

KATARZYNA DELURA\*

## Charakterystyka chromitytów z masywu Braszowice–Brzeźnica na Dolnym Śląsku i ich znaczenie przemysłowe

### Wprowadzenie

Chromityty uważane są za jedne z kilku ważnych surowców strategicznych, decydujących o rozwoju wielu gałęzi przemysłu. Jedynym pierwotnym źródłem chromu są chromityty wydobywane głównie ze złóż magmowych, rzadziej laterytowych i okrucowych. Złoża magmowe tworzą dwa typy genetyczne – złoża typu „podiform” związane ze skałami ultramaficznymi kompleksów ofiolitowych obszarów orogenicznych, np. Troodos na Cyprze, oraz złoża pokładowe („stratiform”) powstałe w wyniku procesów magmowych przebiegających w środowiskach skorupy kontynentalnej, np. intruzja Bushveld w RPA.

Pojęcie „chromitu” jest rozumiane dwojako. W gospodarce mianem tym określane są rudy chromu zbudowane głównie z minerałów grupy spineli chromowych z niewielką domieszką krzemianów (najczęściej określane petrologicznie jako chromityty), będące przemysłowym źródłem chromu. W mineralogii termin ten stosuje się do opisu minerału z grupy spineli o przeważającym udziale członu końcowego o wzorze  $\text{FeCr}_2\text{O}_4$  (np. Barnes, Roeder 2001). Z kolei pod względem petrologicznym skałę zbudowaną z co najmniej 95% spineli chromowych określa się mianem chromitytu. Często potocznie dla opisu chromitytu używa się też pojęcia „skały chromitowej”.

Skład chemiczny rud chromu typu „podiform” jest efektem działania złożonych procesów geologicznych przebiegających zarówno na etapie pierwotnego formowania się złoża, jak i w trakcie późniejszych procesów metamorficznych. Chromityty zbudowane są głównie ze spineli chromowych, a ponadto powszechnie występują w nich inne spinele, zawierające

---

\* Dr, Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii, Instytut Geochemii, Mineralogii i Petrologii, Zakład Geologii Złożowej i Gospodarczej, Warszawa; e-mail: k.delura@uw.edu.pl

w swoim składzie jako główne pierwiastki chrom i żelazo (zarówno dwu- jak i trójwartościowe), ale też glin oraz magnez. Dodatkowy składnik stanowi krzem zawarty w minerałach współwystępujących ze spinelami w rudzie. Pojedyncze ziarna spineli w skale chromitowej nie mają stałego i określonego składu, lecz stanowią roztwór stały o składzie pośrednim pomiędzy skrajnymi członami grupy spineli. Przemysłowe rudy chromu zawierają zatem również znaczące domieszki wymienionych pierwiastków. Proporcje tych domieszek są zmienne i stanowią o przydatności przemysłowej rudy. W przeważającej części przypadków pierwotne chromity ze złóż typu „podiform” zawierają znaczące ilości glinu w odróżnieniu od chromitów złóż typu „stratiform” bogatych w żelazo (Dick, Bullen 1984; Stowe 1994). Procesy metamorficzne modyfikują pierwotny skład chromitów, powodując zmniejszenie zawartości glinu i magnezu przy jednoczesnym wzroście zawartości chromu i żelaza. Chromitom w rudzie zwykle towarzyszą jako składniki płonne minerały krzemianowe takie, jak: oliwiny, pirokseny, serpentyny, chloryty oraz talk, których obecność decyduje o zawartości  $\text{SiO}_2$ .

Rudy chromu w zależności od składu chemicznego wykorzystywane są w przemyśle jako chromity metalurgiczne, chromity chemiczne, chromity dla przemysłu materiałów ogniotrwałych oraz chromity dla odlewnictwa. Polska nie posiada złóż chromitów i obecnie nie ma przesłanek możliwości ich odkrycia (Bilans... 2011). Pomimo, że w Polsce rudy chromu nie są obecnie wydobywane, na obszarze Dolnego Śląska opisywane są dwa miejsca występowania chromitytów: bardziej znane Tąpadła w masywie Gogołów–Jordanów (Spangenberg 1943; Birecki 1962) oraz zupełnie zapomniane nagromadzenie niedaleko miejscowości Grochowa w masywie Braszowice–Brzeźnica (Gunia 1992; Madziarz, Sztuk 2007). Zanim doszło do odkrycia rud w Tąpadłach, w 1819 roku występowanie skały chromitowej na Dolnym Śląsku zanotował Singer w pobliżu wsi Grochowa, na przełęczy pomiędzy górami Mnich (dawniej Hartheberg, Twarda Góra) i Grochowiec (dawniej Grochberg) w masywie Braszowice–Brzeźnica. Swoje spostrzeżenia badacz ten przedstawił w pracy „Über das Vorkommen des Chromeisens in Schlesien” (Singer 1820 *vide* Lis, Sylwestrzak 1986). Eksploatację wspomnianej rudy podjęto w 1824 roku (okazy można obecnie obejrzeć w Naturhistorisches Museum w Wiedniu). Trzy lata później znaleziono tam „żyłę” skały chromitowej miąższości około 1 m (Kunisch 1887). Ze względu na dużą zawartość Mg chromit z Grochowej nazwany został „magnesiochromitem” (Websky 1873; Fiedler 1863; Traube 1888). W 1827 roku „żyły” chromitowo-magnetytowe pojawiające się na tym terenie zostały opisane przez Glockera (1827). Z opisu form ciał chromitytowych zamieszczonego w pracach Glockera (1827) i Kunischa (1887) można wysnuć wniosek, że wspomniane „żyły” były faktycznie rozciągniętymi niewielkimi soczewkami, charakterystycznymi dla chromitytów typu „podiform”. Wystąpienia chromitytów z okolic wsi Grochów odnotowano w przeglądowej pracy o minerałach Dolnego Śląska (Bock 1868) w akapicie dotyczącym charakterystyki występującego w nich chlorytu o dużej zawartości glinu, który został później nazwany przez Websky’ego (1873) mianem „Grochaut” (grochowitz). Przez następne lata pomimo intensywnych poszukiwań nie natrafiono jednak na wspomnianym obszarze na nowe wystąpienia rud chromu. Dopiero w 1886 roku inż. Reitsch za pomocą szybu

poszukiwawczego o głębokości 20 m poprowadzonego z kopalni magnezytu dotarł do nagromadzenia chromitu w formie pokładu o zmiennej miąższości 0,5–1,0 m. Pokład zlokalizowany był na S-E stoku góry Mnich (przypuszczalnie na wspomnianej przełęczy). Ruda zawierała od 19 do 40%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , w zależności od zrostów z grochowitem. Rok później, także na N-E stoku Mnicha, stwierdzono rudę chromu o miąższości 0,5 m i zawartości  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  na poziomie 45–50% (Kosmann 1888; Spangenberg 1943; Madziarz, Sztuk 2007). Wydobycie tych rud, pierwotnie przewidzianych jako materiał ogniotrwały, nie zostało podjęte z powodu odmowy właściciela gruntu, na którym stwierdzono złożę.

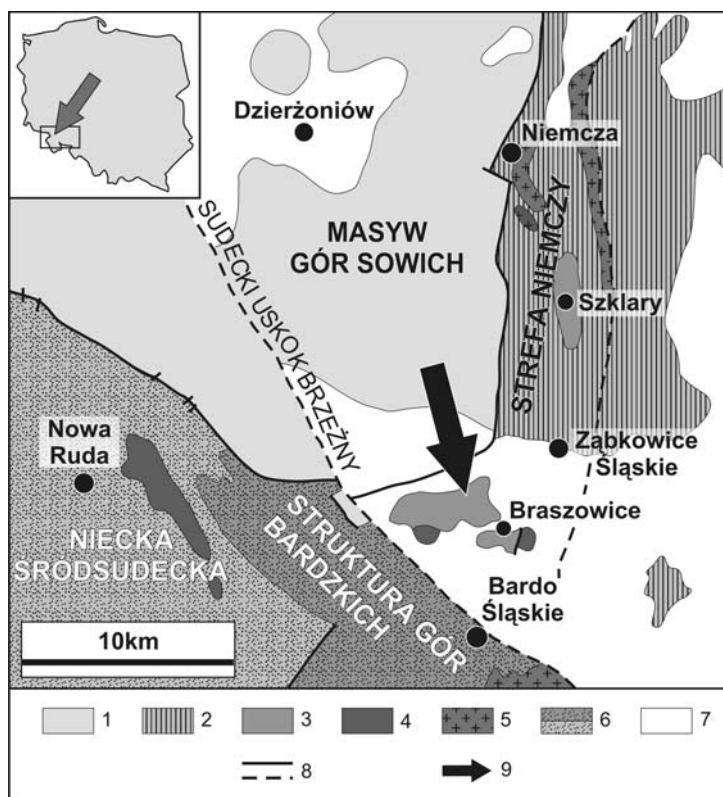
Odkryte w następnych latach przez inż. Reitscha chromityty z Tapadeł eksploatowane były z przerwami od 1890 do 1943 roku, dając w przybliżeniu 3500 ton rudy o zawartości  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  20–38% (Birecki 1962). Po roku 1945 wydobycia rudy nie podjęto.

Od XIX wieku nie prowadzono żadnych prac poświęconych poszukiwaniom rud chromu na obszarze masywu Braszowice–Brzeźnica. Dopiero w latach dziewięćdziesiątych XX wieku stwierdzono okruchy skały chromitowej w zwietrzelinie i na hałdach zlokalizowanych na przełęczy pomiędzy górami Mnich i Grochowiec (Delura 1996). Analizy dostępnych materiałów oraz własne badania pozwoliły stwierdzić obecność chromitytów w masywie Braszowice–Brzeźnica na Dolnym Śląsku. Celem pracy jest scharakteryzowanie wspomnianych chromitytów oraz rozstrzygnięcie problemu ich przydatności gospodarczej.

## 1. Budowa geologiczna masywu Braszowice–Brzeźnica

Polskie rudy chromu związane są ze skałami ultramaficznymi kompleksów ofiolitowych. Tego typu skały spotykane są na Dolnym Śląsku w otoczeniu gnejsowego masywu Gór Sowich. Formują cztery masywy, z których dwa największe (masyw Gogołów–Jordanów i masyw Braszowice–Brzeźnica) zlokalizowane są na obu zakończeniach strefy Niemczy. We współczesnej literaturze geologicznej uznawane są one za fragmenty skorupy oceanicznej nasuniętej na gnejsy sowiogórskie w czasie kolizji waryscyjskiej. Traktowane są jako tzw. ofiolit sudecki (np. Majerowicz 1979; Jamrozik 1995; Dubińska, Gunia 1997) z tym, że nie występują w nich wszystkie człony sekwencji ofiolitowej opisywanej przez Colemana (1977).

Masyw Braszowice–Brzeźnica (znany też jako masyw Grochowej) zlokalizowany jest na południowym zakończeniu metałupkowej, dyslokacyjnej strefy Niemczy (rys. 1). Zbudowany jest przeważnie ze zserpentyzowanych w różnym stopniu perydotytów i dunitów oraz, w mniejszym stopniu, ze zmienionych gabr. Rozciąga się wzdłuż S krawędzi gnejsowego masywu Gór Sowich, na S-W od Ząbkowic Śląskich, na przedgórzu Gór Bardzkich. W obrębie skał otaczających, masyw ten zaznacza się jako dodatnia anomalia grawimetryczna i magnetyczna związana z występowaniem serpentynitów wraz zawartą w nich rozproszoną mineralizacją magnetytową i chromitową oraz gabr w niewielkim stopniu okruszczonych tlenkami Fe-Ti (Cholewicka-Meysner, Farbisz 1993, 1995). Jak wskazują analizy danych geofizycznych, skały masywu rozciągają się szeroko pod przykryciem

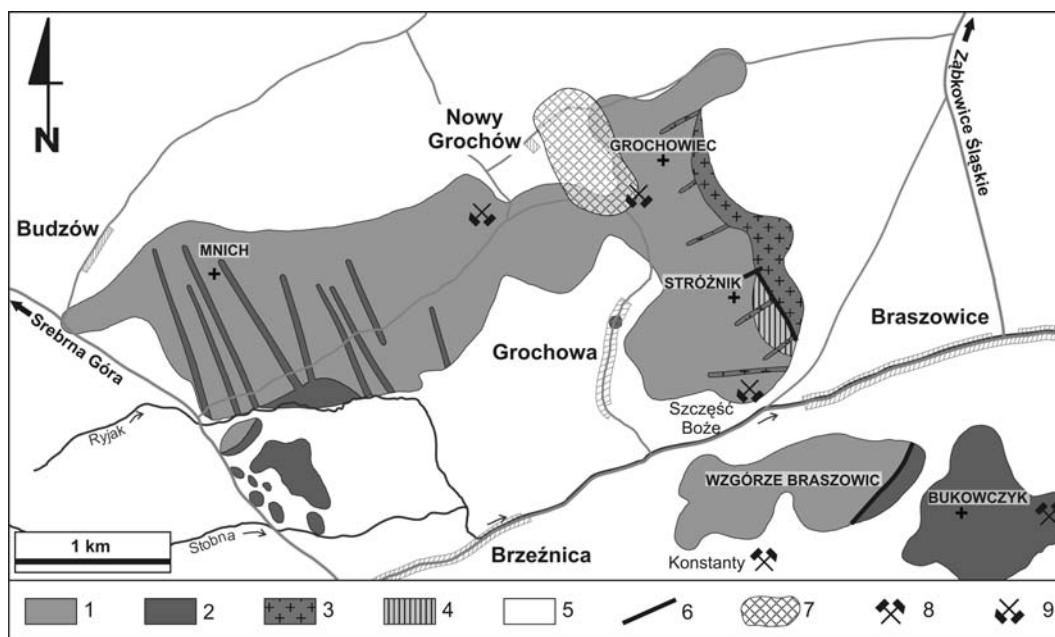


Rys. 1. Schematyczna mapa geologiczna południowego i wschodniego obrzeżenia masywu Gór Sowich (wg Gunia 1992, z uzupełnieniami autorki)  
 1 – gnejsy sowiogórskie, 2 – łupki metamorficzne i gnejsy (nierozdzielone), 3 – perydotyty i serpentynity, 4 – gabra, 5 – granitoidy, 6 – skały osadowe Gór Bardzkich i niecki śródsudeckiej, 7 – osady czwartorzędowe, 8 – główne uskoki, 9 – rejon występowania rud chromu (masyw Braşzowice-Brzeźnica)

Fig. 1. Geological sketch map of the southern and eastern border of the GórySowie Massif (after Gunia 1992, modified)

Legend: 1 – gneisses, 2 – schists, 3 – peridotites and serpentinites, 4 – gabbros, 5 – granitoids, 6 – clastic rocks of the GóryBardzkie Unit and Intrasudetic Basin, 7 – Quaternary sediments, 8 – main faults, 9 – area of the chromium ore occurrence (Braşzowice-Brzeźnica Massif)

utworów trzecio- i czwartorzędu. W paśmie wzgórz budujących ten masyw (rys. 2) najbardziej na zachód wysunięte jest wzgórze Mnich (dawniej Twarda Góra). Wznosi się ono na północ od wsi Brzeźnica i jest jednocześnie najwyższym wzgórzem w okolicy (492 m n.p.m.). Ku wschodowi wzgórze Mnich łączy się, poprzez przełęcz, ze wzgórzem Grochowiec (432,4 m n.p.m.), które ku południowi łagodnie przechodzi we wzgórze Stróżnik (417,7 m n.p.m.). Oba wzniesienia leżą na N-E od wsi Grochowa i na N od wsi Braşzowice. Na S od Braşzowic, oddzielone od wzgórz Stróżnik doliną, znajduje się łagodne wzniesienie – wzgórze Braşzowic (nazwa lokalna, niezatwierdzona). Wszystkie te



Rys. 2. Mapa geologiczna masywu Braszowice-Brzeźnica  
(wg Gajewski 1974 oraz Gunia 1992, z uzupełnieniami autorki)

- 1 – serpentynity, 2 – gabra, 3 – granitoidy i aplity, 4 – łupki metamorficzne i gnejsy,  
5 – osady czwartorzędowe, 6 – uskoki, 7 – rejon występowania okruchów chromitytów, 8 – kopalnie czynne  
(Konstanty – magnezytu i gabr na wzgórzu Bukowczyk), 9 – opuszczone kopalnie magnezytu

Fig. 2. Geological map of the Braszowice-Brzeźnica Massif (after Gajewski 1974 and Gunia 1992, modified)

- Legend: 1 – serpentinites, 2 – gabbros, 3 – granitoids and aplites, 4 – gneisses, 5 – Quaternary sediments,  
6 – main faults, 7 – area of the chromium ore occurrence, 8 – working mines, 9 – abandoned mines

wzniesienia zbudowane są z serpentynitów i perydotytów. Na E od Wzgórza Braszowic zlokalizowane jest wzgórze Bukowczyk (381,55 m n.p.m.), jako jedyne w masywie zbudowane z gabr.

S-W granicę geologiczną masywu stanowi sudecki uskoki brzeźny, wzdłuż którego serpentynity masywu Braszowic-Brzeźnicy nasunięte są na strukturę Gór Bardzkich (Narębski i in. 1982). Na N masyw oddzielony jest od gnejsów sowiogórskich strefą łupków węglanowo-talkowych. Od S-E masyw kontaktuje tektonicznie ze skałami strefy Niemczy, które – jak stwierdzono na podstawie wierceń – zapadają pod serpentynity (Gajewski 1974). Na E zboczu Stróżnika serpentynity stykają się ze zgnejsowanymi granodiorytami i łupkami kwarcowo-skalieniowymi z hornblendą opisywanymi też jako paragnejsy (Gunia 1992). Na kontakcie granodiorytów z serpentynitami pojawiają się aplity, które przecinają skały ultramaficzne i gnejsy. We E części wzgórza Braszowic znajduje się tektoniczny kontakt serpentynitów z odsłaniającymi się na wzgórzu Bukowczyk i S-W części Mnicha z grubokrystalicznymi gabra diallagowo-labradorowymi. Gabra te są w znacznym stopniu zurali-

tyzowane i częściowo zsaussurytyzowane (Dziedzicowa 1989). Metagabra braszowickie są okruszczowane w niewielkim stopniu tlenkami Fe-Ti i bardzo rzadkimi siarczkami Fe. Często w ich obrębie występują wkładki amfibolitów. Tektoniczny kontakt metagabro-serpentyt przebiega na linii SW-NE, a jego płaszczyzna łagodnie zapada na W. Natomiast na S stoku Mnicha kontakt między gabrami a serpentytami najprawdopodobniej nie ma charakteru tektonicznego, miejscami widoczne są stopniowe przejścia od serpentytów do gabra. Kontakt ten jest podkreślony obecnością licznych dajek klinopiroksenitowych o przebiegu zbliżonym do N-S przenikających serpentyt. Metagabra jak wynika z obserwacji terenowych i badań geofizycznych najprawdopodobniej podścielają serpentyt i perydoty budujące zasadniczą część masywu Braszowice-Brzeźnica. Oznacza to, że w chwili obecnej znajdują się w pozycji odwróconej w stosunku do pierwotnego położenia sekwencji w skorupy oceanicznej.

Skały ultramaficzne masywu Braszowice-Brzeźnica są znacznie zróżnicowane (Gunia 1992). Gunia (1992) wydzieliła dwie strefy ich występowania: na E występują czarnozielone zserpentytowane w słabym stopniu perydoty, zawierające tremolit, zaklasyfikowane jako harzburgity, z soczewami jasnozielonych serpentytów lizardytowo-chryzotylowych (na wzgórzu Grochowiec) oraz skały serpentynowo-węglanowe opisywane jako listwenity. W zachodniej części masywu przeważają bardzo twarde czarne serpentyt antygorytowe z relikami oliwinu. Są one poprzecinane przez pojedyncze, zuskokowane i przemieszczone dajki klinopiroksenitowe. Dajki te są czasem zrodingityzowane i posiadają otuliny kontaktowe typu *black wall* (wzgórze Mnich). Akcesorycznie we wszystkich odmianach serpentytów występuje spinel chromowy, magnetyt i siarczki Fe-Ni, niekiedy pojawia się ilmenit, awaruit i miedź rodzima (Delura 2001). Obie wymienione odmiany serpentytów oddzielone są od siebie wąską strefą skał oliwinowo-tremolitowych (Gunia 1995) w rejonie przełęczy pomiędzy wzgórzami Mnich i Grochowiec. Na podstawie składu chemicznego stwierdzono, że skały ultramaficzne masywu Braszowice-Brzeźnicy stanowią strefę przejściową w sekwencji ofiolitowej (Narębski i in. 1982; 1982 Gunia 1992); część masywu wschodnia i środkowa większość zachodniej odpowiadają członowi metamorficznych perydotytów, natomiast część najbardziej zachodnia i niewielki kawałek wschodniej to człon kumulatów ultramaficznych sekwencji ofiolitowej. Na granicy stref różnie wykształconych serpentytów, w obrębie skał tremolitowo-oliwinowych (przełęcz pomiędzy wzgórzami Mnich i Grochowiec), zlokalizowane były wystąpienia chromitytów. Obecnie znaleźć tam można jedynie niewielkie okruchy rudy rozrzucone wśród zwietrzliny i pozostawione na hałdach.

Na pierwotną budowę geologiczną masywu nałożyły się: magmatyzm, wieloetapowa serpentytacja, procesy tektoniczne i wietrzenie, szczególnie widoczne w jego S-E części (Gunia 1992). Stopień serpentytacji masywu Braszowice-Brzeźnicy jest zróżnicowany, w niektórych odmianach zawartość relików oliwinów dochodzi do 80% masy skały, w innych nie pojawiają się one wcale (Gunia 1992). Część W najprawdopodobniej ulegała bardziej intensywnym procesom metamorficznym niż E, co zaowocowało rozwinięciem innych odmian serpentytów i zróżnicowaniem rozproszonej mineralizacji kruszczowej



(Delura 2001). Wiek serpentynizacji skał ultramaficznych określany jest przez analogię do masywu Gogołów–Jordanów na  $400 \pm 4 \text{--} 3 \text{ Ma}$  (Dubińska i in. 2004), zatem chromityty musiały zostać uformowane przed tym czasem, być może we wczesnym dewonie. W trakcie nasuwania ofiolitu (370–390 Ma) poszczególne fragmenty masywu ulegały przemieszczeniu i rotacji (Kryza i in. 2004; Mazur i in. 2006; Kądziałko-Hofmokl i in. 2010), a nasunięcie na kompleks Gór Bardzkich nastąpiło najprawdopodobniej w namurze (Narębski i in. 1982). W trzeciorzędzie, wzdłuż linii nasunięcia na kompleks Gór Bardzkich, ponownie wystąpiły ruchy, które w efekcie doprowadziły do przebudowy struktury geologicznej tego obszaru. Linia ta zwana jest współcześnie sudeckim uskokiem brzeżnym, a masyw Braszowic–Brzeźnicy obecnie znajduje się na jego skrzydle zrzuconym. W trakcie trwania procesów tektonicznych serpentynity podlegały intensywnym procesom wietrzenia, co spowodowało powstanie licznych żył zawierających magnezyt (Kowarz 1965).

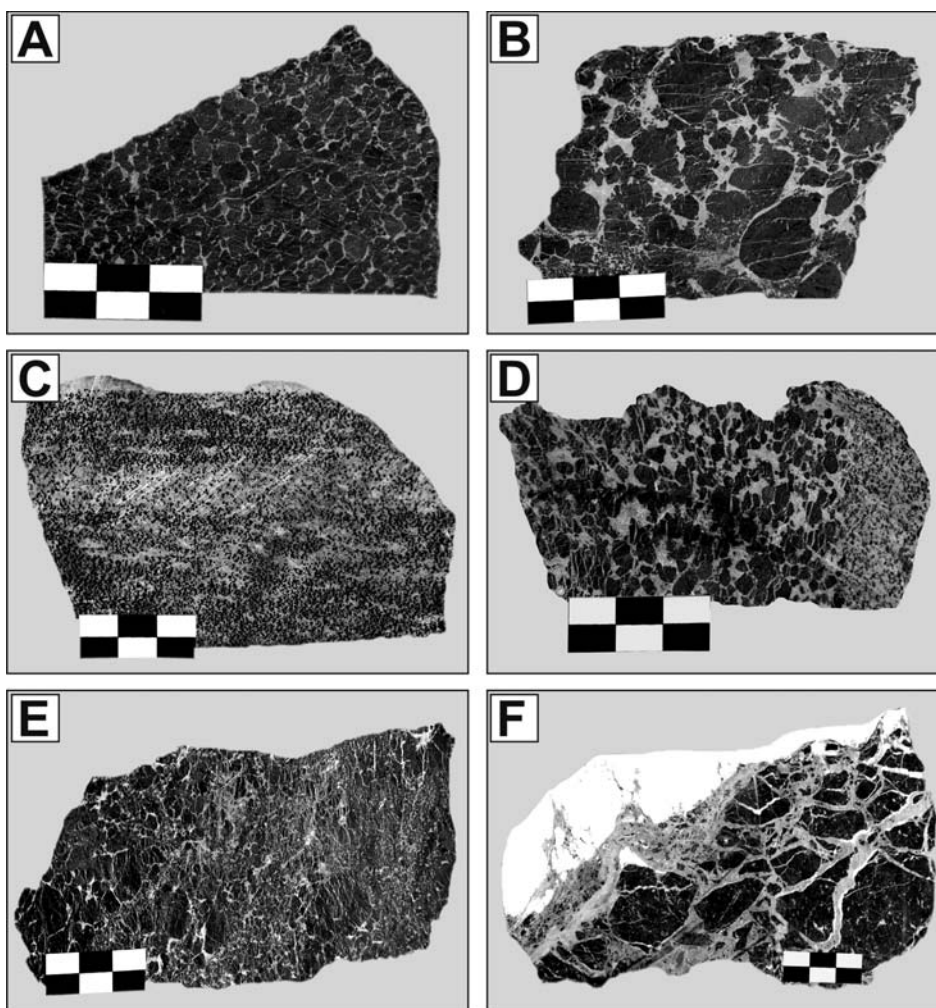
## 2. Materiał badawczy

Do badań wykorzystano okruchy rudy chromowej znalezione wśród zwietrzliny i na hałdach zlokalizowanych na przełęczy pomiędzy wzgórzami Mnich i Grochowiec (rys. 2). Przełęcz ta ma przebieg zbliżony do równoleżnikowego, pokryta jest osadami czwartorzędowymi, głównie gliniastymi i piaszczystymi. Wśród luźnych osadów występują liczne odłamki skalne. W większości są to zwietrzałe serpentynity, podrzędnie gabra, niekiedy można natrafić na skały przywleczone przez lodowiec, obce na tym terenie. Okruchy rudy zostały znalezione wśród takiego materiału, przy drodze, niedaleko pojedynczych zabudowań określanych jako Nowy Grochów, poniżej wylotu zapadniętego chodnika kopalni. W morfologii tego terenu wyraźnie zaznaczają się hałdy powstałe po eksploatacji magnezytu oraz widoczne są wydłużone obniżenia terenu powstałe nad zapadniętymi chodnikami dawnych podziemnych kopalni.

Zgromadzono 102 próbki rudy, wielkości w przedziale od 0,5 do 2 kg. Makroskopowo podzielono je na trzy główne i dwie podrzędne odmiany teksturalne (rys. 3) oraz wyróżniono kilka typów przejściowych. Z próbek reprezentujących cztery odmiany teksturalne (bez sporadycznych brekcji wtórnych) wykonano preparaty makroskopowe i mikroskopowe. Te ostatnie poddano badaniom mikroskopowym w spolaryzowanym świetle przechodzącym i odbitym, a następnie wyselekcjonowane preparaty poddano badaniom chemicznym w mikroobszarze. Wszystkie wymienione prace wykonano na Wydziale Geologii Uniwersytetu Warszawskiego. Badania chemiczne w mikroobszarze wykonano na mikrosondzie CAMECA SX 100 w Międzyinstytutowym Laboratorium Mikroanalizy Mineralów i Substancji Syntetycznych w Pracowni Mikrosondy Elektronowej. Ponadto 10 kg próbki reprezentujące trzy główne odmiany teksturalne (masywną, groniastą i ospowatą, bez odmian brekcjowych) zostały rozdrobnione i zmielone, a po uśrednieniu materiału przeprowadzono analizę chemiczną wykonaną w Instytucie Ceramiki i Materiałów Budowlanych, Oddział Materiałów Ogniotrwałych w Gliwicach.

### 3. Wyniki badań petrograficznych i chemicznych

Odłamki chromitytów, z przełęczy między wzgórzami Mnich i Grochowiec pochodzą ze skał oliwinowo-tremolitowych budujących jej podłoże. Wskazuje na to zbieżność składu



Rys. 3. Odmianny teksturalne braszowickich chromitytów (A, B, C, E i F)  
 A – ruda o teksturze zbitej (masywnej), B – ruda o teksturze groniastej, C – ruda o teksturze ospowatej,  
 D – przejścia pomiędzy teksturą zbitą i ospowatą, E – ruda o teksturze brekcjowej wczesnej,  
 F – ruda o teksturze brekcjowej późnej – białe fragmenty zbudowane są z magnezytu.  
 Długość skali 3 cm, wysokość 1 cm

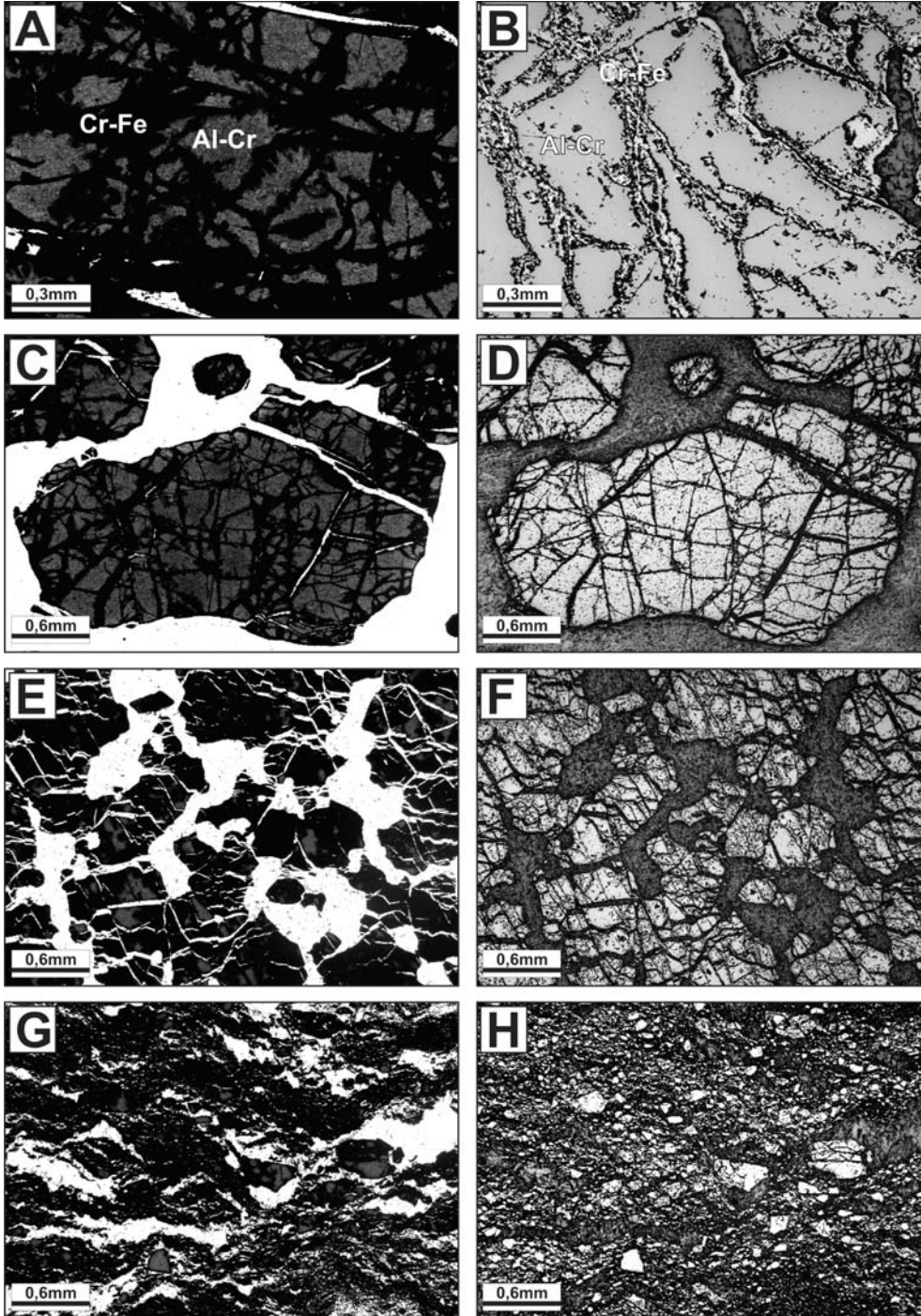
Fig. 3. Textural varieties of the Braszowicechromitites (macroscopic)  
 A – Massive ore, B – nodular ore, C – disseminated ore, D – continuous passage between massive  
 and disseminated ore, E – early brecciated ore, F – late brecciated ore – magnesite forms white parts.  
 1cm scale bar



mineralnego i struktury skał płonnych otaczających skupienia spineli chromowych. Odłamki rudy zostały przypuszczalnie porzucone jako odpad po eksploatacji magnezytów prowadzonej w tym miejscu w XIX wieku. Część z nich być może została zachowana w zwietrzelinie na skutek różnic odporności na wietrzenie między skałami oliwinowo-tremolitowymi i chromitytami. Na podstawie danych archiwalnych można założyć, że chromityty występowały w formie wydłużonych wrzecionowato soczewowych skupień, określanych w literaturze jako „żyły”. Spinele chromowe koncentrują się w nich tworząc trzy główne odmiany teksturalne: zbitą (masywną), groniastą, ospowatą oraz podrzędnie teksturę brekcjonową pierwotną i bardzo rzadko brekcjonową wtórną (rys. 3A, B, C, E, F). Pomędzy poszczególnymi typami tekstur często pojawiają się przejścia i ostre granice widoczne w skali pojedynczego okazu (rys. 3D). Wśród wymienionych trzech typów najczęściej okazów reprezentowało teksturę groniastą, pozostałe pojawiały się rzadziej. Tekstury brekcjonowe pierwotne niekiedy można było obserwować na brzegach okazów reprezentujących pozostałe tekstury. Wszystkie odmiany teksturalne najprawdopodobniej występowały w obrębie poszczególnych „żył” chromitytowych.

Chromityt o teksturze zbitej (rys. 3A) budują prawie wyłącznie zaokrąglone ziarna spinelu chromowego, średnicy przeciętnie 0,5 cm, barwy czarno-brązowej, o metalicznym połysku i nierównym przełamie. Nieliczne wolne przestrzenie (do 1 mm szerokości) między ziarnami spinelu wypełnione są zbitą masą chlorytową. Niekiedy ziarna spinelu są przecinane przez drobne żyłki chlorytowe. W płytkach cienkich wewnętrzne, niezmiennione części kryształów spinelu (rys. 4A) przeświecają na żółtobrązowo wskazując, że jest to spinel Al-Cr, nie zawierający domieszek żelaza. Na brzegach ziaren i wzdłuż spękań kryształy są nieprzezroczyste (czarne), co może wskazywać na wzrost udziału Fe, a zanik Al w składzie spinelu. Czarne strefy są wąskie, do 0,1 mm, ale w niektórych preparatach zajmowały całą powierzchnię ziaren, co wskazuje na znaczną przebudowę składu pierwotnego. Niekiedy między tymi strefami widoczna jest wąska brązowa strefa przejściowa. W preparatach polerowanych (rys. 4B) części centralne ziaren spineli wykazują nieco niższą zdolność refleksyjną niż otaczające je obwódki. Na granicy obu wspomnianych faz pojawiają się niewielkie wrostki chlorytów. W jednym z okazów jako minerały akcesoryczne wśród chlorytów wypełniających przestrzenie między ziarnami spineli zaobserwowano ilmenit, rutyl i apatyt.

W skale chromitowej o teksturze groniastej (rys. 3B) spinel tworzy odosobnione, zwykle zaokrąglone, czasem spękane ziarna, o średnicy do 2–3 cm. Niektóre z ziaren makroskopowo są niejednorodne, przypominają zaokrąglone okruchy rudy zbitej. Ziarna spineli i ich agregaty tkwią w zbitej zielonkawej masie chlorytovej. Zarówno w rudzie zbitej, jak i groniastej, nie zaobserwowano kierunkowego ułożenia ziaren spineli. W płytkach cienkich (rys. 4C) i polerowanych (rys. 4D) ziarna spinelu z rudy groniastej wykazują podobne cechy do tych z rudy zbitej, z tą różnicą, że w większości badanych preparatów są znacznie słabiej przeobrażone, co wyraża się w mniejszym udziale czarnych (światło przechodzące) lub jasnych (światło odbite) obwódek. Chloryty tkwiące między ziarnami spinelu często mają ułożenie kierunkowe, ich osobniki wydają się „opływać” ziarna spineli.



Ruda o teksturze ospowatej (rys. 3C) zbudowana jest z drobnych (do 1mm średnicy) ciemnych ziaren spinelu tkwiących w zielonkawej masie chlorytów. Udział płonnych chlorytów jest tu największy spośród wymienionych odmian teksturalnych i może sięgać powyżej 5% objętości. W wielu zgromadzonych okazach dało się zaobserwować wyraźne kierunkowe ułożenie ziaren spineli, czasem zbijających się w wydłużone wrzecionowate agregaty. Spinele z rudy ospowatej obserwowane w świetle przechodzącym (rys. 4E) i odbitym (rys. 4F) wykazują największy stopień przemian z wymienionych odmian teksturalnych. Zwykle są nieprzezroczyste i wykazują zdolność refleksyjną zbliżoną do magnetytu.

Oprócz wymienionych wyżej głównych odmian teksturalnych, kilka zgromadzonych okazów rudy budowały ziarna spineli, które były silnie pokruszone, miejscami wręcz wykazywały oznaki kataklazy (rys. 3E). Oprócz wyraźnych spękań pozostałe cechy makroskopowe (barwa, składniki płonne) były identyczne jak w trzech zasadniczych odmianach rudy. Obserwowane pod mikroskopem ziarna spineli w tej odmianie teksturalnej są silnie spękane, miejscami sproszkowane. Wyraźnie widoczne jest kierunkowe ułożenie ich fragmentów. Większość z nich uległa silnym zmianom, co wykazywane jest przez zanik przezroczystości w świetle przechodzącym (rys. 4G) i stosunkowo wysoką zdolność refleksyjną w świetle odbitym (rys. 4H). Część większych ziaren (około 1mm) została zachowana jednak bez wyraźnych śladów przemian poza wąskimi obwódkami na brzegach. Wymienione cechy wskazują, że rozkruszanie skały mogło mieć miejsce jeszcze przed rozpoczęciem przemian lub na ich początku. Minerale płonne nie różnią się od tych występujących w pozostałych odmianach rudy. Odmianę tę nazwano brekcją pierwotną.



Rys. 4. Odmiany teksturalne braszowickich chromitytów widoczne pod mikroskopem (kolumna lewa: światło przechodzące, kolumna prawa: światło odbite).

Ruda o teksturze zbitej (A i B): widoczne są spinele pierwotne, niezmienione (Al-Cr), przeświecające na żółto w świetle przechodzącym (A) i ciemnoszare w świetle odbitym (B) oraz fragmenty przeobrażone (Cr-Fe): czarne w świetle przechodzącym i jasnoszare w świetle odbitym. Ruda o teksturze groniastej (C i D): wyraźnie widoczne są duże pojedyncze zaokrąglone ziarna spineli otoczone przez zbitą masę chlorytów. Barwy i rodzaj światła jak na rys. A i B. Ruda o teksturze ospowatej (E i F): widoczne są małe ziarna spineli rozproszone w bezładnej masie chlorytowej. Barwy i rodzaj światła jak na rys. A i B. Ruda o teksturze brekcjowej wczesnej (G i H): widoczne są spękane i zmiażdżone ziarna spineli ułożone kierunkowo. Przeważają ziarna, które zostały przeobrażone (czarne w świetle przechodzącym). Barwy i rodzaj światła jak na rys. A i B

Fig. 4. Photomicrographs of textural varieties of the theBraszowicechromitites. Masive ore (A and B): primary spinel grains (Al-Cr) are yellow in transmitted light (A) and dark grey in reflected light (B). Altered spinel grains (Cr-Fe) are black in transmitted light and light grey in reflected light. Nodular ore (C and D): separated, large, rounded spinel grains surrounded by massive chloritic mass are clearly visible. Colors and light variety as in Fig. A and B. Disseminated ore (E and F): small spinel grains disseminated in random chloritic mass are clearly visible. Colors and light variety as in Fig. A and B. Early brecciated ore (G and H): cracked and crushed spinel grains are distributed longitudinally. Altered grains (black in transmitted light) are predominant. Colors and light variety as in Fig. A and B

W żadnym z opisanych wyżej typów teksturalnych nie zaobserwowano wśród minerałów płonnych węglanów. Ich obecność oraz ostrokrawędzisty charakter okruchów chromitytu pociętych żyłkami pozwoliły na wydzielenie dodatkowej odmiany teksturalnej, nazwanej brekcją wtórną. Odmiana ta została zaobserwowana w tylko jednym ze znalezionych okazów. Budowały go kanciaste odłamki rudy zbitej, wielkości do kilku centymetrów, pooddzielane od siebie siecią żyłek grubości do 1 cm (rys. 3F). Wypełnienie żyłek stanowi brunatnozielona masa złożona z częściowo zwietrzałego serpentynu i chlorytu oraz magnezytu. Magnezyt może tworzyć też samodzielne żyłki lub buduje jedynie obwódki na okruchach masywnego chromitytu. Okruchy obserwowane pod mikroskopem nie różnią się od tych z rudy zbitej. Wyraźnie zaznacza się granica między rudą a rozcinającymi jej okruchy żyłkami. Spinele nie wykazują śladów większych przemian niż w rudzie zbitej. Wymienione cechy pozwalają stwierdzić, że brekcja taka najprawdopodobniej powstawała w momencie formowania się żył magnezytowych, znacznie później po ustaniu procesów metamorficznych modyfikujących skład spineli chromowych. Znikomy udział wśród pozostałych odmian teksturalnych spowodował, że nie poddano jej dalszym badaniom.

Próbki chromitytów reprezentujące wymienione wyżej odmiany teksturalne zostały poddane badaniom chemicznym w mikroobszarze. Analizy te (przykłady analiz zbliżone do składu średniego podane zostały w tab. 1) wykazały przede wszystkim, że skład pierwotnych spineli budujących chromityty (centralne części ziaren, przeświecające w świetle przechodzącym i o niskiej zdolności refleksyjnej w świetle odbitym) jest bardzo zbliżony we wszystkich wyróżnionych typach teksturalnych. Na diagramie trójkątnym Stevensa (1944) w układzie Al-Cr-Fe<sup>3+</sup> (rys. 5) skład chemiczny lokalizuje pierwotne spinele z Braszowic w polach spineli typowych dla złóż typu „podiform” związanych z ofiolitami (Dick i Bullen 1984). Niewielki udział Fe<sup>3+</sup> w ich składzie (tab. 1) pozwala przypisać je do strefy przejściowej pomiędzy płaszczem (strefa tektonitów metamorficznych) a skorupą ziemską (strefa kumulatów ultramaficznych), co pozostaje w zgodności z wynikami uzyskanymi dla skał płonnych otaczających rudy (Gunia 1992).

Na czworokątnym diagramie systematyki spineli w układzie FeAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>-MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>-MgCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>-FeCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (rys. 6) analizy chemiczne badanych spineli pierwotnych grupują się na granicy pól pikotyту, spinelu chromowego, chromitu spinelowego i pikotyту glinowo-chromowego. Tworzą niewyraźne grupy, których jednak nie można przypisać poszczególnym typom teksturalnym rud, a raczej niewielkim wahaniom zawartości poszczególnych analizowanych pierwiastków powszechnie obserwowanym w naturalnych ziarnach spineli lub niewielkim przemianom składu, wywołanym przez procesy metamorficzne, które na wczesnym etapie jeszcze nie znalazły odzwierciedlenia w zmianie cech mikroskopowych badanych ziaren. Skład pierwotnych spineli z braszowickich rud pozwala stwierdzić, że zawierają one przeciętnie 38% wag. Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, poniżej 30% wag. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, a wskaźnik Cr/Fe wynosi około 3,0.

Wpływ przemian metamorficznych obserwuje się pod mikroskopem we wszystkich odmianach teksturalnych badanej rudy. Mikroskopowo zaznaczają się one zmianą zdolności refleksyjnej i przezroczystości w obwódkach widocznych dookoła niezmiennych ziaren



TABELA 1

Przykładowe analizy pierwotnych spineli chromowych z braszowickiej rudy chromowej.  
 Analizy 1–6 pochodzą z rudy masywnej, 7–11 z rudy groniastej, 12–14 z rudy ospowatej.  
 Skład w przeliczeniu na kationy prezentowany jest w formie wykresów na rys. 5 i 6

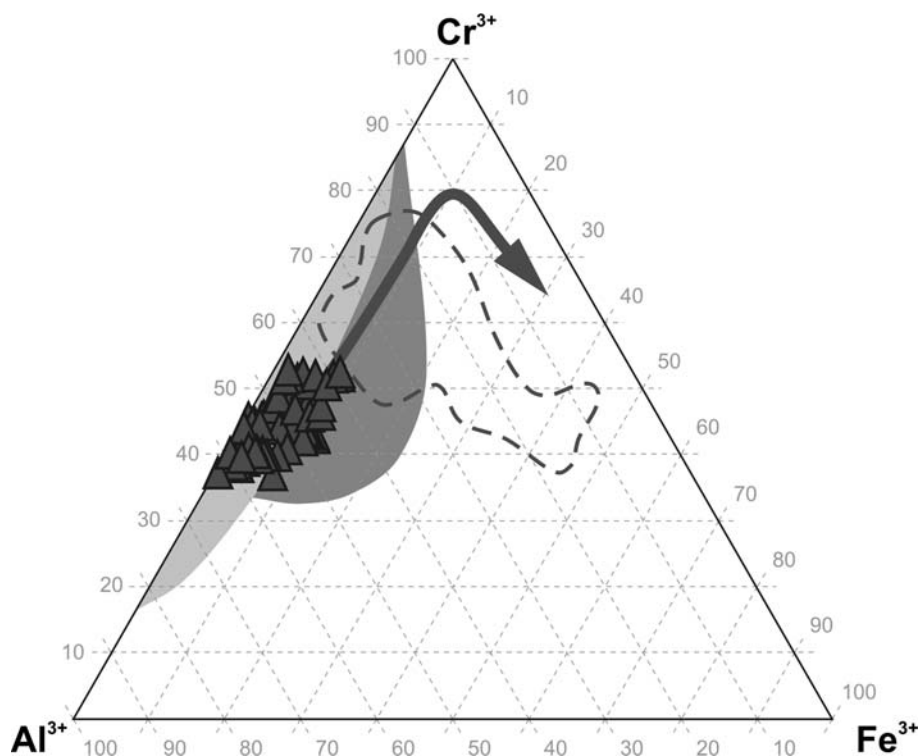
TABLE 1

Representative chemical compositions of the primary spinels forming chromium ore from Braszowice.  
 Analyses 1–6 represent massive ore, 7–11 represent nodular ore and 12–14 represent disseminated ore.  
 Compositions calculated to cations are presented on diagrams in Fig. 5 and 6

% wag.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
SiO <sub>2</sub>	0,000	0,034	0,017	0,000	0,000	0,000	0,006	0,000	0,000	0,024	0,000	0,059	0,005	0,005
TiO <sub>2</sub>	0,306	0,159	0,299	0,306	0,319	0,242	0,276	0,368	0,324	0,259	0,340	0,174	0,156	0,179
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	31,529	27,734	31,346	31,529	31,625	29,952	30,897	30,755	31,263	31,529	30,042	26,778	25,964	24,548
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,142	0,209	0,234	0,142	0,189	0,260	0,263	0,228	0,203	0,199	0,234	0,243	0,139	0,157
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	37,259	37,918	37,490	37,259	37,725	36,650	37,701	37,63	37,092	37,256	38,027	39,192	40,515	38,603
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,379	5,377	0,732	1,379	0,725	3,431	3,082	3,299	3,008	2,516	2,049	2,528	2,134	6,265
MgO	15,869	15,310	15,604	15,869	15,410	15,287	17,510	17,499	16,795	16,603	16,470	12,698	12,275	12,891
CaO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,009	0,000	0,000	0,009	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000
MnO	0,152	0,143	0,165	0,152	0,118	0,114	0,191	0,089	0,112	0,159	0,174	0,224	0,219	0,157
FeO	11,889	12,239	12,233	11,889	12,928	12,829	9,804	9,885	10,962	11,269	10,732	15,669	16,175	15,193
NiO	0,172	0,306	0,160	0,172	0,126	0,000	0,000	0,006	0,138	0,045	0,065	0,241	0,240	0,174
ZnO	0,180	0,124	0,030	0,180	0,043	0,000	0,025	0,050	0,000	0,133	0,000	0,000	0,038	0,027
Suma	98,877	99,553	98,310	98,877	99,208	98,774	99,755	99,809	99,906	99,992	98,133	97,806	97,863	98,199
Przeliczono na 24 kationy														
Si	0,000	0,008	0,004	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,006	0,000	0,015	0,001	0,001
Ti	0,054	0,029	0,053	0,054	0,056	0,043	0,048	0,064	0,057	0,045	0,061	0,032	0,029	0,033
Al	8,736	7,797	8,741	8,736	8,758	8,393	8,442	8,404	8,556	8,624	8,390	7,783	7,590	7,180
V	0,027	0,040	0,044	0,027	0,036	0,050	0,049	0,042	0,038	0,037	0,044	0,048	0,028	0,031
Cr	6,926	7,152	7,013	6,926	7,008	6,890	6,910	6,898	6,810	6,836	7,124	7,641	7,946	7,575
Fe	0,244	0,965	0,130	0,244	0,128	0,614	0,538	0,576	0,526	0,439	0,365	0,469	0,398	1,170
Mg	5,562	5,444	5,504	5,562	5,398	5,418	6,051	6,048	5,814	5,744	5,818	4,668	4,539	4,769
Ca	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
Mn	0,030	0,029	0,033	0,030	0,024	0,023	0,038	0,017	0,022	0,031	0,035	0,047	0,046	0,033
Fe	2,338	2,442	2,420	2,338	2,540	2,551	1,901	1,917	2,129	2,187	2,127	3,232	3,355	3,154
Ni	0,032	0,059	0,030	0,032	0,024	0,000	0,000	0,001	0,026	0,008	0,012	0,048	0,048	0,035
Zn	0,031	0,022	0,005	0,031	0,007	0,000	0,004	0,009	0,000	0,023	0,000	0,000	0,007	0,005
Suma	23,980	23,987	23,977	23,980	23,979	23,984	23,982	23,976	23,98	23,980	23,976	23,983	23,988	23,986



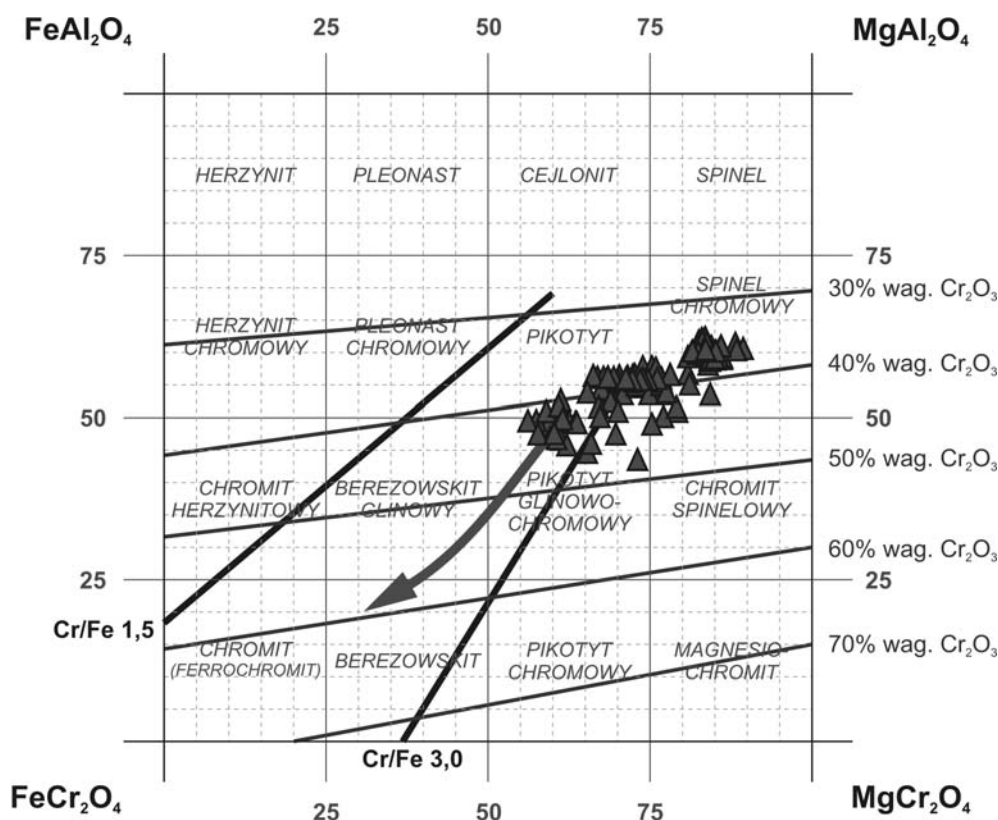
spineli. Procesy metamorficzne również pod względem chemicznym modyfikują pierwotny skład badanych ziaren spineli. Chemicznie zmiany charakteryzują się w ziarnach spineli ze wszystkich odmian teksturalnych zmniejszeniem zawartości Al i Mg oraz wzrostem zawartości  $\text{Fe}^{3+}$  i  $\text{Fe}^{2+}$  w zmienionych częściach ziaren (reprezentatywne przykłady analiz najsilniej zmienionych ziaren zostały podane w tab. 2). Natomiast zawartość Cr początkowo względnie wzrasta (rys. 6), na skutek odprowadzenia Al, aż do osiągnięcia wartości bliskich składowi członu końcowego  $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ , po czym bardzo powoli zaczyna spadać w kierunku składu magnetytu ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), nie osiągając jednak w badanych rudach wartości składu magnetytu (zwrot strzałki na rys. 5). Odprowadzenie Al i Mg do współwystępujących



Rys. 5. Skład chemiczny niezmienionych spineli z braszowickich chromitytów przedstawiony na trójkątnym diagramie wg Stevensa (1944). Jasnoszare pole oznacza skład spineli pochodzących z chromitytów charakterystycznych dla strefy płaszcza ziemskiego (strefa tektonitów płaszczowych), pole ciemnoszare opisuje spinele pochodzące z chromitytów powstałych w skorupie ziemskiej (strefa kumulatów ultramaficznych), natomiast pole zakreślone linią przerywaną opisuje skład spineli z chromitytów typu „stratiform” (pola wyznaczone za: Gunia 1992, Barnes i Roeder 2001). Strzałką oznaczono trend zmian składu spineli w czasie działania procesów metamorficznych

Fig. 5. Chemical composition of the Braszowice primary spinels shown on the triangular plot after Stevens (1944). The light grey area comprises a chemical composition range characteristic for the earth's mantle spinels (mantle tectonites zone). The dark grey area indicates field of the crustal spinels (ultramafic cumulates zone).

Arrow indicates direction of the chemical composition changes that occurred during alteration



Rys. 6. Skład niezmiennych spineli z braszowickich chromitytów przedstawiony na diagramie systematyki spineli  $\text{FeAl}_2\text{O}_4\text{-MgAl}_2\text{O}_4\text{-MgCr}_2\text{O}_4\text{-FeCr}_2\text{O}_4$  (Surowce... 1981).

Strzałką oznaczono trend zmian składu spineli w czasie działania procesów metamorficznych

Fig. 6. Chemical composition of the Braszowice primary spinels shown on rectangular spinel composition  $\text{FeAl}_2\text{O}_4\text{-MgAl}_2\text{O}_4\text{-MgCr}_2\text{O}_4\text{-FeCr}_2\text{O}_4$  diagram (after Surowce... 1981).

Arrow indicates direction of the chemical composition changes that occurred during alteration

krzemianów oraz przyjmowanie Fe z ulegających serpentynizacji oliwinów i piroksenów przebiega z różną intensywnością w zależności od typu rudy, wielkości ziaren, stanu ich pokruszenia oraz lokalizacji w „żyłę”. Generalnie proces ten silniej zaznacza się w rudzie ospowatej i brekcjowej pierwotnej (obejmuje większą objętość poszczególnych ziaren spineli), nieco słabiej w masywnej i najslabiej w groniastej, choć nie jest to regułą. Proces przeobrażeń uwiadcza się jako spadek przezroczystości ziaren spinelu w świetle przechodzącym (rys. 7A) i wzrost zdolności refleksyjnej w świetle odbitym (rys. 7B). Granice pomiędzy fazą niezmienną a zmienioną są zwykle ostre. W świetle przechodzącym niekiedy na granicy faz pojawia się wąska, brunatna, przeświecająca obwódka, natomiast faza zmieniona jest jednolicie czarna. W świetle odbitym dodatkowo widać, że w zmienionej obwódce, w kierunku brzegu ziarna stopniowo wzrasta zdolność refleksyjna, co dowodzi,

TABELA 2

Przykładowe analizy przeobrażonych fragmentów ziaren spineli z braszowickiej rudy chromowej.  
Numeracja kolumn jak w tabeli 1. Trend zmian składu wskazują strzałki na rys. 5 i 6

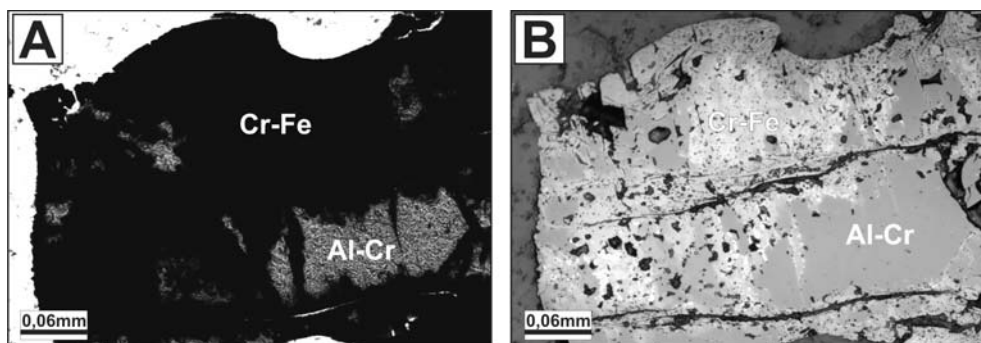
TABLE 2

Representative chemical compositions of the altered spinels' parts from the Braszowice chromium ore.

Numbers of columns are as in Table 1.

Direction of the chemical composition changes is indicated by arrows in Fig. 5 and 6

%wag.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
SiO <sub>2</sub>	0,000	0,048	0,019	0,000	0,104	0,083	0,012	0,325	0,001	0,000	0,035	0,083	0,305	0,000
TiO <sub>2</sub>	0,430	0,276	0,178	0,699	0,547	0,730	0,617	0,528	0,698	0,587	0,533	0,893	0,357	0,461
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,604	11,230	7,468	5,499	13,232	12,865	11,092	12,839	11,085	12,739	14,477	13,252	9,632	11,948
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,227	0,174	0,188	0,487	0,252	0,299	0,381	0,348	0,347	0,354	0,389	0,458	0,167	0,238
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	45,801	50,585	56,453	39,672	41,776	40,754	39,823	41,983	40,789	41,631	41,186	40,131	50,784	47,786
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,464	9,144	7,244	23,495	13,567	14,833	18,745	12,874	17,556	16,865	14,599	12,945	10,342	10,975
MgO	11,498	10,334	9,714	6,882	8,508	8,588	9,460	7,734	9,318	10,753	9,989	7,607	10,255	10,583
CaO	0,000	0,000	0,003	0,000	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000
MnO	0,306	0,335	0,402	0,276	0,321	0,252	0,294	0,345	0,425	0,251	0,201	0,223	0,289	0,214
FeO	15,826	17,218	17,574	20,882	19,827	19,775	18,115	20,921	18,185	17,034	18,346	20,686	16,903	16,703
NiO	0,324	0,203	0,055	0,240	0,287	0,193	0,257	0,220	0,256	0,226	0,341	0,312	0,364	0,489
ZnO	0,007	0,000	0,039	0,098	0,000	0,000	0,018	0,017	0,000	0,000	0,002	0,036	0,048	0,012
Suma	99,487	99,547	99,337	98,230	98,428	98,372	98,814	98,134	98,660	100,442	100,098	96,626	99,446	99,409
Przeliczono na 24 kationy														
Si	0,000	0,013	0,005	0,000	0,028	0,022	0,003	0,088	0,000	0,000	0,009	0,023	0,081	0,000
Ti	0,084	0,055	0,036	0,149	0,110	0,148	0,125	0,107	0,141	0,115	0,104	0,184	0,071	0,091
Al	4,450	3,496	2,378	1,833	4,181	4,072	3,512	4,090	3,516	3,909	4,441	4,279	3,020	3,709
V	0,047	0,037	0,041	0,110	0,054	0,064	0,082	0,075	0,075	0,074	0,081	0,101	0,036	0,050
Cr	9,363	10,565	12,057	8,871	8,855	8,654	8,458	8,972	8,678	8,569	8,476	8,693	10,683	9,951
Fe	2,036	1,818	1,473	5,000	2,737	2,998	3,789	2,619	3,555	3,304	2,860	2,669	2,071	2,175
Mg	4,432	4,069	3,912	2,901	3,400	3,438	3,788	3,116	3,738	4,174	3,876	3,107	4,067	4,156
Ca	0,000	0,000	0,001	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,067	0,075	0,092	0,066	0,073	0,057	0,067	0,079	0,097	0,055	0,044	0,052	0,065	0,048
Fe	3,422	3,804	3,970	4,939	4,445	4,442	4,070	4,729	4,092	3,709	3,994	4,740	3,761	3,679
Ni	0,067	0,043	0,012	0,055	0,062	0,042	0,056	0,048	0,055	0,047	0,071	0,069	0,078	0,104
Zn	0,001	0,000	0,008	0,020	0,000	0,000	0,004	0,003	0,000	0,000	0,000	0,007	0,009	0,002
Suma	23,969	23,975	23,985	23,944	23,947	23,937	23,954	23,926	23,947	23,957	23,956	23,924	23,942	23,965



Rys. 7. Mikroskopowe fotografie typowych dla rud z Braszowic ziaren spineli.  
 Zwykle w stanie niezmienionym zachowane są jedynie części centralne ziaren (Al-Cr),  
 natomiast ich brzegi i krawędzie spękań (Cr-Fe) ulegają w czasie procesów metamorficznych  
 stopniowemu wzbogaceniu w Cr, Fe<sup>2+</sup> i Fe<sup>3+</sup>, a zubożeniu w Al i Mg  
 A – światło przechodzące i (B) – światło odbite

Fig. 7. Photomicrographs of typical spinel grains that form the Braszowicechromitites. Usually the inner parts  
 of the grains (Al-Cr) remain unaltered whereas their borders (Cr-Fe) and cracks' edges are gradually  
 enriched in Cr, Fe<sup>2+</sup> i Fe<sup>3+</sup> and show a decrease in Al and Mg.  
 A – transmitted light and (B) – reflected light

że modyfikacja składu w obwódce następuje stopniowo i od razu nie dochodzi do pełnej rekrytalizacji. Proces zastępowania jest jednoczesny z krystalizacją chlorytów w otoczeniu (przyjmują Al i Mg ze spineli), na co wskazuje obecność wrostków tego minerału w zmienionych częściach ziaren spineli, potwierdzona badaniami w mikroobszarze.

Procesy zastępowania wywołane przez zjawiska metamorficzne modyfikujące pierwotny skład spineli chromowych powodują też w konsekwencji zmianę właściwości technologicznych rudy (zdefiniowane w kolejnym rozdziale) i jej przydatności gospodarczej. Znajduje to odbicie w średnim składzie chemicznym otrzymanym w wyniku analizy całej skały chromitowej, złożonej zarówno z ziaren spineli pierwotnych jak i zmienionych oraz z minerałów płonnych. W odróżnieniu od wcześniej przedstawionych analiz niezmienionych spineli, analizy chemiczne całej skały (tab. 3) wskazują, że ruda zawiera mniej Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (35,25–18,38% wag. w zależności od tekstury rudy) i Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (30,04–13,37% wag. w zależności od tekstury rudy), a więcej Fe (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sub>całk.</sub> – około 13% wag.) i SiO<sub>2</sub> (6,58–20,61% wag.). Wysoka wartość ilości SiO<sub>2</sub> wywołana jest obecnością minerałów płonnych uwzględnionych w analizie całej skały, zatem na ten parametr największy wpływ ma rodzaj tekstury rudy. Ogólnie najlepszymi parametrami charakteryzują się rudy o teksturze masywnej i groniastej, podczas gdy ruda o teksturze ospowatej wykazuje znacznie niższe zawartości Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, a wyższe SiO<sub>2</sub>. Wzrost zawartości żelaza spowodowany jest włączeniem do analiz całej skały spineli przeobrażonych, o składzie chemicznym zbliżonym do składu minerału chromitu. Wzrost zawartości żelaza powoduje, że maleje też wskaźnik Cr/Fe analizowanej rudy (nawet do 1,5).

TABELA 3

Skład chemiczny trzech głównych odmian rudy chromowej z Braszowic:  
 1 – ruda o teksturze masywnej, 2 – ruda o teksturze groniastej, 3 – ruda o teksturze ospowatej.  
 Badanie wykonane zgodnie z normą PN-EN ISO 12677:2005. Wyniki przedstawiono dla próbki suchej

TABLE 3

Chemical composition of different varieties of the Braszowice chromium ore:  
 1 – massive ore, 2 – nodular ore, 3 – disseminated ore.  
 Analyses were made according to standard PN-EN ISO 12677:2005. Results presented for dry sample

%wag.	1	2	3
SiO <sub>2</sub>	7,06	6,58	20,61
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22,31	30,04	13,37
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <i>całk.</i>	13,87	12,69	12,06
TiO <sub>2</sub>	0,10	0,10	0,08
CaO	0,02	<0,01	<0,01
MgO	18,35	20,12	26,42
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	35,25	27,74	18,38
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,16	0,11	0,07
NiO	0,18	0,22	0,25
Strata prażenia (1025°C)	2,64	2,36	8,70
Suma	99,94	99,96	99,94
Cr/Fe	2,5:1	2,1:1	1,5:1

#### 4. Przydatność braszowickich chromitytów dla gospodarki

Pierwotnym źródłem chromitów są głównie złoża magmowe, choć w ostatnich latach w przemyśle metalurgicznym zaznacza się też udział chromu odzyskiwanego ze źródeł wtórnych, np. złomu i żużli po produkcji żelazochromu. Obrotowi handlowemu podlegają koncentraty i pellety chromitów otrzymane z naturalnych chromitytów (Bilans... 2011). W zależności od parametrów technologicznych rudy znajdują zastosowanie w kilku gałęziach przemysłu. O sposobie wykorzystania decyduje przede wszystkim zawartość Cr, stosunek zawartości Cr/Fe ilość domieszek Al, Si, Mg i Ca oraz proporcje między nimi. Dla celów technologicznych stosowane jest więc rozróżnienie materiału na chromity metalurgiczne, chemiczne, dla przemysłu materiałów ogniotrwałych i dla odlewnictwa (Bilans... 2011). Ich właściwości technologiczne zdefiniowane są przede wszystkim zawartością Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i poprzez wskaźnik Cr/Fe, pozostałe parametry określone są dla poszczególnych rodzajów chromitów (tab. 4). Chromity metalurgiczne charakteryzują się zawartością Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> powyżej 46% wag., wskaźnikiem Cr/Fe ponad 3,0, zawartością SiO<sub>2</sub> poniżej



TABELA 4

Parametry technologiczne chromitów przemysłowych (zgodnie z: Bilans... 2011)

TABLE 4

Technological properties of the industrial chromites (according to: Bilans... 2011)

Rodzaje chromitów przemysłowych	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [% wag.]	Cr/Fe	Pozostałe [% wag.]
Chromity metalurgiczne	> 46	> 3,0	SiO <sub>2</sub> < 10 S < 0,8 P < 0,04
Chromity chemiczne	> 44	> 1,5	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + MgO + SiO <sub>2</sub> < 5–6
Chromity dla przemysłu materiałów ogniotrwałych	30–40	–	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 25–30 SiO <sub>2</sub> < 3
Chromity dla odlewnictwa	> 44	> 1,7	SiO <sub>2</sub> 4 CaO: 0,5

10% wag. Nie mogą zawierać powyżej 0,8% wag. S i powyżej 0,04% wag. P (Surowce... 1981). Dla chromitów chemicznych stosuje się łagodniejsze wymagania technologiczne. Powinny one zawierać ponad 40% wag. Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, wskaźnik Cr/Fe musi wynosić ponad 1,5, zalecana suma Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + MgO + SiO<sub>2</sub> jest niższa niż 5–6% wag. Jeszcze mniej restrykcyjne normy dotyczą chromitów dla przemysłu materiałów ogniotrwałych. Muszą one zawierać 30–40% wag. Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 25–30% wag. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i poniżej 3% wag. SiO<sub>2</sub>. Chromity odlewnicze natomiast zawierają powyżej 44% wag. Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ich wskaźnik Cr/Fe wynosi ponad 1,7, ponadto ilość SiO<sub>2</sub> określana jest na 4% wag., a CaO na 0,5% wag. (Bilans... 2011). Chromity chemiczne i odlewnicze często pozyskiwane są ze złoża wspólnie i w razie braków na rynku można je stosować wymiennie. Tonażowo w światowym przemyśle najczęściej wykorzystywanych jest chromitów metalurgicznych (stosowanych do produkcji żelazo-chromu i żelazokrzemochromu i różnych odmian stali chromowej), następnie chromitów dla przemysłu materiałów ogniotrwałych (np. materiał na okładziny pieców hutniczych) i odlewnictwa (produkcja form odlewniczych). Najmniej chromitu zużywane jest przez przemysł chemiczny (np. chemikalia na bazie chromu, barwienie szkła, farby). W Polsce jednak po zamknięciu największych hut głównym konsumentem tego deficytowego surowca jest przemysł chemiczny. Największymi dostawcami przemysłowych chromitów są RPA, Kazachstan i Indie. Znaczny udział w rynku mają też Zimbabwe, Rosja, Finlandia, Turcja i Brazylia, Oman i Iran (Bilans... 2011).

W ciągu ostatnich kilku lat (2005–2011) na rynkach światowych zaznacza się ciągły wzrost cen stali i produktów stalowych, co wiąże się też ze wzrostem cen komponentów wykorzystywanych do ich wytwarzania (González, Kamiński 2011). Podobnie kształtuje się zróżnicowanie cen wszystkich rodzajów chromitów przemysłowych. Niewielki spadek cen surowców notowany był jedynie w 2009 roku, kiedy z powodu kryzysu światowego ceny – jak również wydobycie chromitów w przypadku większości producentów – obniżyły się. Chromity jednak wciąż pozostają materiałem deficytowym, zwłaszcza w Polsce przy braku

własnych zasobów rud chromu. Racjonalnym wydaje się więc ponowne rozpatrzenie możliwości wydobycia nawet małych nagromadzeń chromitytów (poniżej 30–50 tys. ton rudy) o odpowiednich parametrach technologicznych.

Pierwotne spinel chromowy z Braszowic zawierają przeciętnie 38% wag.  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , około 27% wag.  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , a ich wskaźnik Cr/Fe waha się w wąskim przedziale i wynosi około 3,0. W samych spinelach nie stwierdzono  $\text{SiO}_2$  i CaO, jednak  $\text{SiO}_2$  jest składnikiem minerałów płonnych. Poszczególne ziarna spineli w rudzie są przeobrażone z intensywnością zależną między innymi od rodzaju tekstury (zmienna szerokość obwódek). Zatem by uzyskać surowiec o żądanych parametrach ruda musiałaby zostać poddana procesom przeróbki (rozdrabnianiu i wzbogacaniu) w celu odseparowania ziaren niezmiennych przez procesy metamorficzne. Z punktu widzenia metod wzbogacania uzyskanie koncentratu o składzie chemicznym odpowiadającym składowi spineli niezmiennych jest w zasadzie niemożliwe z powodu obecności przeobrażonych obwódek na niezmiennych ziarnach (rys. 7A, B). Odseparowanie ich od siebie w procesach wzbogacania rudy jest jak na razie niewykonalne.

Skład chemiczny całej skały (tab. 3) wskazuje, że chromity z Braszowic w stanie naturalnym nie spełniają wymagań technologicznych stawianych chromitom przemysłowym (tab. 4). Wszystkie najważniejsze parametry analizowanych chromitów znacząco różnią się od wymaganych. Jedynie chromity o teksturach masywnych charakteryzują się właściwościami technologicznymi zbliżonymi do chromitów przemysłu materiałów ogniotrwałych. Po odseparowaniu krzemianów (obniżeniu zawartości  $\text{SiO}_2$ ), prawdopodobnie można by je wykorzystać jako słabej jakości chromity przemysłu materiałów ogniotrwałych.

Ciała chromitytowe w masywie Braszowice–Brzeźnica położone są w strefie tremolito-oliwinowej szerokości około 1 km pomiędzy wzgórzami Mnich i Grochowiec. Forma i wielkość ciał chromitytowych znana jest jedynie z XIX wiekowej literatury. Miały to być niewielkie (kilka–kilkanaście metrów długości) „żyły” lub „pokłady”, o miąższości 0,5–1,0 m, zatem formy mniej więcej poziome, o niewielkiej rozciągłości, ułożone obocznie względem siebie. Formy nagromadzeń rudy chromowej przypominają zatem w opisie najmniejsze soczewkowe ciała rudne znajdujące w Tapadłach, których eksploatacja nie została podjęta. Od końca XIX wieku nie prowadzono na terenie masywu Braszowice–Brzeźnica prac poszukiwawczych rud chromu, nie istnieją więc bardziej ścisłe opisy form nagromadzeń braszowickich rud. Dopiero pod koniec lat siedemdziesiątych XX wieku prowadzono w tym rejonie magnetyczne badania geofizyczne (Farbisz 1979) i wykonano kilka otworów badawczych. Wykazały one między innymi w N części istnienie masywu ciała magnetycznego, umiejscowionego około 50 m pod powierzchnią terenu. Jednak wiercenie zlokalizowane w tym miejscu natrafiło na amfibolity, które niewątpliwie były źródłem wykrytej anomalii. Dwa następne magnetyczne profile zwiadowcze wykonane w masywie Braszowice–Brzeźnica wykryły kilkanaście metrów pod powierzchnią terenu kilka wąskich stref o niezwykle silnym namagnesowaniu, co może świadczyć o wysokiej zawartości magnetytu lub obecności ciał chromitytowych. Biorąc pod uwagę opisywaną w niemieckiej literaturze „żyłową” formę ciał rudnych oraz fakt, że magnetyt jako domieszka powszechnie występuje w rudach chromu (zwłaszcza w przeobrażonych częściach spineli

chromowych) można zasugerować, że anomalie te wiążą się z występowaniem rud chromu. Określenie pozycji i przebiegu stref tego typu wymagałoby jednak dalszych badań geofizycznych o odpowiedniej metodyce (Cholewicka-Meysner, Farbisz 1993). Mając na względzie niemieckie dane literaturowe, wyniki badań geofizycznych, wyniki badań chemicznych spineli chromowych oraz występowanie skał typowych dla granicy płaszcz/skorupa ziemska można spodziewać się na przełęczy między wzgórzami Mnich i Grochowiec odnalezienia małych soczewkowych bądź smugowych ciał chromitytowych typu „podiform”. Założenie takie potwierdza analogia do nagromadzeń chromitu w Tapadłach oraz innych złóż chromitów typu „podiform” na świecie (np. złoża Malatya w Turcji i Wadi Mahram w Omanie). Trzeba jednak pamiętać, że zasoby rudy chromowej z Tapadeł, sądząc z opisów niemieckich i polskich badaczy, były większe niż można się spodziewać w masywie Braszowice–Brzeźnica. Przyjmując nawet, że ceny koncentratów chromitowych w roku 2011 osiągały cenę 520 USD za tonę (Industrial Minerals – [www.mineralnet.co.uk](http://www.mineralnet.co.uk)) i prognozowano ich wzrost jest to kwota zbyt niska, by opłacało się rozpocząć prace poszukiwawcze.

Na obszarze masywu Braszowice–Brzeźnica spinele chromowe o składzie chemicznym i strukturze zbliżonymi do spineli z chromitów są powszechnym akcesorycznym składnikiem występujących tu skał ultramaficznych. Mineralizacja ta jest stosunkowo uboga i maksymalnie wynosi do 1,35% wag.  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , dla skały oliwinowo-tremolitowej z przełęczy między wzgórzami Mnich i Grochowiec, a średnio, dla całego masywu około 0,50% wag.  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (Gunia 1992, dane niepublikowane autorki). Zatem, podobnie jak opisywane wcześniej chromityty, nie ma żadnego znaczenia przemysłowego.

## Wnioski

Chromityty z Braszowic ze względu na formę występowania, skład chemiczny ziaren spineli pierwotnych i związek ze skałami ultramaficznymi ofiolitu można zaliczyć do wystąpień rud chromitowych typu „podiform”. Makroskopowo wyróżniono w nich trzy główne odmiany teksturalne, różniące się wielkością ziaren spineli chromowych i udziałem minerałów płonnych, kolejne dwie odmiany, brekcyjne, są rzadsze. Skład chemiczny pierwotnych spineli chromowych z braszowickich rud odpowiada właściwościom chromitów przemysłu materiałów ogniotrwałych. Jednak ziarna spineli chromowych w badanej skale uległy przeobrażeniom na skutek procesów metamorficznych, które zmodyfikowały ich pierwotny skład chemiczny. Spowodowały przede wszystkim uformowanie się przeobrażonych obwódek na pierwotnych ziarnach spineli, które charakteryzują się niższą zawartością Al i Mg oraz wyższą Fe i względnie wyższą Cr w porównaniu ze spinelami pierwotnymi. Wyniki analiz chemicznych całej skały (spinelu wraz z minerałami płonnymi) wykazują, że chromityty braszowickie nie spełniają jakościowych wymagań technologicznych stawianych przed chromitami przemysłowymi. Ponadto analiza materiałów archiwalnych opisujących formę i rozmiar ciał chromitytowych pozwala stwierdzić, przez analogię do wystąpienia chromitów w Tapadłach, że rozmiar ciał rudnych (wskazywanych też jako

dotatnie anomalie w badaniach geofizycznych) nie stanowi przyczynku do rozpoczęcia poszukiwań. Niewielki rozmiar masywu, w którym są zlokalizowane, również wyklucza przypuszczenie, że rudy mogą zostać znalezione w innych, nie badanych dotąd obszarach. Wymienione wyżej fakty pozwalają stwierdzić, że obecny stan rozpoznania chromitytów z masywu Braszowice–Brzeźnica nie pozwala na traktowanie ich jako źródła chromitytów przemysłowych. Nawet znaczny wzrost cen rynkowych surowców chromitowych nie będzie miał wpływu na zmianę tej sytuacji.

Praca została zrealizowana na Wydziale Geologii Uniwersytetu Warszawskiego w ramach funduszy przeznaczonych na Badania Własne (BW 1797/15), finansowanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Autorka jest wdzięczna pani Lidii Jeżak za pomoc w przeprowadzeniu oznaczeń składu chemicznego spineli oraz panom Janowi Trąbińskiemu i Grzegorzowi Widlickiemu za wykonanie znakomych preparatów mikroskopowych. Dziękuję też dr hab. Krzysztofowi Szamałkowi, profesorowi UW, oraz Recenzentom za analizę tekstu i wnikliwe uwagi.

#### LITERATURA

- Barnes S.J., Roeder P.L. 2001 – The Range of Spinel Compositions In Terrestrial Mafic and Ultramafic Rocks v. 42, pp. 2279–2302.
- Bilans Gospodarki Surowcami Mineralnymi Polski i Świata 2009. Red. Smakowski T., Ney R., Galos K. Wyd. 1. Kraków 2011.
- Birecki T., 1962 – Występowanie chromitów w Tąpadłach. Przegląd Geologiczny nr 3, s. 144–150.
- Bock M., 1868 – Über einige Schlesische Mineralien deren Constitution und einige andere analytische Resultate. Doktor Dissertation. Breslau, s. 1–26.
- Cholewicka-Meysner D., Farbisz J., 1993 – Problematyka rudna masywów ultrazasadowych i zasadowych Dolnego Śląska w świetle badań geofizycznych. Acta Universitatis Wratislaviensis v. 1412. Prace Geologiczno-Mineralogiczne. Z badań nad mineralizacją rudną regionu sudeckiego t. 33, s. 145–165.
- Cholewicka-Meysner D., Farbisz J., 1995 – Efektywność prospekcyjna metod geofizycznych w rozpoznaniu geologii bloku przedsudeckiego. W: Przewodnik LXVI zjazdu PTG. Rocznik PTG, wydanie specjalne – 50 lat polskich badań geologicznych na Dolnym Śląsku. Wrocław 1995, s. 49–68.
- Coleman R.G., 1977 – Ophiolites. Ancient Oceanic Lithosphere? 1 ed. Berlin, Springer Verlag.
- Delura K., 1996 – Mineralizacja kruszcowa w skałach zasadowych i ultrazasadowych w rejonie Braszowice i Brzeźnicy na Dolnym Śląsku. Praca Magisterska. Warszawa. Archiwum Wydziału Geologii Uniwersytetu Warszawskiego.
- Delura K., 2001 – Mineralizacja kruszcowa w zserpentyzowanych skałach ultramaficznych masywów Braszowice-Brzeźnica i Gogołów-Jordanów na Dolnym Śląsku. Praca Doktorska. Warszawa. Archiwum Wydziału Geologii Uniwersytetu Warszawskiego.
- Dick H.J.B., Bullen T., 1984 – Chromian spinel as a petrogenic indicator in abyssal and alpine-type peridotites and spatially associated lavas. Contributions to Mineralogy and Petrology v. 86, no 1, pp. 54–76.
- Dubińska E., Gunia P., 1997 – The Sudetic ophiolite: current view on its geodynamic model. Geological Quarterly v. 41, no 1, pp.1–20.
- Dubińska E. in. 2004 – Dubińska E., Bylina P., Kozłowski A., Dörr W., Nejbort K., Schastok J., Kulicki C., 2004 – U-Pb dating of serpentinization: Hydrothermal zircon from a metasomatic rodingite shell (Sudetic ophiolite, SW Poland). Chemical Geology v. 203, no 3–4, pp. 183–203.

- Dziedzicowa H., 1989 – Gabra Braszowic jako człon warwscyjskiego kompleksu ofiolitowego. *Acta Universitatis Wratislaviensis* v. 1113. *Prace Geologiczno-Mineralogiczne* t. 17, s. 57–79.
- Farbisz J., 1979 – Dokumentacja badań geoelektrycznych i magnetycznych – temat: Braszowice-Brzeźnica. Arch. PBG, Warszawa.
- Fiedler H., 1863 – Die Mineralien Schlesiens mit Berücksichtigung der angrenzenden Länder. Breslau.
- Gajewski Z., 1974 – Masyw serpentynitowy Grochowa-Braszowice oraz jego znaczenie surowcowe. *Biuletyn Instytutu Geologicznego* t. 280, nr 7, s. 49–74.
- Glocker E., 1927 – Über das Frankensteiner Gebirge und das Vorkommen des Chrysoprases in demselben nebst einer Beschreibung der den letzteren begleitenden Fossilien. W: *Beiträge zur mineralogischen der Kenntniss der Sudetenländer insbesondere Schlesiens*. Breslau. v. 1, s. 1–152.
- González I.H., Kamiński J., 2011 – Przemysł żelaza i stali: analiza stanu obecnego z perspektywy rynku światowego. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi* t. 27, z. 3, s. 5–28.
- Gunia P., 1989 – Ultrabasic rocks of the Braszowice-Brzeźnica ophiolite massif: their textural variability and petrologic implications. [W:] *Lower and Upper Paleozoic Metabasites and Ophiolites of Polish Sudetes*. *Guidebook of Excursions in Poland* pp. 113–123.
- Gunia P., 1992 – Petrologia skał ultrazasadowych z masywu Braszowice-Brzeźnicy (blok przedsudecki). *Geologia Sudetica* t. 26, z. 1–2, s. 119–170.
- Gunia P., 1995 – Wybrane zagadnienia petrologii skał ultrazasadowych masywu Braszowice-Brzeźnicy. [W:] *Przewodnik LXVI zjazdu PTG. Rocznik PTG, wydanie specjalne – 50 lat polskich badań geologicznych na Dolnym Śląsku*. Wrocław 1995, s. 217–218.
- Jamrozik L., 1995 – Geologia ofiolitów z obrzeżenia bloku sowiogórskiego. [W:] *Przewodnik LXVI zjazdu PTG. Rocznik PTG, wydanie specjalne – 50 lat polskich badań geologicznych na Dolnym Śląsku*. Wrocław 1995, s. 193–200.
- Kądziałko-Hofmokl i in. 2010 – Kądziałko-Hofmokl M., Jeleńska M., Delura K., Bylina P., 2010 – Magnetic Mineralogy and Paleomagnetism of Serpentinized Ultramafic Rocks from the Braszowice-Brzeźnica Fragment of Sudetic Paleozoic Ophiolite. *Acta Geophysica* v. 58, pp. 269–299.
- Kosmann B., 1888 – Über neuere Aufschlüsse betreffend des Vorkommen der Chromeisenerze in Niederschlesien. *Jahresbericht der Schlesischen Gesellschaft für Vaterländische Cultur* bd. 65.
- Kowarz M., 1965 – Rozważania nad genezą magnezytów rejonu Grochów-Braszowice koło Ząbkowic Śląskich. *Biuletyn Geologiczny Wydziału Geologii Uniwersytetu Warszawskiego* t. 5, s. 63–73.
- Kryza i in. 2004 – Kryza R., Mazur S., Oberc-Dziedzic T., 2004 – The Sudetic geological mosaic: Insights into the root of the Variscan orogen. *Przegląd Geologiczny* t. 52, nr 8/2, s. 761–773.
- Kunisch H., 1887 – Über das Vorkommen von Chromeisenstein in dem Serpentin der Grochauer Berge südwestlich von Frankenstein. *Jahresbericht der Schlesischen Gesellschaft für Vaterländische Cultur* bd. 64.
- Lis J., Sylwestrzak H., 1986 – *Minerały Dolnego Śląska*. Wyd. 1. Warszawa, Wydawnictwa Geologiczne.
- Madziarz M., Sztuk H., 2007 – Eksploatacja małego złoża na tle wielkich wydarzeń – rzecz o kopalni chromitu w Tapadłach. III Konferencja Dziedzictwo i historia górnictwa oraz wykorzystanie pozostałości dawnych robót górniczych. Wyższy Urząd Górniczy, Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie nr 4, s. 42–43.
- Majerowicz A., 1979 – Wystąpienie rodingitów w masywie serpentynitowym Gogołów-Jordanów. *Przegląd Geologiczny* t. 27, s. 43–44.
- Mazur i in. 2006 – Mazur S., Aleksandrowski P., Kryza R., Dziedzic-Oberc T., 2006 – The Variscan Orogen in Poland. *Geological Quarterly* v. 50, no 1, pp. 89–118.
- Narębski i in. 1982 – Narębski W., Wajspyrch B., Bakun-Czubarow N., 1982 – On the Nature, Origin and Geotectonic Significance of Ophiolites and Related Rock Suites in the Polish Part of the Sudetes. *Ofioliti* v. 2/3, pp. 407–428.
- Singer B., 1820 – Über das Vorkommen des Chromeisens in Schlesien. *Karstens Archiv für Bergbau und Hüttenwesen* bd 3, s. 82–86.
- Spangenberg K., 1943 – Die Chromerzlagerstätte von Tampadel am Zobten. *Zeitschrift für praktische Geologie* bd 51, h. 2, s. 13–24, h. 3, s. 25–36.



- Stevens R.E., 1944 – Composition of Some Chromites of the Western Hemisphere. *American Mineralogist* v. 29, no 1–2, pp. 1–64.
- Stowe C.W., 1994 – Compositions and Tectonic Settings of Chromite Deposits through Time. *Economic Geology* v. 89, no 3, pp. 528–546.
- Surowce Mineralne Świata. Mangan – Mn, Chrom – Cr. Red. A. Bolewski. Wyd. 1. Warszawa, Wydawnictwa Geologiczne, 1981.
- Traube H., 1888 – Die Minerale Schlesiens. J. U. Körn's Verlag (Max Miller) Breslau.
- Websky M., 1873 – Über Grochaut und Magnochromit. *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft* v. 25, s.394–398.
- www.mineralnet.co.uk – Industrial Minerals.

#### CHARAKTERYSTYKA CHROMITYTÓW Z MASYWU BRASZOWICE–BRZEŹNICA NA DOLNYM ŚLĄSKU I ICH ZNACZENIE PRZEMYSŁOWE

##### Słowa kluczowe

Dolny Śląsk, masyw Braszowice–Brzeźnica, chromityt, ruda chromu, chromity dla przemysłu materiałów ogniotrwałych

##### Streszczenie

Chromityty, stanowiące podstawową rudę chromu, uważane są za jedne z ważniejszych surowców strategicznych. Wykorzystywane są w różnych gałęziach przemysłu jako chromity metalurgiczne, chromity chemiczne, chromity dla przemysłu materiałów ogniotrwałych i chromity dla odlewnictwa. Chromity wydobywane są głównie ze złóż magmowych, rzadziej innego typu. Złoża magmowe tworzą dwie odmiany genetyczne – złoża typu „podiform” związane ze skałami ultramaficznymi kompleksów ofiolitowych oraz złoża „stratiform” powstałe w wyniku magmowych procesów wewnątrzskorupowych. Niestety Polska nie posiada własnych złóż rud chromu. Na obszarze Dolnego Śląska znane są jednak dwa wystąpienia chromitytów, zlokalizowane w skałach ultramaficznych tzw. ofiolitu sudeckiego. Traktowane są one jako nagromadzenia typu „podiform”, o charakterystycznej soczewkowej budowie ciał rudnych i wyższej zawartości Al w porównaniu z wystąpieniami typu „stratiform”. Złoże w Tąpadłach (masyw Gogołów–Jordanów) zostało w XIX i XX wieku całkowicie wyeksploatowane (wydobyto 3500 ton rudy). Natomiast drugie wystąpienie chromitytów, zlokalizowane w masywie Braszowice–Brzeźnica, nigdy nie było przedmiotem prac badawczych. W trakcie prac terenowych w masywie Braszowice–Brzeźnica znaleziono w zwietrzelinie dużą ilość okruchów chromitytów. Badania wykazały, że są to skały o teksturach charakterystycznych dla wystąpień typu „podiform”, w dużej części masywnych i groniastych. Analizy chemiczne niezmiennych części ziaren spineli chromowych wskazują, że skład ich jest zbliżony do składu spineli typowych dla chromitów dla przemysłu materiałów ogniotrwałych. Jednak późniejsze procesy metamorficzne zmodyfikowały ich skład powodując wzbogacenie w Fe i względnie w Cr, a zubożenie w Al w stosunku do składu pierwotnego. Dodatkowo, skład chemiczny całej skały wskazuje, że chromityty z Braszowice charakteryzują się parametrami technologicznymi wykluczającymi ich wykorzystanie w stanie nie wzbogaconym. Ponadto rozmiar i ilość ciał rudnych, opisanych w XIX wieku, były niewielkie. Zarówno skład chromitytów z masywu Braszowice–Brzeźnica jak i nieznaczny rozmiar ciał nie stanowią przesłanek do podjęcia ich poszukiwań, nawet przy wysokich cenach surowców chromitowych.

**CHROMITITES FROM THE BRASZOWICE–BRZEŹNICA MASSIF, LOWER SILESIA – POTENTIAL CHROMIUM SOURCE FOR INDUSTRY?****Key words**

Lower Silesia, the Braszowice–Brzeźnica Massif, chromitite, chromium ore, refractory grade chromites

**Abstract**

Chromium ore is treated as an important strategic raw material. It is used by many branches of the industry. The most important applications are metallurgical, refractory and chemical. Unfortunately, no chromium ore deposits have been found in Poland until now, with the exception of two chromium ore sites described in the Lower Silesia region. These concentrations are formed by chromitite, which is rock consisting mainly of chromian spinel. They are localized within so called Sudetic Ophiolite rocks along the edge of the Góry Sowie Massif. They form typical podiform deposits, which are characterized by the high Al content of the rock. The first locality, near Tapadła village (the Gogołów–Jordanów Massif), is better known. The ore was exploited here at the turn of the 19<sup>th</sup> century and at the beginning of the 20<sup>th</sup> century. According to the literature, 3500 tons of the ore was obtained – all the resources at this location. The second locality, situated at the Braszowice–Brzeźnica Massif, was never studied and described properly, falling into obscurity since the 19<sup>th</sup> century. During the fieldwork at the Braszowice–Brzeźnica Massif, the author has found numerous chromium ore fragments among the debris. The rising prices of chromium on the world's markets suggest that it is reasonable to study the ore quality and overall resource potential of this deposit. The preliminary studies have shown that chromitites from Braszowice are typical ores of the podiform variety, the majority texturally massive and nodular. The chemical analyses of the primary chromian spinel grains revealed that they could be treated as refractory chromite (38% wt. of Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, lower than 30% wt. of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, and Cr/Fe ratio about 3:1). However, the metamorphic processes modified the primary chemical composition of the studied ore. They caused enrichment in Fe and Cr, and a decrease in Al in comparison to the primary ore. Moreover, the whole rock chemical analyses revealed that the content of the main elements is insufficient to use the ore without enrichment processes. Furthermore, the size and number of the potential ore bodies are presumably small. Consequently, both the chemical composition and the resources of the chromium ores from the Braszowice–Brzeźnica Massif are insufficient to allow for profitable exploitation, despite the high price of chromium.