

Józef Kabiesz, Renata Patyńska**

BADANIA ZASIĘGU I INTENSYWNOŚCI STREFY SPĘKAŃ WOKÓŁ CHODNIKOWYCH WYROBISK KORYTARZOWYCH

1. Wprowadzenie

W uwarstwionym górotworze karbońskim, w jego naturalnym stanie, występują systemy nieciągłości związane z jego litologiczną budową oraz cechami strukturalnymi skał. Płaszczyzny nieciągłości w obrębie tej samej skały lub na kontaktach różnych skał są zwarte, a płaszczyzny pierwotnie rozwarte są zwykle wypełnione skałą (minerałami) wtórnymi — kalcytem, pirytem itp. Po wykonaniu wyrobiska korytarzowego wokół jego obrysu niektóre z tych nieciągłości ulegają rozwarciu — warstwy skalne w tych miejscach tracą ze sobą kontakt. Powoduje to istotne osłabienie parametrów wytrzymałościowych masywu skalnego wokół wyrobiska. Proces ten jest wynikiem tworzenia się wokół wyrobiska obszarów koncentracji naprężeń oraz deformacji skał i postępuje w czasie aż do osiągnięcia stanu równowagi. Zmiany własności górotworu wokół wykonanego wyrobiska posiadają istotne znaczenie dla doboru jego obudowy, oceny warunków utrzymania, zagrożeń występujących w jego otoczeniu, szczelności górotworu itd.

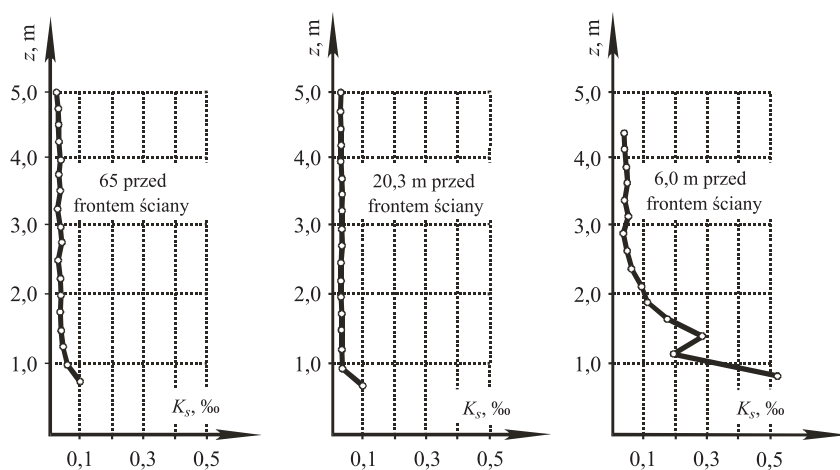
Zagadnienie rozkładu szczelinowatości skał wokół wyrobisk w niniejszym artykule ograniczono do charakterystyki zeszcelinowania naturalnego. Rozkład szczelinowatości skał badano i oceniano na podstawie przeprowadzonych *in situ* badań endoskopowych otworów wiertniczych i pomiarów aerometrycznych. Na podstawie analizy uzyskanych wyników oraz istniejących klasyfikacji górotworu przedstawiono charakterystykę zeszcelinowania otoczenia badanych wyrobisk oraz, przykładowo, podano klasyfikację szczelności górotworu dla potrzeb wykorzystania ich na podziemne magazyny gazów i cieczy.

2. Szczelinowatość skał

Rodzaje, geneza i charakterystyka szczelinowatości skał karbońskich były wielokrotnie przedmiotem badań i pomiarów różnych autorów polskich [4, 7] i zagranicznych [1, 2].

* Główny Instytut Górnictwa, Katowice

Wyniki badań *in situ* wykazały, że rozwój szczelinowatości skał w otoczeniu wyrobisk korytarzowych postępuje wraz z upływem czasu osiągając zwykle pewien ustalony zasięg zależny od kształtu i rozmiarów wyrobiska oraz stanu wyężenia górotworu i przede wszystkim rodzaju skał. W warunkach kopalnianych na zasięg strefy spękań zasadnicze znaczenie posiada wpływ skutków prowadzonych robót eksploatacyjnych. Badania dołowe w chodnikach przyścianowych [3] wykazały, że do odległości około 20 m przed frontem ściany nasilenie występowania szczelin (liczba oraz wielkość ich rozwarcia) jest duże. Potwierdzają to wyniki pomiarów szczelinowatości K_s skał stropu bezpośredniego przedstawione na rysunku 1.



Rys. 1. Rozwój spękań w stropie chodnika przed frontem ściany [3]

Parametrami charakteryzującymi intensywność zeszczelinowania górotworu mogą być wskaźniki gęstości spękania Γ_V [9]:

$$\Gamma_V = \frac{S_s}{V} \quad (1)$$

gdzie:

S_s — pole powierzchni wszystkich spękań, m^2 ;
 V — objętość górotworu, m^3 .

Na podstawie zwykle dostępnych informacji o geologicznej i strukturalnej budowie stropu można oszacować jedynie wartość wskaźnika gęstości liniowej spękań Γ_L , określony zależnością:

$$\Gamma_L = \frac{n}{L_s} = \frac{1}{d_s} \quad (2)$$

gdzie:

- n — liczba spękań przecinająca normalną do ich płaszczyzny;
- L_s — długość normalnej, m;
- d_s — odstęp równoległych płaszczyzn spękań (gęstość spękań), m.

Jeżeli dla każdej warstwy skalnej przyjmiemy istnienie trzech zasadniczych systemów spękań równoległych (jeden równoległy do uławicenia i dwa poprzeczne) związek między zależnościami (1) i (2) posiada postać:

$$\Gamma_V = \sum_{i=1}^{i=3} \Gamma_{Li} \quad (3)$$

Według [4] średnie gęstości spękań d_s podano w tabeli 1.

TABELA 1
Gęstości spękań skał karbońskich [4]

Rodzaj skały	Gęstości spękań d_s , m	
	górotwór nieodprężony	górotwór odprężony wg [4]
Węgiel	0,01	0,003
Ilowiec	0,1	0,04
Mułowiec	0,4	0,1*
Piaskowiec	2,5	0,25

* wartość interpolowana.

Szczelinowatość skał jest związana z ich pierwotną i wtórną podzielnością [5], a nasilenie występowania i charakter tego zjawiska jest podstawą licznych klasyfikacji zarówno jej samej jak i własności geomechanicznych, strukturalnych i technologicznych skał (masywu skalnego, górotworu). Ograniczając się do samego zeszczelinowania skał można przykładowo podać klasyfikację szczelin ze względu na wartość ich rozwarcia [5]:

- I klasa — rozwarcie w granicach od 0 do 2 mm,
- II klasa — rozwarcie od 2 do 10 mm,
- III klasa — rozwarcie większe od 10 mm.

W zależności od gęstości spękań Polska Norma PN-54/B-02480 szczelinowatość masywu skalnego dzieli na cztery klasy (tab. 2).

TABELA 2

Klasyfikacja stopnia szczelinowatości skał według PN-54/B-02480

Klasa	Stopień spękania skał	Opis
I	niespękane	Skały nie wykazują szczelin otwartych, a szczeliny zamknięte występują w odstępach większych niż 0,5 m
II	mało spękane	Skały z widocznymi otwartymi szczelinami o rozwarcu poniżej 2 mm; wydzielone szczelinami bloki są większe od 20 cm i nie są względem siebie przesunięte
III	mocno spękane	Skały z widocznymi otwartymi szczelinami, których rozwarcie wynosi przeciętnie 2÷10 mm; wydzielone szczelinami bloki są wielkości 8÷20 cm i nie są względem siebie przesunięte
IV	bardzo mocno spękane	Skały o długości krawędzi bloków poniżej 8 cm i szczelinach o rozwarcu ponad 10 mm, bloki wzajemnie przesunięte względem siebie

Najbardziej rozpowszechnionym wskaźnikiem szczelinowatości skał zwięzłych jest wskaźnik jakości masywu RQD [2] określający nasilenie występowania spękań (podzielności) rdzenia wiertniczego:

$$RQD = \frac{L_p}{L_t} \cdot 100\% \quad (4)$$

gdzie:

L_p — całkowita sumaryczna długość odcinków rdzenia wykazujących długość ponad $2D$ (D — średnica rdzenia),

L_t — całkowita długość rdzenia.

3. Wybrane metody badań *in situ* szczelinowatości skał

Wymogi wiarygodności oceny szczelinowatości otoczenia górniczych wyrobisk korytarzowych wymuszają prowadzenie badań w warunkach *in situ*. W związku z tym koniecznym jest stosowanie stosunkowo prostych, niezawodnych i sprawdzonych metod i badań i pomiarów w tym zakresie. Można w tym celu wykorzystać metodę endoskopii otworowej oraz metodę aerometryczną oceny szczelinowatości skał.

3.1. Metoda endoskopowa

Metoda ta polega na oglądzie (rejestracji) obrazu ścianki otworu badawczego wykonanego w górotworze otaczającym wyrobisko i jego analizie pod kątem identyfikacji i cha-

rakterystryki występujących szczelin (rys. 2). Używa się do tego celu specjalnej głowicy badawczej i współpracującego z nią osprzętu. Zasadniczym elementem urządzenia do badań endoskopowych jest miniaturowa kamera, której obiektyw wraz z mikroprocesorem znajduje się w krótkim odcinku rury o średnicy zewnętrznej $\phi = 33$ mm. W skład urządzenia wchodzi także rejestrator (magnetowid VHS, pamięć cyfrowa) z podglądem obrazu. Pomiarów rozwarcia szczelin i kątów, pod jakimi przecinają one otwór wiertniczy można dokonywać bezpośrednio w trakcie pomiaru lub z większą precyzją w laboratorium, co umożliwia uzyskanie dokładności rozmiarów identyfikowanych szczegółów rzędu 0,1 mm. Powtarzając pomiary wielokrotnie można porównywać sekwencje obrazu i wychwycić zachodzące w czasie różnice w rozwarciu i lokalizacji szczelin.



Rys. 2. Przykładowy obraz szczeliny w ścianie otworu wiertniczego

3.2. Metoda aerometryczna

Klasyczna metoda aerometryczna wg [10] badania szczelinowatości skał w otworach wiertniczych polega w ogólności na uszczelnieniu odcinka otworu, zadaniu w nim określonego nadciśnienia powietrza (zwykle 0,4 MPa) i pomiarze czasu spadku tego ciśnienia do wartości 0,25 MPa. Pomiar taki wykonuje się standardowym urządzeniem składającym się z głowicy otworowej, ciśnieniowego zbiornika wyrównawczego, pompy pneumatycznej i niezbędnego osprzętu.

Na podstawie znanej, wyznaczonej w warunkach laboratoryjnych, charakterystyki tego urządzenia określa się wskaźnik szczelinowatości skał K_s oraz sumaryczną rozwartość spękań R_s .

$$K_s = \frac{S_0}{P_b} \cdot 1000 \quad (5)$$

$$R_s = \frac{S_0}{L_0} \quad (6)$$

gdzie S_0 — otwór równoznaczny; mm²;

$$S_0 = \frac{b}{1 - at_{sr}} \quad (7)$$

a, b — wyznaczane empirycznie parametry charakteryzujące urządzenie pomiarowe;

t_{sr} — czas spadku ciśnienia od wartości początkowej do końcowej, s;

P_b — pole poboczniczy badanego odcinka otworu, mm²;

L_0 — obwód badanego otworu; mm.

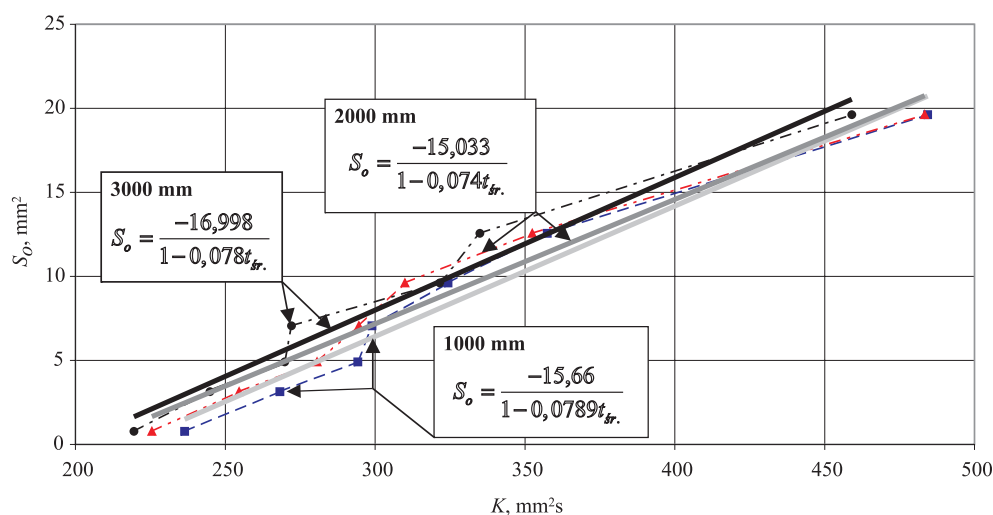
Przeprowadzając pomiary dla kolejnych odcinków otworu oraz wyznaczając K_s i R_s otrzymuje się rozkład wartości tych parametrów wzdłuż długości badanego otworu wiertniczego. Długość jednorazowo badanego odcinka otworu wynosi 260 mm, a długości jego uszczelnień po około 250 mm. Oznacza to, że ten sposób pomiaru „wykrywa” szczeliny posiadające połączenia z pozostałymi odcinkami badanego otworu lub też z innymi wolnymi przestrzeniami na stosunkowo krótkim dystansie kilkudziesięciu centymetrów.

Dla osiągnięcia większego zasięgu pomiaru zmieniono metodykę badania oraz dokonano zmian konstrukcyjnych głowicy sondy otworowej. Przyjęto, że odcinek pomiarowy będzie obejmował kolejne fragmenty otworu wiertniczego poczynając od dna tego otworu. W kolejnych etapach pomiaru odcinki te zwiększały swoją długość o 2 m — uszczelniany był zawsze około 0,5 m odcinek otworu od strony jego wlotu. Badaniem obejmowany, więc był coraz dłuższy odcinek otworu, czyli eliminowane były krótkodystansowe połączenia szczelin głębiej położonych w nieuszczelnionych odcinkach otworu.

Taka metodyka pomiaru wymagała zmiany konstrukcji głowicy otworowej. Segment uszczelniający został przesunięty na początek głowicy, natomiast wylot roboczy powietrza zlokalizowano na jej końcu.

Ze względu na zmianę metodyki pomiaru oraz konstrukcji głowicy przeprowadzono w laboratorium cechowanie urządzenia. Sonda cechowana była dla średnic otworu („szczeliny”) od 1 do 5 mm w metalowej rurze o wewnętrznej średnicy 50 mm, imitującej otwór wiertniczy. Wylot głowicy umieszczano w odległości 1, 2 i 3 m od dna rury. Początkowe ciśnienie powietrza wynosiło 0,3, a końcowe 0,05 MPa.

Wyniki cechowania sondy wykazały, że urządzenie to w zmodyfikowanej formie wraz z proponowanym sposobem badania wykazuje liniowość wskazań i małe zróżnicowanie dla różnych bazowych odcinków pomiarowych (rys. 3).

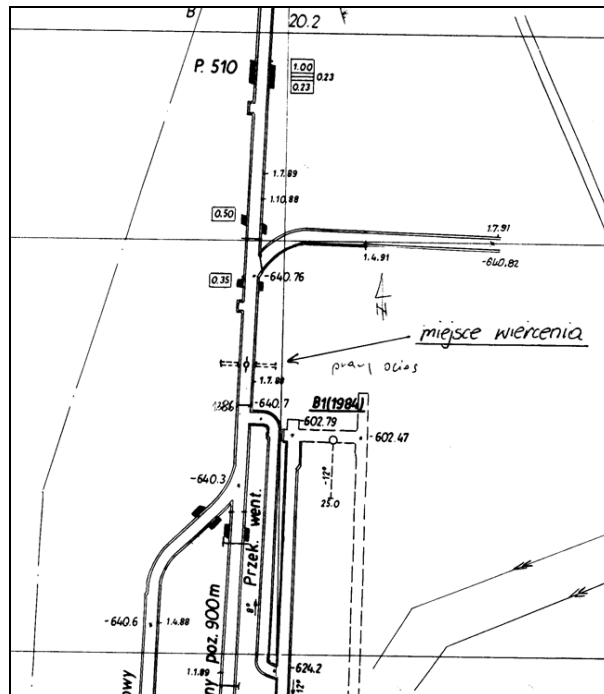


Rys. 3. Charakterystyka sondy areometrycznej — $S_o = f(K)$

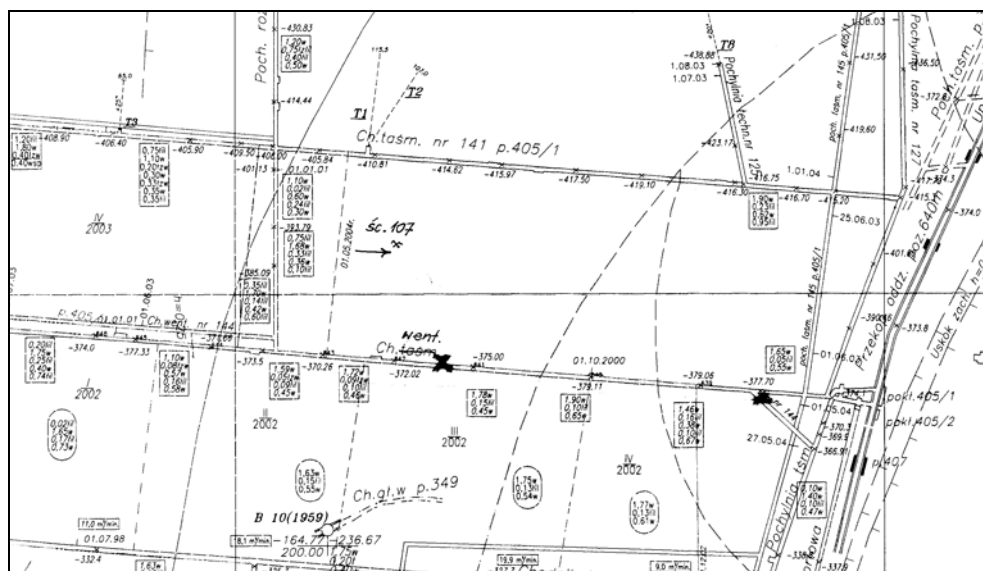
4. Badania i pomiary

Dla oceny rozkładów szczelinowatości skał w otoczeniu górniczych wyrobisk korytarzowych wytypowano do przeprowadzenia badań endoskopowych następujące poligony pomiarowe:

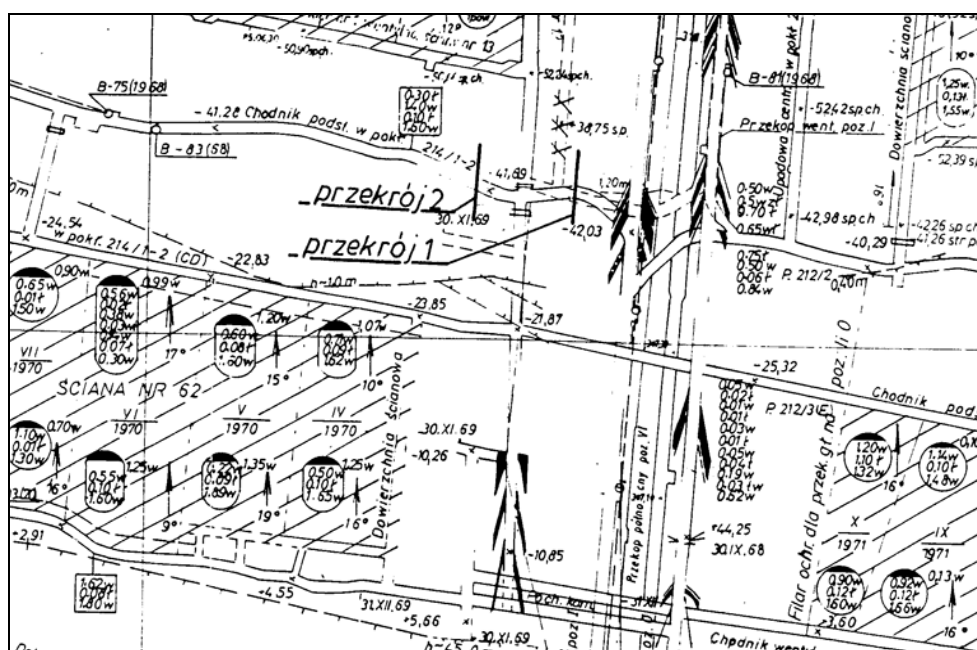
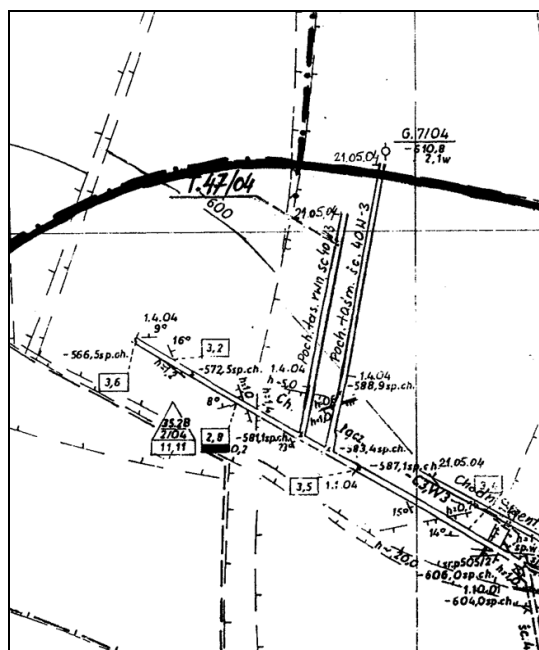
- Przekop główny poz. 900 m w kopalni „Brzeszcze” — 6 otworów (rys. 4).
- Chodnik wentylacyjny ściany 107 w pokładzie 405/1 w kopalni „Brzeszcze” — 2 otwory (rys. 5).
- Pochylnię taśmową ściany 107 w pokładzie 405/1 w kopalni „Brzeszcze” — 5 otworów (rys. 5).
- Pochylnię taśmową równoległą ściany 40 w pokładzie 505/1 kopalni „Jas–Mos” — 5 otworów (rys. 6).
- Chodnik podstawowy w pokładzie 214/1–2 w kopalni „Silesia” — 3 otwory (rys. 7).
- Przekop zachodni poz. IV w kopalni „Silesia” — 5 otworów.
- Dowierzchnię 2 w pokładzie 502 w kopalni „Śląsk” — 3 otwory (rys. 8).
- Dowierzchnię 3 w pokładzie 502 w kopalni „Śląsk” — 4 otwory (rys. 8).

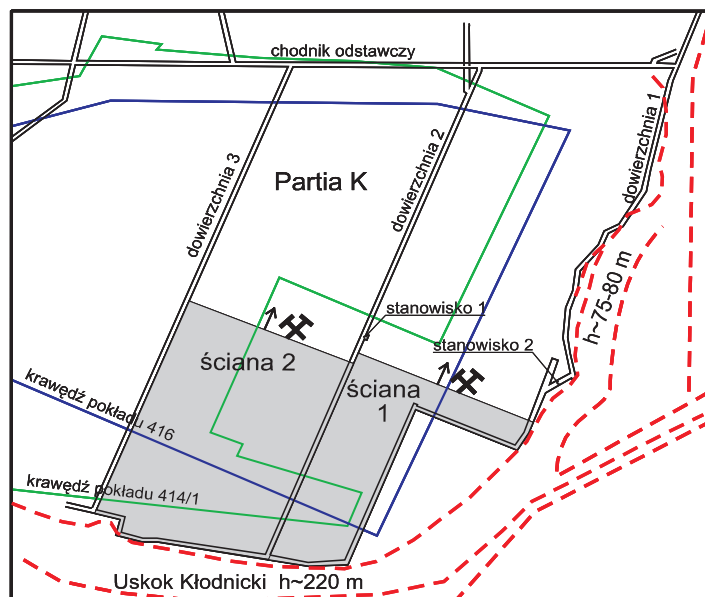


Rys. 4. Rejon badań w przekopie głównym poz. 900 m w KWK „Brzeszcze”



Rys. 5. Rejon badań w chodniku wentylacyjnym i pochylni taśmowej ściany 107 w pokładzie 405/1 w KWK „Brzeszcze”





Rys. 8. Rejon badań w dowiezchni 2 i 3 w pokładzie 502 w KWK „Śląsk”

5. Wyniki pomiarów

Ogółem wykonano 31 otworów o długościach sięgających do 10 m skierowanych w stropy, ociosy i spągi wyrobisk, z których w 28 wykonano badania endoskopowe, a w 4, w KWK „Jas-Mos” i w 10 w KWK „Brzeszcze”, wykonano badania metodą aerometryczną.

Przykładowo w tabeli 3 przedstawiono wyniki pomiarów aerometrycznych w otworze nr 6 wykonanym w przekopie głównym poz. 900 w kopalni „Brzeszcze” (rys. 4), a w tabeli 4 wyniki badań endoskopowych w tym otworze. Otwór ten posiadał długość 10 m i był skierowany ukośnie w górę we wschodni ocios tego wyrobiska.

TABELA 3

Wyniki badań aerometrycznych w otworze nr 6 w przekopie głównym poz. 900 w KWK „Brzeszcze”

Głębokość pomiaru [m]	Ciśnienie wstępne [MPa]	Ciśnienie końcowe [MPa]	Czas trwania pomiaru [s]
8	0,3	0,3	2'00"7
6	0,3	0,3	2'00"4
4	0,3	0,05	2'35"2
2	0,3	0,05	18"2

TABELA 4

Wyniki badań endoskopowych w otworze nr 6 w przekopie głównym poz. 900 w KWK „Brzeszcze”

Głębokość [m]	Rodzaj skały	Głębokość występowania szczeliny [m]	Rozwarcie szczeliny [mm]
0,00÷1,10	iłowiec	0,40 – 1,10	9 szczelin o rozwarciach po 2
1,10÷1,80	mułowiec	1,17	4
		1,25	2
		1,30÷1,60	strefa spękań i szczelin
		1,70	4
		1,72	3
		1,75	5
1,80÷3,00	piaskowiec	1,90	1
		1,92	2
		1,95	1
		2,05	2
		2,10	4
		2,25	2
		2,40	8
		2,50	3
		2,55	1
		2,70	3
3,00÷3,20	iłowiec	brak szczelin	–
3,20÷3,50	węgiel		
3,50÷5,70	iłowiec	3,85	1
5,70÷7,00	piaskowiec	brak szczelin	–
7,00÷7,80	iłowiec		
7,80÷8,00	węgiel		
8,00÷9,60	iłowiec		
9,60÷10,0	piaskowiec		

6. Ocena intensywności i zasięgów zeszczelinowania skał

Uzyskane wyniki badań i pomiarów pozwalają na ocenę zasięgu i intensywności zeszczelinowania górotworu wokół wyrobisk górniczych oraz wnioskowanie o istnieniu sys-

temów szczelin połączonych ze sobą. Ze względów praktycznych w ocenie takiej należało się oprzeć na istniejących już klasyfikacjach górotworu, szczególnie górotworu karbońskiego, w którym wykonywane były wyrobiska górnicze. Jedną z nowszych takich klasyfikacji ze względu na występowanie nasilenia zeszczelinowania skał oraz zasięgów tego zeszczelinowania wokół korytarzowych wyrobisk górniczych jest podana w pracy [6] klasyfikacja Małkowskiego. Opiera się ona na wynikach badań endoskopowych i uwzględnia zasięg występowania szczelin, liczbę szczelin w zasięgu ich występowania oraz ich rozwarcie i przedstawia się następująco:

- | | |
|-----------|---|
| klasa I | górotwór nienaruszony — jakość doskonała (rozwarcie szczelin do kilku mm, zasięg spękań f_z do 0,5 m, całkowita liczba spękań I_s mniejsza od 10), |
| klasa II | górotwór blokowy — jakość bardzo dobra (rozwarcie szczelin S_s do 20 mm, zasięg spękań f_z do 1,5 m, całkowita liczba spękań mniejsza od 25), |
| klasa III | górotwór słabo spękany — jakość dobra (rozwarcie szczelin S_s do 80 mm, zasięg spękań f_z do 2,5 m, całkowita liczba spękań I_s mniejsza od 40), |
| klasa IV | górotwór spękany — jakość średnia (rozwarcie szczelin S_s do 150 mm, zasięg spękań f_z do 4,0 m, całkowita liczba spękań I_s mniejsza od 70), |
| klasa V | górotwór zniszczony — jakość słaba (rozwarcie szczelin S_s od 150 do 250 mm, zasięg spękań f_z do 6,0 m, całkowita liczba spękań I_s mniejsza od 100), |
| klasa VI | górotwór całkowicie zniszczony — jakość bardzo słaba (rozwarcie szczelin S_s powyżej 250 mm, zasięg spękań f_z powyżej 6,0 m, całkowita liczba spękań I_s powyżej 100). |

Nawiązując do tej klasyfikacji można stwierdzić, że wszystkie badane przypadki obejmują klasy I–VI. Ich zmienność jest oczywiście związana z rodzajem skały występującej w otoczeniu wyrobiska, jego wiekiem, ale przede wszystkim z odległością od jego konturu. Klasyfikacja Małkowskiego dotyczy uśrednionej jakości górotworu otaczającego wyrobisko korytarzowe w zasięgu strefy spękań — maksymalnie do około 10 m. Wynika z tego, że oprócz liczby I_s i sumarycznego rozwarcia S_s szczelin i stref spękań bardzo ważną rolę odgrywać powinien zasięg strefy spękań f_z . W tabeli 5 przedstawiono dla każdego z badanych otworów zestawienie wartości tych parametrów oraz odpowiadające im wg [6] klasy.

Już nawet pobieżna analiza danych zawartych w tabeli 5 wskazuje, że najbardziej niekorzystne klasyfikacje wynikają z zasięgów stref spękań f_z , a rozrzut wartości przedstawionych parametrów dla tego samego otworu (dla tego samego fragmentu górotworu w otoczeniu wyrobiska górniczego) może być bardzo duży. Skutkuje to dużym zróżnicowaniem kryterialnych wskazań, co do jakości górotworu, a w konsekwencji również także może wprowadzać mylne sugestie odnośnie np. warunków utrzymania wyrobisk, doboru ich obudowy, oceny szczelności górotworu dla potrzeb magazynowania w wyrobiskach substancji ciekłych lub gazowych itp. Przykładowo ze względu na wymogi szczelności zbiornika klasyfikację jakości górotworu (w kontekście jego spękania) należy odnosić do lokalnych stref górotworu wokół takiego wyrobiska.

TABELA 5

Kryterialna klasyfikacja wartości liczby spękań I_s , sumarycznego rozwarstwienia S_s oraz zasięgu spękań f_z dla badań endoskopowych

Lokalizacja miejsca badań			I_s	S_s , mm	f_z , m
			klasa wg [6]	klasa wg [6]	klasa wg [6]
KWK „Brzeszcze”	przekop główny poz. 900 m	otwór nr 1	$\frac{18}{II}$	$\frac{50}{III}$	$\frac{4,5}{V}$
		otwór nr 3	$\frac{3}{I}$	$\frac{3}{I}$	$\frac{1,9}{III}$
		otwór nr 5	$\frac{7}{I}$	$\frac{14}{II}$	$\frac{0,7}{II}$
		otwór nr 6	$\frac{32}{III}$	$\frac{78}{III}$	$\frac{3,85}{IV}$
	chodnik wentylacyjny śc. 107 w p. 405/1	otwór nr 1*	$\frac{19}{II}$	$\frac{38}{III}$	$\frac{0,9}{II}$
		otwór nr 2	$\frac{10}{II}$	$\frac{28}{III}$	$\frac{6,7}{VI}$
	pochylnia taśmowa śc. 107 w p. 405/1	otwór nr 1	$\frac{12}{II}$	$\frac{24}{III}$	$\frac{9,2}{VI}$
		otwór nr 2	$\frac{8}{I}$	$\frac{15}{II}$	$\frac{8,75}{VI}$
		otwór nr 3	$\frac{15}{II}$	$\frac{38}{III}$	$\frac{7,4}{VI}$
		otwór nr 4	$\frac{5}{I}$	$\frac{24}{II}$	$\frac{2,1}{III}$
		otwór nr 5	$\frac{9}{I}$	$\frac{33}{III}$	$\frac{5,9}{V}$
KWK „Jas – Mos”	pochylnia taśmowa równoległa śc. 40 p. 505/1	otwór nr 1	$\frac{5}{I}$	$\frac{14}{II}$	$\frac{1,0}{II}$
		otwór nr 2	$\frac{6}{I}$	$\frac{14}{II}$	$\frac{4,5}{V}$
		otwór nr 3	$\frac{16}{II}$	$\frac{32}{III}$	$\frac{5,0}{V}$
		otwór nr 5	$\frac{6}{I}$	$\frac{15}{II}$	$\frac{2,65}{IV}$
KWK „Silesia”	chodnik podstawowy p. 214/1-2	otwór nr 1	$\frac{1}{I}$	$\frac{2}{I}$	$\frac{2,3}{III}$
		otwór nr 2	$\frac{2}{I}$	$\frac{10}{II}$	$\frac{1,7}{III}$
		otwór nr 3	$\frac{2}{I}$	$\frac{3}{I}$	$\frac{4,3}{V}$

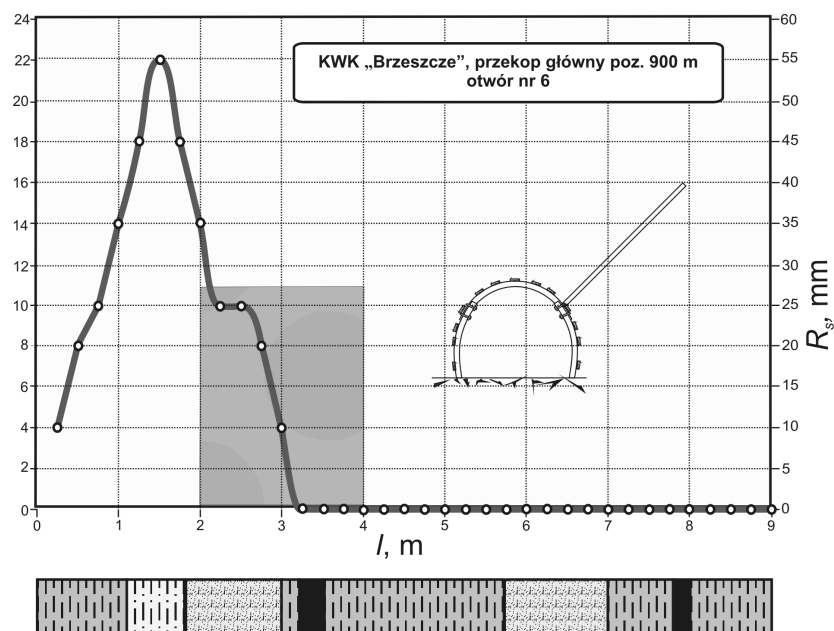
TABELA 5 cd.

Lokalizacja miejsca badań			I_s	S_s , mm	f_z , m
			klasa wg [6]	klasa wg [6]	klasa wg [6]
	przekop zachodni poz. IV	otwór nr 1	$\frac{2}{I}$	$\frac{7}{I}$	$\frac{0.95}{II}$
		otwór nr 2*	$\frac{8}{I}$	$\frac{18}{II}$	$\frac{0.8}{II}$
		otwór nr 3	$\frac{15}{II}$	$\frac{57}{III}$	$\frac{4.3}{V}$
		otwór nr 4	$\frac{15}{II}$	$\frac{55}{III}$	$\frac{4.2}{V}$
		otwór nr 5	$\frac{4}{I}$	$\frac{60}{III}$	$\frac{4.2}{V}$
KWK „Śląsk”	dowierzchnia 2, p. 502, stanowisko 1	otwór nr 1	$\frac{37}{III}$	$\frac{346}{VI}$	$\frac{6.6}{VI}$
		otwór nr 2	$\frac{23}{II}$	$\frac{81}{IV}$	$\frac{3.7}{IV}$
	dowierzchnia 3, p. 502, stanowisko 2	otwór nr 1	$\frac{33}{III}$	$\frac{251}{VI}$	$\frac{6.6}{VI}$
		otwór nr 2	$\frac{13}{II}$	$\frac{132}{IV}$	$\frac{3.5}{IV}$
		otwór nr 3	$\frac{8}{I}$	$\frac{114}{IV}$	$\frac{1.85}{III}$
		otwór nr 4	$\frac{136}{VI}$	$\frac{390}{VI}$	$\frac{7.9}{VI}$

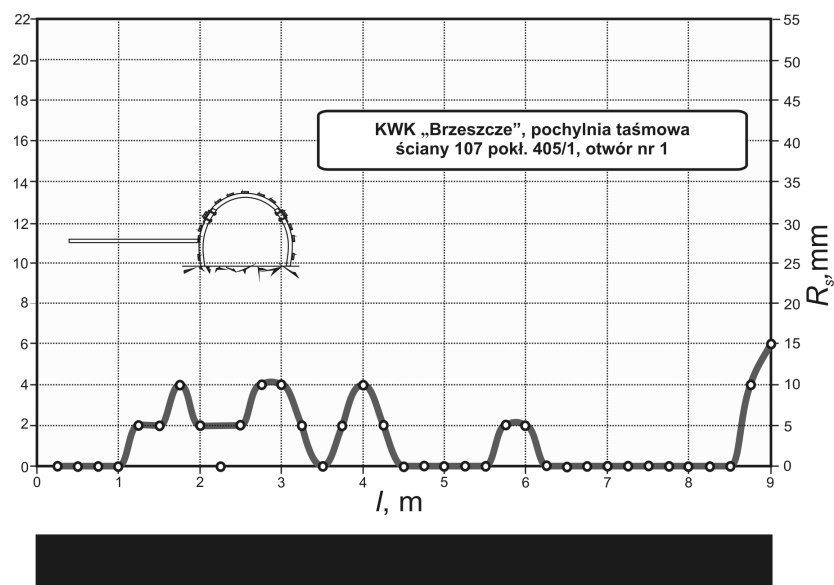
* otwór na dalszym odcinku nieodróżny.

Magazynowany gaz może przedostawać się poza zbiornik systemami połączonych ze sobą szczelin. Systemy takie mogą występować na przykład jedynie w obrębie wydzielonej warstwy skalnej (iłowca, węgla), lub też na kontakcie warstw. Wydaje się, że dokładniejszą informację o występowaniu takich możliwości można uzyskać poprzez analizę rozkładu wskaźnika gęstości spękań [5, 9] wokół wyrobiska. W związku z tym dla każdego badanego otworu obliczono wartości wskaźnika liniowej gęstości spękań Γ_L oraz wykonano wykres rozkładu tych wartości wzdłuż całej długości każdego otworu odniesionego do litologicznej budowy górotworu — przykładowe rysunki 9–14.

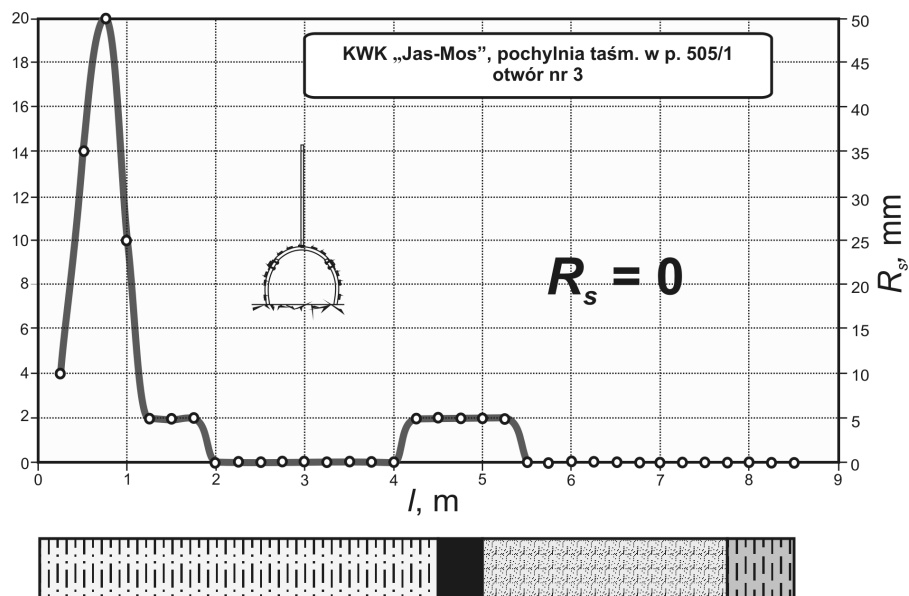
Dla tych przypadków, dla których wykonywane były badania aerometryczne, dodatkowo na odpowiednich wykresach zaznaczano przedziały wartości sumarycznego rozwarcia mających ze sobą połączenie szczelin R_s — stanowiących drogi przepływu powietrza. Zestawienie takie pozwala na ocenę stopnia powiązań (połączeń) występujących szczelin — parametr R_s wskazuje na istnienie jedynie połączonych ze sobą otwartych systemów szczelin.



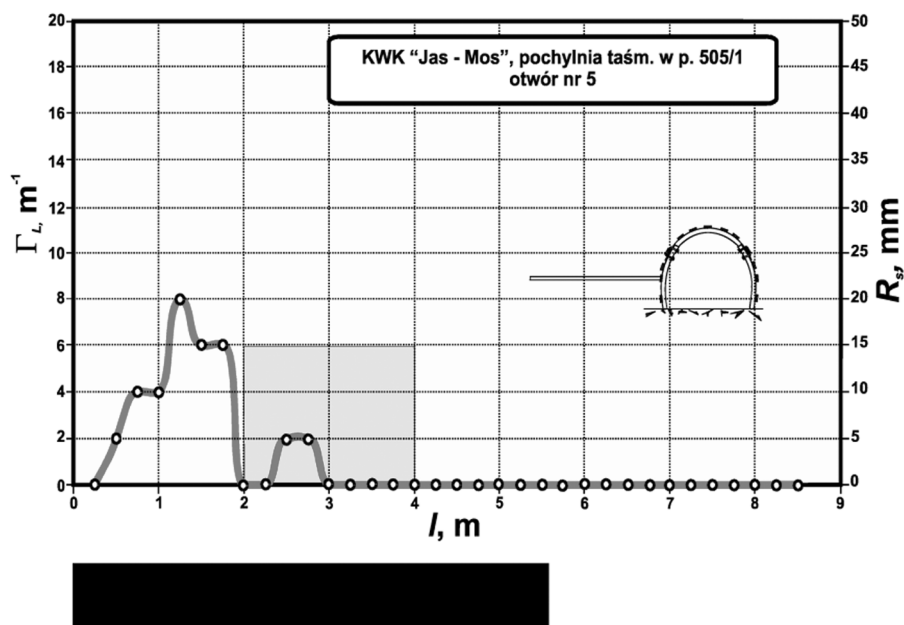
Rys. 9. Rozkład gęstości liniowej spękań oraz sumarycznego rozwarcia szczelin w otworze nr 6, przekop główny poz. 900 m, KWK „Brzeszcze”



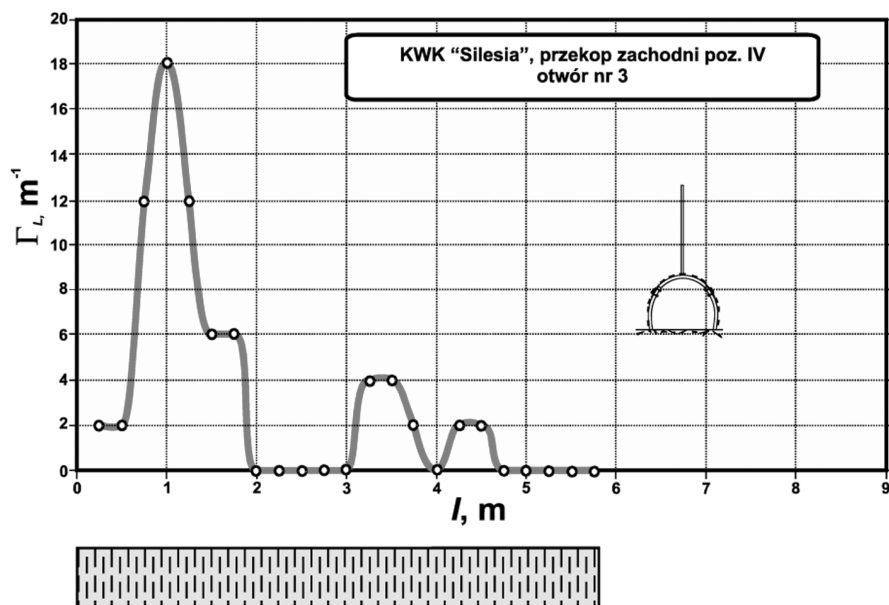
Rys. 10. Rozkład gęstości liniowej spękań w otworze nr 1, pochylni taśmowej, KWK „Brzeszcze”



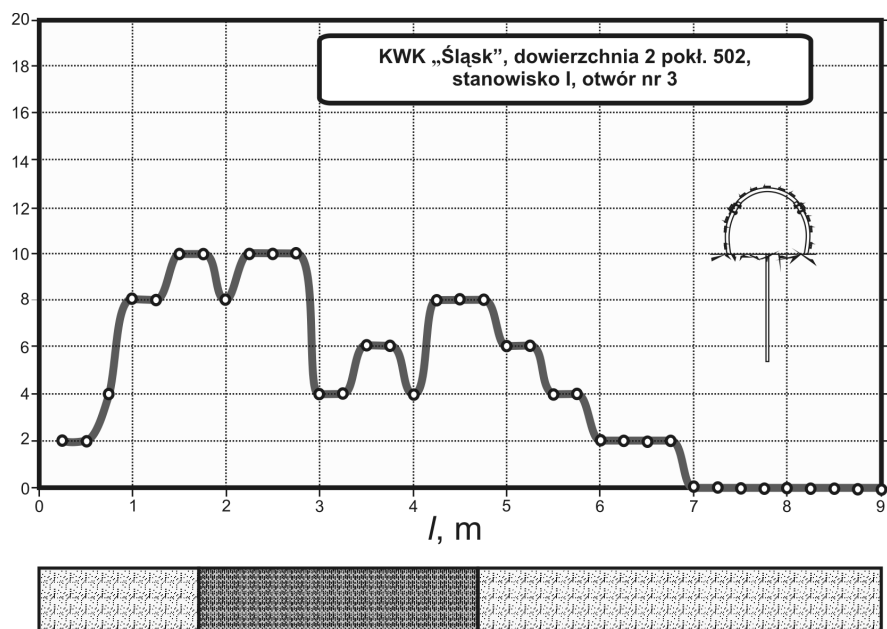
Rys. 11. Rozkład gęstości liniowej spękań oraz sumarycznego rozwarcia szczelin w otworze nr 3, pochylnia taśmowa, KWK „Jas-Mos”



Rys. 12. Rozkład gęstości liniowej spękań oraz sumarycznego rozwarcia szczelin w otworze nr 5, pochylnia taśmowa, KWK „Jas-Mos”



Rys. 13. Rozkład gęstości liniowej spękań w otworze nr 3, przekop zachodni poz. IV, KWK „Silesia”



Rys. 14. Rozkład gęstości liniowej spękań w otworze nr 3, dowierzchnia 2 w pokładzie 502, stanowisko I, KWK „Śląsk”

TABELA 6

Klasyfikacja szczelności górotworu karbońskiego w otoczeniu górniczych wyrobisk korytarzowych

Klasa szczelności	Ocena przydatności dla PMG	Charakterystyka szczelinowatości	Charakterystyka szczelności	Wymagania technologiczne
Klasa I	Górotwór szczelny; wyrobisko może spełniać funkcję PMG bez dodatkowego uszczelniania górotworu go otaczającego	Szczeliny nie występują lub występują pojedyncze, izolowane, szczeliny o rozwarciach nieprzekraczających 0,5 mm	Ciśnienie powietrza w otworze badawczym w trakcie badań areometrycznych utrzymuje się przez okres badania (2 minuty) na poziomie 0,3 MPa	Górotwór nie wymaga wykonywania jego uszczelnień
Klasa II	Górotwór naruszony; wyrobisko może spełniać funkcję PMG po wykonaniu zabiegów uszczelniających	Występują pojedyncze szczeliny o sumarycznym rozwarciu do 4 mm	Ciśnienie powietrza w otworze badawczym w trakcie badań areometrycznych w okresie do 2 minut obniża się do wartości 0,2 MPa	Górotwór wymaga lokalnych jego uszczelnień
Klasa III	Górotwór spękany; wyrobisko może spełniać funkcję PMG po wykonaniu zabiegów uszczelniających w całym jego otoczeniu	Występują szczeliny o sumarycznym rozwarciu do 20 mm	Ciśnienie powietrza w otworze badawczym w trakcie badań areometrycznych w okresie do 2 minut obniża się do wartości 0,05 MPa	Górotwór wymaga uszczelnienia na całym obwodzie wyrobiska
Klasa IV	Górotwór zniszczony; mogą występować trudności z zapewnieniem szczelności PMG pomimo wykonania zabiegów uszczelniających górotwór	Skały są intensywnie zeszczelinowane, występują strefy zruszone, a szczeliny posiadają sumaryczne rozwarcie większe od 20 mm	Ciśnienie powietrza w otworze badawczym w trakcie badań areometrycznych w okresie do 1 minuty obniża się do wartości 0,05 MPa	Górotwór wymaga uszczelnienia na całym obwodzie wyrobiska. Mogą występować trudności z jego uszczelnieniem

Bardziej szczegółowa analiza tych związków sugeruje, że pomiędzy występowaniem szczelin a szczelnością określaną metodą aerometryczną występuje wyraźna zależność. Występowanie nawet pojedynczych szczelin o minimalnej rozwartości najczęściej skutkowało „ucieczkami” powietrza z izolowanego odcinka otworu badawczego. Jednocześnie obserwowano również zwiększanie się tempa (prędkości) spadku ciśnienia wraz z narastaniem liczby szczelin i ich sumarycznej rozwartości. Od tego związku występowały nieliczne odstępstwa, lecz jedynie dla pojedynczych szczelin położonych w dużej odległości od odcinka wyrobiska. Występowały także sporadyczne przypadki szczelin izolowanych, które były wykazywane badaniami endoskopowymi, natomiast niepotwierdzone spadkami ciśnienia powietrza w trakcie badań aerometrycznych; np. otwór nr 3 z pochylni taśmowej w KWK „Jas-Mos” czy też otwór nr 5 z przekopu głównego poz. 900 m w KWK „Brzeszcze”.

Badane wyrobiska były zlokalizowane w zróżnicowanych warunkach litologii warstw tworzących ich otoczenie oraz w różnym „wieku”. Zasięgi stref spękań, stosownie do powyższego, były zróżnicowane; generalnie w przedziale od 0,7 do 9,2 m. Liczba, a przede wszystkim sumaryczna rozwartość wszystkich szczelin w zasięgu strefy spękań także była bardzo zmienna, zawierała się w granicach od 2 do około 390 mm. W przypadkach dużych wartości S_s wyraźnie zaznaczał się wpływ sąsiedniej w stosunku do wyrobiska tektoniki. Przykładem takim jest dowierzchnia 3 w pokładzie 502 w kopalni „Śląsk”, która była zlokalizowana w pobliżu uskoku o zrzućcie $75 \div 80$ m.

Na podstawie wyników tego typu badań i pomiarów można, w zależności od pożądanego celu, tworzyć klasyfikacje charakteryzujące przydatność górotworu do określonych potrzeb. Przykładowo, dla potrzeb budowy podziemnych magazynów gazu (PMG) propozycję klasyfikacji górotworu karbońskiego w otoczeniu górniczych wyrobisk w aspekcie potrzeby i możliwości jego uszczelniania przedstawiono w tabeli 6. Należy zaznaczyć, że podstawą tej klasyfikacji jest klasyfikacja zaproponowana w [6].

7. Podsumowanie

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań zasięgów i intensywności zeszczelinowania górotworu wokół górniczych wyrobisk korytarzowych. Obejmowały one:

- badania rozkładu szczelinowości skał wokół wybranych wyrobisk metodą endoskopową,
- pomiary rozwarcia szczelin metodą aerometryczną,
- ocenę gęstości liniowej spękań.

Badania dołowe zrealizowano na 8 stanowiskach badawczych w 4 kopalniach: „Brzeszcze”, „Silesia”, „Jas-Mos” i „Śląsk” prowadząc obserwacje i pomiary w 31 otworach badawczych. Dla oceny wartości rozwarcia systemów połączonych ze sobą szczelin zmodyfikowano urządzenie i metodykę badań aerometrycznych w otworach wiertniczych. Zakres zmian przedstawiono w artykule.

Uzyskane wyniki tych badań oraz dokonana ich analiza pozwalają na sformułowanie następujących stwierdzeń i wniosków:

- 1) Zasięgi stref spękań wokół badanych wyrobisk korytarzowych wynosiły od 0,7 m do 9,2 m i były zależne przede wszystkim od warunków lokalizacji wyrobiska — rodzaju skał, wieku wyrobiska, występowania zaburzeń tektonicznych w jego pobliżu.
- 2) Nasilenie występowania szczelin w zasięgach stref spękań było zróżnicowane i kwalifikowało górotwór w obrębie tych stref do wszystkich VI klas jakości górotworu określanych na podstawie badań endoskopowych [6].
- 3) Korelacja wyników badań endoskopowych z wynikami badań aerometrycznych pozwala na tworzenie klasyfikacji górotworu uwzględniających użytkowe przeznaczenie wykonanych w nim wyrobisk. Przykładem takiej oceny jest propozycja klasyfikacji przydatności otoczenia wyrobisk górniczych do spełniania przez nie funkcji podziemnych magazynów gazu i cieczy. Proponowaną klasyfikację podano w tablicy 6.
- 4) Przedstawione w artykule informacje mogą być wykorzystywane do prognozowania stanów zagrożeń górniczych, doboru obudowy wyrobisk, określania warunków ich utrzymania itp.

LITERATURA

- [1] Barton N., Lien R., Lunde J.: Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mechanics*, No. 6, 1974
- [2] Deere D.U.: Technical description of rock cores for engineering purposes. *Festmechanik und Ingenieurgeologie*. Vol. 1, No. 1, 1963
- [3] Kabiesz J., Konopko W.: Deformacje chodnika przyścianowego przed postępującym frontem ściany. *Prace Naukowe Instytutu Geotechniki i Hydrotechniki Politechniki Wrocławskiej*, nr 69, seria Konferencje, nr 36. Wrocław, 1995
- [4] Kidybiński A., Biliński A.: Zależność występowania łupności skał karbońskich od warunków naturalnych środowiska. *Prace GIG, Komunikat*, nr 266. Katowice, 1960
- [5] Kidybiński A.: Podstawy geotechniki kopalnianej. Katowice, Wydawnictwo „Śląsk” 1982
- [6] Malkowski P.: Obserwacje stref spękań wokół wyrobisk korytarzowych dla oceny jakości górotworu. *Materiały XXVII ZSMG „Geotechnika i budownictwo specjalne*. Zakopane, UWND AG. 2004
- [7] Pawłowicz K.: Rozkład powierzchni osłabionej spójności w skałach, metoda oznaczania trwałości i próba klasyfikacji stropów pokładów węgla w GZW. *Prace GIG. Komunikat*, nr 429. Katowice, 1967
- [8] Pilecki Z.: Metody oceny zachowania się masywu skalnego wokół wyrobiska podziemnego. *Studia Rozprawy Monografie* 59. PAN Sigmie. Kraków, 1999
- [9] Ryncarz T.: Zarys fizyki górotworu. Katowice, Śląskie Wydawnictwo Techniczne 1993
- [10] Stopyra M.: Pomiary spękań ociosów dla oceny ich stateczności. *Przegląd Górniczy*, nr 1, 1974