



Forms of calcium occurrence in slags after steel production

Iwona JONCZY¹

¹ Politechnika Śląska, Wydział Górnictwa i Geologii, Instytut Geologii Stosowanej, ul. Akademicka 2, Gliwice 44-100, tel.: 32 237 29 70, e-mail: iwona.jonczy@polsl.pl

Abstract

The article presents one of the stages of mineralogical studies, the aim of which was to determine forms of calcium occurrence in the slags after steel production. Calcium in the slags is one of the main elements, its content can exceed even 30 Mass%, what provides alkaline character of slags. Forms of calcium connections with slag components are extremely important because from their resistance to weathering processes depend degree of calcium leaching. Loss of the alkali properties of slags can be a reason of heavy metals release. Migration of metals with solutions could be a source of environmental pollution. This is an important issue especially during the economic utilization of slags after steel production.

Keywords: slag after steel production, phase composition, calcium

Streszczenie

Formy występowania wapnia w żużlach stalowniczych

W artykule przedstawiono jeden z etapów badań mineralogicznych, którego celem było określenie form występowania wapnia w żużlach stalowniczych. Wapń w żużlach jest jednym z głównych pierwiastków, jego zawartość może przekraczać nawet 30% mas., co zapewnia żużłom alkaliczny charakter. Forma związania wapnia ze składnikami żużli jest niezwykle istotna, gdyż od ich odporności na działanie procesów wietrzenia zależy stopień wymywania wapnia. Utrata właściwości alkalicznych przez żużle może być przyczyną uwalniania z nich metali ciężkich, które migrując wraz z roztworami, staną się źródłem zanieczyszczenia środowiska. Jest to ważne zagadnienie zwłaszcza podczas prac mających na celu gospodarcze wykorzystanie żużli stalowniczych.

Słowa kluczowe: żużel stalowniczy, skład fazowy, wapń

1. Wstęp

W przyrodzie wapń jest jednym z głównych pierwiastków, wchodzi w skład wielu minerałów skałotwórczych. Na Ziemi wykazuje właściwości oksyfilne, w szczególnie dużych ilościach gromadzi się w oceanicznej części skorupy ziemskiej. Pierwiastek ten związany jest zarówno z procesami magmowymi, gdzie wydziela się w głównym etapie krystalizacji wchodząc w skład plagioklazów oraz piroksenów, duża część minerałów wapnia związana jest z etapem hydrotermalnym, niektóre z nich są też produktem przeobrażeń wtórnych zachodzących pod wpływem wody (m.in. kalcyt, dolomit). Podczas wietrzenia wapń związany w wodorowęglanach lub siarczanach jest transportowany przez wody rzeczne do mórz i oceanów, gdzie stanowi źródło do budowy m.in. szkieletów i pancerzy organizmów żywych. Podczas ewaporacji wody morskiej wydziela się węglan wapnia a następnie jego siarczan m.in. gips. W procesie metamorfizmu, zwłaszcza metamorfizmu kontaktowego również powstaje wiele minerałów bogatych w wapń [1, 2].

Wapń jest też pierwiastkiem, który znajduje swój obieg w procesach antropogenicznych związanych z działalnością człowieka, zwłaszcza dzięki szeroko wykorzystywanym w gospodarce skałom węglanowym zbudowanym głównie z minerałów kalcytu i dolomitu. W hutnictwie jako topnik i jednocześnie materiał żużłotwórczy wykorzystuje się wapno hutnicze uzyskane przez wypalanie w piecach skał wapiennych. Składnik ten jest źródłem pierwiastka Ca stopie żużlowym [3], gdzie podobnie jak w warunkach naturalnych, wapń wchodzi w skład wielu faz, zarówno tlenkowych jak i krzemianowych; może tworzyć własne minerały lub występuje w postaci podstawień izostrukuralnych w innych fazach. W żużlach, które przez dłuższy okres czasu

były składowane na zwałowiskach można zaobserwować na ich powierzchni krystalizację węglanów i siarczanów wapnia. Z uwagi na znaczną zawartość wapnia, Konstanciak i Sabela (1999) [4] wspominają, że były nawet propozycje zastosowania żużli stalowniczych w rolnictwie jako czynnik zasadowy, odkwaszający glebę.

2. Cel, zakres i metodyka badań

Celem badań było oznaczenie form występowania wapnia w żużlach stalowniczych wraz z podaniem ich najważniejszych cech oznaczanych podczas analiz mineralogicznych.

Badania laboratoryjne przeprowadzono dla 7 próbek żużli stalowniczych pochodzących z bieżącej produkcji hutniczej pieca konwertorowego oraz dla 18 próbek stanowiących mieszaninę żużli z różnych procesów stalowniczych, które przez dłuższy okres czasu były składowane na zwałowiskach.

Zawartość wapnia w żużlach oznaczono metodą TD-MS oraz TD-ICP w Activation Laboratories Ltd. – ACTLABS w Kanadzie.

Analizę mikroskopową w świetle przechodzącym przeprowadzono w Instytucie Geologii Stosowanej Wydziału Górnictwa i Geologii Politechniki Śląskiej, wykorzystując mikroskop AXIOPLAN 2 firmy ZEISS do badań w świetle przechodzącym i odbitym. Obecność niektórych oznaczonych faz wymagała potwierdzenia metodą dyfrakcji rentgenowskiej, którą wykonano przy użyciu dyfraktometru rentgenowskiego z goniometrem HZG-4, generatorem wysokiego napięcia IRIS-3 oraz lampą rentgenowską z anodą miedziową.

Rentgenowską analizę spektralną w mikroobszarach wykonano w Instytucie Metali Nieżelaznych (Zakład Inżynierii Materiałowej i Metalurgii Proszków) w Gliwicach, przy użyciu mikroanalizatora rentgenowskiego typu JXA 8230 firmy JEOL.

Badania związane z mikroskopią skaningową wykonano w Pracowni Mikroskopii Skaningowej Nauk Biologicznych i Geologicznych Wydziału Biologii i Nauk o Ziemi Uniwersytetu Jagiellońskiego (Laboratorium w Instytucie Nauk Geologicznych). Do badań wykorzystano mikroskop elektronowy skaningowy z emisją polową HITACHI S-4700 wyposażony w system analizy EDS (spektrometria dyspersji energii) NORAN Vantage.

3. Wyniki badań

W obydwu rodzajach badanych żużli stalowniczych wapń jest jednym z głównych pierwiastków, wyjątek stanowiła pojedyncza analiza żużli pobranych ze zwałowiska, w której ilość Ca spadła poniżej 1%. Zawartość wapnia wyniosła odpowiednio: dla żużli z bieżącej produkcji od 21,0% mas. do 32,6% mas. (średnio 29,7% mas.), natomiast dla żużli składowanych na zwałowiskach od 0,5% mas. do 30,0% mas. (średnio 15,0% mas.) [5].

Jak już wspomniano wapń jest pierwiastkiem, który charakteryzuje się bogactwem form występowania i powiązania ze składnikami żużli. W tabeli nr 1 zestawiono formy występowania wapnia dla badanych żużli, natomiast poniżej zamieszczono krótką ich charakterystykę.

Tabela 3.1. Wapń w żużlach stalowniczych

Faza zawierająca pierwiastek Ca	Występowanie w żużlach	
	Próbki żużli z bieżącej produkcji	Próbki żużli pobrane ze zwałowisk
Wolne wapno	+	
Wüstyt z podstawieniami Ca	+	
Perowskit	+	+
Ferryty	+	+
Gliniany wapnia	+	
Krzemiany dwuwapniowe	+	+
Pirokseny	+	+
Melilitary	+	+
Alit	+	
Wollastonit, pseudowollastonit		+
Kalcyt, aragonit		+
Gips		+

Wolne wapno CaO

W żuźlach CaO występuje zazwyczaj w postaci mikrokrystalicznych ziaren tworzących globule w otoczeniu innych składników żuźli; w badanych próbkach kuliste nagromadzenia wolnego wapna oznaczono w otoczeniu szkliwa oraz krzemianów dwuwapniowych. Z uwagi na łatwość ulegania hydratacji jest to jeden z niekorzystnych składników żuźli, występuje w miejscach, gdzie nie nastąpiło dokładne przereagowanie składników stopu [3, 6].

Wüstyt FeO z podstawieniami Ca

Tlenek żelaza FeO z uwagi na zdefektowanie struktury wewnętrznej łatwo ulega domieszkowaniu innymi pierwiastkami. Często są w nim podstawienia wapnia; podaje się, że rozpuszczalność CaO w wüstycie wzrasta wraz z podwyższeniem temperatury i gdy w temperaturze 900°C wynosi 4,5% CaO to w temperaturze 1100°C może już osiągnąć 18% domieszki CaO [6].

Perowskit CaTiO₃

Grupa perskowitu obejmuje tytaniany o skomplikowanym składzie chemicznym, wśród których mikroskopowo rozróżnienie poszczególnych minerałów jest utrudnione z uwagi na podobieństwo ich cech optycznych do ferrytów. W badanych odpadach obecność minerałów z grupy perskowitu stwierdzono na podstawie analizy w mikroobszarach; fazy te są reprezentowane przez tytaniany wapniowe, w których stosunek tytanu i wapnia wynosi około 1 : 1. Wykazano, że udział CaO w ich składzie chemicznym mieści się w granicach od 40,45% do 44,55%, natomiast TiO₂ od 33,82% do 41,15%, pozostałość stanowią domieszki Si, Al, Mn, Mg, K oraz S.

Ferryty CaO-Fe₂O₃ lub CaO-Fe₂O₃-FeO

Ferryty to związki o złożonej strukturze i zależnościach w układzie tlenków CaO, Fe₂O₃ i FeO. Często są w nich domieszki innych pierwiastków np. Si, Al. W stopie ferryty tworzą się, gdy osiąga on zasadowość >1,15 a odpowiedni dodatek koksu zapobiega zbyt silnemu oddziaływaniu warunków redukcyjnych. Identyfikacja mikroskopowa poszczególnych rodzajów ferrytów jest zazwyczaj trudna z uwagi na ich mikrokrystaliczność, dopiero badania w mikroobszarach lub metodą dyfrakcji rentgenowskiej pozwalają wyróżnić ich konkretne odmiany.

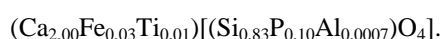
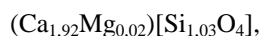
Gliniany wapniowe CaO·Al₂O₃

To grupa związków będących mieszaniną tlenków wapnia i glinu [7], często z domieszkami innych pierwiastków. W żuźlach stalowniczych stanowią dość popularny składnik, gdyż glin podobnie jak wapń może być wprowadzony do pieca hutniczego wraz z topnikami.

Krzemiany dwuwapniowe Ca₂[SiO₄]

Wzrost zawartości w stopie CaO powoduje, że zaczynają krystalizować krzemiany dwuwapniowe, reprezentowane przez larnit, bredigit i calciooliwin. Grupa ta stanowi jeden z ważniejszych składników żuźli i zarazem jeden z głównych nośników wapnia. Rozróżnienie mikroskopowo poszczególnych ich odmian jest znacznie utrudnione, dopiero badania metodą dyfrakcji rentgenowskiej mogą dać jednoznaczną odpowiedź. W badanych żuźlach krzemiany dwuwapniowe występują w postaci globul, często w otoczeniu ferrytów wapnia.

Przykładowe ich wzory wyliczone dla badanych żuźli przedstawiają się następująco:



Analizując przedstawione składy chemiczne krzemianów dwuwapniowych należy zwrócić uwagę na występujące w nich domieszki. W większości przypadków wapń jest podstawiany przez magnez, z którym ma podobny promień jonowy; oprócz Mg stwierdzono także domieszki Mn, Fe, V i Ti.

Pirokseny – krzemiany lub glinokrzemiany łańcuchowe o anionie $[\text{Si}_2\text{O}_6]^{4-}$

Pirokseny tworzą się w wysokiej temperaturze i warunkach redukcyjnych, kiedy w stopie krzemianowym następuje kondensacja grup krzemotlenowych w łańcuchy uboższe w tlen [6]. Szczególnie popularne są w żuźlach pirokseny z szeregu diopsyd-hedenbergit – w przyrodzie diopsyd jest charakterystycznym minerałem występującym w skałach metamorficznych bogatych w wapń. Obok nich w badanych żuźlach oznaczono również augit i omfacyt [8].

Przykładowe wzory piroksenów bogatych w wapń, występujących w próbkach żuźli pobranych ze zwałowisk, przedstawiono poniżej:

$\text{Ca}_{0,70}\text{Mg}_{0,66}\text{Fe}_{0,27}\text{Mn}_{0,04}\text{Al}_{0,07}[\text{Si}_{2,11}\text{O}_6]$ faza przejściowa między diopsydem a hedenbergitem z domieszką Mn,

$(\text{Ca}_{0,77}\text{Mg}_{0,69}\text{Fe}_{0,34}\text{Al}_{0,14}\text{Mn}_{0,04}\text{Ti}_{0,008})[\text{Si}_{1,96}\text{O}_6]$ augit,

$(\text{Ca}_{0,70}\text{Na}_{0,07}\text{K}_{0,01})(\text{Mg}_{0,53}\text{Fe}_{0,30}\text{Al}_{0,02}\text{Mn}_{0,04}\text{Ti}_{0,008})[\text{Si}_{2,17}\text{O}_6]$ omfacyt,

$(\text{Ca}_{0,95}\text{Na}_{0,05}\text{K}_{0,02})(\text{Mg}_{0,63}\text{Al}_{0,35}\text{Fe}_{0,02}\text{Ti}_{0,004})[(\text{Si}_{1,28}\text{Al}_{0,82})\text{O}_6]$ omfacyt.

Należy zwrócić uwagę, że skład chemiczny piroksenów występujących w żuźlach jest znacznie zróżnicowany i często odbiega od składu charakterystycznego dla piroksenów występujących w naturalnych warunkach. Przykładowo: oznaczono obecność K, Mn i Al w omfacycie, których nie spotyka się w omfacycie skałotwórczym skał metamorficznych. Podobne anomalne zmiany składu pierwiastkowego w omfacycie zaobserwowano także w odniesieniu do Na. Pierwiastek ten jest na ogół podstawiany przez K albo jest całkowicie wypierany przez Ca.

W badanych żuźlach z bieżącej produkcji dominującym piroksenem jest jadeit $\text{NaAl}[\text{Si}_2\text{O}_6]$, który może tworzyć z bogatym w wapń diopsydem, kryształy mieszane.

Melility – krzemiany grupowe Ca_2Mg i Ca_2Al

Melility tworzą szereg izomorficzny, którego skrajnymi ogniwami są akermanit $\text{Ca}_2\text{Mg}[\text{Si}_2\text{O}_7]$ i gehlenit $\text{Ca}_2\text{Al}[(\text{Si},\text{Al})_2\text{O}_7]$. W przyrodzie są to minerały skał wapienno-krzemianowych przeobrażonych w wyniku metamorfizmu kontaktowego. Fazy z tej grupy reprezentowane są przez roztwory mieszane zawierające człon akermanitowy i gehlenitowy. Obok nich w żuźlach ze zwałowiska wyróżniono gehlenit charakteryzujący się zróżnicowanym składem chemicznym, który podobnie jak w przypadku piroksenów, często odbiega od składu stwierdzonego w minerałach tworzących się w warunkach naturalnych. W żadnej z analiz nie oznaczono gehlenitu w czystej postaci; prawie zawsze wapń był podstawiany przez magnez, a także inne pierwiastki. Przykładowe wzory gehlenitu przedstawiono poniżej [8]:

$(\text{Mg}_{1,01}\text{Ca}_{0,80})\text{Al}_{0,97}[\text{Si}_{1,86}\text{O}_7]$,

$(\text{Ca}_{1,34}\text{Mg}_{0,59}\text{Ti}_{0,008}\text{Mn}_{0,02}\text{K}_{0,06})\text{Al}_{0,91}[\text{Si}_{1,82}\text{O}_7]$.

Alit Ca_3SiO_5

Alit nie występuje w przyrodzie, jest natomiast charakterystycznym składnikiem żuźli, a także cementów portlandzkich wpływającym na ich własności wiążące. Faza ta reprezentuje krzemian trójwapniowy, który w żuźlach na ogół tworzy wydłużone kryształy w otoczeniu ferrytów wapnia.

Wollastonit, pseudowollastonit $\text{Ca}_3[\text{Si}_3\text{O}_9]$

Minerały te tworzą igiełkowate kryształy o słabo widocznej łupliwości. W badaniach mikroskopowych różnią się pomiędzy sobą wartościami dwójłomności; wollastonit charakteryzuje się szarymi barwami interferencyjnymi I rzędu, natomiast jego polimorficzna, wysokotemperaturowa odmiana pseudowollastonit, jest silnie dwójłomna (barwy interferencyjne III rzędu). W ich składzie chemicznym stwierdzono domieszki Mg oraz Mn, które mogą tworzyć diadochowe podstawienia z Ca oraz Al, który częściowo zastępuje Si, ponadto oznaczono także obecność Ti [8]:

$(\text{Ca}_{3,16}\text{Mg}_{0,02}\text{Mn}_{0,006})[(\text{Si}_{2,73}\text{O}_9)]$,

$(\text{Ca}_{2,76}\text{Ti}_{0,01}\text{Mn}_{0,009})[(\text{Si}_{3,06}\text{Al}_{0,005})\text{O}_9]$.

Kalcyt, aragonit CaCO_3

Obecność węgla wapnia w postaci kalcytu i sporadycznie aragonitu stwierdzono w żuźlach, składowanych na zwałowiskach. W warunkach hipergenicnych podczas kontaktu z wodą omywającą bryły zwałowisk na powierzchni żuźli można zaobserwować drobnoziarnisty, biały nalot wykazujący silną reakcję z HCl (bez przyszkowania, na zimno). Dopiero badania mikroskopowe pozwoliły zaobserwować tabliczkowy pokrój

kryształów. Rozróżnienie kalcytu od aragonitu mikroskopowo było utrudnione, ich obecność potwierdzono metodą dyfrakcji rentgenowskiej.

Gips CaSO_4

Gips jest fazą, która wraz z kalcytem krystalizuje na powierzchni żużli składowanych na zwałowiskach. Makroskopowo, podobnie jak kalcyt występuje w postaci białego nalotu, natomiast mikroskopowo obserwowano jego formy w postaci drobnych igiełek, najczęściej wypełniających pory powstałe podczas chłodzenia żużli [9]. Obok gipsu stwierdzono obecność siarczanów Ca-Mn; można podejrzewać, że ich pierwotny skład chemiczny był taki sam jak w gipsie, jednak wskutek ługowania przez roztwory Ca został diadochowo podstawiony przez mangan, który w żużlach także występuje w znacznych ilościach.

Oprócz wymienionych faz bogatych w Ca, będących zarazem najbardziej charakterystycznymi składnikami żużli stalowniczych, pierwiastek ten można również spotkać w monticellitach (krzemianach wyspowych Ca, Mg, Fe i Mn), w rzadziej występującym roztworze stałym brownmilleryt-srebrodolskit $\text{Ca}_2(\text{Al}, \text{Fe}^{3+})_2\text{O}_5\text{-Ca}_2\text{Fe}^{3+}_2\text{O}_5$ oraz mayenicie $\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$; w żużlach silnie zwiędzłych, które przez długi okres czasu były narażone na działanie czynników wietrzenia stwierdzono obecność portlandytu $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Podstawienia wapnia odnotowano również w magnetycie. Część wapnia jest rozproszona w szklawie i substancji amorficznej, które również stanowią istotny składnik żużli hutniczych.

4. Wnioski

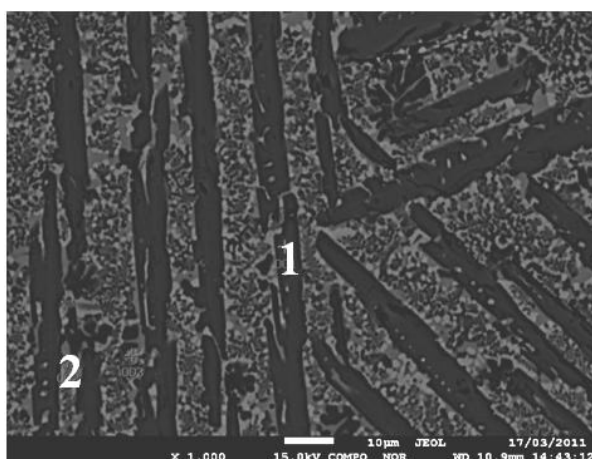
Badania mineralogiczno-chemiczne żużli hutniczych dostarczają niezwykle cennych i ważnych informacji na temat form występowania poszczególnych pierwiastków, składu chemicznego faz budujących żużle oraz ich przeobrażeń w trakcie składowania żużli.

Wapń, który w żużlach jest jednym z dominujących pierwiastków, tworzy własne fazy może również wchodzić w struktury wielu faz krzemianowych i tlenkowych. Znajomość połączeń wapnia ze składnikami odpadów jest niezwykle istotna w trakcie gospodarczego wykorzystania żużli. Obecność w żużlach CaO zapewnia ich alkaliczny charakter, co natomiast utrudnia migrację z żużli metali ciężkich, których obecność wykazano w trakcie już wcześniej prowadzonych badań [5], dotyczy to zwłaszcza Cr i V, ale także Zn, Pb, Ni i Cu.

Podczas składowania żużli wapń, w zależności od odporności składników żużli na procesy wietrzenia, może być uwalniany i wmywany przez roztwory infiltrujące odpady, co wpłynie na obniżenie właściwości alkalicznych żużli. Znajomość tych zagadnień może być pomocna przy podejmowaniu decyzji dotyczących kierunków zagospodarowania żużli i bezpiecznego dla środowiska ich użytkowania [7, 10].

Przykładowe wyniki analiz laboratoryjnych

Rentgenowska analiza spektralna w mikroobszarach



Rys. 4.1. Mikrofotografia żużla (obraz 1); rentgenowska analiza spektralna w mikroobszarach

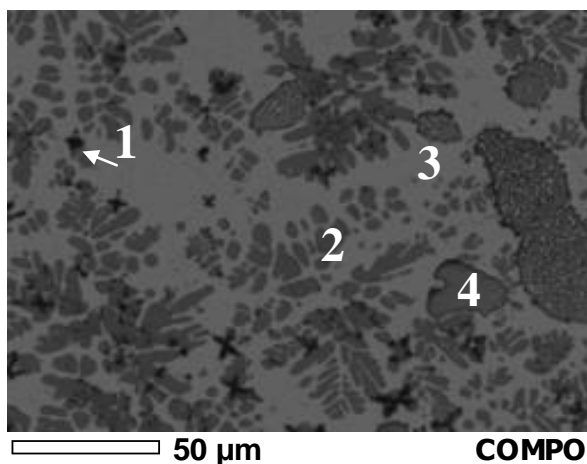
Tabela 4.1. Skład pierwiastkowy składników żużli wg rys. 4.1.

Pierwiastek [% mas.]													
Nr punktu	O	Al	Si	Mg	Ca	Fe	Mn	Ti	V	Cr	Zn	Pb	P
1	33,46	0,27	11,02	0,24	50,73	2,90	0,44	0,08	0,02	0,01	0,03	0,02	0,80
2	28,93	4,38	0,99	0,66	32,27	28,43	1,01	2,42	0,52	0,08	0,03	0,03	0,24

Tabela 4.2. Skład chemiczny składników żużli w przeliczeniu na tlenki wg rys. 4.1.

W przeliczeniu na tlenki [% mas.]													
Nr punktu	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	CaO	FeO	MnO	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	ZnO	PbO	P ₂ O ₅	
1	0,50	23,17	0,39	69,68	3,66	0,56	0,13	0,04	0,01	0,04	0,02	1,80	
2	8,25	2,12	1,10	45,08	36,47	1,30	4,02	0,93	0,12	0,04	0,03	0,55	

Objaśnienia: 1 – alit, 2 – ferryty wapnia



Rys. 4.2. Mikrofotografia żużla (obraz 2); rentgenowska analiza spektralna w mikroobszarach

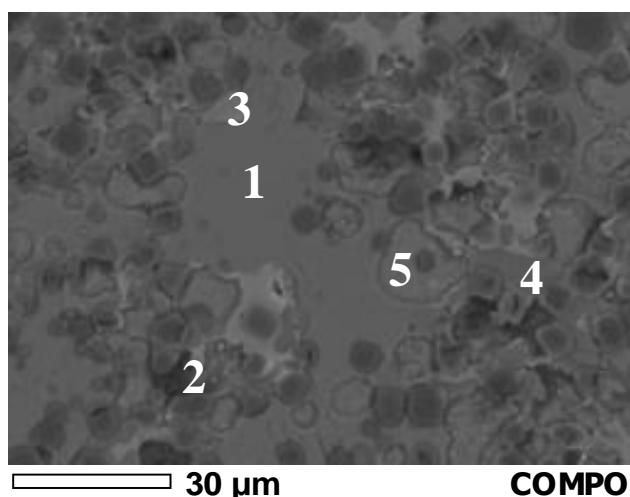
Tabela 4.3. Skład pierwiastkowy składników żużli wg rys. 4.2.

Pierwiastek [% mas.]														
Nr punktu	O	Al	Si	Mg	Ca	Fe	Mn	Ti	V	Cr	Zn	S	P	
1	36,44	-	0,04	52,80	1,47	4,67	4,39	-	-	0,18	-	-	-	
2	33,80	0,22	14,11	0,18	48,10	1,30	0,11	-	0,03	0,04	-	-	2,09	
3	27,90	0,81	1,95	1,02	34,02	28,34	4,89	0,25	-	0,32	-	0,12	0,31	
4	26,05	-	-	0,93	68,64	3,02	1,17	-	-	0,02	0,08	-	0,08	

Tabela 4.4. Skład chemiczny składników żużli w przeliczeniu na tlenki wg rys. 4.2.

W przeliczeniu na tlenki [% mas.]													
Nr punktu	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	CaO	FeO	MnO	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	ZnO	SO ₃	P ₂ O ₅	
1	-	0,08	86,21	2,02	5,88	5,55	-	-	0,26	-	-	-	
2	0,40	28,80	0,29	64,13	1,59	0,14	-	0,05	0,06	-	-	4,56	
3	1,53	4,19	1,71	47,78	36,55	6,33	0,42	-	0,47	-	0,30	0,71	
4	-	-	1,50	92,98	3,76	1,46	-	-	0,03	0,10	-	0,18	

Objaśnienia: 1 – peryklaz, 2 – krzemian dwuwapniowy, 3 – szkliwo, 4 – wolne wapno



Rys. 4.3. Mikrofotografia żużla (obraz 3); rentgenowska analiza spektralna w mikroobszarach

Tabela 4.5. Skład pierwiastkowy składników żużli wg rys. 4.3.

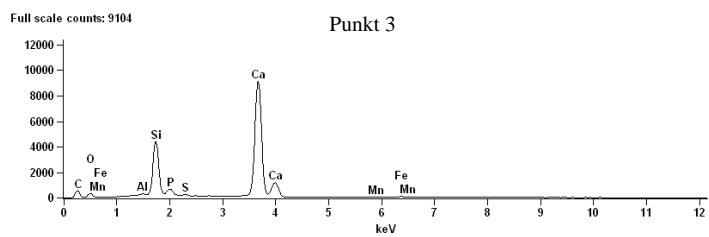
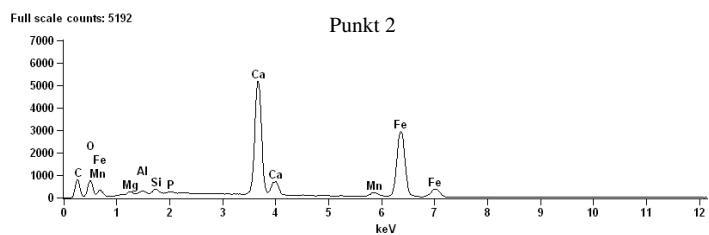
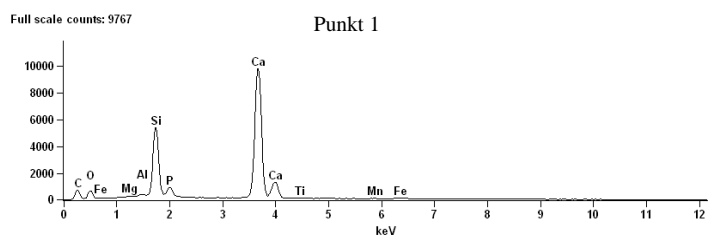
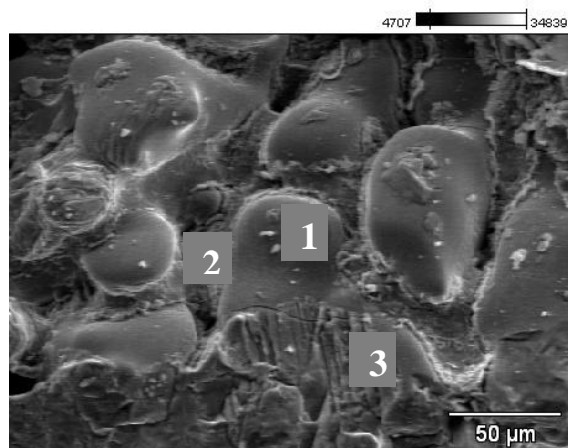
Pierwiastek [% mas.]														
Nr punktu	O	Al	Si	Mg	Ca	Fe	Mn	Ti	V	Cr	Zn	Pb	S	P
1	34.23	0.29	10.89	0.30	50.11	2.20	0.31	0.02	0.03	0.02	0.08	-	-	1.49
2	37.67	23.26	0.04	1.98	30.27	3.19	0.91	-	-	-	0.56	1.67	0.41	0.03
3	31.58	4.59	1.30	0.57	33.37	25.66	0.40	1.30	0.40	0.14	0.05	0.03	0.03	0.55
4	36.94	0.70	11.80	0.11	44.96	1.44	0.10	0.13	0.18	0.03	0.08	0.02	-	3.52
5	29.93	0.02	0.07	2.54	61.33	4.15	1.76	-	0.02	-	0.15	-	0.03	-

Tabela 4.6. Skład chemiczny składników żużli w przeliczeniu na tlenki wg rys. 4.3.

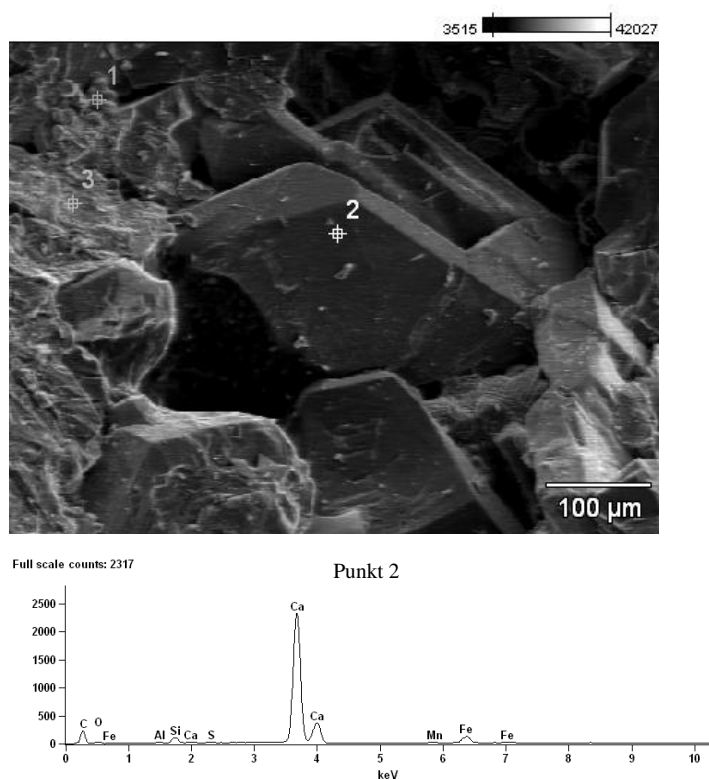
W przeliczeniu na tlenki [% mas.]													
Nr punktu	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	CaO	FeO	MnO	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	ZnO	PbO	SO ₃	P ₂ O ₅
1	0,54	23,02	0,49	69,19	2,79	0,39	0,03	0,05	0,03	0,10	-	-	3,37
2	44,50	0,09	3,34	42,92	4,15	1,19	-	-	0,03	0,71	1,82	1,04	0,21
3	8,93	2,87	0,98	48,09	33,96	0,53	2,23	0,73	0,21	0,06	0,03	0,08	1,30
4	1,32	25,17	0,18	62,64	1,84	0,13	0,22	0,32	0,04	0,10	0,02	-	8,02
5	0,06	0,15	4,31	87,43	5,43	2,31	-	0,04	-	0,19	-	0,08	-

Objaśnienia: 1 – szklivo, 2 – glinian wapniowy, 3 – ferryty wapnia, 4 – krzemian dwuwapniowy, 5 – wolne wapno

Mikroskopia skaningowa

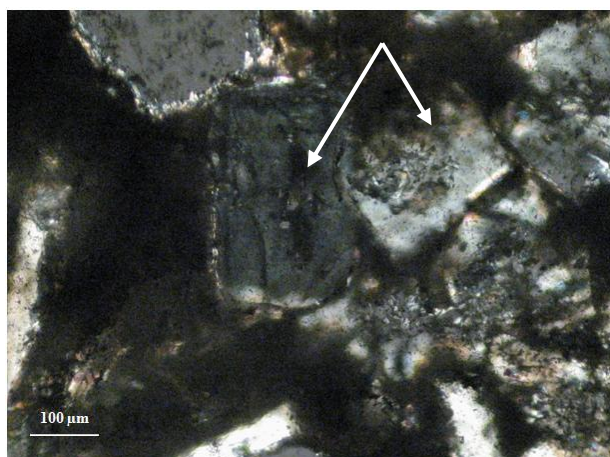


Rys. 4.4. Kuliste formy krzemianów dwuwapniowych (punkty 1 i 3) w otoczeniu ferrytów wapnia (punkt 2); mikrofotografia SEM wraz z widmami EDS



Rys. 4.5. Tabliczkowe kryształy kalcytu (punkt 2); mikrofotografia SEM wraz z widmem EDS

Obserwacje mikroskopowe w świetle przechodzącym



Rys. 4.6. Tabliczkowe kryształy melilitów wykazujące anomalne barwy interferencyjne; światło przechodzące, powiększenie 100x, nikle skrzyżowane

Literatura

1. Manecki A.: Encyklopedia minerałów z polskim i angielskim słownikiem nazw: minerały Ziemi i materii kosmicznej. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków 2004
 2. Migaszewski Z.M., Gałuszka A.: Zarys geochemii środowiska, Wydawnictwo Akademii Świętokrzyskiej, Kielce 2003
 3. Alwaeli M.: Gospodarcze wykorzystanie oraz ocena efektywności zagospodarowania niektórymi odpadami z produkcji metali i wyrobów metalowych, Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska, Vol. 12, nr 2, 2010, s. 49-66
 4. Konstanciak A., Sabela W.: Odpady w hutnictwie żelaza i ich wykorzystanie, Hutnik – Wiadomości Hutnicze nr 12, 1999, s. 572-579
 5. Jonczy I.: Odpady po hutnictwie żelaza i stali jako potencjalne źródło zanieczyszczenia środowiska, na przykładzie odpadów ze zwałowisk Huty Kościuszko. Kwartalnik Górnictwo i Geologia, tom 3, zeszyt 2, Gliwice 2008, s. 27-41
 6. Wyderko-Delekta M., Bolewski A.: Mineralogia spieków i grudek rudnych, Wydawnictwo AGH, Kraków 1995
 7. Chodyniecka L.: Wpływ zwałowisk odpadów hutniczych na środowisko Górnego Śląska, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Górnictwo z. 256, Gliwice 2003, s. 57-62
 8. Jonczy I.: Fazy krzemianowe jako składnik odpadów po hutnictwie żelaza i stali, na przykładzie odpadów ze zwałowiska Huty Kościuszko, Gospodarka Surowcami Mineralnymi, tom 25, zeszyt 1, 2009, s. 19-34
 9. Jonczy I.: Badania morfologii składników fazowych żużli stalowniczych przy wykorzystaniu mikroskopii skaningowej, Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego, nr 452, 2012, s. 87-100
 10. Pogorzałek J., Różański P.: Utylizacja żużli stalowniczych. Prace Instytutu Metalurgii Żelaza im. St. Staszica, nr 1, 2010, s. 281-285
-