

WSTĘPNE WYNIKI BADAŃ MINERALIZACJI KRUSZCOWEJ W SKAŁACH ULTRAMAFICZNYCH POŁUDNIOWEJ CZĘŚCI MASYWU SZKLAR (OKOLICE BOBOLIC)

INTRODUCTORY RESULTS OF ORE MINERALIZATION STUDIES IN ULTRAMAFIC ROCKS IN THE SOUTHERN PART OF THE SZKLARY MASSIF (THE BOBOLICE VICINITY)

KATARZYNA SADŁOWSKA¹

Abstrakt. Skały ultramaficzne masywu Szklar rozpoznano jako człon zmetamorfizowanych ultrabazytów sekwencji ofiolitu sudeckiego. Pierwotne skały ultramaficzne uległy serpentynizacji w różnym stopniu. W artykule przedstawiono wstępne wyniki badań przeprowadzonych na próbkach, pochodzących z rdzeni otworów wiertniczych położonych w południowej części masywu. Przeprowadzono badania mineralizacji kruszcowej w świetle odbitym i przechodzącym za pomocą mikroskopu Nikon Eclipse LV100 POL. Skład chemiczny minerałów kruszcowych określono przy użyciu mikrosondy elektronowej CAMECA SX 100. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono występowanie mineralizacji kruszcowej w postaci tlenków, siarczków i siarkosoli. Do tlenków zaliczają się spinele żelazowe w różnym stopniu wzbogacone w chrom. Zidentyfikowane minerały siarczkowe to pentlandyt, pirotyt, piryt, chalkopiryt, milleryt, heazlewoodyt. Podrzędnie występują siarkosole arsenowe w postaci kobaltynu. Ponadto zaobserwowano występowanie pojedynczych wrostków miedzi rodzimej, żelaza rodzimego, srebra oraz roztworu stałego srebra i złota.

Słowa kluczowe: serpentynity, ofiolit, spinele, siarczki, minerały kruszcowe, serpentynizacja.

Abstract. Ultramafic rocks from the Szklary Massif are regarded as mantle peridotite sequence of the Sudetic ophiolite complex. Primary ultramafic rocks are serpentinitised in various degree. The investigation of ore mineralization was carried out on samples collected in the field and from the drill cores situated in the southern part of the Szklary Massif. Ore minerals were identified in thin sections using transmitted and reflected lights under the polarized microscope. Chemical composition was determined using CAMECA SX 100 electron microprobe. Serpentinites host major Fe-spinels enriched with Cr in various degree, minor Fe-Ni sulphides like pentlandite, pyrrhotite, pyrite, chalcopyrite, millerite, heazlewoodite, sulfosalts such as cobaltite and single native metals inclusions (native iron, native copper, native silver and silver-gold solid solution).

Key words: serpentinites, ophiolite, spinels, sulphides, ore minerals, serpentinitization.

WSTĘP

Wyodrębnione tektonicznie masywy maficzne i ultramaficzne, występujące w otoczeniu bloku Gór Sowich (serpentynitowy masyw Jordanów–Gogołów, gabrowy masyw Nowej Rudy, serpentynitowy masyw Braszowice–Brzeźnica

i serpentynitowy masyw Szklar) rozpoznano jako fragmenty sekwencji ofiolitowej (Cwojdzński, 1977; Majerowicz, 1981; Mazur i in., 2006) (fig. 1). Masyw Szklar stanowi człon zmetamorfizowanych ultrabazytów sekwencji ofiolitowej

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa;
e-mail: katarzyna.sadlowska@pgi.gov.pl

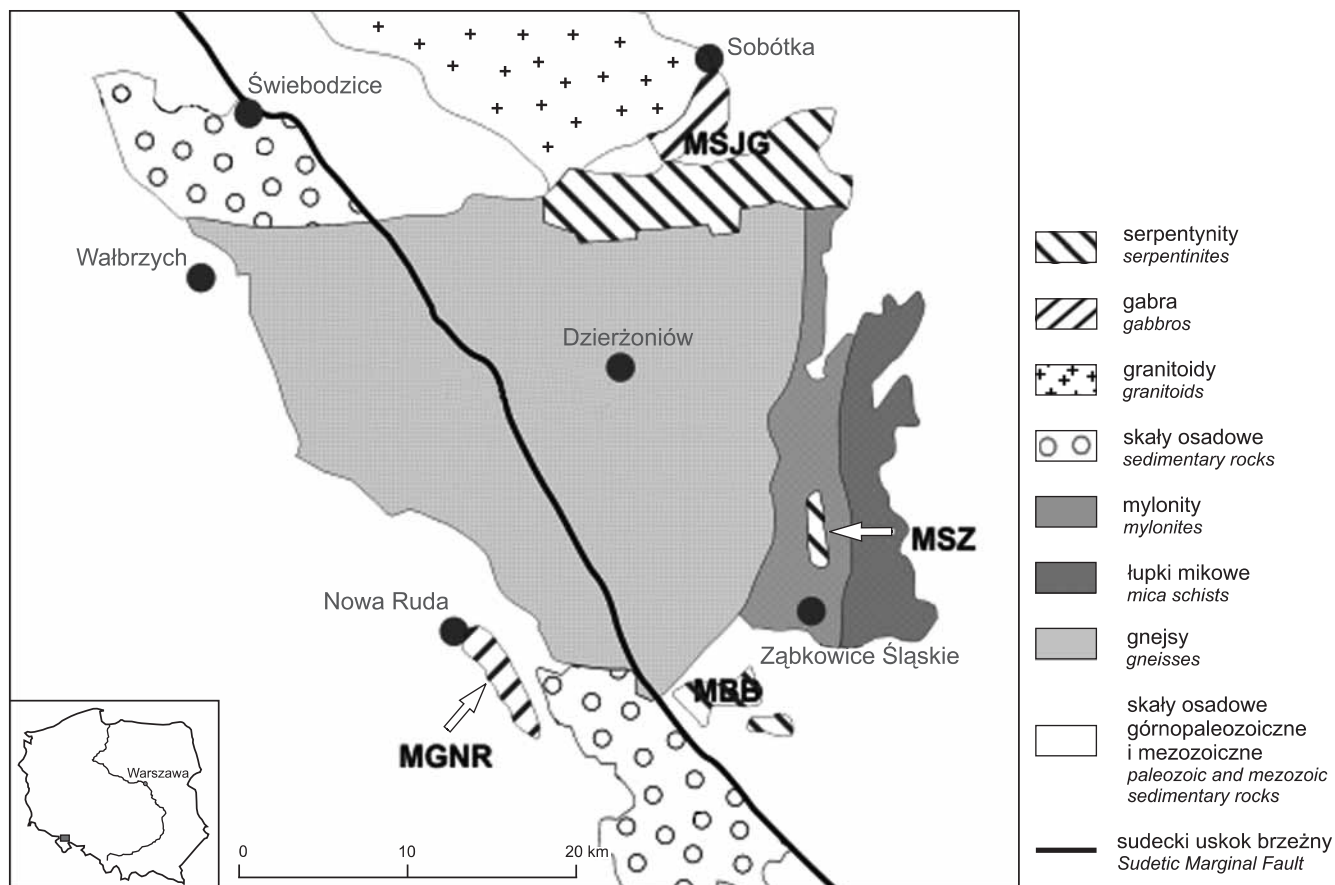


Fig. 1. Schematyczna mapa geologiczna przedstawiająca rozmieszczenie masywów skał maficznych i ultramaficznych w otoczeniu bloku Gór Sowich (wg Mazura i in., 2006)

MSJG – masyw serpentynitowy Jordanów–Gogołów, MSZ – masyw serpentynitowy Szklar, MBB – masyw serpentynitowy Braszowice–Brzeźnica, MGNR – masyw gabbrowy Nowej Rudy

Geological sketch map of the mafic and ultramafic massifs surrounding Góry Sowie Block (after Mazur *et al.*, 2006)

MSJG – Jordanów–Gogołów Serpentine Massif, MSZ – Szklary Serpentine Massif, MBB – Braszowice–Brzeźnica Serpentine Massif, MGNR – Nowa Ruda Gabbro Massif

(Dubińska, Gunia, 1997). Szew ofiolitowy powstał w późnym dewonie w wyniku kolizji terranu Gór Sowich–Kłodzka z terranem Orlika–Śnieżnika (Mazur i in., 2006), natomiast wiek serpentynizacji, a zarazem górną granicę wieku protolitu, określa się na późny sylur–wczesny dewon (420–400 Ma) (Dubińska i in., 2004; Kryza, Pin, 2010).

Ze skałami ultramaficznymi sekwencji ofiolitowych są związane złoża chromu, niklu, kobaltu oraz platynowców. W obrębie masywu Szklar istnieją udokumentowane saprolitowe złoża niklu (Mikulski, 2012). W artykule przedstawiono wstępne wyniki badań mineralizacji kruszcowej w zserpentyzowanych skałach ultramaficznych masywu Szklar.

METODY BADAŃ

Materiał do badań pochodzi z rdzeni dziewięciu otworów wiertniczych wykonanych w 2007 roku w okolicach Szklar i Bobolic oraz z próbek pobranych w terenie ze sztucznych odsłonięć i ze zwietrzliny (fig. 2). Z pobranych próbek

wykonano w sumie 30 płytek cienkich, z czego 20 wykonano z materiału rdzeniowego. Na pięciu preparatach przeprowadzono analizy składu chemicznego w mikroobszarze.

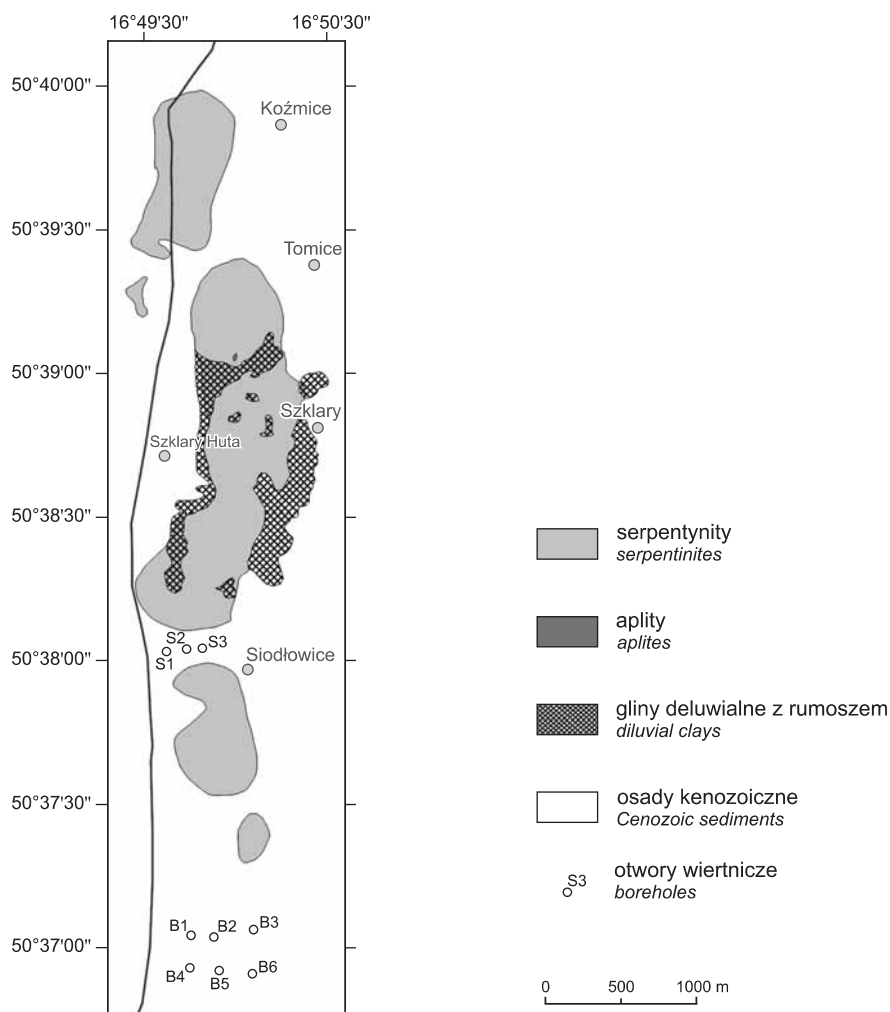


Fig. 2. Mapa geologiczna masywu Szklar z osadami kenozoiku (według Badury, Dziemiańczuk, 1981)

Geological map of the Szklary Massif with Cenozoic sedimentary rocks (after Badura, Dziemiańczuk, 1981)

Badania optyczne minerałów kruszczowych w spolaryzowanym świetle odbitym i przechodzącym przeprowadzono za pomocą mikroskopu optycznego Nikon Eclipse LV100 POL. Analizy składu chemicznego tlenkowych i siarczkowych minerałów kruszczowych wykonano za pomocą mikrosondy

elektronowej CAMECA SX-100 w Laboratorium Analiz w Mikroobszarze w Państwowym Instytucie Geologicznym – Państwowym Instytucie Badawczym. Analizy w mikroobszarze przeprowadzono przy napięciu wiązki elektronów 15 kV i natężeniu prądu wiązki 20 nA.

BUDOWA GEOLOGICZNA

Serpentynitowy masyw Szklar jest położony w obrębie bloku przedsudeckiego, w południowej części dyslokacyjnej strefy Niemczy, rozciągającej się wzdłuż wschodniej granicy bloku Gór Sowich. Należy on do wyodrębnionych tektonicznie masywów maficznych i ultramaficznych zlokalizowanych wokół bloku Gór Sowich, zaliczanych do sekwencji ofiolitu sudeckiego.

Masyw Szklar znajduje się na NNE od Ząbkowic Śląskich, między Koźmicami a Bobolicami. W terenie wyróżnia się jako zespół wzgórz o rozciągłości południkowej, szerokości 2 km i długości 5 km. Od północy można wyróżnić kolejno Wzgórze Koźmickie (307 m n.p.m.), Tomickie (345 m n.p.m.), Szklaną Górę (372 m n.p.m.) oraz Wzgórze Siodłowe (375 m n.p.m.). W otoczeniu masywu

Szklar występują mylonity i kataklazyty z wkładkami amfibolitów i gnejsów, a kontakt ze skałami otoczenia jest tektoniczny (Gunia, 2000). Badania geofizyczne wskazują, że na zachodzie granica masywu Szklar zaznacza się ostro, a wschodnia część masywu łagodnie zapada pod twory otaczające (Cholewicka-Meysner, Farbisz, 1993). Pod przykryciem skał epi- i mezometamorficznym zasięg serpentynitów masywu Szklar jest większy niż jego wychodnie, wyznaczono go na podstawie anomalii magnetycznych i grawimetrycznych (Cholewicka-Meisner, Farbisz, 1995).

Masyw Szklar jest zbudowany ze skał ultramaficznych, które w różnym stopniu uległy serpentynizacji. Skały masywu są poprzecinane żyłami leukokratycznymi i melanokratycznymi. W obrębie masywu spotyka się tektoniczne enklawy amfibolitów, rodingitów, intruzyjne kwaśne skały magmowe, żyły aplitowe, pegmatytowe i lamprofirowe (Heflik, Natkanić-Nowak, 1987; Gunia, 2000).

Wśród niezwiertzałych serpentynitów, stanowiących trzon masywu, można wyróżnić kilka odmian, różniących się zawartością oliwinów i minerałów grupy serpentynu oraz stopniem zwiertzenia. Serpentynity masywu Szklar charakteryzują się teksturą afanitową, mogą mieć barwę od jasnozielonej w przypadku serpentynitu oliwinowego do czarnozielonej w przypadku serpentynitu właściwego zbudowanego

z minerałów grupy serpentynu. Serpentynity często są silnie spękane, a spękania te są wypełnione żyłami węglanowymi oraz krzemionkowymi. Zwiertzałe serpentynity i stropową część serpentynitów niezwiertzałych przecina nieregularna sieć żył magnezytowych o grubości od kilku milimetrów do kilku centymetrów (Niśkiewicz, 1967).

Skały krystaliczne są pokryte zwiertzeliną o zróżnicowanej grubości – od kilku do ok. 100 metrów (Dubieńska, 1995; Niśkiewicz, 1967). Zwiertzelinie przypisuje się wiek oligoceński, na podstawie analogii z innymi zwiertzelinami skał tego typu na obszarze Dolnego Śląska (Dubieńska, 1995; Michalik i in., 1997). Zwiertzelina powstała w wyniku hipergenicnych procesów w warunkach klimatu tropikalnego, ma ona charakter *in situ*, na co wskazują zachowane w niej struktury skał macierzystych (Jamrozik, 1981; Dubieńska, 1995). W obrębie zwiertzeliny występują żyły krzemionkowe, znane z wystąpień chryzoprazu, chalcedonu i opali oraz metasomatyczne skały krzemionkowe, tzw. birbiryty (Mikulski, 2014). W obrębie zwiertzeliny udokumentowano trzy złoża rud niklu: Szklary–Szklana Góra, Szklary–Wzgórze Koźmickie oraz Szklary–Wzgórze Siodłowe.

Na pokrywie zwiertzelinowej leżą osady neogenu w postaci gliny morenowej, iłów, mułowców, piasków i żwirów (Niśkiewicz, 2000).

MINERALIZACJA KRUSZCOWA

W zserpentynizowanych skałach ultramaficznych masywu Szklar stwierdzono występowanie mineralizacji kruszcowej głównie w formie tlenków i siarczków. Minerale tlenkowe to spinele zróżnicowane pod względem składu chemicznego. Najczęściej spotykane spinele w zserpentynizowanych skałach ultramaficznych masywu Szklar to magnetyt, często wzbogacony w chrom oraz spinel o składzie i właściwościach optycznych pośrednich między chromitem a magnetytem (ferrichromit). Tlenkowe minerały kruszcowe dominują pod względem ilościowym. Mineralizacja siarczkowa jest mniej obfita, ale bardziej zróżnicowana. Przeprowadzone badania składu chemicznego w mikroobszarze wykazały, że w badanych skałach występują głównie siarczki żelaza i niklu. Zidentyfikowane siarczki to pentlandyt, piryt, pirotyn, milleryt, heazlewoodyt, chalkopiryt. Ponadto stwierdzono występowanie kobaltynu niklonośnego (Co,Ni,Fe)AsS oraz

pojedynczych wrostków żelaza rodzimego zwykle w sąsiedztwie pojedynczych ziaren hematytu, a także miedzi rodzimej, srebra oraz roztworu stałego srebra i złota.

Spinele w omawianych skałach występują w formie rozproszonych w tle skalnym, ksenomorficznych, często nieregularnie spękanych lub skorodowanych ziaren, osiągających rozmiary kilku milimetrów lub w postaci drobnych ziaren o wielkości od kilku do kilkudziesięciu mikrometrów o owalnych bądź amebowatych zarysach, niekiedy układających się w formę żyłek. Bardzo rzadko można spotkać spinele o zarysach automorficznych (fig. 3B). Siarczki są spotykane w postaci ksenomorficznych, zaokrąglonych ziaren o wielkości od kilku do kilkudziesięciu mikrometrów, rozproszonych w skale lub przerastających się ze spinelami (fig. 3A, C, D, F).

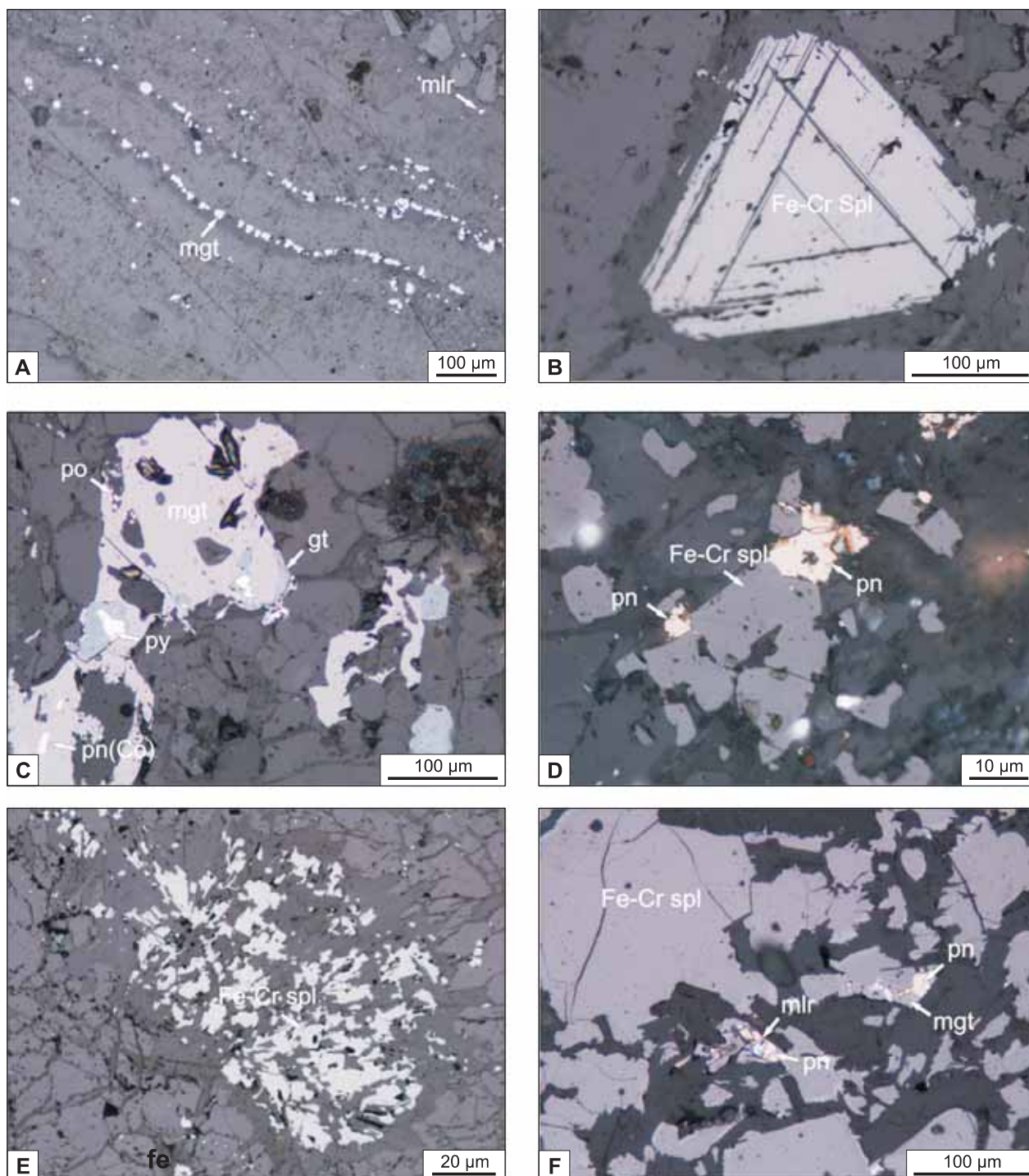


Fig. 3. Spinele i siarczki w zserpentyzowanych skałach ultramaficznych masywu Szklar

A – ksenomorficzne ziarna magnetytu, układające się w formę żyłki oraz ziarno millerytu (światło odbite, 1N); **B** – ziarno spinelu żelazowo-chromowego o automorficznym zarysie (światło odbite, 1N); **C** – ziarno magnetytu przerastające się z pirytom, pentlandytem kobaltowym oraz pirotynem. Getyt tworzy pseudomorfozę po pirycie (światło odbite, 1N); **D** – ziarna spinelu żelazowo-chromowego przerosnięte z pentlandytem (światło odbite, 1N); **E** – skorodowane ziarno spinelu żelazowo-chromowego (światło odbite, 1N); **F** – ziarna spinelu żelazowo-chromowego z magnetytową obwódką przerosniętą z siarczkami (światło odbite, 1N); gt – getyt, mgt – magnetyt, Fe-Cr spl – spinel żelazowo-chromowy, mlr – milleryt, po – pirotyt, pn – pentlandyt, pn(Co) – pentlandyt kobaltowy, py – piryt

Spinels and sulphides from serpentinised ultramafic rocks of the Szklary Massif

A – xenomorphic magnetite grain forming vein and single millerite grain (reflected light, 1N); **B** – euhedral Fe-Cr spinel grain (reflected light, 1N); **C** – magnetite intergrown with pyrite, Co-pentlandite and pyrrhotite. Goethite pseudomorph after pyrite; **D** – Fe-Cr spinel intergrown with pentlandite (reflected light, 1N); **E** – corroded Fe-Cr spinel grain (reflected light, 1N); **F** – Fe-Cr spinel grain with magnetite rim intergrown with sulphides (reflected light, 1N); gt – goethite, mgt – magnetite, Fe-Cr spl – Fe-Cr spinel, mlr – millerite, po – pyrrhotite, pn – pentlandite, pn(Co) – Co-pentlandite, py – pyrite

MINERALIZACJA TLENKOWA

Minerały tlenkowe występujące w skałach masywu Szklar zidentyfikowane przez autorkę to spinele żelazowe i żelazowo-chromowe. Spinele spotykane w skałach masywu Szklar mają zróżnicowany skład chemiczny. Są to głównie spinele żelazowe ze zmienną zawartością Cr_2O_3 (od 0 do 39,7% wag.), Al_2O_3 (od 0 do 27,7% wag.), Fe_2O_3 (od 12,2 do 68,7% wag.), FeO (od 18,45 do 30,84% wag.), MgO (od 0,28 do 10,68% wag.), MnO (od 0,06 do 4,05% wag.), NiO (od 0,07 do 1,06% wag.) (tab. 1).

Magnetyt niezawierający znacznej domieszki chromu występuje w formie ksenomorficznych ziaren o amebowatych zarysach, rozproszonych lub układających się w formę żyłek (fig. 3A, 4D), niekiedy przerasta się z siarczki. Charakteryzuje się następującym składem: 67,85% wag. Fe_2O_3 , 29,41% wag. FeO , 0,75% wag. MgO , 0,11% wag. MnO .

Rzadko można spotkać magnetyt w formie ksenomorficznych ziaren wielkości ok. 0,5 mm, przerastających się z pirytem, pentlandytem kobaltowym oraz pirotynem (fig. 3C).

Magnetyt może również występować w postaci obwódek wokół ziaren spineli żelazowych wzbogaconych w chrom (fig. 4A). W świetle odbitym takie obwódki wyróżniają się jaśniejszą, szarą barwą, w odróżnieniu od brązowego magnetytu chromowego, a granica między dwiema fazami jest wyraźna. Z magnetytowymi obwódkami mogą przerastać się siarczki (fig. 3F). Magnetyt występujący w formie obwódek może zawierać niewielkie ilości chromu – do 1,56% wag. Cr_2O_3 .

Magnetyt chromowy występuje zwykle w formie nagromadzeń ksenomorficznych i hipautomorficznych ziaren o zróżnicowanej wielkości – od kilku do kilkudziesięciu μm , niekiedy współwystępuje z żelazem rodzimym lub siarczki.

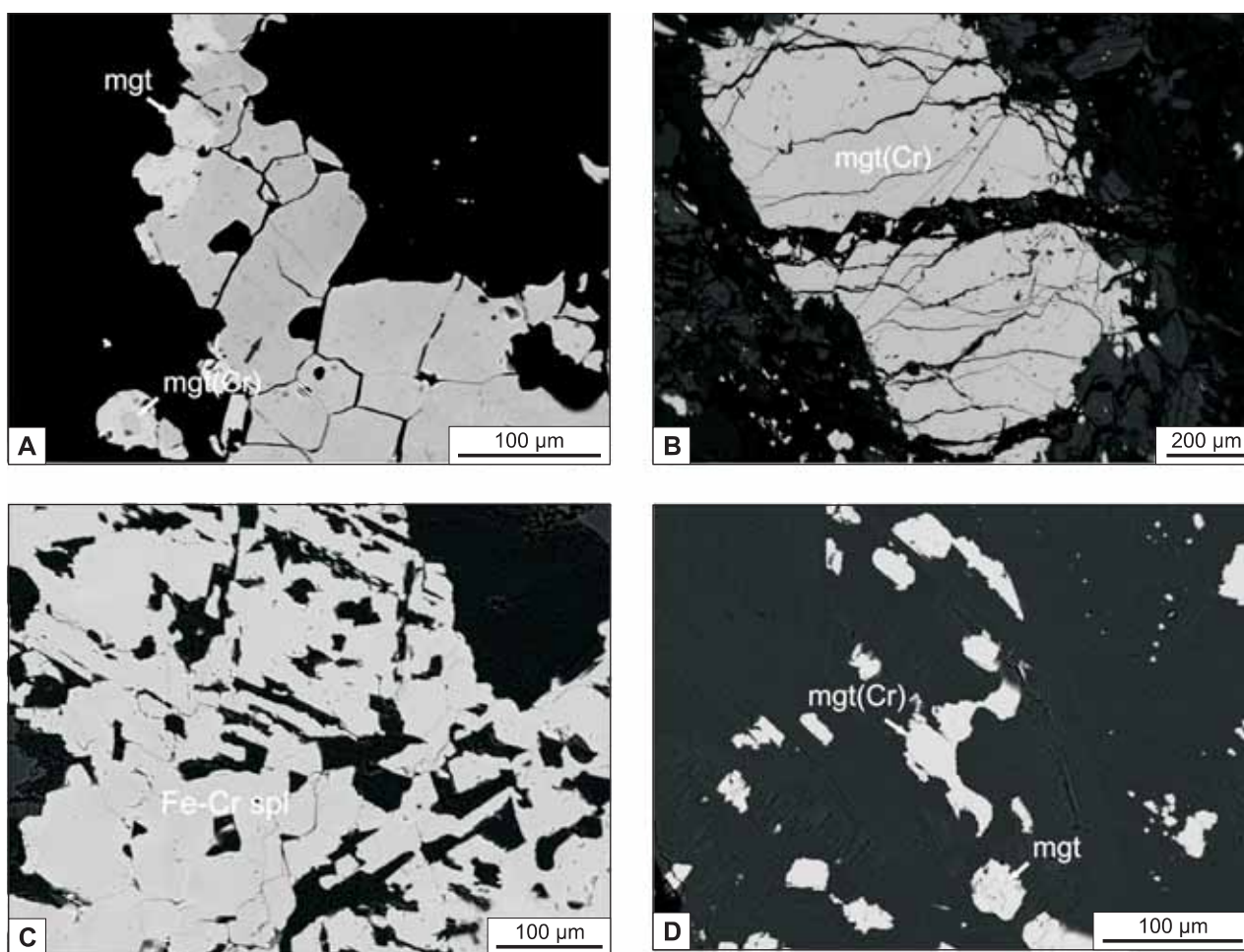


Fig. 4. Spinele Fe-Cr w zserpentyzowanych skałach ultramaficznych masywu Szklar

A – ziarno magnetytu chromowego z obwódką magnetytową (BSE, 15kV); B – charakterystycznie spękanie ziarno spinelu o składzie magnetytu chromowego (BSE, 15kV); C – ziarno spinelu żelazowo-chromowego z widocznymi zarysami poligonalnych ziaren (BSE, 15kV); D – ksenomorficzne ziarna magnetytu i magnetytu chromowego występujące w formie rozproszonej (BSE, 15kV); mgt(Cr) – magnetyt chromowy; pozostałe objaśnienia na figurze 3

Fe-Cr spinels from serpentinitized ultramafic rocks of the Szklary Massif

A – Cr-magnetite grain with magnetite rim (BSE, 15 kV); B – Cr-magnetite grain with characteristic irregular fractures (BSE, 15 kV); C – polygonal-shaped Fe-Cr spinel grains (BSE, 15 kV); D – dispersed, xenomorphic Cr-magnetite and magnetite grains (BSE, 15 kV); mgt(Cr) – Cr-magnetite; for other explanations see Figure 3

Tabela 1

Przykładowe analizy składu chemicznego spineli ze skał ultramaficznych masywu Szklary [% wag.]

Example of chemical analyses of spinels from serpentinitised ultramafic rocks of the Szklary Massif [wt. %]

	B6-31- -2-1.0	B6-31- -3-1.0	B4-40- -4-2.0	B4-40- -4-2	B6-25- -5-1	B6-25- -9-1	B6-25- -9-2	B4-40- -1-2	B4-40- -3-2	B4-40- -5-2	B4-40- -5-4	B1-22- -7-1	S2-19- -3-1	B4-40- -1-1	B4-40- -2-2	B4-40- -5-3	B4-40- -6-1	B4-40- -6-2
SiO ₂	0,64	0,07	0,15	0,09	0,16	0,09	0,14	0,16	1,15	0,40	1,53	0,07	0,05	0,09	0,12	0,13	0,08	0,07
TiO ₂	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,03	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	0,06	0,00	0,06	0,54	0,02	0,00	0,02	0,01	0,02	0,01	0,04	0,69	0,06	0,08	0,34	0,29	0,18	0,22
Cr ₂ O ₃	0,43	0,54	1,56	12,11	0,21	0,01	0,03	0,31	0,08	0,09	0,65	9,92	12,45	10,07	9,70	7,59	8,28	7,33
V ₂ O ₅	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ₂ O ₃	66,17	68,35	67,00	55,96	67,89	69,19	67,85	67,91	65,67	68,07	64,62	58,73	55,85	57,92	57,61	59,31	59,67	60,96
FeO	29,91	30,19	30,62	29,31	29,65	29,85	29,41	30,59	30,69	30,84	30,41	25,26	29,57	29,41	29,23	29,49	29,45	29,70
MnO	0,09	0,08	0,16	0,34	0,07	0,07	0,11	0,06	0,11	0,06	0,12	0,42	0,57	0,66	0,83	0,70	0,42	0,31
MgO	0,75	0,48	0,28	1,03	0,74	0,80	0,75	0,24	0,85	0,40	1,40	3,44	0,63	0,55	0,53	0,41	0,67	0,65
CaO	0,19	0,02	0,01	0,00	0,01	0,01	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02
ZnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CoO	0,14	0,12	0,14	0,14	0,12	0,13	0,12	0,11	0,14	0,16	0,15	0,16	0,11	0,17	0,19	0,19	0,14	0,13
NiO	0,16	0,07	0,47	0,72	0,59	0,28	0,44	0,46	0,32	0,40	0,35	1,06	0,56	0,40	0,73	0,64	0,64	0,64
Suma	98,27	99,74	99,84	99,38	98,75	100,03	98,34	99,30	98,57	99,89	98,79	98,57	99,26	98,81	98,36	98,28	98,77	99,26
	B-40- -6-3	B4-40- -7-2	B4-40- -7-3	B4-40- -7-4	B6-25- -4-3	B6-25- -1-4	B6-25- -1-5	B6-25- -1-6	B6-25- -8-2	B6-25- -8-3	B6-25- -1-3	B6-25- -2-1	S2-19- -2-1	B6-25- -6-4	B6-31- -1-2	B6-31- -3-1	B6-31- -2-3	B6-31- -2-3.0
SiO ₂	0,12	0,07	0,09	0,09	0,09	0,07	0,06	0,06	0,09	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06	0,07	0,03	0,04	0,07
TiO ₂	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,32	0,03	0,27	0,06	0,08	0,04	0,00
Al ₂ O ₃	0,36	0,48	0,27	0,23	0,27	1,73	1,51	1,83	1,83	1,02	0,94	2,42	0,19	1,82	1,25	1,93	0,97	0,01
Cr ₂ O ₃	8,75	9,47	9,39	7,85	9,39	29,57	27,84	29,31	32,91	19,46	23,40	30,45	9,40	24,59	22,20	16,23	17,29	0,46
V ₂ O ₅	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ₂ O ₃	59,19	58,30	58,58	59,98	58,58	38,16	39,13	37,50	34,27	48,06	43,50	34,81	58,46	41,93	44,94	50,36	49,98	67,41
FeO	29,55	29,18	28,87	29,55	28,87	27,25	27,80	26,53	26,29	28,04	26,03	26,23	29,17	26,58	27,49	26,99	26,79	29,73
MnO	0,25	0,25	0,56	0,48	0,56	0,74	1,20	0,78	0,56	0,64	4,05	3,04	0,30	0,34	1,15	0,63	1,16	0,10
MgO	0,83	1,00	0,98	0,58	0,98	2,53	1,66	2,70	3,15	1,70	0,74	1,79	0,90	3,07	1,80	2,40	1,97	0,46
CaO	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,02	0,02	0,06
ZnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CoO	0,14	0,13	0,16	0,16	0,16	0,12	0,14	0,14	0,10	0,14	0,16	0,14	0,10	0,13	0,13	0,11	0,13	0,14
NiO	0,66	0,71	0,67	0,64	0,67	0,37	0,35	0,51	0,24	0,52	0,29	0,29	0,80	0,86	0,50	0,61	0,26	0,07
Suma	99,06	98,76	98,76	98,77	98,76	100,05	99,21	98,71	99,10	99,01	98,74	99,14	98,52	98,66	98,97	98,68	98,25	98,30

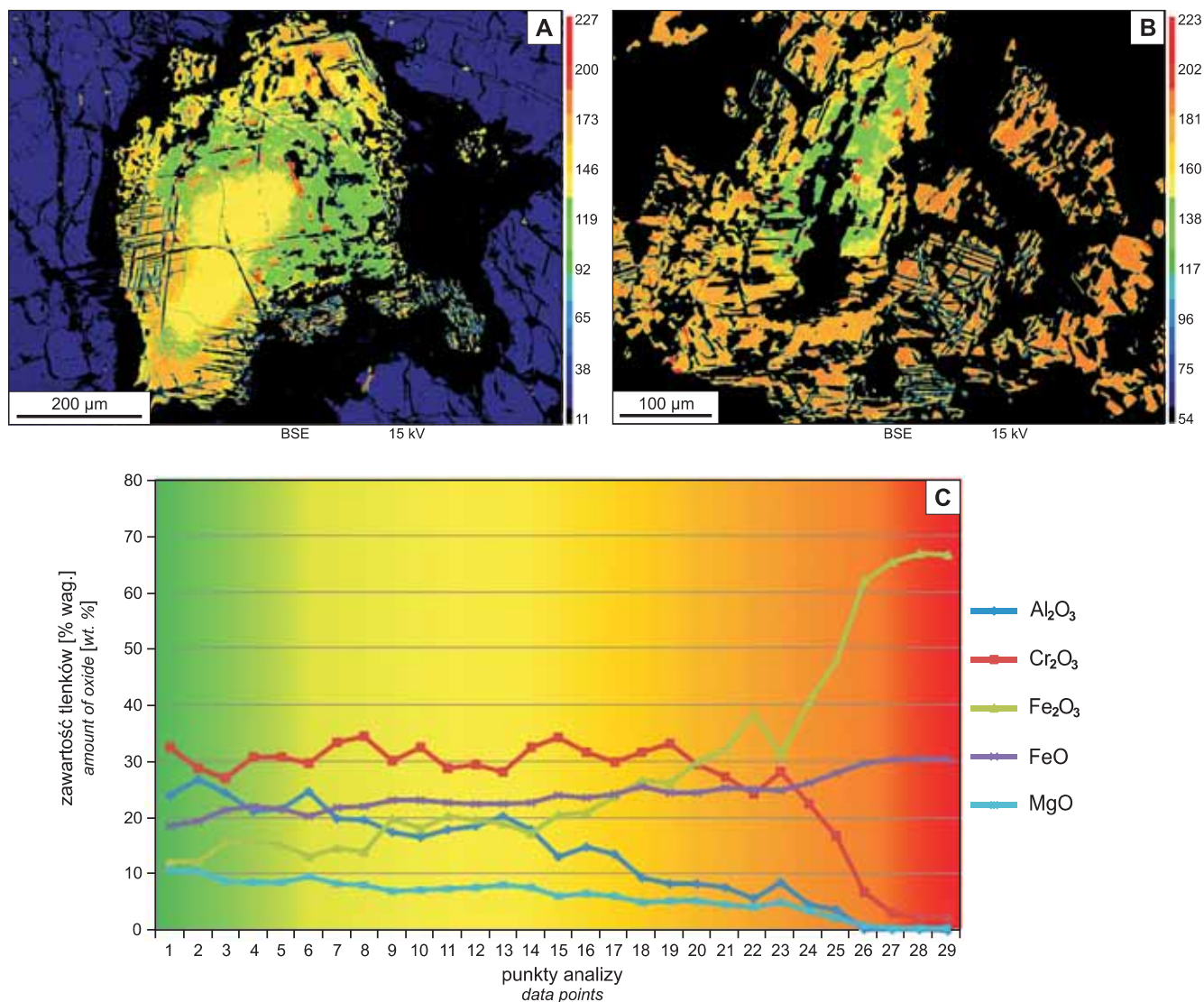


Fig. 5. Ziarna spineli o niejednorodnym składzie chemicznym

Kolor zielony odpowiada strefom wzbogaconym w Al^{3+} , Cr^{3+} i Mg^{2+} , kolor czerwony odpowiada strefom wzbogaconym w Fe^{3+} i Fe^{2+}

Spinel grains with inhomogeneous chemical composition

Zones enriched with Al^{3+} , Cr^{3+} and Mg^{2+} are green, zones enriched with Fe^{3+} and Fe^{2+} are red

Zarysy ziaren magnetytu chromowego w niektórych nagromadzeniach charakteryzują się kierunkowym wydłużeniem, natomiast zarysy magnetytu bez domieszki chromu mogą być wydłużone w kierunku prostopadłym do kierunku wydłużenia ziaren magnetytu chromowego (fig. 4D). Magnetyt chromowy może także występować w postaci masywnych ziaren wielkości kilku milimetrów, często charakterystycznie splekanych (fig. 4B). Wokół takich ziaren może występować chlorytowa otoczka. W obrębie ziaren magnetytu chromowego rzadko można spotkać wrostki miedzi rodzimej. Średni skład magnetytu chromowego charakteryzuje się zawartością 58,45% wag. Fe_2O_3 , 9,49% wag. Cr_2O_3 , 29,04% wag. FeO , 0,96% wag. MgO , 0,47% wag. MnO .

Spinel o składzie pośrednim między chromitem a magnetytem tworzy zazwyczaj duże ziarna, osiągające wiel-

kość kilkuset μm . Najczęściej są one skorodowane, miejscami mogą zaznaczać się poligonalne zarysy ziaren spinelu (fig. 3E, 4C), mogą przerastać się z siarczkami (fig. 3D). W swoim składzie chemicznym zawiera średnio 42,05% wag. Fe_2O_3 , 24,85% wag. Cr_2O_3 , 1,57% wag. Al_2O_3 , 2,14% wag. MgO , 1,29% wag. MnO .

Ponadto w badanych skałach można spotkać spineli o niejednorodnym składzie chemicznym, zaznaczającym się występowaniem w obrębie ziarna stref o różnej zawartości Al_2O_3 , Cr_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO i MgO (fig. 5). Takie ziarna mogą osiągać wielkość ok. 1 mm, są zbudowane z masywnego, niesplekanego jądra i zewnętrznej strefy, w której spinel przerasta się z minerałami krzemianowymi, występującymi w otoczeniu (fig. 5A). Z jednej strony zarys jądra jest podkreślony przez wąską strefę wzbogaconą w glin i chrom (kolor

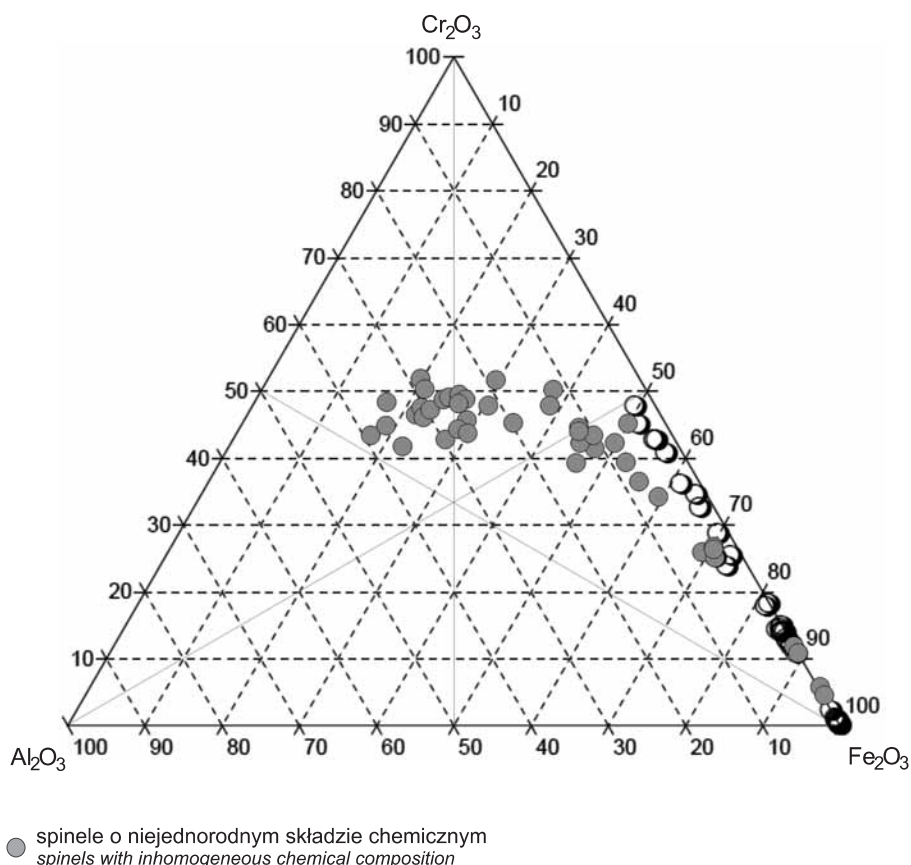


Fig. 6. Diagram trójkątny przedstawiający skład spineli z serpentynizowanych skał ultramaficznych masywu Szklar (wg Stevensa, 1944)

Ternary plot showing chemical composition of spinels from serpentinitised ultramafic rocks of the Szklary Massif (after Stevens, 1944)

ciemnozielony), ku brzegom ziarna przechodzą w strefę o mniejszej zawartości glinu i chromu i większej zawartości żelaza w stosunku do składu jądra (kolor pomarańczowy). Z drugiej strony zarys jądra jest podkreślony ostrą granicą ze strefą wyraźnie wzbogaconą w żelazo i zubożoną w glin. Zewnętrzne strefy ziarna przerastają się z minerałami przezroczystymi. Ziarna spineli, w których zaznaczają się strefy

o zróżnicowanym składzie chemicznym, mogą być również zbudowane tylko ze strefy bogatej w glin i najbardziej zewnętrznej strefy bogatej w żelazo (fig. 5B).

Skład spineli zaprezentowano na figurze 6. W nawiązaniu do klasyfikacji Stevensa (1944) w większości można je zaliczyć do magnetytów chromowych, tylko część analiz wypada w polu chromitów żelazowych i glinowych.

MINERALIZACJA SIARCZKOWA

Siarczki w badanych skałach występują w postaci drobnych ksenomorficznych ziaren o wielkości od kilku do kilkudziesięciu μm . Występują w formie rozproszonej, bądź przerastają się ze spinelami (fig. 3A, C–F). Najczęściej spotykanymi siarczkami w badanych skałach są siarczki żelaza i niklu, często zawierające domieszki kobaltu (tab. 2).

Pentlandyt $(\text{Fe}, \text{Ni})_9\text{S}_8$ to najczęściej spotykany siarczek w skałach ultramaficznych masywu Szklar. Występuje w postaci ksenomorficznych ziaren o wielkości od kilku do 30 μm . Często spotyka się ziarna pentlandytu zróżnione z magnetytem

i spinelem żelazowo-chromowym lub bezładnie rozproszone w skale (fig. 3C, D, F). Pentlandyt w swoim składzie chemicznym może zawierać kobalt – od kilku do nawet 15% wag.

Pirotyn FeS_{x-1} występuje w postaci ksenomorficznych ziaren o wielkości kilku μm , może przerastać się z magnetytem, występującym w obwódkach oraz spinelem żelazowo-chromowym. Charakteryzuje się niższą zdolnością refleksyjną niż pentlandyt i piryt oraz widocznymi brązowokremowymi barwami dwójdobicia. Średnio w swoim składzie chemicznym zawiera 62,26% wag. Fe, 36,86% wag. S.

Tabela 2

Przykładowe analizy składu chemicznego siarczków ze skał ultramaficznych masywu Szklar [% wag.]
Example of chemical analyses of sulphides from serpentinitised ultramafic rocks of the Szklary Massif [wt. %]

	mlr	mlr	hz	hz	cbt(Ni)	po	po	py	pn(Co)	pn	pn
	B4-40-3-3	B6-31-4-1	B4-40-3-4	B4-40-3-4	B4-40-7-4	B6-25-3-3	B6-31-2-2	B6-25-3-2	B6-25-3-2	B6-31-2-3	B6-31-4-1
Cl	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00
S	33,84	35,03	27,11	27,39	18,82	37,23	36,23	52,87	34,42	33,15	33,23
Cr	0,01	0,15	0,01	0,01	0,00	0,01	0,40	0,00	0,01	0,11	0,30
Ca	0,01	0,05	0,01	0,01	0,00	0,24	0,08	0,04	0,00	0,01	0,02
Si	0,48	0,05	0,19	0,22	0,12	0,08	0,06	0,03	0,04	0,10	0,04
Al	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,02	0,01
As	0,10	0,00	0,00	0,00	45,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg	0,56	0,05	0,13	0,15	0,06	0,22	0,02	0,01	0,02	0,09	0,03
Ni	62,76	60,45	71,03	70,64	9,34	0,00	0,02	0,19	21,57	34,52	34,60
Co	0,06	0,39	0,03	0,02	18,77	0,13	0,03	4,99	15,32	3,34	4,04
Fe	0,75	2,87	0,94	0,96	6,42	62,88	62,69	41,84	28,59	28,66	27,62
Mn	0,03	0,05	0,01	0,02	0,00	0,05	0,05	0,01	0,00	0,04	0,01
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,00	0,03	0,00	0,00
Suma	98,62	99,10	99,47	99,43	99,47	100,87	99,64	100,00	100,00	100,05	99,89

hz – heazlewoodyt, cbt(Ni) – kobaltyn nikłonośny, pozostałe objaśnienia na [figurze 3](#)
hz – heazlewoodyt, cbt(Ni) – Ni-cobaltite, for other explanations see [Figure 3](#)

Piryt FeS_2 jest spotykany w postaci ksenomorficznych ziaren, osiągających wielkość do 30 μm . Może przerastać się ze spinelami, niektóre ziarna pirytu są zastępowane przez getyt ([fig. 3C](#)). Analiza składu chemicznego w mikroobszarze wykazała, że piryt występujący w badanych skałach może zawierać domieszkę kobaltu do 4,99%.

Milleryt NiS występuje w postaci rozproszonych ziaren o niewielkich rozmiarach od kilku do kilkunastu μm . Znany jest jako produkt przeobrażeń siarczków zawierających nikiel. Milleryt występujący w skałach masywu Szklar zawiera domieszkę żelaza, w swoim składzie chemicznym zawiera średnio 62,24% wag. Ni, 1,77% wag. Fe oraz 34,31% wag. S.

Heazlewoodyt Ni_3S_2 jest minerałem charakterystycznym dla skał serpentynowych. W skałach masywu Szklar występuje w postaci ksenomorficznych, zaokrąglonych ziaren o wielkości do kilkunastu μm . Ziarna tego minerału są roz-

proszone bezładnie w skale, lub przerastają się z magnetytem. Heazlewoodyt występujący w badanych skałach może zawierać domieszki żelaza do 4%. Średni skład chemiczny heazlewoodytu charakteryzuje się 69,96% wag. Ni, 1,05% wag. Fe oraz 27,75% wag. S.

Chalkopiryty CuFeS_2 występuje w postaci rozproszonych ksenomorficznych, zaokrąglonych ziaren o wielkości od kilku do kilkunastu μm . W swoim składzie chemicznym zawiera 33% wag. Cu, 31% wag. Fe i 35% wag. S.

Kobaltyn nikłonośny jest rzadko spotykanym minerałem kruszcowym w badanych skałach. Zidentyfikowano go w badaniu mikrosondowym w postaci ksenomorficznego ziarna o wielkości ok. 10 μm , zrosniętego z Cr-magnetytem. W swoim składzie chemicznym zawiera 19,74% wag. Co, 8,9% wag. Ni, 6,13% wag. Fe, 46,07% wag. As oraz 18,68% wag. S.

WNIOSKI

Typowymi minerałami kruszcowymi w skałach ultramaficznych, charakterystycznymi dla wczesnego stadium krystalizacji magmy, to akcesoryczny chromit oraz siarczki, takie jak: pentlandyt, chalkopiryty i pirotyn. W procesie serpentynizacji zarówno pierwotne krzemianowe minerały skałotwórcze, jak i akcesoryczne minerały kruszcowe ulegają przemianom. Spinele, pochodzące ze skał ultramaficznych pochodzenia płaszczowego, są bogate w glin, chrom i magnez oraz charakteryzują się niewielką zawartością Fe_2O_3

(Barnes, Roeder, 2001). W czasie serpentynizacji pierwotne spinele są wzbogacane w Fe_2O_3 , a zawartość Al_2O_3 i Cr_2O_3 maleje (Proenza i in., 2004; Delura, 2012). Zróżnicowanie składu chemicznego spineli występujących w zserpentynizowanych skałach ultramaficznych masywu Szklar jest związane z podstawieniami diadochowymi jonów Mg^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{2+} , Ni^{2+} oraz Al^{3+} , Cr^{3+} i Fe^{3+} . W czasie serpentynizacji jony Al^{3+} , Cr^{3+} Mg^{2+} są odprowadzane ze struktury spinelu, a w ich miejsce są podstawiane Fe^{3+} oraz Fe^{2+} . W wyniku

takiej przemiany powstaje magnetyt, najczęściej wzbogacony w chrom. Chrom i glin w strukturze magnetytu może zatem stanowić pozostałość po pierwotnych spinelach, natomiast żelazo oraz śladowe ilości niklu mogą pochodzić z rozpadu oliwinów. Glin, magnez i chrom uwolnione ze struktury spinelu mogą częściowo wchodzić w skład chlorytów, krystalizujących w otocze spinelu (Mellini i in., 2005). W większości przypadków ziarna pierwotnych spineli zostały objęte przemianą w całości i charakteryzują się jednorodnym składem chemicznym. W ziarnach spineli, w których zaobserwowano niejednorodny skład chemiczny, wyraźnie zaznacza się korelacja zmienności poszczególnych składników w obrębie stref. Wraz ze wzrostem zawartości Fe_2O_3 i FeO spada zawartość Al_2O_3 , Cr_2O_3 i MgO (fig. 5C). Prawdopodobnie nastąpiło odprowadzanie składników z jądra ziarna

i wtórna ich koncentracja wokół ziarna, przy czym najbliżej jądra występuje strefa bogata w Al^{3+} , Cr^{3+} i Mg^{2+} , a dalej krystalizują fazy bogatsze w Fe^{3+} i Fe^{2+} zamykając minerały krzemianowe (fig. 5A, B).

Zarówno magnetyt, Cr-magnetyt, jak i siarczki niklu i żelaza powstają jako produkt procesu serpentynizacji (Barnes, 2000). Siarczki żelaza i niklu oraz siarkosole arsenowe tworzą liczne przerosty z Cr-magnetytem i magnetytem, co wskazuje na ich równoczesną krystalizację. Okruszczowanie w badanych skałach jest dosyć nieregularne i charakterystyczne dla stref zwietrzałych serpentynitów, gdzie wytworzyły się sapolitowe złoża niklu. Podobne paragenezy minerałów kruszczowych stwierdzono w masywach serpentynitowych Gogołów–Jordanów i Braszowice–Brzeźnica (Delura, 2012), zaliczanych również do sekwencji ofiolitu sudeckiego.

LITERATURA

- BADURA J., DZIEMIAŃCZUK E., 1981 — Szczegółowa Mapa Geologiczna Sudetów 1:25 000, ark. Ząbkowice Śląskie. Inst. Geol., Warszawa.
- BARNES S.J., 2000 — Chromite in Komatiites, II. Modification during greenschist to mid-amphibolite facies metamorphism. *J. Petrol.*, **41**, 3: 387–409.
- BARNES S.J., ROEDER P.L., 2001 — The range of spinel compositions in terrestrial mafic and ultramafic rocks. *J. Petrol.*, **42**, 12: 2279–2302.
- CHOLEWICKA-MEYSNER D., FARBISZ J., 1993 — Problematyka rudna masywów ultrazasadowych i zasadowych Dolnego Śląska w świetle badań geofizycznych. *Acta Univ. Wratisl. Pr. Geol.-Miner.*, **33**: 145–165.
- CHOLEWICKA-MEYSNER D., FARBISZ J., 1995 — Efektywność prospekcyjna metod geofizycznych w rozpoznaniu geologii bloku przedsudeckiego. *W: Materiały sesji 66. Zjazdu PTG. Rocznik PTG, wydanie specjalne – 50 lat polskich badań geologicznych na Dolnym Śląsku: 49–68*, Wrocław.
- CWOJDZIŃSKI S., 1977 — Główne etapy ewolucji tektogenu waryscyjskiego Polski w świetle teorii tektoniki płyt. *Prz. Geol.*, **25**, 11: 579–583.
- DELURA K., 2012 — Chromites from the Sudetic ophiolite: origin and alteration. AM Monograph no. 4. Wyd. UW, Warszawa.
- DUBIŃSKA E., 1995 — Budowa zwietrzliny ze Szklar. *W: Materiały sesji 66. Zjazdu PTG. Rocznik PTG, wydanie specjalne – 50 lat polskich badań geologicznych na Dolnym Śląsku: 207–212*, Wrocław.
- DUBIŃSKA E., GUNIA P., 1997 — The Sudetic ophiolite: current view on its geodynamic model. *Geol. Quart.*, **41**, 1: 1–20.
- DUBIŃSKA E., BYLINA P., KOZŁOWSKI A., DÖRR W., NEJBERT K., SCHASTOK J., KULICKI C., 2004 — U-Pb dating of serpentinitization: hydrothermal zircon from a metasomatic rodingite shell (Sudetic ophiolite, SW Poland). *Chem. Geol.*, **203**: 183–203.
- GUNIA P., 2000 — The petrology and geochemistry of mantle-derived basic and ultrabasic rocks from Szklary massif in the Fore-Sudetic Block (SW Poland). *Geol. Sudet.*, **33**: 71–83.
- HEFLIK W., NATKANIEC-NOWAK L., 1987 — Grossular from rodingitic zone in Szklary serpentinite massif (Lower Silesia, Poland). *Miner. Pol.*, **18**, 1: 27–30.
- JAMROZIK L., 1981 — General geology and tectonics of the serpentinite-gabbroic Braszowice–Grochowa Massif. *W: Ophiolites and Initialites of Northern Border of the Bohemian Massif. T. 2: 95–103*. Potsdam-Freiberg.
- KRYZA R., PIN C., 2010 — The Central-Sudetic ophiolites (SW Poland): petrogenetic issues, geochronology and paleotectonic implications. *Gondwana Res.*, **17**: 292–305.
- MAJEROWICZ A., 1981 — Rock series of the Ślęza Mt. group in the light of petrologic studies of ophiolitic complexes. *W: Ophiolites and Initialites of Northern Border of the Bohemian Massif. T. 2: 172–199*. Potsdam-Freiberg.
- MAZUR S., ALEKSANDROWSKI P., KRYZA R., OBERC-DZIEDZIC T., 2006 — The Variscan Orogen in Poland. *Geol. Quart.*, **50**, 1: 89–118.
- MELLINI M., RUMORI C., VITI C., 2005 — Hydrothermally reset magmatic spinels in retrograde serpentinites: formation of “ferri-chromite” rims and chlorite aureols. *Contrib. Miner. Petrol.*, **149**: 266–275.
- MICHALIK R., SACHANBINSKI M., NIŚKIEWICZ J., 1997 — Wstępne dane o geochemii złota w zwietrzelinach serpentynitowych masywu Szklar. *W: Mater. konf. Metale szlachetne w NE części Masywu Czeskiego i obszarach przyległych. Geneza, występowanie, perspektywy. Jarnołtówek, 19–21 czerwiec 1997: 81–85*.
- MIKULSKI S.Z., 2012 — Występowanie i zasoby perspektywiczne rud niklu w Polsce. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **448**: 287–296.
- MIKULSKI S.Z., 2014 — Silnie krzemionkowe zażelazone metasomatyty (birbiryty) ze strefy zwietrzlenia masywu serpentynitowego w złożu niklu w Szklarach na Dolnym Śląsku. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **458**: 61–72.
- NIŚKIEWICZ J., 1967 — Budowa geologiczna masywu Szklar (Dolny Śląsk). *Roczn. Pol. Tow. Geol.*, **37**: 387–414.
- NIŚKIEWICZ J., 2000 — Pokrywa zwietrzelinowa masywu Szklar i jej nikłoność. *Geol. Sudet.*, **33**: 107–130.
- PROENZA J.A., ORTEGA-GUTIERREZ F., CAMPRUBÍ A., TRITLLA J., ELÍAS-HERRERA M., REYES-SALAS M., 2004 — Paleozoic serpentinite-enclosed chromitites from Tehuiztingo (Acatlan Complex, southern Mexico): a petrological and mineralogical study. *J. South Am. Earth Sci.*, **16**: 649–666.
- STEVENS R., 1944 — Composition of some chromites of the western hemisphere. *Amer. Miner.*, **29**: 1–34.

SUMMARY

Mafic and ultramafic massifs surrounding the Góry Sowie Block are known as dismembered ophiolite suite. The Szklary Massif is situated at the eastern border of the Góry Sowie Block, in the southern part of the Niemcza Dislocation Zone. The Szklary Massif is regarded as mantle peridotites of Sudetic ophiolite sequence. The ophiolite suture was formed in late Devonian. The early Devonian age of the serpentinization process also represents the maximum age of the protolith.

The investigation of the ore mineralization was carried out on samples collected in the field and from the drill cores located in the southern part of the Szklary Massif. Ore minerals were identified in thin sections using transmitted and reflected lights under the microscope. Chemical compositions of the ore minerals were determined using CAMECA SX 100 electron microprobe.

The Szklary Massif is composed of ultramafic rocks serpentinized to a varying degree. Serpentinites are intersected by aplite, pegmatite and lamprophyre veins. Within the serpentinites there are tectonic enclosures of rodingites, amphibolites and intrusive granitoids. Ultramafic massif is covered with Cenozoic laterite weathering cover. The weathering cover is incised with magnesite and silicate veins, the latter famous for chrysoprase occurrence. Within the weathering cover there are three saprolitic nickel deposits.

Investigation was carried out in order to identify the ore minerals. The identified ore minerals are spinels, Ni-Fe sulphides, sulfosalts and single inclusions of native iron, native

copper, native silver and silver-gold solid solution. The most common opaque oxide minerals are Fe-spinels, frequently enriched with chromium to a varying degree. Spinel grains usually form anhedral or subhedral dispersed grains. Spinel grains vary in size from several μm to several mm. Cr-magnetite frequently occurs as irregularly fractured grains or as aggregates of polygonal grains. Frequent spinel grains are rimmed with chlorite aureole. Al-Cr spinels are characteristic for mantle derived ultramafic rocks. During the serpentinization process the Al^{3+} , Cr^{3+} , Mg^{2+} ions are released from spinel structure and replaced by Fe^{3+} and Fe^{2+} . Aluminum, chromium and magnesium may promote formation of chlorite aureoles. Some of the spinel grains from the studied samples display inhomogeneous chemical composition. Within such grains there are zones of different concentrations of some components. Correlation between Al_2O_3 , Cr_2O_3 , MgO enrichment and Fe_2O_3 and FeO depletion is present within the zones. The zone with high amount of Al_2O_3 , Cr_2O_3 , MgO is present in the direct vicinity of the grain core. The outermost zone with high Fe_2O_3 and FeO concentrations is abundantly intergrown with silicate minerals. Cr-magnetite, magnetite and Ni-Fe sulphides are the products of serpentinization process. Sulphides form dispersed, anhedral grains, which vary in size from several μm to several dozen μm . Pentlandite is frequently enriched with Co up to 15 wt. %, Ni sulphides are enriched with Fe. Frequent intergrowths of sulphides with magnetite or Cr-magnetite indicate simultaneous crystallization during serpentinization process.