# Mikroskopowe metody badań charakteryzujące przestrzeń porową dolomitów z cechsztyńskich miedzionośnych formacji skalnych rejonu Polkowic

#### Katarzyna Godyń

Instytut Mechaniki Górotworu PAN; ul. Reymonta 27, 30-059 Kraków

#### Streszczenie

Artykuł przedstawia wyniki mikroskopowych badań dolomitów pochodzących z miedzionośnych formacji rejonu Polkowic. Przeprowadzono analizy petrograficzne oraz stereologiczne wybranych skał. Badania te prowadzono w świetle przechodzącym, na szlifach cienkich impregnowanych niebiesko barwioną żywicą oraz w świetle odbitym, na polerowanych zgładach. Wyniki badań pozwoliły określić parametry porowatości w tych skałach. Na ich podstawie wyliczono porowatość całkowitą oraz porowatość otwartą (efektywną) i zamkniętą. Wnioski dotyczące stosowania tych metod pozwalają, po pierwsze pokazać ich możliwości w kontekście badania przestrzeni porowej skał węglanowych po drugie zaś, mogą posłużyć w celu lepszej interpretacji i opisu przestrzeni porowej dolomitów, w aspekcie zagadnień związanych z zagrożeniem wyrzutowym obejmującym skały węglanowe obszaru Legnic-ko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego.

Słowa kluczowe: dolomit, porowatość, analizy petrograficzne, stereologia

## 1. Wstęp

Miedzionośne formacje Dolnego Śląska, eksploatowane przez KGHM Polska Miedź S.A obejmują obszar Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego (Fig. 1). Występujące tu złoże osadowe, typu stratoidalego, obejmuje permskie osady czerwonego i białego spagowca, a przede wszystkim osady cechsztyńskiego cyklotemu PZ1 (cyklotem Werra, Z1) [Konopacka i Zagożdżon, 2014; KGHM, 2016]. Osady miedzionośne zalegają monoklinalnie na głębokości od kilkuset (SW) do 1500 m (NE). Mineralizacja minerałami rudnymi występuje w tym rejonie w trzech rodzajach skał: piaskowcach, łupkach ilastych oraz dolomitach (Fig. 2). Eksploatacja złóż miedzi w warunkach podziemnych niesie za sobą szereg problemów i niebezpieczeństw. Przykładem na to jest chociażby zagrożenie wyrzutami gazów i skał. Jest to zjawisko dotąd nie występujące w tym rejonie, a dotyczy bezpośrednio eksploatowanej na szeroką skalę rudy węglanowej. Do takiego niekontrolowanego zjawiska wyrzutowego doszło we wrześniu 2009 roku w na głębokości około 1200 m w O/ZG "Rudna", po którym powstała kilkumetrowa kawerna powyrzutowa w cechsztyńskim dolomicie, siegająca spągu anhydrytu [Mirek et al., 2011]. Analiza mas powyrzutowych wykazała, że za to zjawisko odpowiedzialne były silnie porowate dolomity epigenetyczne, których porowatość przekraczała miejscami 21% obj. W porach zamknietych tych osadów stwierdzono obecność gazów resztkowych (głównie azotu oraz śladowo dwutlenku wegla i weglowodorów). Jedna z przyczyn zaistnienia tego wyrzutu było naruszenie równowagi gazogeodynamicznej górotworu w trakcie drążenia chodnika, a w silnie porowatej warstwie skały występował gaz pod dużym ciśnieniem [Wierzbicki i Młynarczuk, 2013].

Od momentu zaistnienia tego groźnego zjawiska, uwaga badaczy skupiła się na dolomitach [m.in. Mirek et al., 2010; Mirek et al., 2011; Wierzbicki i Młynarczuk 2013; Biliński et al., 2015]. Większość naukowców uważa, że dolomity powstają wyłącznie w wyniku metasomatozy wapieni [Manecki i Muszyński, 2008]. Proces ten polega na częściowym wyparciu węglanu wapnia i zastąpieniu go przez węglan magnezu. Źródłem magnezu, niezbędnego do tych przemian, jest woda morska. Dolomity dzielą się na diagenetyczne, czyli takie które powstają syngenetycznie przez dolomityzację wytrącanego z wód mułu wapiennego oraz



Fig. 1. Rozmieszczenie złóż rud metali i surowców chemicznych z uwzględnieniem rozmieszczenia rud miedzi [Państwowy Instytut Geologiczny. Centralna Baza Danych Geologicznych – PORTAL 2014]. Strzałką zaznaczono obszar O/ZG Polkowice-Sieroszowice, z którego pochodzą próbki do badań

epigenetyczne, tworzące się na skutek dolomityzacji wapieni, pod wpływem krążących w nich roztworów bogatych w Mg i CO<sub>2</sub>. Przeobrażanie osadu wapiennego w dolomit pociąga za sobą zmniejszenie objętości aż o 12,3%, dlatego też liczne dolomity wtórne są porowate i jamiste [Książkiewicz, 1968; Manecki i Muszyński, 2008]. Ta zwiększająca się porowatość w dolomitach wtórnych – epigenetycznych, jest jednym z zasadniczych czynników generujących potrzebę szczegółowych analizy tych skał, szczególnie w kontekście problematyki związanej z wyrzutami. Ponadto, nieco dalej na północ, na obszarze Niżu Polskiego, cechsztyńskie formacje dolomitu głównego są skałami zarówno macierzystymi jak i zbiornikowymi dla złóż węglowodorów [Czekański et al., 2010].

Celem pracy jest wykorzystanie analiz mikroskopowych do charakterystyki petrograficznej dolomitów rejonu Polkowic, szczególnie w kontekście ich cech strukturalno-teksturalnych oraz zastosowanie analiz stereologicznych do wyznaczenia porowatości skał. Nadrzędnym celem pracy jest więc określenie porowatości całkowitej, efektywnej (porów otwartych), oraz wyliczenie zawartości porów zamkniętych, w których potencjalnie istnieje możliwość występowania gazu pod dużym ciśnieniem.

# 2. Materiał badawczy i metodyka badań

Materiałem wykorzystanym do badań były próbki skał węglanowych pochodzących z O/ZG Polkowice-Sieroszowice (Fig. 1). Pobrany materiał badawczy pochodził z formacji obejmujących rudę węglanową (Fig. 2). Do badań wytypowano pięć fragmentów skał węglanowych potencjalnie różniących się pod względem strukturalno-teksturalnym. Miejsca pobrania prób wskazano z uwagi na istnienie tam niewielkich kawern i osypującego się w tych obszarach materiału skalnego. Z pobranego materiału (każda próbka o masie około 0,5 kg) wydzielono fragmenty do wykonania szlifów cienkich oraz zgładów.



Fig. 2. Schematyczny profil złoża miedzi eksploatowanego przez KGHM w Legnicko-Głogowskim Okręgu Miedziowym [KGHM, 2016]

#### 2.1. Analizy petrograficzne oraz stereologiczne

W celu charakterystyki wytypowanych do badań skał, dokonano ich opisu petrograficznego. Do analiz zastosowano mikroskop polaryzacyjny AXIOPLAN firmy ZEISS oraz sterowany komputerowo stolik mechaniczny XYZ. Obraz spod mikroskopu optycznego przekazywany był za pomocą kamery CCD do monitora. Stosowano powiększenia 50, 100 oraz 200×. Badania prowadzono w świetle przechodzącym (szlify cienkie – barwione) oraz odbitym (polerowane zgłady). Przeprowadzono także punktowe analizy ilościowe, mające na celu oszacowanie porowatości dolomitów. Analizy te wykonano na zgładach w świetle odbitym (porowatość całkowita) oraz w świetle przechodzącym na szlifach cienkich, barwionych (porowatość otwarta).

#### 2.2. Porowatości całkowita analizowana na zgładach – metodyka

Do oszacowania procentowej zawartości porów w skałach wykonano tzw. zgłady, czyli szlifowane i polerowane fragmenty skał analizowane w świetle odbitym. Polerowana, gładka powierzchnia skały, wykazuje zdolność odbicia światła, co uwidacznia się w postaci wyraźnie rysujących się minerałów, o różnych odcieniach szarości (węglany i siarczany) oraz bardzo jasno, a nawet jaskrawo odbijających światło minerałów rudnych. Miejsca porów i szczelin nie polerują się, więc odbicie światła jest tam nieznaczne, co oznacza, że w miejscach tych pojawiają się ciemnoszare lub prawie czarne obszary. Obiekty widoczne na takiej próbce dzielą się więc na dwa zasadnicze typy (Fot. 1). Pierwszy scharakteryzowany jako jasnoszaro-biały, z wyraźnie zarysowaną ostrością, z widocznymi granicami kryształów, należy do tła skalnego, zbudowanego z minerałów. Drugi rodzaj widocznych elementów obrazu charakteryzuje się ciemnoszaro-czarną barwą, kanciastymi, nieregularnymi brzegami i częściową nieostrością. Obszary te należą do części skały zbudowanej z porów i szczelin. Zauważono, że w wyniku przecięcia fragmentu skały, w celu wykonania zgładu, otwarto występujące tam pory zamknięte a także uwidoczniły się pory otwarte. Na tej podstawie oszacowano wielkość całkowitej przestrzeni porowej skały i podano jej zawartość procentową (w zakresie widoczności dla mikroskopu, czyli od około 0,003-0,005 mm do największych występujących w próbce porów).



Fot. 1. Silnie porowaty fragment dolomitu obserwowany w świetle odbitym – na polerowanym zgładzie.
Pory skalne widoczne są w postaci ciemnoszaro-czarnych obszarów, otoczonych przez jasnoszare-białe minerały. Pr.D5, pow. 200×



Fot. 2. Silnie porowaty fragment dolomitu widoczny w świetle przechodzącym, przy 1 polaroidzie na szlifie cienkim barwionym. Pory otwarte widoczne są jako niebieskie obszary, do których w procesie nasycania dostała się barwiona żywica. Są to pory otwarte. Pr.D5, pow. 100×

## 2.3. Porowatość otwarta analizowana na szlifach cienkich – metodyka

Szlify cienkie wykonywane są przede wszystkim w celu przeprowadzenia analiz petrograficznych skał. W szczególnych przypadkach, na preparatach tych, możliwe jest również określenie porowatości otwartej skał. W tym celu fragment osadu przeznaczony do wykonania szlifu, nasycany jest kontrastowo barwioną żywicą (w naszym przypadku jest to barwa jasnoniebieska). Barwnik wnika w pory otwarte, a po wykonaniu szlifu, tylko te pory są wyraźnie widoczne, jako niebieskie obszary (Fot. 2). Przeprowadzenie punktowej analizy ilościowej na szlifie cienkim barwionym pozwala wyliczyć procentową zawartość takich porów w skale. Ograniczeniem tej metody, tak jak w przypadku zgładu, jest wielkość nasyconych porów widoczna pod mikroskopem.

Analizę ilościową przeprowadzono na szlifach cienkich i zgładach w oparciu o zasadę Cavalieri--Hacqueta, wg której "procentowa zawartość danej fazy w objętości stopu (tu skały), na płaszczyźnie szlifu i długość prostej jest taka sama" [Ryś, 1995].

Przed przystąpieniem do analiz metodą punktową (metoda siatkowa, przy zastosowaniu stolika integracyjnego, gdzie punkty rozkłada się systematycznie po analizowanej powierzchni), oszacowano konieczną ilość punktów pomiarowych [wg Ryś, 1995].

Założeniem zastosowanej metody jest to, że błąd względny analizy nie powinien przekroczyć  $\gamma = 0,1$ z prawdopodobieństwem 1 –  $\alpha = 0,8$  (dla  $\alpha = 0,2$ ). Z tablic rozkładu normalnego odczytano wartość współczynnika  $u_{\alpha} = 1.281$  (określony przez całkę Gaussa). Najmniej liczne frakcje ( $V_{\nu}$ ) zostały oszacowane wstępnie na około 6%.

W oparciu o powyższe założenia obliczono wymaganą ilość punktów pomiarowych dla każdej próbki (szlifu i zgładu) [wg Ryś, 1995[:

$$z = \frac{u_{\alpha}^{2}(1 - V_{V})}{\gamma^{2} V_{V}} = \frac{1.281^{2} \cdot (1 - 0.06)}{0.1^{2} \cdot 0.06} \cong 2500$$

gdzie:

- z liczba punktów pomiarowych [-],
- $u_a$  współczynnik odczytany z tablic rozkładu normalnego [-],
- $\gamma$  dopuszczalny błąd względny [-],
- $V_v$  najmniej liczny składnik analizowanej fazy (tu: zawartość porów skalnych) [-].

Na tej podstawie uznano, że przy przyjętych założeniach, aby błąd względny wynoszący  $\gamma = 0,1$  nie był przekroczony z prawdopodobieństwem 1 –  $\alpha = 0,8$ , do analiz musimy przyjąć około 2500 punktów pomiarowych, leżących w siatce kwadratowej.

Błąd bezwzględny każdego pomiaru wyznaczany był ze wzoru:

$$\delta = u_{\alpha} \sqrt{\frac{V_V(1 - V_V)}{z}} * 100\%$$

gdzie:  $\delta$  – błąd bezwzględny pomiaru [%]

Przeprowadzono analizy stereologiczne przy zastosowaniu punktowych ilościowych metod mikroskopowych. Zliczano pory i spękania obecne na analizowanych przecięciach – punktach pomiarowych. Wyznaczono porowatość całkowitą ze zgładów oraz otwartą ze szlifów barwionych. Na podstawie różnicy tych obu typów porowatości, wyznaczono porowatość zamkniętą skał. Należy zaznaczyć, że wyniki tych analiz pozwoliły oszacować udział dużych porów w badanej strukturze i dotyczą one jedynie tych pustek, które są widoczne w zakresie powiększeń mikroskopu optycznego (czyli o wielkości powyżej ok. 0,003 mm – 0,005 mm).

# 3. Wyniki badań

# 3.1. Opis petrograficzny próbek skalnych

#### Próbka D1

Analizowana skała należy do grupy węglanów o strukturze masywnej i bezładnej, a teksturze mikrosparytowej (Fot. 3,4). Zbudowana jest głównie z hipautomorficznych, rzadziej automorficznie wykształconych kryształów sparytowego dolomitu o wielkościach od około 0,04 do 0,15 mm. Kryształy dolomitu zazwyczaj ściśle przylegają do siebie. Tylko miejscami widoczne są, niekiedy znacznych rozmiarów pory (nawet do 0,25 mm, ale zwykle od 0,02-0,1 mm), ograniczone ścianami hipautomorficznych kryształów dolomitu (Fot. 3). W dolomitowym tle skalnym rozproszone są nieregularne skupienia minerałów siarczanowych reprezentowanych przez grubokrystaliczny anhydryt i gips, często w formie wachlarzowatych skupień (Fot. 4). Wielkość tych osobników dochodzi nawet do 1-1,5 mm. Siarczany tworzą także cienkie (do 0,05 mm grubości) żyłki o zmiennym przebiegu. Ponadto widoczne są nieliczne, pojedyncze, ziarna węglanowe (szczątki ooidów?, bioklastów?) zbudowane z mikrytowego kalcytu. W skale zaobserwować można drobne, nieprzezroczyste minerały rudne rozproszone w masie skalnej.

Porowatość całkowita analizowanej skały wynosi 4,75% obj., z czego pory otwarte to 2,81% obj. skały, a zamknięte 1,94% (Tab. 1). W skale dominuje porowatość typu otwartego (Fig. 3).

Skała wg klasyfikacji Dunhama (1962) należy do węglanów krystalicznych. Jest to dolomit epigenetyczny, drobnosparytowy.



Fot. 3. Dolomit sparytowy, lekko spękany. W skale, zabarwione na niebiesko, pojawiają się pory otwarte, otoczone ostrokrawędzistymi węglanami. Pr.D1, pow. 100×, 1N



Fot. 4. Tkwiące w dolomicie skupienie wachlarzowato wykształconego minerału z grupy siarczanów (anhydrytu). Pr.D1, pow. 200×, NX

#### Próbka D2

Analizowana skała cechuje się strukturą bezładną, lekko porowatą i mikrosparytową teksturą (Fot. 5,6). Miejscami występują w niej drobne spękania. Tło skały budują hipautomorficzne, rzadziej automorficzne kryształy sparytowego dolomitu o wielkościach kumulujących się w dwóch grupach. Dominują osobniki o wielkości około 0,05-0,07 mm oraz populacja mniejszych o rozmiarach około 0,02-0,01 mm. Kryształy dolomitu ściśle przylegają do siebie, jedynie miejscami otaczając pory o wielkościach nie przekraczających 0,05 mm (zwykle od 0,02-0,1 mm). Pory ograniczone są zazwyczaj ścianami hipautomorficznych kryształów dolomitu. W dolomitowym tle skalnym rozproszone bezładnie występują nieregularne skupienia minerałów siarczanowych reprezentowanych przez anhydryt i gips, pojawiają się także niewielkie żyłki wypełnione przez siarczany. Miejscami w skale widać przekrystalizowane, mikrytowe skupienia węglanów (ooidów?), z fragmentami wypełnionych przez wtórne cementy siarczanowe (Fot. 5). W analizowanej skale występuje okruszcowanie minerałami rudnymi, rozproszonymi pośród kryształów dolomitu, a miejscami wypełniają-cymi pory. Wielkość tych składników sięga nawet 0,2 mm (Fot. 6). W skale pojawiają się także ciemnorude wtrącenia i smugi świadczące o występowaniu w osadzie materiału organicznego.

Porowatość całkowita skały wynosi 9,7% obj., pory otwarte to około 5,19% obj. skały, a zamknięte 4,51% (Tab. 1). W skale dominuje porowatość otwarta (Fig. 3).

Skała wg klasyfikacji Dunhama (1962) należy do węglanów krystalicznych. Jest to dolomit epigenetyczny, drobnosparytowy.



Fot. 5. Dolomit sparytowy. W centrum zdjęcia widoczny jest przekrystalizowane ziarno ooidu (?) częściowo wypełnione cementem siarczanowym - anhydrytowym. Pr. D2, pow. 200×, NX



Fot. 6. Dolomit sparytowy, lekko spękany z widoczną mineralizacją nieprzeźroczystymi minerałami rudnymi. Pr. D2, pow. 100×, 1N

#### Próbka D3

Jest to skała węglanowa o strukturze lekko porowatej i bezładnej. Wykazuje teksturę sparytową (Fot. 7,8). Występują w niej spękania, które są częściowo wypełnione siarczanami lub substancją organiczną. Tło skały budują automorficzne lub hipautomorficzne kryształy sparytowego dolomitu o wielkości 0,01-0,1 mm. Kryształy te mają pokrój kostkowy, tworzą regularne romboedry. Pomiędzy kryształami dolomitu występują liczne pory o wielkości 0,01-0,4 mm (Fot. 7). Pojawiają się też pojedyncze ziarna mikrytowych intraklastów lub szczątkowych ooidów. Porowatość skały o charakterze śródkrystalicznym tworzą pory otoczone przez ostrokrawędziste kryształy dolomitu. Miejscami pory zabudowane są przez cementy siarczanowe (gips i anhydryt) (Fot. 8). Niekiedy skupienia siarczanów występują niezależnie od porów i tworzą gruzłowe oraz wachlarzowate skupienia anhydrytu czy gipsu, o pokroju igiełkowym lub tabliczkowym. Wielkość poszczególnych osobników sięga niekiedy nawet do 1 mm. W analizowanej próbce występuje duża zawartość minerałów siarczanowych, szacuje się, że jest to od kliku do nawet 10% obj. Miejscami w skale pojawiają się nieprzezroczyste minerały rudne rozproszone w masie skalnej lub też wypełniające pory. Skała wg klasyfikacji Dunhama [1962] należy do węglanów krystalicznych. Jest to dolomit epigenetyczny, sparytowy.



Fot. 7. Duży zabarwiony na niebiesko otwarty por skalny, otoczony ostrokrawędzistymi kryształami dolomitu. Pr.D3, pow. 200×, 1N



Fot. 8. Dolomit sparytowy zbudowany z kostkowych kryształów dolomitu oraz licznych minerałów siarczanowych (gips i anhydryt). Pr.D3, pow. 50×, NX

#### Próbka D4

Jest to skała węglanowa o strukturze lekko kierunkowej, porowatej, wykazującej teksturę mikrosparytową (Fot. 9,10). Tło skały budują głównie hipautomorficzne kryształy sparytowego dolomitu o wielkościach 0,02-0,05 mm. Kryształy dolomitu ściśle przylegają do siebie, miejscami otaczają dość liczne pory o wielkościach od 0,01-0,1 mm, ograniczone ścianami hipautomorficznych kryształów dolomitu. Oprócz porów na wielkość przestrzeni porowej skały wpływają dość powszechnie występujące spękania, ukierunkowane zgodnie z laminacją osadu (Fot. 9).

W skale tkwią bezładnie rozproszone, nieregularne skupienia minerałów siarczanowych, reprezentowanych przez anhydryt i gips. Wielkości tych kryształów wahają się od około 0,02 do nawet 1 mm (Fot. 10). Pojawiają się także nieliczne nieprzeźroczyste minerały rudne.

Skała jest impregnowana ciemnorudą organiką rozproszoną bezładnie na całej powierzchni analizowanego preparatu.



Fot. 9. Dolomit mikrosparytowy, spękany. W skale, zabarwione na niebiesko, pojawiają się pory otwarte. Pr.D4, pow. 100×, 1N



Fot. 10. Anhydryt tkwiący pośród romboedrycznych kryształów dolomitu. Pr.D4, pow. 100×, NX

Porowatość całkowita analizowanej skały jest znaczna i wynosi 12,7% obj. Zawartość porów otwartych to 8,22% obj. a zamkniętych 4,48%. (Tab. 1, Fig. 3).

Skała wg klasyfikacji Dunhama [1962] należy do węglanów krystalicznych. Jest to dolomit epigenetyczny, drobnosparytowy.

#### Próbka D5

Analizowana skała węglanowa posiada strukturę zbitą, silnie porowatą, bezładną, a teksturę sparytową (Fot. 11,12). W próbce praktycznie nie obserwuje się spękań. Tło skały budują automorficzne lub hipautomorficzne kryształy sparytowego dolomitu o wielkości 0,01-0,1 mm. Kryształy te mają pokrój kostkowy, tworzą zwykle regularne romboedry. Cechą charakterystyczną skały jest jej duża porowatość (Fot. 1,2,11). Jest to porowatość typu śródkrystalicznego. Liczne pory otoczone są przez ostrokrawędziste kryształy dolomitu. Wielkość porów waha się między 0,01 a 0,4 mm. Miejscami pory zabudowane są przez cementy siarczanowe (gips i anhydryt). Minerały siarczanowe posiadają różnorodny pokrój a wielkość ich dochodzi nawet do 1 mm (Fot. 12). W dolomitowym tle skalnym występują także nieprzezroczyste, nieregularnie rozmieszczone minerały rudne, miejscami wypełniające pory. W skale zaobserwowano także pojedyncze mikrytowe ziarna.

Na całej powierzchni analizowanej próbki występuje, rozproszona, nadająca skale brunatne zabarwienie, substancja organiczna.

Skała ta charakteryzuje się dużą porowatością całkowitą (22,87% obj.), z czego udział porów zamkniętych to tylko 8,19% obj. (Tab. 1, Fig. 3).

Skała wg klasyfikacji Dunhama [1962] należy do węglanów krystalicznych. Jest to dolomit epigenetyczny, sparytowy.



Fot. 11. Liczne pory otwarte obserwowane w tle skały zbudowanym główne z kryształów dolomitu. Pr.D5, pow. 100×, 1N



Fot. 12. Siarczany (gips i anhydryt) tkwiące pośród kryształów dolomitu. Pr.D5, pow. 100×, NX

#### 3.2. Analiza stereologiczna skał

Analizę stereologiczną dolomitów z Polkowic przeprowadzono na zgładach i szlifach cienkich barwionych w celu wyznaczenia porowatości całkowitej, efektywnej i zamkniętej. Wyniki badań pokazały, że wszystkie analizowane próbki są porowate, różni je jednak, i to znacznie, zawartość porów w strukturze poszczególnych skał. Najmniejszą porowatość całkowitą stwierdzono na próbce nr D1 (4,75% obj.), a największą, bo aż 22,87% obj. oznaczono w dolomicie o numerze D5 (Tab. 1). Jeśli chodzi o porowatość efektywną, wyznaczoną na szlifach, to okazało się, że porów otwartych jest w tych skałach od 2,81% obj. (pr.D1) do 14,67 % obj. (pr.D5). We wszystkich analizowanych próbkach dominującym typem porowatości, jest porowatość utworzona przez system porów otwartych, czyli porowatość efektywna (Fig. 3). Największy udział porów zamkniętych w stosunku do otwartych posiada próbka D2, bo jest ich aż 46.5% w stosunku do porowatości całkowitej. Najmniejszy udział porów zamkniętych posiada próbka D3, bo jest ich jedynie 15,5% wszystkich porów (Fig. 3).

51

Numer	Porowatość całkowita*, [%]		Porowatość otwarta**, [%]		Porowatość
próbki		Błąd pomiaru [%]		Błąd pomiaru [%]	zamknięta***, [%]
D1	4,75	0,54	2,81	0,42	1,94
D2	9,7	0,76	5,19	0,57	4,51
D3	6,56	0,63	5,55	0,59	1,01
D4	12,7	0,85	8,22	0,70	4,48
D5	22,87	1,08	14,67	0,91	8,19

Tab. 1. Ilościowa analiza punktowa wykonana na zgładach oraz szlifach barwionych żywicą z niebieskim pigmentem.

\* punktowa analiza ilościowa wykonana na zgładzie,

\*\* punktowa analiza ilościowa wykonana na szlifie barwionym,

\*\*\* wyliczona z różnicy porowatości całkowitej i otwartej.

Na największą uwagę zasługuje próbka nr D5. Skała ta, na tle pozostałych analizowanych próbek, posiada wyraźnie większą porowatość. Całkowita wartość porowatości zmierzona na zgładzie wynosi 22,87% obj., zaś porowatość otwarta wynosi w niej 14,67% obj. Dominującą rolę w tej skale odgrywają więc pory otwarte, a niemal 36% porów zakwalifikowano do zamkniętych, potencjalnie niebezpiecznych z punktu widzenia zagrożenia gazowego (Fig. 3).



Fig. 3. Podział porowatości na otwartą i zamkniętą we wszystkich analizowanych próbkach dolomitów pobranych z O/ZG Polkowice-Sieroszowice

Wyliczono błąd bezwzględny wszystkich prowadzonych stereologicznych analiz prowadzonych na zgładach oraz szlifach cienkich. Okazało się, że jedynie w próbce D5 błąd ten nieznacznie przekroczył 1%. We wszystkich pozostałych pomiarach błędy kształtowały się od 0,42 do 0,85% (Tab. 1).

# 4. Podsumowanie i wnioski

Analizowane skały pochodzą z kompleksów skalnych należących do osadów cechsztyńskiego cyklotemu PZ1 (cyklotem Werra, Z1). Osady te poddane były zaawansowanym procesom diagenetycznym. W zależności od miejsca pobrania prób, posiadają nieznacznie różniące się cechy strukturalno-teksturalne, które to uwidaczniają się szczególnie w zmianach porowatości tych skał. Ich skład mineralny zasadniczo nie jest zróżnicowany. Głównym składnikiem osadów jest dolomit, wykształcony zwykle w formie subi euhedralnych kryształów, a ponadto pojawiają się, niekiedy bardzo licznie, siarczany (gips i anhydryt). Często spotykanym składnikiem są nieprzeźroczyste minerały rudne oraz ciemnoruda, brunatna substancja organiczna. Przemiany diagenetyczne osadów doprowadziły do przebudowy struktur skalnych. Wykształciły się wtórne dolomity, a pierwotne struktury, niekiedy ooidowe, występują już jedynie jako relikty. Nastąpiła również znaczna przebudowa przestrzeni porowej tych osadów. Na skutek kompakcji oraz krystalizacji wtórnych minerałów zmalała ich porowatość pierwotna. Jednakże takie procesy jak rozpuszczanie oraz rekrystalizacja (dolomityzacja) doprowadziły do powstania wtórnych porów o znacznych rozmiarach. Na skutek rekrystalizacji wytworzyła się porowatość międzykrystaliczna, a licznie występujące pory otoczone są przez ostrokrawędziste kryształy dolomitu.

Wszystkie analizowane skały należą do grupy dolomitów wtórnych (epigenetycznych). Mają one zwykle wykształcenie sparytowe, jedynie niekiedy pojawia się mikryt. Wg klasyfikacji R.J.Dunhama [1962] osady te należą do węglanów sparytowych bądź mikrosparytowych, których pierwotne struktury depozycyjne są nierozpoznawalne.

Analizy stereologiczne wykazały, że badane osady są porowate, a miejscami nawet bardzo porowate. Skały te mogą posiadać od 6,5-23% obj. porowatości całkowitej. We wszystkich analizowanych próbkach dominują pory otwarte tworzące porowatość efektywną skał. Wielkości porów wahają się od najmniejszych widzianych w powiększeniu mikroskopowym (od około 0,003 mm), do nawet 0,4 mm średnicy.

Szczegółowe analizy przestrzeni porowej skał, należących do rudy węglanowej, a budujących znaczną część strefy okruszcowanej, tworzącej fragment profilu złoża miedzi obszaru LGOM, mają bardzo duże znaczenie z punktu widzenia lokalizowania rejonów górotworu o odmienionych właściwościach strukturalno-teksturalnych, czyli potencjalnie niebezpiecznych z punktu widzenia zjawisk gazogeodynamicznych.

Praca została sfinansowana ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w ramach projektu pt.: "Nowatorski system wspomagania oceny zagrożeń gazowych w kopalniach rud miedzi" (numer projektu: LIDER/003/408/L-4/12/NCBR/2013).

#### Literatura

- Biliński M., Hryciuk A., Laskowski M., Mirek A. 2015: Zagrożenie wyrzutami w KGHM Polska Miedź SA O/ZG Rudna stan zagrożenia po czterech latach od wyrzutu. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, Główny Instytut Górnictwa, nr 1, s. 24-28.
- Czekański E., Kwolek K., Mikołajewski Z., 2010: Złoża węglowodorów w utworach cechsztyńskiego dolomitu głównego (Ca<sub>2</sub>) na bloku Gorzowa. Przegląd Geologiczny, vol. 58, nr 8.
- Dunham R.J. 1962: *Classification of Carbonate Rocks According to Depositional Texture*. [In:] W.E. Hamm (Ed.), Classification of Carbonate Rocks, A Symposium. American Association of Petroleum Geologists, p. 108-121.
- KGHM, 2016: Strona internetowa KGHM Polska Miedź S.A: www.kghm.pl
- Konopacka Ż., Zagożdżon K.D., 2014: *Lupek miedzionośny Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego*. Drzymała J., Kowalczuk P.B. (red.). WGGG PWr, 7-12.
- Książkiewicz M., 1979: Geologia Dynamiczna. Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa.
- Manecki A., Muszyński M. (red.), 2008: Przewodnik do petrografii. Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków.
- Mirek A., Laskowski M., Hryciuk A., Półtorak M. 2011: Zagrożenie wyrzutami gazów i skał w KGHM Polska Miedź S.A. – doświadczenia O/ZG ,, Rudna" w zakresie jego rozpoznawania i podejmowanych działań profilaktycznych przy prowadzeniu wyrobisk przygotowawczych, Prace Naukowe GIG. Górnictwo i Środowisko, Nr 4/2, s. 305-313.
- Mirek A., Laskowski M., Respondek A., Hryciuk A. 2010: *Wyrzut gazów i skał z O/ZG "Rudna" incydent czy tendencja?* Prace Naukowe GIG. Górnictwo i Środowisko, Nr 4/3, s. 275-288.
- Państwowy Instytut Geologiczny. Centralna Baza Danych Geologicznych PORTAL 2014 http://geoportal.pgi.gov.pl/ surowce/mapy
- Ryś J., 1995: Stereologia materiałów. Fotobit Design, Kraków.
- Wierzbicki M., Młynarczuk M., 2013: Structural aspects of gas and dolomite outburst in Rudna copper mine, Poland. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, Vol. 57, p. 113-118.

# Microscopic research of the pore space of dolomites of the Zechstein copper-bearing formation of Polkowice area

#### Abstract

Article presents the results of microscopic research of dolomites from copper-bearing formation of Polkowice. Petrographic and stereological analyses of the selected rocks were performed. These studies were carried out, in transmitted light on the thin sections impregnated with blue colored resin, and in the reflected light on the polished sections. The results of the studies allowed to determine the porosity parameters of in these rocks. On this basis, total as well as open and closed porosity were calculated. Conclusions regarding application of these methods firstly, allow to show their capabilities in the context of the study of the pore space of carbonate and secondly, can be used for better interpretation and description of the pore space of dolomites in terms of issues related to the outburst risk involving carbonate rocks within the Legnica-Głogów Copper District.

Keywords: dolomite, porosity, petrographic analysis, stereology