Górnictwo i Geoinżynieria • Rok 33 • Zeszyt 1 • 2009

Piotr Kijewski, Jan Lis**

ODDZIAŁYWANIE ZASOLONYCH WÓD KOPALNIANYCH NA MECHANICZNE WŁAŚCIWOŚCI SKAŁ W KOPALNIACH RUD MIEDZI

1. Wprowadzenie

W obszarze złoża rud miedzi monokliny przedsudeckiej występują bardzo zróżnicowane warunki prowadzenia robót górniczych wynikające z budowy oraz właściwości masywu skalnego. Badania geomechanicznych właściwości skał złożowych i otaczających w obszarach górniczych kopalń rud miedzi prowadzone są z różną intensywnością od fazy dokumentowania złoża, a następnie po rozpoczęciu robót górniczych. W trakcie eksploatacji górniczej badania te prowadzone były w początkowym okresie w ZD Lubin, następnie do dnia dzisiejszego przez KGHM CUPRUM we Wrocławiu. Prace te pozwoliły opracować w roku 1996 geotechniczną klasyfikację skał stropowych (wapienie i dolomity), złożowych i spągowych (piaskowce), mającą zastosowanie w dziedzinie geomechaniki górniczej [2, 3].

Wykonane dotychczas badania wytrzymałościowe nie uwzględniały jednak nowego zjawiska, jakim jest oddziaływanie zasolonych wód kopalnianych o stężeniu wzrastającym wraz z głębokością zalegania złoża na właściwości mechaniczne skał. O ile w południowej części złoża (obszary górnicze Lubin — Małomice i Polkowice) mineralizacja wód kształtuje się na poziomie poniżej 10 g/dm^3, to na głębokości 1000 m sięga 150 g/dm^3 i wzrasta nawet do 200 g/dm^3 przy zadecydowanej przewadze chlorków nad siarczanami. Ponadto wraz ze wzrostem głębokości następuje wzrost ciśnienia wody w poziomie skał piaskowcowych czerwonego spągowca. Oznacza to, że warstwy skalne będące pod wpływem reakcji z roztworem solanki znajdują się w innych warunkach fizyczno-chemicznych.

Wpływ wilgotności na wytrzymałość była przedmiotem badań piaskowców stosowanych w budownictwie. Są to zazwyczaj skały formacji jurajskich, kredowych i triasowych o zróżnicowanej wytrzymałości na ściskanie w granicach 20÷107 MPa. Przykładowo, wy-

* Centrum Badawczo-Rozwojowe, KGHM CUPRUM sp. z o.o., Wrocław

trzymałość kredowych piaskowców ciosowych z Radkowa wynosi od 23 do 75 MPa, piaskowców kredowych z niecki północnosudeckiej w granicach 40,6÷50,5 MPa, piaskowców kredowych z okolic Bochni od 63 do 107 MPa, piaskowców jurajskich z Szydłowca od 20 do 27 MPa, triasowych piaskowców z Baranowa około 50 MPa, a piaskowców czerwonego spągowca z rejonu Słupca na poziomie 65÷70 MPa. Badania wpływu nawodnienia dały zróżnicowane rezultaty. Zazwyczaj obniżenie wytrzymałości na ściskanie kształtowało się na poziomie 22÷50%, a w przypadku jednorodnych, monolitycznych próbek piaskowców około 10%.

Badania wpływu nawodnienia dały zróżnicowane rezultaty. Zazwyczaj obniżenie wytrzymałości na ściskanie kształtowało się na poziomie 22÷50%, a w przypadku jednorodnych, monolitycznych próbek piaskowców zaledwie około 10%. Także w problematyce górnictwa węgla prowadzono badania nad wpływem wilgotności na wytrzymałość piaskowców karbońskich. W przypadku piaskowców karbońskich z KWK „Jastrzębie" [7] stwierdzono, że obniżający wpływ wilgotności na wytrzymałość piaskowców wzrasta w miarę nasycenia wodą i dochodzi nawet do 60%.

W odniesieniu do skał z obszaru złoża rud miedzi badania wpływu nawodnienia dla cechsztyńskich skał węglanowych podjęte zostały w ramach projektu dotyczącego opracowania technologii zruszania zwięzłych warstw stropowych. Dla skał piaskowcowych białego i czerwonego spągowca badania związane były z oceną wpływu nawodnienia na zjawiska dynamiczne zachodzące w górotworze gdzie występują zwięzłe i wytrzymałe piaskowce, głównie o spoiwie anhydrytowym i węglanowym [9, 10].

2. Zakres i metodyka i badań

Badania wpływu zasolonych wód kopalnianych na mechaniczne właściwości skał wywołanego obecnością w górotworze wód o wysokiej mineralizacji przeprowadzono na próbkach skał węglanowych z warstw stropowych oraz piaskowców ze strefy złożowej i spągu wyrobisk górniczych. Zakres wykonanych badań doświadczalnych obejmował:

— badania własności fizycznych (gęstość objętościowa, nasycenie solanką);
— badania własności wytrzymałościowych (wytrzymałość na ściskanie i rozciąganie);
— badania własności odkształceniowych (moduł Younga, współczynnik Poissona, wskaźnik tąpliwości);
— badania petrograficzne (mikroskopowe i rentgenostrukturalne).

Łącznie badaniom doświadczalnym poddano 400 próbek wykonując ponad 1000 oznaczeń parametrów fizykomechanicznych. Do badań petrograficznych przeznaczono 20 próbek.

Metodyka badań doświadczalnych była zgodna z obowiązującymi normami i wytycznymi Międzynarodowego Biura Mechaniki Górotworu i ISRM [4–6, 8]. Do badań stosowano maszyny wytrzymałościowe o parametrach technicznych spełniających wymagania normy PN-G-04303. W zależności od wytrzymałości próbek korzystaliśmy z wytrzymałościo-

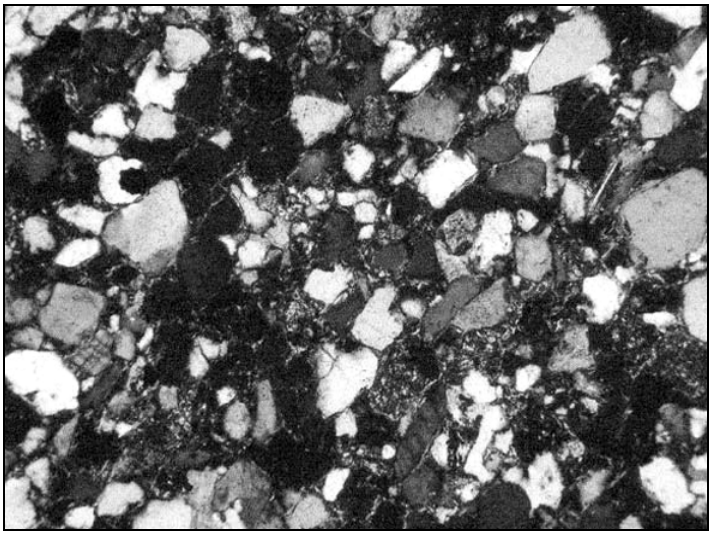
wych firmy Walter-Bai produkcji szwajcarskiej o zakresach obciążeń od 5 do 1500 kN. Maszyny te umożliwiają zadawanie obciążenia ze stałym przyrostem siły lub odkształcenia.

3. Charakterystyka materiału skalnego

Badania wpływu nawodnienia wywołanego obecnością w górotworze wód o wysokiej mineralizacji przeprowadzono na próbkach skał węglanowych z warstw stropowych oraz piaskowców ze strefy złożowej i spągu wyrobisk górniczych. W przypadku skał stropowych badaniom poddano dwie odmiany skał: zwięzłe o strukturze masywnej oraz o strukturze ziarnistej i podwyższonej porowatości. W obrębie piaskowców wydzielono dwie podstawowe odmiany różniące się rodzajem spoiwa: szare piaskowce o spoiwie ilasto-węglanowym oraz piaskowce o barwie ceglasto-czerwonej z obecnością pigmentu żelazistego w spoiwie.

Do badań przygotowano próbki z kopalnianych otworów wiertniczych oraz z ociosów wyrobisk górniczych z ZG „Rudna" i ZG „Polkowice-Sieroszowice".

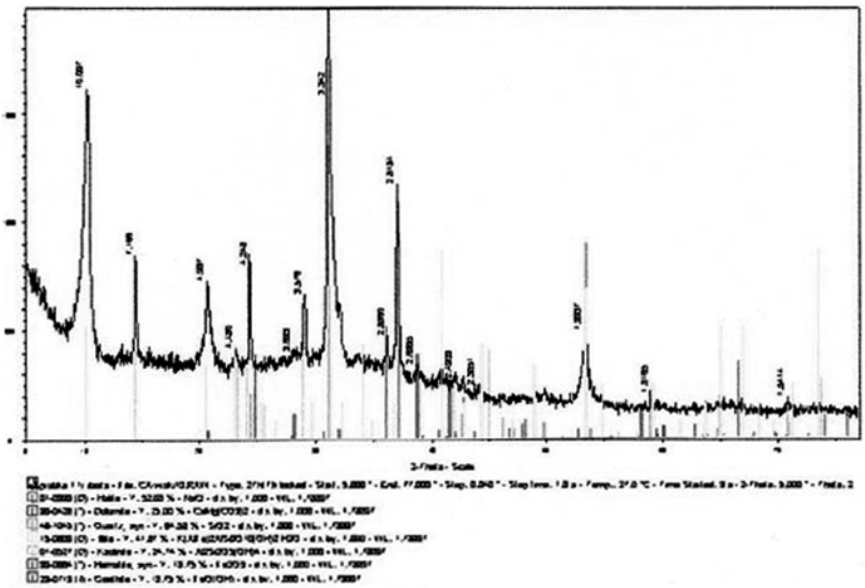
W obrębie piaskowców, które określić można jako drobno i średnioziarniste dominuje struktura bezładna, lokalnie z mniej lub bardziej widocznym warstwowaniem. Szkielet ziarnowy piaskowców stanowią: kwarc, litoklasty i skalenie, w pozycji matriks tworzą minerały węglanowe (kalcyt i dolomit) i pył kwarcowy, a spoiwo minerały ilaste (illit i kaolinit).



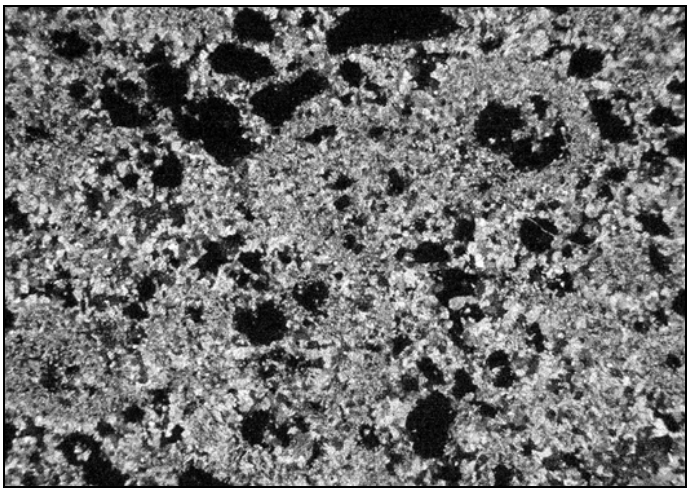
Rys. 1. Piaskowiec subarkozowy o spoiwie ilastym z wodorotlenkami żelaza

W składzie mineralnym skał węglanowych dominuje dolomit, podrzędnie kalcyt. Z innych minerałów stwierdzono anhydryt, gips i niekiedy kwarc oraz halit (rys. 2). Struktura skał jest bezładna, w skali makro lokalnie zaznacza się laminacja związana z ciemniejszym

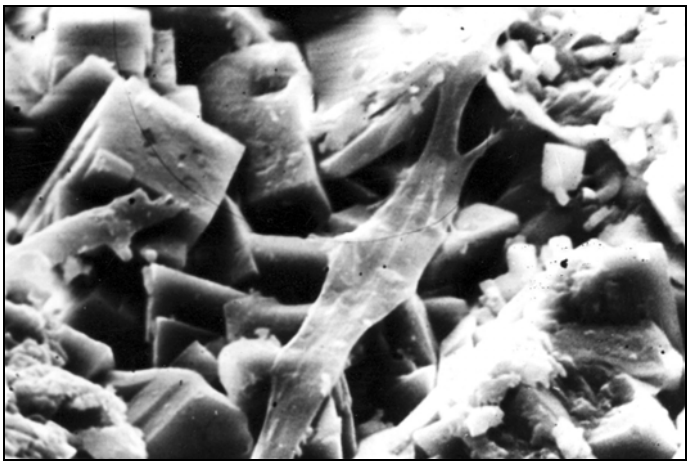
zabarwieniem pigmentem ilastym. Rozmiary ziaren węglanowych podstawowego tła skalnego wynoszą 7÷15 µm (rys. 3) w odmianach mikrytowych oraz 40÷60 µm w odmianach ziarnistych (rys. 4). Anhydryt występuje w formie rozproszonych kryształów, agregatów lub nieregularnych skupień.



Rys. 2. Dyfraktogram piaskowca. Widoczne niskokątowe linie grupy minerałów ilastych oraz kwarcu, dolomitu, anhydrytu i halitu



Rys. 3. Dolomit mikrytowy, porowaty z obecnością kryształów gipsu



Rys. 4. Dolomit o strukturze ziarnistej

3.1. Badania petrograficzne

Badania mineralogiczno-petrograficzne wykonano na 20 próbkach piaskowców i skał węglanowych stosując obserwacje mikroskopowe w spolaryzowanym świetle przechodzącym oraz analizę dyfrakcyjną rentgenowską i termiczną niezbędne do jakościowego i półilościowego określenia składników ilastych i węglanowych.

3.2. Nasycenie solanką

Do badań stosowano solankę kopalnianą pobraną z OG „Sieroszowice" oraz odpowiednio przygotowany roztwór na bazie soli cechsztyńskiej o stężeniu 160÷180 g/dm^3. Nasycenie solanką określono ilością roztworu, którą może wchłonąć skała przez wypełnienie dostępnych, pustych przestrzeni w strukturze skały. W tych badaniach próbki umieszczono w naczyniu wypełnionym solanką. Proces nasycania trwał średnio ok. 80 godzin. Próbki przed i po nasyceni uważono na wadze laboratoryjnej z dokładnością do 0,001 g. Na podstawie wyników ważenia określono wartość nasiąkliwości wagowej n_{sol}.

4. Warunki geologiczne

4.1. Rozkład miąższości skał węglanowych (Ca1) i piaskowców białego spągowca

Skały węglanowe budujące strop złoża charakteryzują się zmiennością miąższości, struktury i składu mineralnego. Stabilizacja miąższości wiąże się z kierunkiem zbliżonym do równoleżnikowego, a zmiana i obniżenie miąższości ma miejsce w kierunku północnym. W rejonach szybowych: Polkowice Zachodnie, Rudna Zachodnia i Rudna Północna

występuje próg morfologiczny, z którym wiąże się zmiana miąższości. Na południe od tej strefy miąższość skał węglanowych wynosi 60÷90 m, na północ od niej 30 m i obniża się do 6÷8 m w północno-zachodniej części OG „Sieroszowice", utrzymuje się także w nowym obszarze górniczym Głogów Głęboki Przemysłowy. Zmniejszenie miąższości skał węglanowych ma wpływ zarówno na zawodnienie górotworu i radykalne obniżenie dopływu wody do wyrobisk górniczych, a lokalnie także na zmianę warunków stropowych.

Piaskowce białego spągowca stanowią redeponowane w cechsztynie i odbarwione osady czerwonego spągowca. Miąższość tej serii skalnej w obszarze kopalń rud miedzi wynosi od 0,5 do 40 m. Wraz ze wzrostem głębokości zalegania złoża miąższość białego spągowca ulega znacznemu zmniejszeniu, co zaznacza się szczególnie w OG „Sieroszowice". Miąższość ta wynosi od 1 do 12 m, a w części zachodniej i północno-zachodniej osiąga wartości od 1 do 7 m. Fakt ten ma znaczenie praktyczne albowiem przy ciśnieniu wody w poziomie czerwonego spągowca w tym obszarze wynoszącym 10 MPa wytrzymałość na ściskanie skał piaskowcowych z przewagą spoiwa ilastego oraz ilasto-żelazistego (w warunkach nasycenia solanką) osiąga zbliżone lub nawet niższe wartości. W takich przypadkach pogarszają się warunki spągowe dla robót górniczych, sprzyja to także wypływowi solanki ze spągu.

4.2. Poziomy wodonośne

Poziom wodonośny piaskowców czerwonego spągowca charakteryzuje się bardzo niskimi wartościami współczynnika filtracji rzędu 10^{-8}÷10^{-6} m/min i słabym zawodnieniem. Zawodnienia piaskowców występuje przede wszystkim w partiach stropowych, partie głębsze są suche. Wody tego poziomu zaliczone są do wód wgłębnych, warstwowo-intergranularnych o subartezyjskim ciśnieniu. Maksymalne ciśnienie wody sięga 10 MPa i wzrasta wraz z upadem złoża [1].

Poziom wodonośny wapieni i dolomitów serii Ca1 cechsztynu tworzy zbiornik wód podziemnych typu szczelinowo-porowego i szczelinowo-porowo-krasowego. Wydziela się tu dwa rejonu hydrogeologiczne: południowy — o podwyższonej wodonośności tych skał oraz północny — o słabym zawodnieniu.

W rejonie południowym skały węglanowe Ca1 charakteryzują się na ogół wysoką szczelinowatością, podwyższoną porowatością i kawernistością. Cechy te są ściśle związane z zaangażowaniem tektonicznym górotworu oraz głębszą erozją skał węglanowych w „strefie wychodni" oraz jej bliskim sąsiedztwie.

W rejonie północnym, znajdującym się w granicach OG „Sieroszowice", skały węglanowe charakteryzują się minimalnym zawodnieniem lub są całkowicie bezwodne. Aktualnie dopływy wód z górotworu w tym obszarze górniczym wynoszą: w rejonie SG — 0,9 m^3/min, a w rejonie SW-1 — 0,5 m^3/min. Dla porównania, dopływ w rejonie południowym GG-3 wynosi 21,5 m^3/min. Połączenie hydrauliczne serii węglanowej Ca1 oraz piaskowcowej zaznacza się jednolitym składem chemicznym wód w północnej części OG „Rudna" i OG „Sieroszowice". Są to wody typu solanek chlorkowo-sodowych o bardzo wysokiej utlenialności, wykazujące agresywność siarczanową, a ich mineralizacja ogólna wynosi od 210 do 235 g/dm^3 [1].

5. Wyniki badań

Zawodnienie górotworu związane z obecnością wód silnie zmineralizowanych w obrębie warstw stropowych (skały węglanowe) jak i spągowych (piaskowce) dało podstawę do określenia oddziaływania tego medium na mechaniczne właściwości skał.

Ze względów metodycznych w obrębie warstw stropowych skupiono się na badaniach dwóch odmian skał węglanowych:

1) dolomitów wapnistych o masywnej, zlewnej strukturze i niewielkiej porowatości;
2) dolomitów wapnistych o strukturze ziarnistej i podwyższonej porowatości, w których zaobserwowano wykwity soli na powierzchni rdzeni.

W ograniczonym zakresie zbadano występującą w oddz. G-32 w OG „Polkowice" marglistą odmianę dolomitu, z którą związana jest niestateczność stropu.

W obrębie piaskowców zasadniczy podział oparto na występowaniu spoiwa żelazistego, co pozwala na wydzielenie piaskowców białego i czerwonego spągowca.

Z punktu widzenia zmian parametrów wytrzymałościowych i deformacyjnych istotne znaczenie ma nasiąkliwość wagowa i przebieg nasycania solanką. W masywnych odmianach dolomitów stwierdzono zmiany nasiąkliwości wagowej od 0,5 do 2,9%, a czas osiągnięcia nasiąkliwości zbliżonej do maksymalnej wynosiło po około 30 godzinach przy maksymalnym wzroście nasiąkliwości w czasie pierwszych 6 godzin. Skały węglanowe o strukturze ziarnistej wykazywały wyższą nasiąkliwość od 3,9 do 9,3%, uzyskiwały pełne nasycenie po 6 godzinach, a maksymalny wzrost następował w czasie pierwszej 1/2 godz., a nawet jak w przypadku dolomitu marglistego (NI25 G-32) po 10 minutach.

W przypadku piaskowców nie stwierdzono istotnego zróżnicowania nasiąkliwości. Wyłączając piaskowce czerwonego spągowca z OG „Lubin", gdzie n_{sol} wynosi ponad 7%, w pozostałych profilach badawczych wartość n_{sol} zawiera się w przedziale 3,8÷6,2%. Tak niewielkie zróżnicowanie wiąże się z tym, że badane próbki reprezentują piaskowce z furty i spągu złoża o zbliżonym składzie mineralnym i uziarnieniu oraz spoiwie.

W podsumowaniu wyników wykonanych badań stwierdzono, że po nawodnieniu materiał skalny w znaczący sposób zmienia swoje właściwości (tab. 1) i tak:

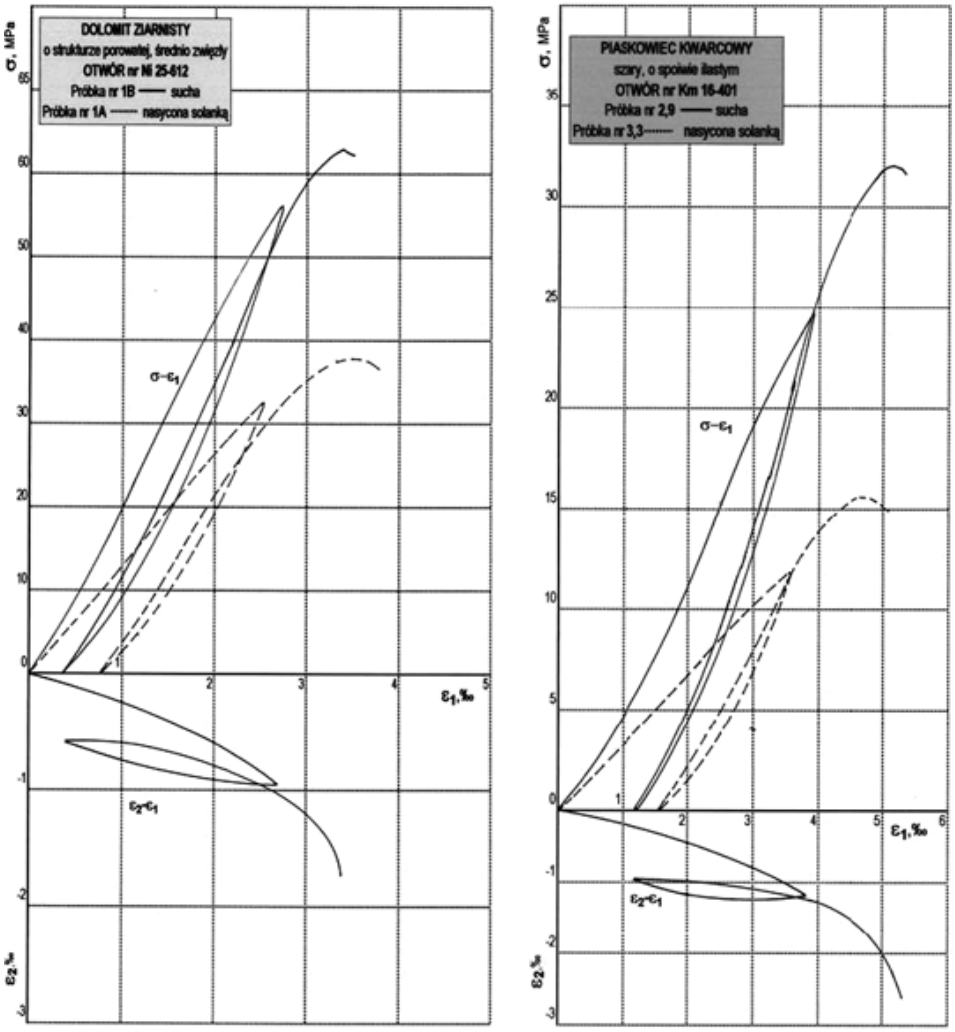
— wartości parametrów wytrzymałościowych obniżają się w skałach dolomitowych w zależności od struktury skały i nasiąkliwości wagowej;
— w dolomitach o masywnej, zwartej i mikrytowej strukturze i nasiąkliwości w granicach 0,5÷3% stwierdzono obniżenie: R_c od 12 do 23%, R_r od 16 do 33%, E od 19 do 34%, a W_{et} od 16 do 28%;
— w dolomitach o ziarnistej, sparytowej strukturze, mikroporowatych oraz dolomitach marglistych, w których nasiąkliwość wagowa wynosi od 3,9 do 9,3% obniżenie wartości parametrów mechanicznych wynosi: R_c od 23 do 39%, R_r od 25 do 39%, E od 19 do 47%, a W_{et} od 19 do 33%;

TABELA 1

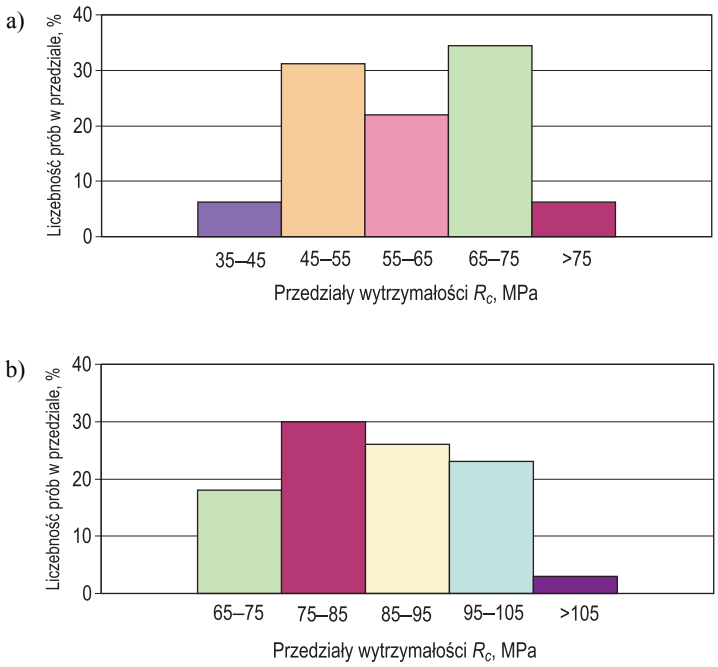
Oddziaływanie solanki na właściwości mechaniczne odmian skał z obszaru złoża rud miedzi

Numer otworu badawczego	Rodzaj skały	Gęstość objętościowa ρ_o [g/cm^3]	Nasiąkliwość solanką n_{sol} [%]	Obniżenie wartości parametrów mechanicznych [%]			
				Wytrzymałość na ściskanie R_c	Wytrzymałość na rozciąganie R_r	Moduł sprężystości Younga E	Wskaźnik tąpliwości W_{et}
Km 16-401	Dolomit wapnisty, masywny	2,72	0,54	12,3	16,3	18,9	22,6
Mo 13-1503		2,53	3,01	23,4	26,7	34,6	28,4
Mo 5-78		2,52	2,50	22,5	33,5	32,6	21,1
Mo-1 To-8		2,47	2,89	18,7	22,4	21,3	16,3
Mo 13-1503	Dolomit wapnisty, ziarnisty	2,39	3,86	23,4	34,0	31,6	26,6
Mo 18-1937		2,37	4,34	23,9	35,9	24,4	18,9
Mo-23 To-8-		2,32	7,70	51,7	24,8	47,5	33,3
Km 16-401		2,22	6,74	27,3	39,1	18,7	25,0
G-32		2,24	9,28	39,5	34,1	32,0	32,5
Ko-17 G-1	Piaskowiec białego spągowca	2,19	6,24	47,9	38,4	40,0	30,7
Ts 12-37		2,20	6,13	49,9	39,4	46,2	43,3
Mo-13-98		2,23	5,37	48,8	52,3	61,3	47,1
Km 16-4001		2,17	5,53	47,4	62,0	23,6	27,9
P 2		2,38	3,77	50,2	58,1	56,1	51,9
Ni 25 -612		2,32	5,06	67,6	65,7	62,8	64,6
Jm 21-B15		2,43	2,93	15,8	40,0	30,0	23,9
AW-1	Piaskowiec czerwonego spągowca	2,24	7,16	65,8	54,7	56,8	51,4
Jm 21-B15		2,15	6,65	29,1	36,7	28,3	30,8

— w piaskowcach, które mają zbliżony skład ziarnowy i strukturę oraz nasiąkliwość wagowa na poziomie od 5 do 7%, obecność spoiwa ilastego w białym spągowcu lub ilasto-żelazistego w czerwonym spągowcu powoduje obniżenie wartości parametrów mechanicznych w znacznie większym stopniu niż w dolomitach i wynosi: dla R_c od 47 do 67%, R_r od 38 do 62%, E od 30 do 62%, a W_{et} od 30 do 47%, przy czym w piaskowcach czerwonego spągowca wymienione wartości są niższe od 51 do 66% w stosunku do stanu powietrzno-suchego.



Rys. 5. Charakterystyki naprężenie – odkształcenie
dla wytypowanych próbek poddanych jednoosiowemu ściskaniu



Rys. 6. Histogramy wytrzymałościowe na ściskanie dolomitów porowatych o strukturze ziarnistej w stanie powietrzno-suchym (a) i nasycenia solanką (b)

6. Wnioski

Wykonane badania rozszerzają wiedzę o zachowaniu się skał stropowych i spągowych złoża rud miedzi, mają także znaczenie praktyczne:

1) W klasyfikacji stropów pod względem zawałów. Jednym z czynników stanowiących wystąpienie zawałów stropu jest obniżona wytrzymałość na rozciąganie. Istotne obniżenie tej wytrzymałości stwierdzono w dolomitach o strukturze porowatej i kawernistej oraz w dolomitach marglistych.

   W przypadku występowania w stropie tych odmian skał węglanowych, zwłaszcza w strefach zawodnionego górotworu prawdopodobieństwo utraty stateczności stropu wzrasta. W odniesieniu do zagadnienia zawałów stropu należy mieć na uwadze fakt, ze w zdecydowanej większości w stropie wyrobisk eksploatacyjnych występują dolomity wapniste o masywnej, mikrytowej strukturze, niewielkiej porowatości i nasiąkliwości wagowej. Są to skały o wysokiej wytrzymałości, zdecydowanie mniej wrażliwe na oddziaływanie zawodnienia górotworu. Stąd też niezwykle ważnym zagadnieniem jest rozpoznanie stropu w fazie projektowania geotechnicznych otworów badawczych.

2) W ocenie nośności spągu. Stan nawodnienia piaskowców powoduje obniżenie wartości parametrów mechanicznych o około 50%, co sprzyja intensyfikacji procesu wycis-

kania spągu. Wynika stąd problem konwergencji wyrobisk i potrzeba przybierania spągu dla zachowania odpowiednich, do celów ruchowych, wymiarów wyrobisk. Lokalnie w strefach o niskiej, nawet poniżej 1 m miąższości zwięzłej warstwy białego spągowca, kiedy wytrzymałość piaskowców czerwonego spągowca jest zbliżona do ciśnienia wody w spągu złoża, zachodzi możliwość lokalnych wypływów solanki ze spągu.

3) W ocenie zagrożenia tąpaniami. Skały w stanie nawodnionym charakteryzują się niższymi wartościami wskaźnika W_{et}, co wykazuje na obniżenie ich właściwości sprężystych i eksplozywnych. Jest to zjawisko korzystne sprzyja, bowiem rozładowaniu gromadzonej w górotworze energii sprężystej.

LITERATURA

[1] *Bocheńska T., Kalisz M.*: Rozwój dopływów do kopalń i docelowe prognozy. [w] Hydrogeologia polskich złóż kopalin i problemy wodne górnictwa. Kraków, 2003

[2] *Kijewski P., Lis J.*: Mechaniczne własności piaskowców białego spągowca. Rudy i Metale Nieżelazne. R 26, z. 4, Katowice, 1981

[3] *Kijewski P., Lis J.*: Geomechaniczne właściwości skał z obszaru LGOM — próba systematyki. Prace Inst. Geot. Inst. Hydrotechn. Pol. Wroc., nr 65, Konf, nr 33, Wrocław, 1994

[4] Norma PN-G-04301: Skały zwięzłe. Pobieranie i przygotowanie próbek do badań własności mechanicznych i technologicznych

[5] Norma PN-85/B-04101. Materiały kamienne. Oznaczenie nasiąkliwości wodą

[6] Norma PN-G-04302: Skały zwięzłe. Oznaczenie wytrzymałości na rozciąganie metodą poprzecznego ściskania

[7] *Oleksy St., Ordysiński Z., Pacha J.*: Wpływ zawilgocenia na spadek wytrzymałości piaskowców karbońskich z obszaru KWK „Jastrzębie". Zesz. Nauk. Pol. Śląskiej. Seria: Górnictwo, z. 96, Gliwice, 1979

[8] *Pforr H.*: IBG — Wytyczne Międzynarodowego Biura Mechaniki Górotworu do określania parametrów fizykomechanicznych skał i górotworu. GIG, Katowice – Gliwice, 1975

[9] Praca zbiorowa: Badania wytrzymałościowe skał cechsztynu i czerwonego spągowca ze złóż rud miedzi obszaru Gawrony – Ścinawa. Opracowanie archiwalne ZBiPM Cuprum. Wrocław, 1982

[10] Praca zbiorowa: Badania doświadczalne wpływu nawodnienia piaskowców na ich własności wytrzymałościowe i deformacyjne. Opracowanie archiwalne ZBiPM Cuprum. Wrocław, 1988