowej zbudowana jest z drobnych blaszek serpentynu, charakterystycznych dla antygorytu oraz ze skupień i żyłek wypełnionych dolomitem. Struktura tej „łupiny” jest blastyczna, tekstura bezładna, miejscami równoległa lub promienista (rys. 4D). Analizy ramanowskie potwierdziły obecność antygorytu, który manifestuje swoją obecność w postaci diagnostycznych pasm ok. 1045, 684, 463, 379 i 230  $\text{cm}^{-1}$  (rys. 8). Pasma 1045  $\text{cm}^{-1}$  związane z antysymetrycznymi, rozciągającymi drganiami grup  $\text{Si-O}_b\text{-Si}$  (Rinaudo i in. 2003, Bloise i in., 2016). Najbardziej intensywne pasmo 684  $\text{cm}^{-1}$  pochodzi od drgań symetrycznych  $\text{Si-O}_b\text{-Si}$ . Diagnostyczne dla antygorytu jest także pasmo 379  $\text{cm}^{-1}$  pochodzące od symetrycznych drgań zginających  $v_3$  grup  $\text{SiO}_4$  (Rinaudo i in. 2003). Pasma ok 230  $\text{cm}^{-1}$  dokumentuje obecność grup OH w strukturze minerału (Groppo, Campagnoni 2007).

## 5. Podsumowanie wyników badań

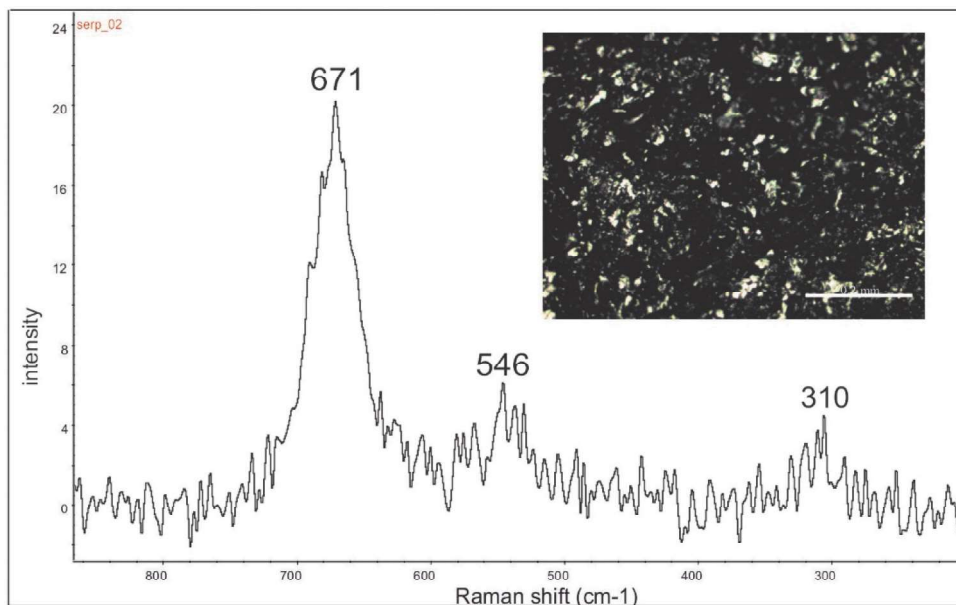
Z przeprowadzonych badań mineralogiczno-petrograficznych mineralizacji magnetytowo-dolomitowej napotkanej w północno-zachodniej części kopalni serpentynitu w Naslawicach (rys. 1) wynika, że ma ona charakter osobliwy, inny niż ta, która znana jest w tych skałach z wcześniejszych badań (Niskiewicz, 1989, Sałaciński, 1989). Dotyczy to za-



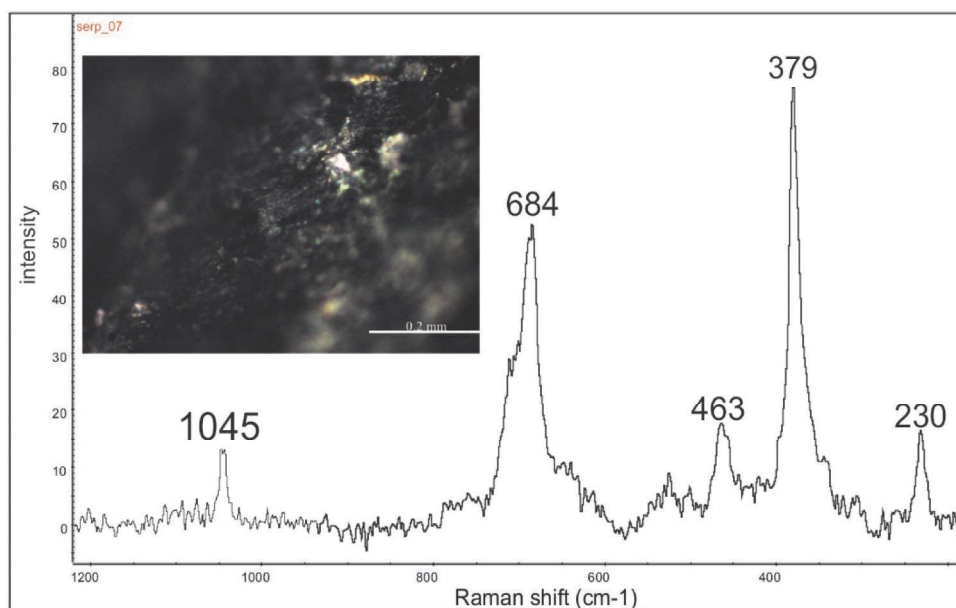
Rys. 5. Dolomit i jego widmo ramanowskie w zakresie 1400-100 cm-1  
 Fig. 5. Microphoto of dolomite and its Raman spectrum in the range of 1400-100 cm-1



Rys. 6. Obraz BSE kontaktu dolomitu z magnetytem i widma EDS z obu badanych obszarów  
 Fig. 6. BSE image of the dolomite-magnetite contact zone, and EDS spectra collected from both analytical areas



**Rys. 7. Obraz mikroskopowy magnetytu i jego widmo ramanowskie w zakresie 900-100 cm<sup>-1</sup>**  
**Fig. 7. Microphoto of magnetite and its Raman spectrum in the range of 900-100 cm<sup>-1</sup>**



**Rys. 8. Obraz mikroskopowy serpentynu i jego widmo ramanowskie w zakresie 1200-100 cm<sup>-1</sup>**  
**Fig. 8. Microphoto of serpentine and its Raman spectrum in the range of 1200-100 cm<sup>-1</sup>**

równy formy i wielkości uczestniczących w niej głównych składników, tzn. magnetytu i dolomitu. Mineralizacja ta odznacza się strukturą grubokrystaliczną, charakterystyczną dla pegmatytów. Magnetyt pozbawiony jest jakichkolwiek domieszek innych pierwiastków. Wykrył się prawdopodobnie z niskotemperaturowych hydrotermalnych roztworów, które z reguły zubożone są w domieszki innych składników, poza jonami żelaza. Żelazo do utworzenia się opisywanego magnetytu pochodziło prawdopodobnie z rozkładu piroksenów i oliwinów (reliktów skał pierwotnych) i innych generacji magnetytu obecnych w omawianych serpentynitach, a uruchomione zostało wskutek oddziaływania roztworów hydrotermalnych.

Obecność dolomitu w serpentynicie z Nasławic zanotował już w 1928 Finckh. Rozproszone agregaty tego mi-

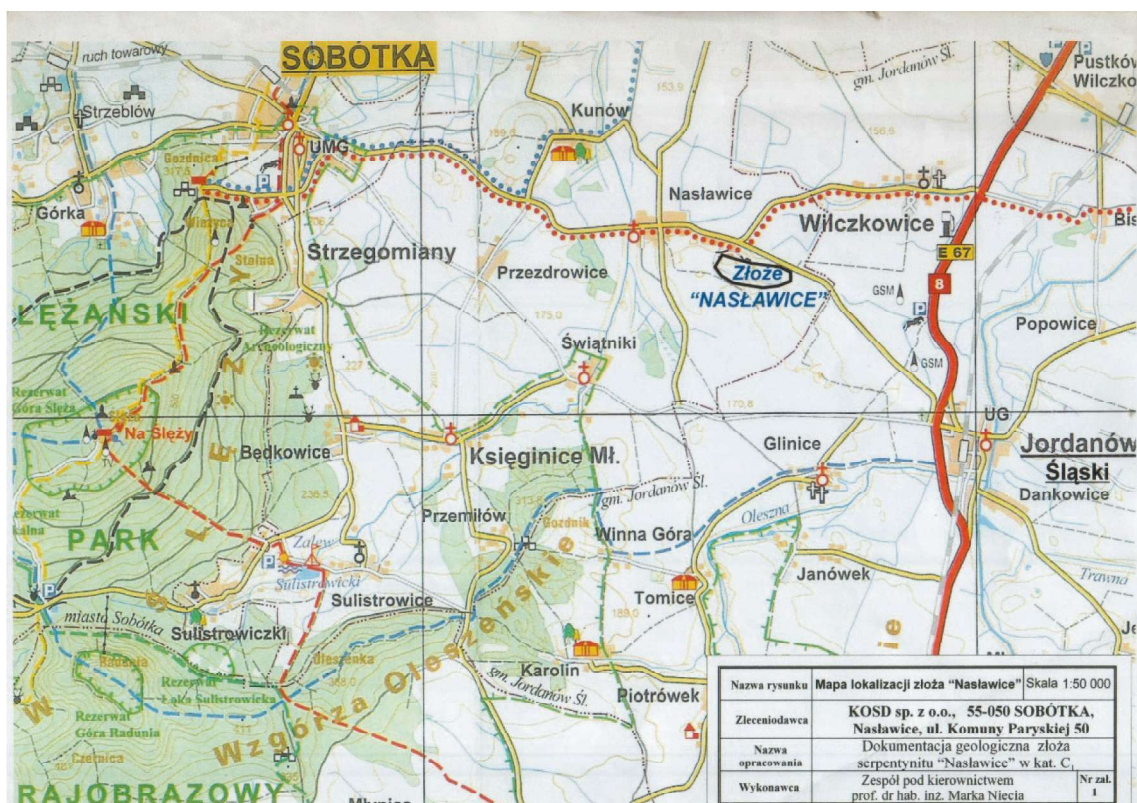
nerału w masie antygorytovej tych skał stwierdził również Majerowicz (1963). Formy żył dolomitowych w strefach kontaktu oddziaływań tektonicznych tych skał stwierdził Heflik (1967). W podobnych warunkach występowania dolomitu w serpentynitach z Nasławic stwierdził również Żaba (2030). W żadnym z wymienionych wystąpień nie stwierdzono jednak grubokrystalicznej (miejscami idiomorficznie wykształconej) formy tego minerału, takiej jaka obecna jest w omawianej asocjacji magnetytowo-dolomitowej. Jest to forma żylna, taka jaką spotyka się w utworach kruszcowych pochodzenia hydrotermalnego. Badany dolomit jest czystą fazą mineralną, pozbawioną innych jonów domieszkowych. Grubokrystaliczną formą wykształcenia charakteryzuje się również aragonit (rombowa modyfikacja CaCO<sub>3</sub>) napotkany w kamieniołomie w Nasławicach w strefach spękań w stekto-

nizowanym serpentynie (Heflik i in. 2001 Heflik, Kotowski 2018). Omówione minerały, magnetyt, dolomit i aragonit to produkty wykrystalizowane z niskotemperaturowych roztworów hydrotermalnych, w których w jednym miejscu uczestniczył tylko wapń – krystalizacja aragonitu, a w innym wapń, magnez oraz żelazo. W tym drugim przypadku doszło do wykrystalizowania omawianej paragenezy magnetyt-dolomit.

Należy wyjaśnić dlaczego w północno-zachodniej części kamieniołomu w Nasławicach natrafiono na omawianą grubokryształiczną asocjację magnetytowo-dolomitową (rys. 1) oraz dlaczego w tej części złoża serpentynitów w Nasławicach istniały sprzyjające warunki do migracji roztworów hydrotermalnych wzbogaconych w żelazo, magnez i wapń. W drugiej połowie XX w. Szumilas (1963) stwierdził, że tuż obok wioski Nasławice odsłania się kontakt serpentynitów z silnie zmienionym gabrem. Granica między tymi skałami przebiega mniej więcej równoległe do drogi łączącej Nasławice i Świątyniki (rys. 9). Autor ten uważał, że nie można wykluczyć wędrówki uwolnionego w wyniku serpentynizacji perydotytów i innych skał ultrazasadowych, magnezu, wapnia i żelaza w niewielkiej, lokalnej skali. Przemieszczenia jonów magnezu na nieco większą skalę miały miejsce jedynie w strefach kontaktowych gabra z granitem, co w konsekwencji doprowadziło do utworzenia się znanych złóż magnezytu w okolicach Sobótki (Gajewski 1966). Naciski tektoniczne wywołane intruzją gabrową spowodowały zapewne liczne strefy rozluźnień tektonicznych i pęknięć w serpentynitach, które zostały wypełnione pogabrowymi niskotemperaturowymi roztworami hydrotermalnymi niosącymi z intruzji gabrowej głównie jon  $Ca^{2+}$ . Roztwory te, penetrując przez tektonicznie zdeformowane serpentynity, dodatkowo wzbogacały się w magnez oraz żelazo uwolnione w wyniku rozkładu magnetytu pierwotnego i wtórnego. Duża koncentracja tych trzech składników (Fe, Ca, Mg) w roztworach dała podstawę do wykrystalizowania opisanej asocjacji magnetytu z dolomitom.

## 6. Konkluzje

1. Z przeprowadzonych badań mineralogiczno-petrograficznych asocjacji magnetytowo-dolomitowej napotkanej w północno-zachodniej części złoża serpentynitów kopalni Nasławice wynika, że stanowi ona produkt krystalizacji niskotemperaturowych roztworów hydrotermalnych w strefie silnie zdyslokowanych serpentynitów spowodowanych oddziaływaniem intruzji gabrowej.
2. Żelazo do utworzenia się magnetytu pochodziło z przeobrażenia pierwotnego i wtórnego magnetytu, obecnego w serpentynitach, a magnez, niezbędny składnik dolomitu, pochodził z rozkładu obecnych w nich różnych krzemianów (oliwinów, piroksenów). Wapń to typowy składnik pogabrowych roztworów hydrotermalnych.
3. Mineralizacja magnetytowa i innych minerałów rudnych w serpentynitach Wzgórz Nasławickich krystalizowała w wielu etapach, czyli ma charakter poligeniczny. Stanowi endogeniczne minerały kruszcowe (magnetyt, chromit) powstałe w wyniku likwacji i krystalizacji we wczesnym etapie magmowym (protokrystalizacji) oraz produkty krystalizacji podczas oddziaływań roztworów hydrotermalnych.
4. Działalność hydrotermalna w serpentynitach kompleksu ofiolitowego Śleży, w tym również Wzgórz Nasławickich, dokonywała się wieloetapowo i związana była z różnymi wydarzeniami geologicznymi. Intensywnie odzwierciedliła się już w czasie intruzji skał ultrazasadowych, przy współdziałaniu wody morskiej, powodując wstępną ich serpentynizację oraz przeobrażenia obecnych w nich minerałów rudnych, chromitu i magnetytu, pierwotnych składników krystalizacji wczesnej (likwacji). Kolejne akcenty przeobrażeń o tym charakterze wiążą się z orogenezą hercyńską. Efektem jej oddziaływania jest intruzja granitowa masywu Strzegom-Sobótka. Końcowe produkty



Rys. 9. Lokalizacja złoża Nasławice, skala 1:50000

Fig. 9. Location of the Nasławice deposit, scale 1:50000

tej intruzji (roztwory hydrotermalne) spowodowały intensywną mineralizację magnezytową w serpentynitach.

*Praca została sfinansowana z środków grantu AGH, nr 16.16.140.315*

## Literatura

- BLOISEA., PUNTUROR., CATALANO M., MIRIELLO D., CIRRINCIONE R. 2016 - Naturally occurring asbestos (NOA) in rock and soil and relation with human activities: The monitoring example of selected sites in Calabria (southern Italy). *Ital. J. Geosci.* 2016, 135, 268–279.
- FINCKH L. 1928 - Erläuterungen zu Blatt Zobten. Geol. Karte v. Preussen und benachbarten deutschen Ländern 1:25000. Lief 210. Geol. Landesanst, Berlin.
- GAJEWSKI Z. 1966 - Serpentyń Grochowej-Braszowic i związana z nimi mineralizacja magnetytowa. *Z geologii Ziemi Zachodnich. T II.* Wrocław.
- GROPPO C., RINAUDO C., CAIRO S., GASTALDI D., COMPAGNONI R. 2006 - Micro-Raman spectroscopy for a quick and reliable identification of serpentine minerals from ultramafics. *Eur. J. Mineral.* 18, 319-329.
- GROPPO C., COMPAGNONI R., 2007 - Ubiquitous fibrous antigorite veins from the Lanzo Ultramafic Massif, Internal western Alps: characterization and genetic conditions. *Per. Mineral.*, 76, 169-181.
- GUNASEKARAN S., ANBALAGAN G., PANDI S. 2006 - Raman and infrared spectra of carbonates of calcite structure. *J. Raman Spectrosc.* 37: 892–899.
- HEFLIK W. 1967 - Studium mineralogiczno-petrograficzne leukokraticznej strefy przeobrażonej okolic Jordanowa (Dolny Śląsk). *Prace Mineralogiczne nr 10*, 1-122.
- HEFLIK W., NATKANIEC-NOWAK L., MAŁEK-SZELA M., 2001 - Aragonit ze złoża serpentynitu w Nasławicach koło Jordanowa Śląskiego (Dolny Śląsk). „*Przeгляд Geologiczny*” 49, 1, 77-80.
- HEFLIK W., KOTOWSKI M., 2018 - Serpentyńity antygorytowe z rejonu Wzgórz Nasławickich koło Jordanowa Śląskiego. *KOSD Wrocław Sp. z o.o. Sp. k.*
- NIŚKIEWICZ J. 1989 - Mineralizacja rudna ofiolitu Ślęzy w świetle badań próbek skalnych z odsłoneń powierzchniowych. Ofiolit Ślęzy i jego mineralizacja rudna. Wydawnictwo Uniwersytetu Wrocławskiego, 98-126.
- PRZYBYŁOWICZ K., HUBICKA-PTASIŃSKA M. 1984 - Study of opaque minerals from some serpentinites of Lower Silesia (Poland). *Mineralogia Polonica*, vol. 15, no 1-2, 37-47.
- RINAUDO C., GASTALDI D., BELLUSO E. 2003 - Characterization of chrysotile, antigorite and lizardite by FT-Raman spectroscopy. *The Canadian Mineralogist*, 41, 883-890.
- Shebanova O., Lazor P., 2003 - Raman Spectroscopic Study of Magnetite (FeFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>): A New Assignment for the Vibrational Spectrum. *Journal of Solid State Chemistry*, 174, 424–430.
- SALAĆIŃSKI R. 1989 - Charakterystyka mineralizacji kruszcowej ofiolitu Ślęzy na podstawie materiałów wiertniczych. Ofiolit Ślęzy i jego mineralizacja rudna. Wydawnictwo Uniwersytetu Wrocławskiego, 126-137.
- SZUMLAS F. 1963 - Nikiel, kobalt i chrom w serpentynitach okolic Sobótki na Dolnym Śląsku. *Archiwum Mineralogiczne*, vol. 24, z. 1, 5-101.
- ŻABA J. 2003 - Słownik skał i minerałów. Videograf II, Katowice, 1-504.

Artykuł wpłynął do redakcji – maj 2021

Artykuł akceptowano do druku – 15.08.2021