

PRZEJAWY MINERALIZACJI KRUSZCOWEJ W SKAŁACH NAWIERCONYCH OTWORAMI TROJANOWICE 2 I CIANOWICE 2

THE ORE MINERALIZATION OCCURENCES IN THE ROCKS DRILLED BY THE TROJANOWICE 2 AND CIANOWICE 2 BOREHOLES

MAREK MARKOWIAK¹

Abstrakt. Okruszczowanie w skałach ediakaru w otworze wiertniczym Cianowice 2 jest bardzo ubogie. Dość bogaty jest jednak zespół mineralny reprezentowany przez: chalkopiryt, piryt, piryt framboidalny, bornit, minerały szeregu galena–clausthalit, minerały szeregu tennantyt–tetraedryt, kowelin, chalkozyn, wittichenit, markasyt, sfaleryt, anglezyt oraz minerały ziem rzadkich (calcioancylite-(Ce), bastnäsynt). Stwierdzona mineralizacja ma wyraźnie charakter hydrotermalny, niskotemperaturowy, a w okruszczowaniu znaczącą rolę odgrywa piryt framboidalny. Natomiast w utworach kambru w otworze Trojanowice 2 występuje okruszczowanie o charakterze śladowym. Stwierdzono tu ubogi zespół minerałów kruszczowych reprezentowany przez piryt (głównie framboidalny) i chalkopiryt. To okruszczowanie jest prawdopodobnie również w znacznej części epigenetyczne.

W młodszych utworach obydwu otworów wiertniczych (dewon dolny i środkowy, jura dolna i środkowa) dominują siarczki żelaza – piryt i markasyt, lokalnie występuje wtórny grzyt i limonit. We wszystkich osadach klastycznych powszechnie występują tlenki tytanu i tytanit.

W otworze Trojanowice 2 w skałach węglanowych jury górnej zaobserwowano niewielkiej miąższości brekcje tektoniczne z pirytem i markasytem w spoiwie oraz z impregnacjami skały otaczającej drobnokrystalicznym pirytem.

Słowa kluczowe: mineralizacja kruszczowa, ediakar, kambr, dewon, jura, Trojanowice 2, Cianowice 2.

Abstract. Ore mineralization in Ediacaran rocks from the Cianowice 2 borehole is very poor, but despite that, the mineral association is quite variable and represented by framboidal pyrite, chalcopyrite, pyrite, bornite, galena-clausthalite, tennantite-tetrahedrite, covellite, chalcocite, wittichenite, marcasite, sphalerite, anglesite and two rare earth elements minerals (calcioancylite-(Ce), bastnäsite). The mineralization is of low temperature and hydrothermal nature. Cambrian sediments in the Trojanowice 2 borehole contain only traces of mineralization. The poor assemblage of ore minerals is represented by pyrite (mainly framboids) and chalcopyrite. Most of this mineralization is probably epigenetic in origin.

In the younger sediments drilled by both boreholes (Lower and Mid-Devonian, Lower and Mid-Jurassic) iron sulphides (pyrite and marcasite) predominate, and locally secondary goethite and limonite can be found. In all the clastic sediments titanium oxides and titanite are common.

In the Trojanowice 2 borehole in the Upper Jurassic carbonates contain thin tectonic breccias with pyrite and marcasite in the cement as well as fine-grained pyrite impregnation in the hosting rocks.

Key words: ore mineralization, Ediacaran, Cambrian, Devonian, Jurassic, Trojanowice 2 borehole, Cianowice 2 borehole.

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Górnośląski, ul. Królowej Jadwigi 1, 41-200 Sosnowiec;
e-mail: marek.markowiak@pgi.gov.pl

WSTĘP

W wyniku wieloletnich prac wiertniczych prowadzonych w strefie kontaktu bloków tektonicznych – górnosląskiego i małopolskiego, w skałach prekambryjskich i paleozoicznych stwierdzono liczne przejawy mineralizacji polimetalicznej, koncentrujące się w kilku rejonach: Doliny Będkowskiej, Pilicy, Żarek–Kotowic, Zawiercia, Myszkowa–Mrzygłodu–Nowej Wsi Żareckiej i Mysłowa (Oszczepalski i in., 2008). Jest to mineralizacja głównie epigenetyczna, ściśle związana z intruzjami granitoidów, charakteryzująca się określoną strefowością zarówno okruszcowania, jak i przeobrażeń metasomatycznych (formacja porfiry copper; Podemski i in., 2001; Markowiak, 2004; Lasoń i in., 2007). Znacznie mniejszą rolę odgrywa rozproszone okruszcowa-

nie syngenetyczne. Koncentrację kruszców o charakterze złożowym rozpoznano dotychczas jedynie w Myszkowie (złoże Mo-Cu-W).

Przedstawione poniżej wyniki badań są uzyskane w wyniku prac na etapie dokumentowania wymienionych otworów wiertniczych. W otworze Cianowice 2 w utworach ediakaru stwierdzono interesujące przejawy mineralizacji kruszczowej, a badania tego kompleksu skalnego kontynuowano i ich wyniki już opublikowano (Markowiak, 2012). W niniejszym artykule przedstawiono jedynie skrót informacji na ten temat.

Dane dotyczące lokalizacji i litologii osadów nawierconych otworami Trojanowice 2 i Cianowice 2 znajdują się w opracowaniu Habryna i in. (2014).

METODY BADAŃ

Charakterystykę przejawów mineralizacji kruszczowej przeprowadzono na podstawie megaskopowych obserwacji rdzenia wiertniczego oraz badań mikroskopowych w świetle odbitym i mikroobszarze. Z otworu Trojanowice 2 pobrano i przebadano 12 próbek skał paleozoicznych (kambru dolnego, dewonu dolnego i środkowego), pobrano również 3 próbki z utworów jury środkowej i górnej. Natomiast z otworu Cianowice 2 poza badaniami skał ediakarskich, ujętych w odrębnej publikacji, zbadano 2 próbki z utworów jury dolnej. Badania petrograficzne kruszców przeprowadzono na mikroskopie JENAPOL i NIKON E600 POL.

Próbki z obu otworów poddano również badaniom geochemicznym. Z otworu Trojanowice 2 zbadano 15 próbek

skał z różnych ogniów stratygraficznych w zakresie: FeO, Ag, As, Au, Ba, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Ga, Hf, Hg, Mo, Nb, Ni, Pb, Rb, Sn, Sr, Th, U, V, Zn i Zr. W próbce pobranej z głębokości 311,8 m (jura środkowa) wykonano również analizy Pd i Pt, jednak zawartości tych metali były niższe od poziomu wykrywalności zastosowanej metody, odpowiednio 5 i 10 ppb. Z kolei z otworu Cianowice 2 zbadano 15 próbek wyłącznie skał ediakarskich w zakresie 23 koncentracji następujących pierwiastków: Ag, As, Au, Ba, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Ga, Hf, Mo, Nb, Ni, Pb, Rb, Sn, Sr, Th, U, V, Zn i Zr. Wyniki badań geochemicznych posłużyły również do interpretacji opisu mineralizacji kruszczowej.

PRZEJAWY MINERALIZACJI KRUSZCOWEJ W OTWORZE TROJANOWICE 2

KAMBR (557,5–602,0 m)

Kambryjskie skały drobnoklastyczne są rozcięte dość licznymi i różnorodnymi żyłkami (kilka, rzadziej kilkanaście żyłek na metr bieżący rdzenia). Są to zwykle drobne żyłki i mikrożyłki węglanowe (kalcyt, dolomit), rzadziej gipsowe, kwarcowe lub barytowe. Megaskopowo ani w skałach, ani w żyłkach mineralizacji kruszczowej nie zaobserwowano (Markowiak w: Habryna i in., 2007a), dlatego też w świetle odbitym przebadano jedynie kilka próbek mułowców kambryjskich. W formie ubogiej impregnacji występuje tu piryt i chalkopiryt. Dominującą rolę odgrywa piryt wykształcony głównie w formie framboidów oraz piryt rekryształacyjny, który tworzy również rozproszone kryształy kseno- i idiomorficzne. Piryt tworzy skupienia mikrokryształów nieregularne lub w formie mikrożyłek (fig. 1A). Mikrokryształy pirytu są

w różnym stopniu uporządkowane w postaci framboidów. Osiągają one do 0,02 mm średnicy (fig. 1B).

W każdej z przebadanych próbek stwierdzono rozproszone, drobne kryształy chalkopiryty maksymalnie do 0,05 mm średnicy (fig. 1C). Jego ilość jest zmienna, w jednej z próbek przeważa nad pirytem. Ujawniono również chalkopiryt rozproszony w żyłkach kalcytowych. Poza siarczkami spotyka się tu dość liczne rozproszone tlenki tytanu pochodzenia syngenetycznego.

Z badań geochemicznych wynika, że zawartość miedzi w 4 próbkach pobranych z kompleksu skał kambryjskich waha się w granicach 27–35 ppm (tab. 1) i są to zawartości na poziomie tła geochemicznego dla skał ilasto-mułowcowych. Jednak na epigenetyczne pochodzenie tego minerału wskazują okruszczowane żyłki. Prawdopodobne jest również to, że część pirytu framboidalnego powstała w procesie hy-

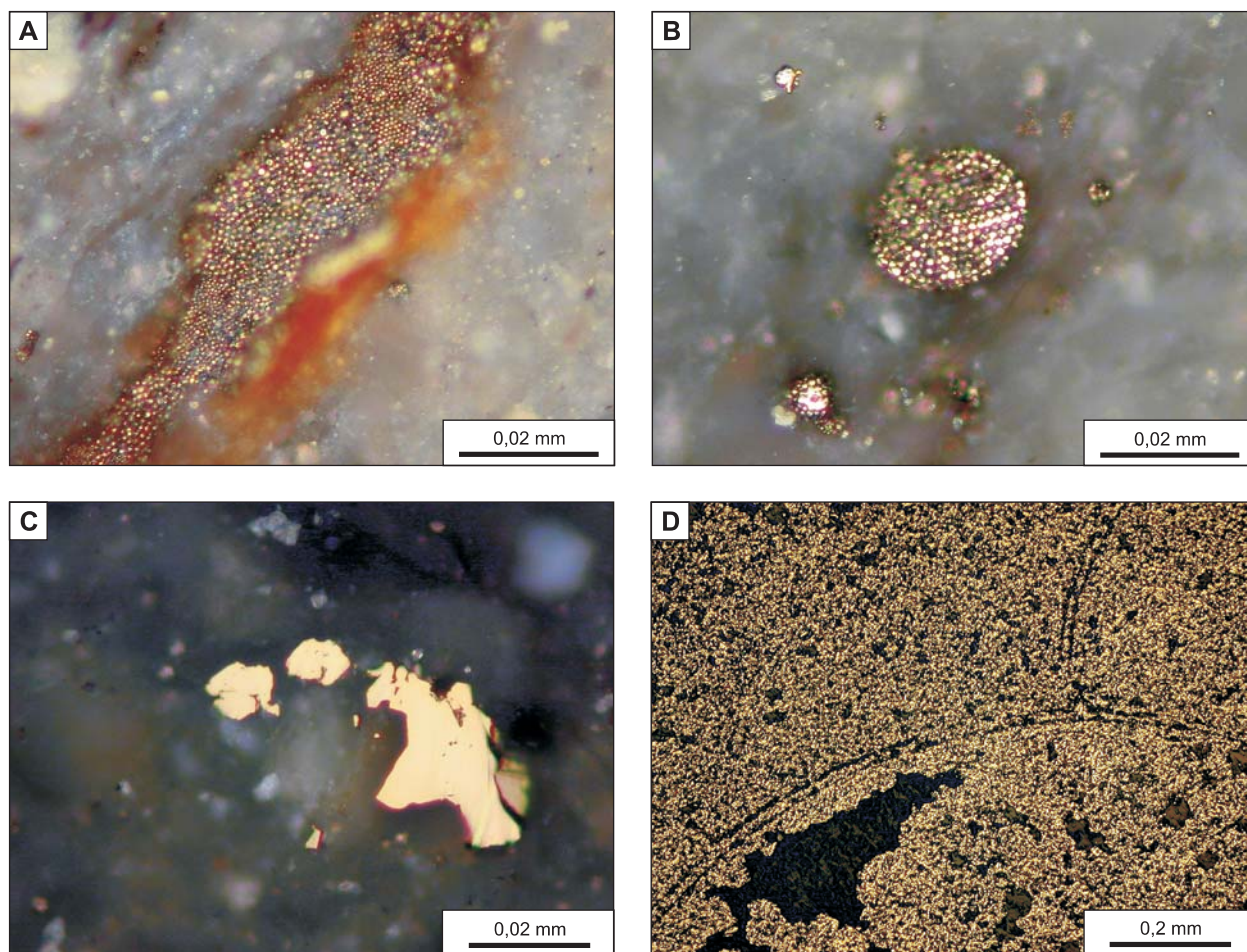


Fig. 1. Mineralizacja kruszcowa w otworze wiertniczym Trojanowice 2

A. Skupienie mikrokryształów pirytu w formie mikrożyłki w kambryjskim mułowcu. Imersja, 1N; głęb. 566,5 m. **B.** Piryt framboidalny w kambryjskim mułowcu. Imersja, 1N; głęb. 566,5 m. **C.** Skupienie kryształów chalkopirytu. Imersja, 1N; głęb. 566,5 m. **D.** Fragment kongrecji pirytowej w skałach węglanowych dewonu środkowego. Imersja, 1N; głęb. 500,7 m

Ore mineralisation from the Trojanowice 2 borehole

A. Aggregation of microcrystals of pyrite in the form of micro-veinlets within the Cambrian siltstone; oil immersion, 1N, depth 566.5 m. **B.** Framboids of pyrite in the Cambrian siltstone; oil immersion, 1N, depth 566.5 m. **C.** Concentration of chalcopyrite crystals; oil immersion, 1N, depth 566.5 m. **D.** Fragment of pyrite concretion in limestone rocks of Mid Devonian; oil immersion, 1N, depth 500.7 m

drotermalnym. Duża różnorodność żyłek i miejscami znaczna ich gęstość sugerują przebieg dość intensywnych procesów epigenetycznych. Zaskakująca jest na przykład podwyższona zawartość Ag stwierdzona w próbce z głębokości 570,0 m wynosząca 6 ppm. Może to świadczyć o występowaniu lokalnie interesującego okruszcowania. Osady kambru wymagają zatem dalszych, bardziej szczegółowych badań.

DEWON DOLNY (519,1–557,5 m)

Skały klastyczne dewonu dolnego cechują się znacznymi zawartościami rozproszonych siarczków żelaza, często widocznych megaskopowo, szczególnie w ogniach piaskowcowych i mułowcowych. Użylenie jest tu bardzo słabe, jedynie lokalnie obserwuje się drobne żyłki dolomitowe.

W mułowcach występuje głównie piryt w postaci plamistych i smużystych skupień o wielkości do 7 mm, przy czym poszczególne kryształy zwykle idiomorficznego pirytu mają wielkość około 0,05 mm. Piryt impregnuje skałę głównie w strefach bardziej obfitego spoiwa ilastego. Obserwuje się tu również dość dużo syngenetycznych tlenków tytanu oraz tytanitu.

W szarym piaskowcu kwarcytowym siarczki Fe zastępują lokalnie spoiwo, impregnując skałę lub tworząc formy o teksturze cementacyjnej (średnica skupień do 5 mm). Największe z obserwowanych skupień utworzyło się prawdopodobnie wokół okrucha skały magmowej, obecnie zwiertzałej i impregnowanej siarczkami Fe. Wśród siarczków dominuje markasyt występujący w postaci ksenomorficznych lub hipidiomorficznych kryształów, dość często w postaci listewek, o długości 0,01–0,30 mm. Niekiedy markasyt tworzy agre-

Tabela 1

Zestawienie wyników analiz chemicznych próbek skał z otworu Trojanowice 2

Results of chemical analyses of rock samples from the Trojanowice 2 borehole

Pierwiastek	Głębokość [m]														
	309,0	311,8	330,0	370,0	410,0	440,0	480,0	510,0	520,0	530,0	548,0	558,0	570,0	585,0	600,0
	jura środkowa		dewon środkowy						dewon dolny			kambr			
FeO [%]	0,84	0,43	0,04	0,10	0,12	0,53	0,25	0,29	0,45	0,05	0,64	2,04	5,05	4,86	4,85
Ag [ppm]	<2	<2	<2	<2	2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	6	<2	<2
As [ppm]	6	170	3	4	6	6	9	15	13	4	25	5	9	8	8
Ba [ppm]	148	55	<10	<10	<10	131	<10	11	194	<10	219	287	340	250	361
Bi [ppm]	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
Cd [ppm]	<3	7	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	4	<3	4	<3
Co [ppm]	26	71	<5	<5	<5	17	<5	5	7	<5	14	16	15	18	16
Cr [ppm]	117	74	<5	<5	<5	50	9	18	59	18	62	84	81	86	84
Cu [ppm]	80	45	<5	<5	<5	9	<5	<5	<5	<5	9	27	35	28	30
Ga [ppm]	26	18	<3	<3	<3	12	<3	5	15	<3	11	22	22	23	22
Hf [ppm]	5	5	<3	<3	4	<3	3	<3	7	<3	7	4	6	5	6
Mo [ppm]	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	10	2	<2	3	<2	<2	<2	<2
Nb [ppm]	14	11	<2	<2	<2	7	3	5	16	<2	13	19	19	19	19
Ni [ppm]	34	121	<3	<3	<3	23	11	15	15	<3	36	42	44	42	43
Pb [ppm]	13	14	<3	<3	<3	4	<3	7	10	<3	13	<3	6	13	9
Rb [ppm]	272	172	9	11	13	100	39	37	139	13	97	186	132	133	123
Sn [ppm]	5	<2	<2	<2	<2	3	<2	<2	3	2	4	4	2	5	3
Sr [ppm]	125	154	81	78	76	68	85	88	74	37	77	51	64	96	76
Th [ppm]	18	8	<3	<3	<3	8	<3	5	13	5	15	13	14	13	12
U [ppm]	5	5	3	2	2	5	3	9	3	<2	4	4	4	3	3
V [ppm]	128	103	8	7	6	60	28	49	90	11	75	125	127	133	124
Zn [ppm]	42	125	13	15	17	24	38	20	37	12	29	82	103	95	104
Zr [ppm]	139	103	6	8	12	90	34	95	338	97	383	204	208	185	180
Au [ppb]		2												2	
Hg [ppb]														40	

gaty o średnicy do 0,8 mm i w takich skupieniach markasytowi towarzyszy pirit. Lokalnie w strefach skały zabarwionych na wiśniowo pojawia się dość obficie rozproszony getyt o wielkości zwykle do kilku dziesiątych milimetra, sporadycznie tworzy on zrosty z markasytem.

DEWON ŚRODKOWY (312,2–519,1 m)

Kompleks węglanowych skał dewonu środkowego jest bardzo silnie stektonizowany. Występują tu liczne brekcje tektoniczne, najczęściej spojone substancją marglisto-ilastą, odcinkami skała jest silnie spękana (rdzeń w okrucach). Na powierzchniach spękań obserwuje się minerały ilaste oraz tlenki Fe, często szczeliny spękań wypełnia również mar-

giel. Lokalnie liczne są żyłki dolomitowe i kalcytowe. Żyłki kalcytowe osiągają nawet do 1,2 m miąższości pozornej (357,2–358,4 m).

W części stropowej dewonu praktycznie brak okruszcowania. Co najwyżej spotyka się tlenki i wodorotlenki żelaza (limonit) występujące na licznych spękaniach i barwiące węglany w mikrożyłkach na kolor czerwony. Sporadycznie obserwowano śladową impregnację piritową występującą w zbrekcjowanym dolomicie, w postaci pojedynczych ksenomorficznych kryształów o wielkości rzędu kilku tysięcznych milimetra. Limonit występuje tu w mikrożyłkach młodszych od nakładających się na siebie dwóch generacji brekcji tektonicznych.

Znacznie bogatsze okruszcowanie napotkano na głębokości około 440,0 m w dolomicie marglistym, szarym z odcieniem brązowym, w ciemnoszare smugi i plamki. Ciemne

zabarwienie tych smug jest spowodowane obfitą impregnacją bardzo drobnokrystalicznym, ksenomorficznym pirytem o wielkości od 0,001–0,010 mm, którego zawartość może lokalnie przekraczać 10% objętości skały. Grubsze ziarna piryty (wielkości rzędu kilku setnych milimetra) występują w licznych mikrożyłkach. Dość jednolite okruszcowanie, wyłączenie na tym odcinku widoczne megaskopowo, obserwowano w interwale 500,2–512,2 m, w którym nawiercono ciemnoszare i czarne wapienie oraz dolomity. Piryt tworzy tu pojedyncze skupienia o charakterze konkrecyjnym wielkości do 5 mm i zwykle o nieostrych granicach, z licznymi wrostkami skały płonnej (fig. 1D). W badanych próbkach stwierdzono ponadto dość obfitą impregnację w całej objętości skały bardzo drobnokrystalicznym pirytem z pojedynczymi kryształami o wielkości do 0,05 mm. Są to ksenomorficzne i hipidiomorficzne kryształy, dość często również kuliste agregaty typu framboidów.

Okruszcowanie spągowej części węglanowych osadów dewonu środkowego świadczyłoby o redukcyjnym środowisku sedymentacji skał. Przeprowadzone badania geochemiczne (Habryn i in., 2007a) właśnie w tym interwale ujawniają śladowe lecz podwyższone w stosunku do tła geochemicznego zawartości takich pierwiastków, jak As, Mo i U (odpowiednio 15, 10 i 9 ppm – tab. 1).

JURA ŚRODKOWA (272,0–312,2 m)

Skały jury środkowej są wykształcone w postaci słabo zwięzłych, brązowożółtych piaskowców oraz jasnoszarzielonych i czerwono-brązowych iłowców. Ze względu na słabą zwięzłość tych osadów oraz ich lokalnie wysoki stopień utlenienia, interwału tego nie opróbowano. Jak wynika z obserwacji megaskopowych w spoiwie piaskowców występują pojedyncze kryształy piryty oraz impregnacje tlenków żelaza (głównie w interwale 272,6–294,8 m). Zaskakujące są wyniki badań geochemicznych (Habryn i in., 2007a), gdyż najwyższe zawartości As i Cu w całym otworze (13 analiz) stwierdzono właśnie w iłowcach jury środkowej (odpowiednio 170 i 80 ppm – tab. 1). To samo dotyczy dużej części analizowanych pierwiastków: Co, Cr, Ga, Ni, Pb, Sr, Th, Zn i Cd. Przyczyną tak znacznych zawartości metali może być domieszka materiału pochodzącego z erozji obszarów charakteryzujących się intensywnymi przejawami polimetalicznej mineralizacji kruszcowej typu Doliny Będkowskiej (wychodnia skał okruszczonych na powierzchni podjurajskiej) (Mikulski i in., 2008; Oszczepalski i in., 2010).

JURA GÓRNA (71,5–272,0 m)

W wapieniach jury praktycznie brak użylenia. Spotyka się jedynie szczeliny wypełnione minerałami ilastymi lub seledynowym marglem. Występują tu również kawerny, niekiedy wypełnione seledynowym marglem lub ze szczotkami kalcytowymi, jednak bez mineralizacji kruszcowej. Megaskopowo okruszcowanie zaobserwowano jedynie w kilku punktach. Związane jest ono ze strukturami pochodzenia tektonicznego. W dwóch przypadkach są to brekcje tektoniczne, a w jednym przypadku strefa spękań tektonicznych typu kakiryty. Na głębokości 254,2 m jest to brekcja tektoniczna o miąższości kilku centymetrów, w której okruschy skalne spójone są siarczkami żelaza, głównie pirytem, zawierającym wrostki markasytu. Piryt tworzy miejscami skupienia o średnicy do 8 mm. Tylko lokalnie w skale otaczającej obserwuje się impregnację bardzo drobnokrystalicznym pirytem (wielkość ksenomorficznych kryształów jest rzędu tysięcznych części milimetra).

Na głębokości 249,9–251,8 m obserwuje się pionową szczelinę o szerokości 2–5 cm, wypełnioną brekcją tektoniczną zbudowaną z okruszków wapieni o średnicy do 3 cm (przeciętnie około 1 cm), spójonych kalcytem i lokalnie marglem. Spoiwo ma kolor szary, szare są częściowo okruschy skalne, a także wapienie w aureoli brekcji tektonicznej na odcinku co najmniej kilku centymetrów. Przyczyną szarego zabarwienia pierwotnie jasnobieżowych (prawie białych) wapieni jest impregnacja siarczkami żelaza. Zawartość siarczków może w takich skałach wynosić do kilku procent objętości skały. Jest to bardzo drobnokrystaliczna impregnacja, podobnie jak w brekcji opisywanej powyżej, głównie piryto-wa. Siarczki w spoiwie występują rzadziej, ale tworzą grubsze, zwykle ksenomorficzne ziarna wielkości maksymalnie 0,25 mm i jest to najczęściej markasyt. Niektóre okruschy wapieni są znacznie intensywniej impregnowane od pozostałych.

W przypadku kakiryty stwierdzonego na głębokości 197,6 m piryt oraz markasyt występują w mikrożyłkach, tworząc hipidiomorficzne kryształy o średnicy do 0,1 mm oraz w skale w formie bardzo drobnokrystalicznej impregnacji (głównie ksenomorficznej) o średnicy 0,005–0,050 mm. Intensywność impregnacji lokalnie jest duża i siarczki mogą stanowić do kilku procent objętości skały.

Obserwowane okruszcowanie jest wyraźnie epigenetyczne, wytrącające się z roztworów krążących w szczelinach pochodzenia tektonicznego.

PRZEJAWY MINERALIZACJI KRUSZCOWEJ W OTWORZE CIANOWICE 2

EDIAKAR (600,0–265,3 m)

Jak już wspomniano we wstępie kompleks skał ediakarskich szczegółowo zbadano, a wyniki tych badań już opublikowano (Markowiak, 2012).

Skały ediakaru w otworze Cianowice 2 są reprezentowane głównie przez silnie zdiagenezowane łowce, przeważnie o czerwono-brązowym zabarwieniu. Lokalnie ulegają metasomatozie i zmieniają barwę na szarzieloną. Są one rozcięte dość licznymi żyłkami (przeciętnie kilka do kilkunastu żyłek na metr bieżący rdzenia). Są to zwykle drobne żyłki i mikrożyłki, głównie kalcytowe i kaolinitowe, sporadycznie kalcytowe z chlorytem, kwarcowe i barytowe z anglezytem. W skałach ediakaru z otworu Cianowice 2 okruszczenie jest bardzo ubogie. Zaskakująca jest jednak różnorodność tej mineralizacji. W czasie badań (Markowiak w: Habryn i in., 2007b; Markowiak, 2012) stwierdzono tu dość bogaty zespół mineralny: chalkopiryt, piryt, bornit, minerały szeregu galena–clausthalit, minerały szeregu tennantyt–tetraedryt, kowelin, chalkozyn, wittichenit, markasyt, sfaleryt, anglezyt, ilmenit, tlenki tytanu (głównie rutyl), tytanit, przy czym minerały Ti są minerałami syngenetycznymi. Znaczącą rolę w okruszczeniu odgrywa piryt framboidalny. Spotyka się również grafit. Zaobserwowano także dwa minerały ziem rzadkich, które nie zostały w pełni zidentyfikowane. Prawdopodobnie są to: calcioancylit-(Ce) i bastnäsyty. Wśród minerałów płonnych towarzyszących kruszczom wyróżniono: kalcyt (niekiedy z domieszką manganu lub magnezu), gips, minerały ilaste (głównie kaolin), kwarc, skalenie (albit i skałki potasowe), minerały szeregu baryt–celestyn, chloryty, apatyt (fluorowy, węglanowofluorowy i węglanowohydrosylovowy).

Szczegółowe badania pozwoliły na wyróżnienie kilku form występowania kruszców:

- 1) okruszczenie rozproszone;
- 2) okruszczenie żyłowe:
 - a) mikrożyłki „suche”,
 - b) mikrożyłki węglanowe,
 - c) żyłki barytowo-anglezytowe;
- 3) koncentracje kruszców;
- 4) naskorupienia na koncentracjach węglanowych;
- 5) koncentracje kruszców w laminach mułowca:
 - a) we fragmentach diagenetycznie lub mikrotektonicznie zaburzonych przewarstwieniach mułowcowych,
 - b) w niezaburzonych przewarstwieniach mułowca.

W badanym otworze ujawniono również interesujące przejawy metasomatozy węglowej. Termin ten oznacza proces wytrącania substancji węglowej w postaci grafitu lub węglowodorów w skałach klastycznych (Žarikow i in., 1998). Do procesów tego typu dochodzi w strefach głębokich rozłamów lub w strefach fałdowań. Dla metasomatozy węglowej charakterystyczne jest wzbogacenie w metale szlachetne lub ziemie rzadkie. W jednej z próbek łowca ediakarskiego zaobserwowano przejawy metasomatozy węglowej w postaci

drobnych (<1 mm) skupień bliżej nieokreślonych węglowodorów, w których z kolei występują agregaty minerału ziem rzadkich – prawdopodobnie jest to calcioancylit-(Ce).

Nieco dodatkowych informacji dotyczących mineralizacji kruszcowej wnoszą wyniki badań geochemicznych przeprowadzonych na 15 próbkach, pobranych z uwzględnieniem zróżnicowania litologicznego (Habryn i in., 2007b). W tabeli 2 zestawiono zawartości pierwiastków w poszczególnych próbkach z wartością tła geochemicznego i dolną granicą anomalii pewnej $tg + 3S$ ($tg \epsilon^3$) (Lasoń i in., 2007). Grubą czcionką zaznaczono wartości przekraczające dolną granicę anomalii pewnej. Na tej podstawie można zauważyć, że anomalne zawartości wykazują przede wszystkim dwa pierwiastki litofilne: Ni i Cr. Najprawdopodobniej wiązać to należy z bardziej zasadowym charakterem skał obszaru alimentacyjnego miejscowych osadów. Z podobną sytuacją mamy do czynienia w Dolinie Będkowskiej, gdzie zawartości Ni i Cr są na zbliżonym poziomie, czym skały ediakarskie tego obszaru wyróżniają się na tle obszaru ciągnącego się dalej na NW wzdłuż strefy Kraków–Lubliniec (Lasoń i in., 2007). W próbce z głębokości 265,3 m, pobranej ze zwiertrzałej skały w stropie ediakaru, dodatkowo występują anomalne zawartości Co i V. Geochemiczne podobieństwo skał nawierconych otworem Cianowice 2 i skał z Doliny Będkowskiej, zaznacza się również pod względem stosunkowo niskich zawartości Ba i Sr. W pojedynczych próbkach ujawniono anomalne zawartości Pb, Zn i Bi. Dotyczy to głównie próbek łowców czerwono-brązowych z zielonymi smugami. Szczególnie wyraźna anomalia Pb, Zn i Bi jest widoczna w próbce z głębokości 462,2 m. Nie stwierdzono anomalnych zawartości As, mimo obecności tennantytu wśród kruszców, chociaż zawartości As praktycznie we wszystkich przypadkach przekraczają dolną granicę anomalii przypuszczalnej $tg + 2S$ ($tg \epsilon^2$) wynoszącą 4,99 ppm (Lasoń i in., 2007).

Z badań geochemicznych przeprowadzonych przez Markowiaka (2012) wynika, że w skałach metasomatycznie zmienionych (szarzielonych) w stosunku do skał niezmienionych (czerwono-brązowych) następuje szczególnie wysoki wzrost zawartości Bi i Cu. Mniejsze, ale również znaczące wzrosty zawartości wykazały Ag, As, Li, Pb, S (SO_3) oraz Fe^{2+} . W przypadku żelaza wzrost ten odbywa się jednak kosztem spadku zawartości Fe^{3+} . Poza Fe^{3+} maleją również zawartości CaO, P_2O_5 , Mo, Sb, Sn i W, a także szeregu metali ziem rzadkich grupy cerowej. Jednakże część składników wykazujących spadek zawartości w skałach zmienionych tworzy w tych skałach lokalne koncentracje, jak np. kalcyt koncentruje się w laminach mułowcowych, a P_2O_5 w koncentracjach apatytowych. Podobnie jest z pierwiastkami ziem rzadkich (REE) grupy cerowej. Koncentrują się one w takich minerałach, jak calcioancylit-(Ce) i bastnäsyty. Tak więc wymienione składniki uległy zapewne jedynie migracji. W przypadku antymonu sytuacja jest podobna, gdyż wchodzi on w skład minerałów z szeregu tennantyt–tetraedryt. Wspomniane powyżej wyraźne wzbogacenie w As (w odróżnieniu

Tabela 2

**Zestawienie wyników analiz chemicznych próbek skal ediakarskich z otworu Cianowice 2
(zawartości z wyjątkiem Au w ppm)**

Results of chemical analyses of Ediacaran rock samples from the Cianowice 2 borehole
(contents in ppm, except for Au – in ppb)

Pierwiastek	Tłó geoche- miczne	Dolna granica anomalii pewnej	Zawartość														
			Głębokość pobrania próbki [m]														
			265,3	285,5	308,4	332,4	354,6	382,0	397,0	436,8	462,2	485,1	491,0	524,8	544,5	586,0	586,8
Ag	b.d.	b.d.	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
As	2,88	14,91	8	6	6	6	7	9	10	11	12	6	8	5	5	10	7
Au [ppb]	1,1	4,1								1					<1	3	
Ba	389	895	297	272	247	232	257	263	279	120	207	133	295	229	77	141	230
Bi	0,260	0,810	<3	<3	<3	3	<3	<3	<3	<3	6	<3	<3	<3	<3	5	<3
Cd	b.d.	b.d.	3	<3	<3	<3	5	<3	5	<3	<3	6	<3	3	4	7	4
Co	13,1	20,9	27	20	18	17	21	17	16	10	18	9	18	17	10	16	17
Cr	41,5	73,0	87	82	75	75	75	79	77	71	59	33	67	69	16	44	61
Cu	22,0	289	30	23	20	27	22	26	20	59	61	33	41	19	13	64	22
Ga	21,2	27,5	26	24	25	25	25	23	24	10	22	10	24	25	7	12	24
Hf	5,70	9,30	5	4	5	5	5	6	6	3	6	<3	4	<3	<3	6	5
Mo	0,25	0,62	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Nb	16,5	21,9	14	14	13	14	13	14	13	9	12	9	13	14	5	9	13
Ni	31,0	46,0	51	47	48	50	52	52	47	27	51	23	51	50	15	29	46
Pb	9,44	77,8	32	24	22	110	16	18	17	34	453	85	16	13	28	74	11
Rb	138	216	137	131	123	125	122	127	131	46	120	61	128	125	25	46	128
Sn	3,20	4,70	4	4	3	<2	2	2	3	2	3	<2	<2	3	<2	<2	4
Sr	64,6	209	49	67	66	60	60	58	57	132	63	118	57	59	62	113	56
Th	11,1	18,3	12	11	11	12	13	12	11	6	9	5	12	12	5	5	11
U	2,50	6,85	4	3	3	3	4	4	3	3	4	5	3	3	3	5	3
V	94,0	139	140	121	123	112	137	133	134	90	113	63	122	123	37	75	117
Zn	132	264	106	113	118	122	123	115	112	82	420	319	127	130	97	193	117
Zr	214	301	154	149	149	151	148	146	145	157	126	86	143	155	50	107	152

b.d. – brak danych

do Sb) może wynikać z powszechnej domieszki As w pirycie framboidalnym.

Ujawniona mineralizacja ma charakter hydrotermalny. Biorąc pod uwagę dane dotyczące składu mineralnego skał, jak i chemizmu procesów hydrotermalnych, na podstawie analogii do rozpoznanych wcześniej stref oddziaływania intruzji granitoidowych można przypuszczać, że otwór Cianowice 2 nawierca skały ediakaru występujące na pograniczu strefy skał przeobrażonych (metasomatytów przedrudnych) i skał niezmiennionych. Przez analogię do modelu złoża Myszków można wysunąć hipotezę, że w bliskim otoczeniu otworu Cianowice 2 (w odległości około 1,5 km, maksymalnie do 2 km) znajduje się źródło roztworów hydrotermalnych i metali użytecznych w postaci kwaśnej intruzji magmowej.

JURA DOLNA (265,3–244,5 m)

Skały jury dolnej są reprezentowane głównie przez bardzo słabo zwięzłe piaskowce drobnoziarniste o spoiwie ilastym, a także mułowce i zlepieńce, sporadycznie wapienie. Piaskowce i mułowce cechują się znacznymi zawartościami siarczków żelaza, koncentrujących się głównie w formie konkrecji lub związanymi z wtrąceniami substancji węglistej.

W szarym, drobnoziarnistym piaskowcu siarczki Fe tworzą duże konkrecje o średnicy około 2,5 cm, zastępując spo-

ivo ziarn kwarcu (formy o teksturze cementacyjnej). Mineralem dominującym w konkrecji jest piryt, rzadko występują wtrącenia markasytu (do 0,2 mm), głównie w części brzeżnej konkrecji. W próbce brunatnego piaskowca (263,5 m) również w konkrecji o wielkości ponad 2,5 cm, siarczki poza spoiwem zastępują także kwarc (widoczne są różne etapy zastępowania kryształów kwarcu), przy czym w centrum konkrecji proces ten jest najbardziej zaawansowany i piryt stanowi około 80% objętości skały (tekstura masywna). W próbce tej ilość markasytu jest większa i występuje on w większych kryształach (do 0,4 mm). Poza konkrecjami obserwuje się małe skupienia (do 1,5 mm) piritowe lub markasytowe. Pirit i markasyt w postaci zwykle hipidiomorficznych kryształów również impregnują skałę. Kryształy markasytu osiągają średnicę do 0,15 mm. Lokalnie pojawiają się tu piryty framboidalne o średnicy około 0,03 mm, czasem spotyka się zrosty markasytu z pirytem framboidalnym. W skałach klastycznych jury dolnej częste są syngenetyczne tlenki tytanu.

Interesującą mineralizację obserwuje się w bardzo słabo zwięzłym mułowcu laminowanym iłowcem (w interwale 244,5–255,6 m). Siarczki żelaza krystalizują tu w formie pręcikowej. Pręciki takie mają średnicę około 2 mm, a długość być może dochodzi do kilku centymetrów, jednak już w skale są one spękane i występują w odcinkach o długości poniżej 1 cm. Niekiedy formy te rozgałęziają się.

WNIOSKI

1. W utworach kambru w otworze Trojanowice 2 występuje okruszczowanie o charakterze śladowym. Ujawniono tu występowanie jedynie pirytu (w tym również pirytu framboidalnego) oraz chalkopirytu. Biorąc pod uwagę występowanie dość licznych drobnych żyłek i mikrożyłek węglanowych (kalcyt, dolomit), rzadziej gipsowych, kwarcowych i barytowych, a także danych geochemicznych wskazujących np. na wysokie zawartości Ag, wydaje się, że osady kambru wymagają dalszych, bardziej szczegółowych badań.

2. W młodszych osadach w profilu tego otworu (dewon dolny i środkowy, jura dolna i środkowa) lokalnie występuje dość bogate okruszczowanie, dominują siarczki żelaza – piryt i markasyt, miejscami obserwuje się wtórny getyt i limonit. W skałach klastycznych powszechnie występują syngenetyczne z osadem tlenki tytanu. W otworze Trojanowice 2 w skałach węglanowych jury górnej zaobserwowano niewielkiej miąższości brekcje tektoniczne z pirytem i markasytem w spoiwie oraz z impregnacjami skały otaczającej drobnokrystalicznym pirytem.

3. W otworze Cianowice 2 ujawniono znacznie bogatszy zespół minerałów kruszczowych: chalkopiryt, piryt (głównie framboidalny), bornit, minerały szeregu galena–clausenthalit, minerały szeregu tennantyt–tetraedryt, kowelin, chalkozyn, wittichenit, markasyt, sfaleryt i anglezyt. Są to minerały epigenetyczne – pochodzenia hydrotermalnego oraz minerały wietrzeniowe. Dominującym minerałem jest chalkopiryt i piryt, przy czym znaczącą rolę odgrywa piryt framboidalny. Opisane przejawy mineralizacji kruszczowej mogą świadczyć o możliwości występowania koncentracji kruszczów dalej na SE od rejonu Doliny Będkowskiej, wzdłuż strefy tektonicznej Kraków–Lubliniec.

4. W utworach jury dolnej otworu Cianowice 2 występuje dość bogate okruszczowanie reprezentowane głównie przez konkrecje piritowo-markasytowe. Do koncentracji siarczków żelaza doszło prawdopodobnie w trakcie procesów diagenetycznych.

LITERATURA

- HABRYN R., BUŁA Z., CHMURA A., FILIPIAK P., GARECKA M., INDYK A., JACHOWICZ M., MARKOWIAK M., MATYJA B.A., NOWAK J., OLSZEWSKA B., PACZEŚNA J., POLECHOŃSKA O., SIKORA R., STADMULLER M., TOMAŚ A., TRUSZEL M., WOŹNIAK P., ZIÓLKOWSKI P., ŻABA J., 2007a — Dokumentacja geologiczna otworu badawczego Trojanowice 2 – Zintegrowany program płytkich wierceń badawczych dla rozwiązania istotnych problemów budowy geologicznej Polski. Problem 10. Geologiczno-strukturalne rozpoznanie strefy rozłamu Kraków–Lubliniec na odcinku krakowskim. *Narod. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa.
- HABRYN R., BUŁA Z., CHMURA A., INDYK A., JACHOWICZ M., MARKOWIAK M., MATYJA B.A., NOWAK J., OLSZEWSKA B., PIENKOWSKI G., POLECHOŃSKA O., SIKORA R., STADMULLER M., TRUSZEL M., ZIAJA J., ZIÓLKOWSKI P., ŻABA J., 2007b — Dokumentacja geologiczna otworu badawczego Cianowice 2 – Zintegrowany program płytkich wierceń badawczych dla rozwiązania istotnych problemów budowy geologicznej Polski. Problem 10. Geologiczno-strukturalne rozpoznanie strefy rozłamu Kraków–Lubliniec na odcinku krakowskim. *Narod. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa.
- HABRYN R., BUŁA Z., NAWROCKI J., 2014 — Strefa tektoniczna Kraków–Lubliniec na odcinku krakowskim w świetle danych uzyskanych z nowych otworów badawczych Trojanowice 2 i Cianowice 2. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **459**, 47–60.
- LASOŃ K., MARKOWIAK M., MARKIEWICZ J., PAŃCZYK M., TRUSZEL M., OSZCZEPALSKI S., 2007 — Geochemiczne i petrologiczne środowisko mineralizacji Mo-W-Cu typu porfirowego w ediakarańsko-dolnopaleozoicznych utworach obszaru krakowsko-lublinieckiego. *Narod. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa.
- MARKOWIAK M., 2004 — Barwa skał wendyjskich i jej związek z metamorfizmem. Cz. I, II. *Posiedzenia naukowe PIG*, **61**: 31–35.
- MARKOWIAK M., 2012 — Przejawy mineralizacji kruszcowej w utworach ediakaru nawierconych otworem Cianowice 2. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **448**, 2: 345–358.
- MIKULSKI S.Z., MARKOWIAK M., OSZCZEPALSKI S., 2008 — Złoto w żyłach kwarcowo-siarczkowych z wiercenia DB-4 (rejon Doliny Będkowskiej, południowa Polska). *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **429**: 99–112.
- OSZCZEPALSKI S., MARKOWIAK M., BUŁA Z., LASOŃ K., MIKULSKI S., HABRYN R., TRUSZEL M., PAŃCZYK M., SIKORA R., WOŹNIAK P., MUCHA J., WASILEWSKA M., KARWOWSKI Ł., 2008 — Prognoza złóżowa podłoża paleozoicznego (i pokrywy mezozoicznej triasu) północno-wschodniego obrzeżenia GZW. *Narod. Arch. Geol. PIG-PIB*, Warszawa.
- OSZCZEPALSKI S., MARKOWIAK M., MIKULSKI S.Z., LASOŃ K., BUŁA Z., HABRYN R., 2010 — Porfirowa mineralizacja Mo-Cu-W w utworach prekambryjsko-paleozoicznych – analiza prognostyczna strefy kontaktu bloków górnośląskiego i małopolskiego. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **439**: 339–354.
- PODEMSKI M. (red.), BUŁA Z., CHAFFEE M. A., CIEŚLA E., EPPINGER R., HABRYN R., KARWOWSKI Ł., LASOŃ K., MARKIEWICZ J., MARKOWIAK M., SNEE L.W., ŚLÓRSARZ J., M., TRUSZEL M., WYBRANIEC S., ŻABA J., 2001 — Palaeozoic porphyry molybdenum-tungsten deposit in the Myszków area, Southern Poland. *Pol. Geol. Inst. Sp. Papers*, **6**: 1–87.
- ŻARIKOW W.A., RUSINOW W.L., MARAKUSZEW A.A., ZARAJSKIJ G.P., OMELJANENKO B.I., PERCEW N.N., RASS I.T., ANDREEWA O.W., ABRAMOW S.S., PODLESKIJ K.W., 1998 — Metasomatizm i metasomaticzne porody. *Naucznyj Mir*, Moskwa.

SUMMARY

1. Cambrian sediments in the Trojanowice 2 borehole contain only traces of mineralization. The poor assemblage of ore minerals is represented by pyrite (mainly framboids) and chalcopyrite. Due to the occurrence of numerous small carbonate veins and micro-veins (calcite, dolomite, minor gypsum, quartz and barite veinlets) as well as the geochemical data indicating elevated concentrations of Ag, the more detailed studies of the Cambrian sediments should be performed.

2. In the younger sediments of both boreholes (Lower and Mid-Devonian, Lower and Mid-Jurassic) iron sulphides (pyrite and marcasite) predominate, and locally secondary goethite and limonite can be found. In all clastic sediments titanium oxides are common. In the Trojanowice 2 borehole,

thin tectonic breccias with pyrite and marcasite in the cement and impregnations of host rocks with fine-grained pyrite have been found in the Upper Jurassic carbonates.

3. Ediacaran rocks in the Cianowice 2 borehole contain a variable mineral association represented by framboidal pyrite, chalcopyrite, pyrite, bornite, galena -clausthalite, tennantite - tetrahydrite, covellite, chalcocite, wittichenite, marcasite, sphalerite and anglesite.

Such ore mineralization may suggest its SE direction from the Będkowska Valley along the Kraków–Lubliniec Fault Zone.

4. Lower Jurassic sediments in the Cianowice 2 borehole contain relatively rich ore mineralization represented by pyrite-marcasite concretions.