

Ocena szczelinowatości górotworu *in situ* – porównanie wyników uzyskanych metodą aerometryczną oraz za pomocą badań introskopowych

Testing of in-situ rock mass fracturing – comparison of the results obtained by aerometric method and introsopic method



Dr inż. Jacek Myszkowski *)



Mgr inż. Grzegorz Merta*)



Mgr inż. Aleksander Frejowski*)

Treść: W artykule podano wstępne wyniki badań szczelinowatości w pokładzie węgla za pomocą metody introskopowej oraz przy użyciu sondy aerometrycznej. Metody te charakteryzują się odmienną zasadą działania, bowiem wykorzystują różne zjawiska fizyczne. Uzyskane wyniki wskazują, że zastosowanie metody aerometrycznej stwarza możliwość określenia powierzchni i rozwarcia szczelin w badanym odcinku górotworu, natomiast nie ma możliwości określenia tą metodą dokładnej pozycji pojedynczego spękania. Taką cechą charakteryzuje się kamera introskopowa. Wykorzystanie obu tych metod w tym samym otworze wiertniczym powoduje, że uzyskane informacje są pełne i pozwalają z dużo większą dokładnością scharakteryzować sieć spękań wokół wyrobiska zarówno, co do lokalizacji, jak i ich wielkości.

Abstract: The article presents preliminary results of underground testing of fracturing in coal seam using a borehole camera (introsopic method) and using an aerometric probe. These methods are characterized by different working principle, in fact use various physical phenomena. The results show that the method of aerometric probe gives the possibility of determining the areas and gapes of the fractures in the test section of the rock mass, while it is not possible to determine the precise position of a single fracture, such a feature of the introsopic method. The use of both methods in the same borehole causes the obtained information are complete and allows much more accurately describe the system of cracks around the excavation, both as to location and size.

Słowa kluczowe:

górotwór, szczelinowatość, badania

Key words:

rock mass, fracturing, testing

1. Wprowadzenie

Górotwór w warunkach naturalnych (nienaruszony działalnością górniczą) charakteryzuje się naturalną siecią nieciągłości. Można tu wymienić np. szczeliny syngenezy, uskoki, spękania, szczeliny itp. Ich geneza związana jest z naturalnym polem naprężeń, jakie powstało w trakcie procesów geologicznych podczas kształtowania się skorupy ziemskiej do obecnych czasów. Działalność górnicza narusza ten stan, powodując tworzenie się w skałach spękań i szczelin wtórnych, które powstają w wyniku prowadzonych robót górniczych. Szczelinowatość skał jest zatem cechą strukturalną górotworu, która zmienia się wraz z ingerencją w górotwór,

a ma jednocześnie wpływ na migracje wody oraz gazów w górotworze, jest też jednym z czynników determinujących prowadzoną eksploatację. W związku z tym istotna jest ocena szczelinowatości górotworu – prowadzona najlepiej w warunkach *in situ*. W górnictwie podziemnym stosowane są m.in. badania szczelinowatości górotworu – zarówno metodą introskopową (Merta, Frejowski 2015, Merta, Myszkowski 2004, Młynarczuk, Wierzbicki 2014), jak i przy zastosowaniu sondy aerometrycznej (Friedland 1965, Gwiazda, Hładysz 1973, Niemiec 2001, Nierobisz 2014).

Takie badania, przy wykorzystaniu autorskich metod, prowadzone są w Zakładzie Tapań i Mechaniki Górotworu GIG w Katowicach. W artykule dokonano porównania wyników oceny szczelinowatości górotworu przy użyciu wyżej wymienionych metod.

*) Główny Instytut Górnictwa, Katowice

2. Szczelinowatość jako cecha charakteryzująca górotwór

Uwarstwiony górotwór karboński, w stanie nienaruszonym eksploatacją podziemną, charakteryzuje się występowaniem w nim systemów nieciągłości związanych zarówno z jego budową litologiczną, jak i cechami strukturalnymi oraz tekturnymi budujących go skał (Kabiesz, Patyńska R. 2009).

Szczelinowatość, wynikająca z występowania w skale systemu spękań i szczelin, zazwyczaj łączących się ze sobą, jest, oprócz porowatości, wodochłonności i odsączalności jedną z podstawowych właściwości hydrogeologicznych skał. Pojęcie szczelinowatości odnosi się do większości skał zwięzłych, a jej cechą charakterystyczną jest obecność sieci spękań i szczelin. Szczeliny różnią się od spękań tym, iż mają pewną mierzalną cechę zwaną rozwartością (Rogoż 2007).

Ze względu na genezę wyróżnia się szczeliny syngenezy (powstałe w procesach formowania się skał, w skałach osadowych są one zazwyczaj prostopadłe do uławicenia), tektoniczne (powstałe w wyniku naprężeń ściskających i rozciągających), dzielące się na diaklasy (szczeliny tektoniczne, w których nie doszło do przesunięcia skał, a jedynie do odspojenia) i na paraklasy (szczeliny tektoniczne, w których doszło zarówno do przesunięcia skał, jak i ich odspojenia) oraz na szczeliny o genezie wietrzeniowej (szczeliny powstałe w wyniku procesów erozyjnych). W górotworze, w którym prowadzona jest eksploatacja górnicza, mogą natomiast powstawać szczeliny eksploatacyjne, będące wynikiem zmiany stanu naprężeń spowodowanej działalnością górniczną.

Odwzorowanie orientacji spękań i szczelin prowadzi się najczęściej w formie tzw. róży spękań lub w formie sferycznej, czyli w postaci wykresu dającego informację o parametrach geometrycznych spękań (azymut biegu, azymut kierunku upadu) oraz częstotliwości występowania spękań w poszczególnych przedziałach od 0 do 360°.

Oprócz geometrycznej orientacji spękań i szczelin istotnym czynnikiem jest ich ilość w stosunku do rozpatrywanej długości, powierzchni czy też objętości (Kidybiński 1982). Można zatem wyróżnić następujące wskaźniki szczelinowatości:

- liniowy, wyrażający liczbę spękań/szczelin na jednostkę długości, np. w otworze wiertniczym,
- powierzchniowy, wyrażający liczbę spękań/szczelin na jednostkę powierzchni, np. na ociosie chodnika,
- przestrzenny, wyrażający liczbę spękań/szczelin na jednostkę objętości skały.

Istnieje kilka klasyfikacji określenia szczelinowatości skał. Można tutaj m.in. wymienić: klasyfikacje geofizyczne – gdzie ustalone kryteria klasyfikacji stopnia spękań warstw skalnych bazują na pomiarach prędkości fal sejsmicznych (Dubieński J. 1989, Sjögren i in. 1979). Ich zastosowanie wymaga prowadzenia badań geofizycznych,

- klasyfikacja wg Kabiesza i Patyńskiej (2009) – propozycja klasyfikacji przydatności otoczenia wyrobisk górnicznych

do spełniania przez nie funkcji podziemnych magazynów gazu i cieczy,

- klasyfikacja wg Kidybińskiego (1982),
- klasyfikacja wg Małkowskiego (2004).

Spośród przytoczonych klasyfikacji najpopularniejszymi są dwie ostatnie. Pierwsza z nich określa następujące klasy skał:

- klasa I – skały niespękane nie wykazują szczelin otwartych, a szczeliny zamknięte nie występują w odstępach większych niż 0,5 m,
- klasa II – skały mało spękane z widocznymi otwartymi szczelinami o rozwarciu poniżej 2 mm, wydzielone szczelinami bloki, są większe od 20 cm i nie są przesunięte względem siebie,
- klasa III – skały mocno spękane z widocznymi otwartymi szczelinami o rozwarciu 2÷10 mm, wydzielone szczelinami bloki, są wielkości 8÷20 cm i nie są przesunięte względem siebie,
- klasa IV – skały bardzo mocno spękane z widocznymi otwartymi szczelinami o rozwarciu większym niż 10 mm, wydzielone szczelinami bloki, są poniżej 8 cm i są przesunięte względem siebie.

Drugą ze stosowanych klasyfikacji jest klasyfikacja Małkowskiego (Małkowski 2004). Opiera się ona na wynikach badań introskopowych i uwzględnia zasięg występowania szczelin, liczbę szczelin w zasięgu ich występowania oraz ich rozwarcie i przedstawia się następująco (tab. 1):

3. Pomiary przy użyciu sondy aerometrycznej

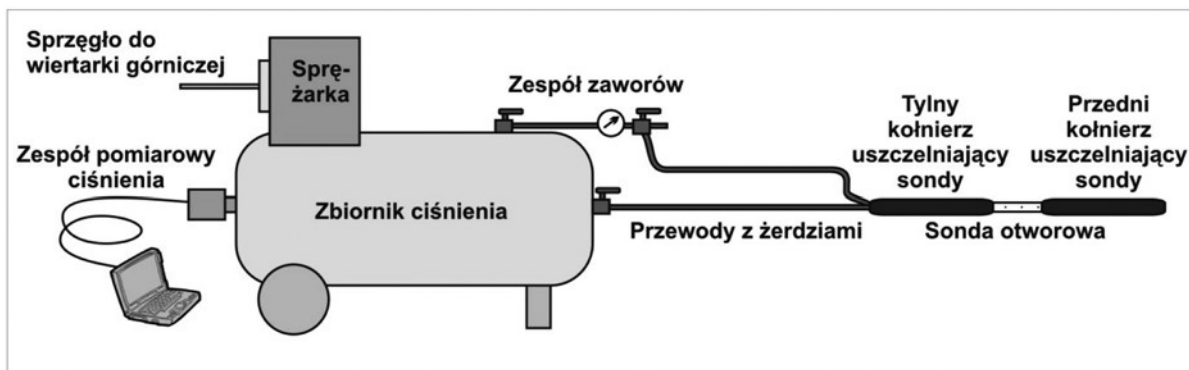
Badania szczelinowatości w pokładzie 310 w KD „Barbara” wykonano za pomocą aparatury aerometrycznej (rys. 1), która składa się z sondy pomiarowej oraz elementów sterowania i kontroli. Do części składowych aparatury znajdującej się w wyrobisku chodnikowym należą: zbiornik, w którym ciśnienie powietrza wytwarzane jest za pomocą sprężarki napędzanej wiertarką górniczną, zespół zaworów służących do sterowania ciśnieniem powietrza oraz aparatura pozwalająca rejestrować zmiany wartości ciśnienia w czasie (laptop dołowy z kartą pomiarową i czujnikiem ciśnienia). Cyfrowa rejestracja zmian ciśnienia pozwala rejestrować uzyskane wyniki z dużą dokładnością.

Sondę pomiarową w otworze badawczym umieszcza się za pomocą tyczek, obok których wprowadza się również dwa przewody ciśnieniowe. Służą one do tłoczenia powietrza osobno do dwóch kołnierzy uszczelniających oraz do odcinka sondy znajdującego się pomiędzy nimi. Pomiar intensywności spękań i szczelin na długości otworu zawartego pomiędzy rozpartymi kołnierzami uszczelniającymi polega na określeniu czasu spadku ciśnienia w układzie „zamkniętym” utworzonym przez zbiornik, jeden z przewodów ciśnieniowych oraz odcinek otworu wiertniczego. Czas spadku ciśnienia w powyższym układzie jest proporcjonalny do wielkości i ilości szczelin znajdujących się na badanym odcinku otworu.

Tabela 1. Klasyfikacja szczelinowatości górotworu wg Małkowskiego (2004)

Table 1. Classification of rock mass fracturing by Małkowski (2004)

Klasa	Opis górotworu	Jakość górotworu	Rozwarcie szczelin S_s	Zasięg spękań f_s	Całkowita liczba spękań I_s
I	Górotwór nienaruszony	Doskonała	Do kilku mm	Do 0,5 m	Poniżej 10
II	Górotwór blokowy	Bardzo dobra	Do 20 mm	Do 1,5 m	Poniżej 25
III	Górotwór słabo spękany	Dobra	Do 80 mm	Do 2,5 m	Poniżej 40
IV	Górotwór spękany	Średnia	Do 150 mm	Do 4 m	Poniżej 70
V	Górotwór zniszczony	Słaba	Od 150÷250 mm	Do 6 m	Poniżej 100
VI	Górotwór całkowicie zniszczony	Bardzo słaba	Powyżej 250mm	Powyżej 6 m	Powyżej 100



Rys. 1. Schemat aparatury aerometrycznej do pomiaru szczelinowatości górotworu
 Fig. 1. Scheme of aerometric probe for testing of rock mass fracturing

Pomiar czasu spadku ciśnienia powietrza w wyżej opisanym układzie mierzony jest w zakresie wartości 0,40÷0,25 MPa i pozwala oznaczyć następujące parametry:

- otwór równoznaczny spękania S_o – rozumiany jako sumaryczna wartość powierzchni spękań znajdujących się w pobocznicy otworu wiertniczego na długości badanego odcinka (wyrażany w mm²),
- wskaźnik szczelinowatości K_s – wyrażający sumaryczny współdział powierzchni szczelin dla pola powierzchni poboczniczy badanego odcinka górotworu (wyrażony w ‰ lub ‰),
- sumaryczna rozwartość szczelin R_s – określona na odcinku pomiarowym otworu (w mm).

Wartości tych parametrów obliczane są na podstawie następujących funkcji empirycznych:

- otwór równoznaczny spękania S_o

$$S_o = \frac{39,866}{0,7169 \cdot t - 1}, \text{ mm}^2 \quad (1)$$

gdzie:

39,866 mm²; 0,7169 1/s – stałe cechowania przyrządu
 t – zmierzony czas spadku ciśnienia powietrza.

- wskaźnik szczelinowatości K_s

$$K_s = \frac{1000 \cdot S_o}{46158}, \% \quad (2)$$

gdzie:

S_o – otwór równoznaczny spękania, mm²,
 1000 – stała do przeliczeń promilowych,

- 46158 – powierzchnia poboczniczy walca badanego odcinka otworu mm² o średnicy 49 mm,
- sumaryczna rozwartość szczelin R_s

$$R_s = \frac{S_o}{154}, \text{ mm} \quad (3)$$

gdzie:

154 mm – obwód otworu badanego o średnicy 49 mm.

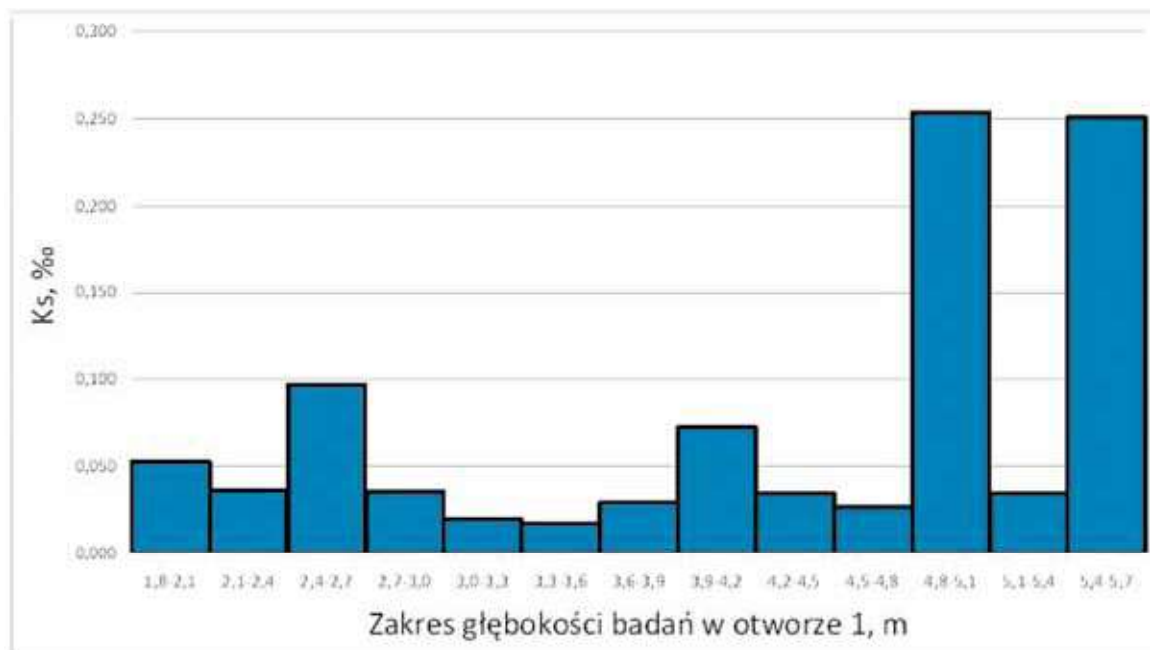
Badania za pomocą wyżej opisanej aparatury i metody przeprowadzono w dwóch otworach wiertniczych o długości około 6 oraz 9 metrów oraz średnicy 49 mm. Otwory te były wykonane jako poziome. Poniżej podano wyniki pomiarów szczelinowatości za pomocą metody aerometrycznej w tych otworach.

Analizując uzyskane wyniki stwierdzono, że pokład węgla w otoczeniu otworu nr 1 charakteryzował się niskim wskaźnikiem szczelinowatości K_s . Wartość tego wskaźnika na odcinku otworu do 4,6 zawierała się w granicach od 0,017‰ do maksymalnie do 0,097‰. Świadczy to o występowaniu szczelin w górotworze o sumarycznym rozwarceniu na poszczególnych odcinkach pomiarowych nie większym niż 0,025 mm. Na pozostałym odcinku tego otworu, tj. od głębokości ok. 4,6 m do końca wartość wskaźnika szczelinowatości pokładu węgla była ponaddwukrotnie większa i wynosiła 0,25‰. Odpowiada to sumarycznemu rozwarceniu szczelin rzędu 0,07 mm na poszczególnych odcinkach badawczych otworu (rys. 2, tab. 2).

Tabela 2. Wyniki badań sondą aerometryczną w otworze nr 1

Table 2. Test results by aerometric probe in borehole no. 1

Długość otworu, m	Wybrane parametry charakteryzujące stan spękania poboczniczy otworu nr 1			
	Czas spadku ciśnienia, s	S_o , mm ²	K_s , ‰	R_s , mm
1,8÷2,1	29,25	2,00	0,053	0,014
2,1÷2,4	41,81	1,38	0,036	0,010
2,4÷2,7	16,59	3,66	0,097	0,025
2,7÷3,0	43,18	1,33	0,035	0,009
3,0÷3,3	77,24	0,73	0,019	0,005
3,3÷3,6	88,98	0,63	0,017	0,004
3,6÷3,9	51,37	1,11	0,029	0,008
3,9÷4,2	21,72	2,74	0,072	0,019
4,2÷4,5	43,85	1,31	0,035	0,009
4,5÷4,8	56,09	1,02	0,027	0,007
4,8÷5,1	7,19	9,60	0,254	0,066
5,1÷5,4	43,97	1,31	0,035	0,009
5,4÷5,7	7,26	9,48	0,251	0,066



Rys. 2. Rozkład wskaźnika szczelinowości [K_s] wzdłuż osi otworu badawczego nr 1
Fig. 2. Distribution of rock mass fracturing index [K_s] along the axis of borehole no. 1

Tabela 3. Wyniki badań sondą aerometryczną w otworze nr 2

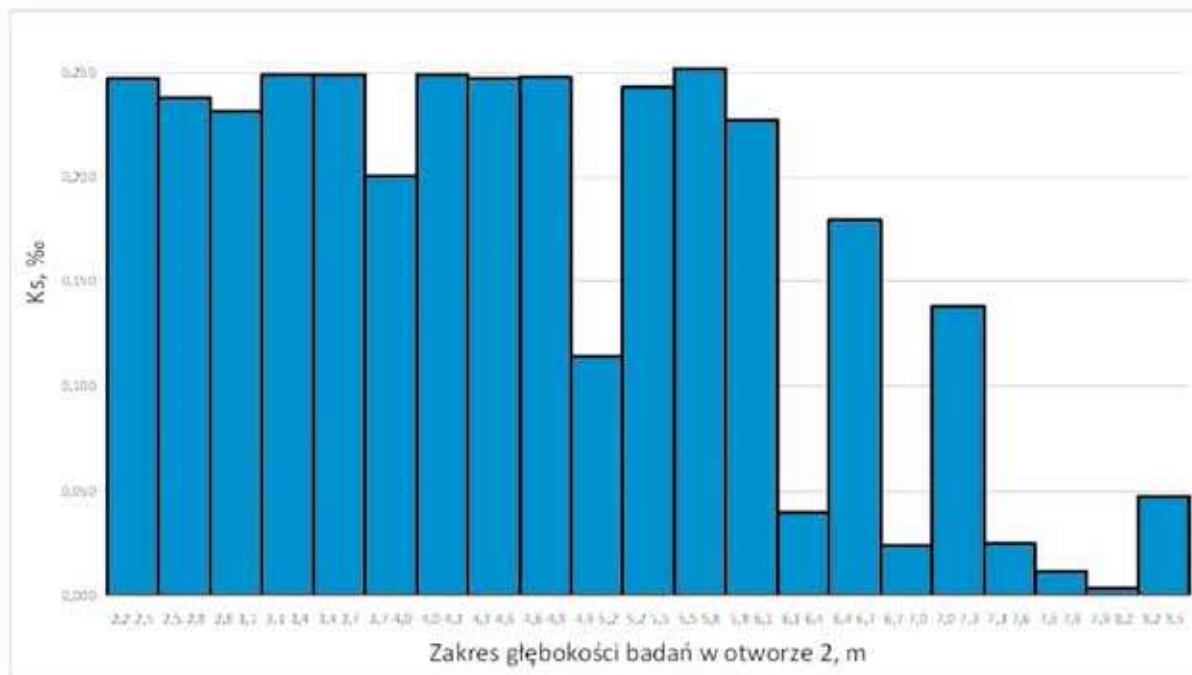
Table 3. Test results by aerometric probe in borehole no. 1

Długość otworu, m	Wybrane parametry charakteryzujące stan spękania poboczniczy otworu nr 2			
	Czas spadku ciśnienia, s	S ₀ , mm ²	K _s , ‰	R _s , mm
2,2÷2,5	7,36	9,32	0,247	0,065
2,5÷2,8	7,59	8,98	0,237	0,062
2,8÷3,1	7,75	8,75	0,231	0,061
3,1÷3,4	7,31	9,40	0,249	0,065
3,4÷3,7	7,31	9,40	0,249	0,065
3,7÷4,0	8,73	7,58	0,201	0,052
4,0÷4,3	7,31	9,40	0,249	0,065
4,3÷4,6	7,35	9,34	0,247	0,065
4,6÷4,7	7,34	9,35	0,247	0,065
4,9÷5,2	14,28	4,32	0,114	0,030
5,2÷5,5	7,45	9,18	0,243	0,064
5,5÷5,8	7,24	9,51	0,252	0,066
5,8÷6,1	7,87	8,59	0,227	0,059
6,1÷6,4	38,34	1,51	0,040	0,010
6,4÷6,7	9,59	6,79	0,179	0,047
6,7÷7,0	63,41	0,90	0,024	0,006
7,0÷7,3	12,07	5,21	0,138	0,036
7,3÷7,6	60,87	0,93	0,025	0,006
7,6÷7,9	126,15	0,45	0,012	0,003
7,9÷8,2	421,56	0,13	0,004	0,001
8,2÷8,5	32,39	1,79	0,047	0,012

W przypadku badań prowadzonych w otworze nr 2 stwierdzono, że jego otoczenie charakteryzowało się znacznie większą szczelinowością, niż miało to miejsce w przypadku poprzedniego badania (otwór nr 1). Do głębokości ok. 5,8 m wartość wskaźnika szczelinowości pokładu węgla wynosiła ok. 0,25%. Odpowiada to rozwarciu szczelin na poszczególnych odcinkach pomiarowych rzędu 0,06 mm. Spadek wartości wskaźnika szczelinowości do 0,114% wystąpił w odległości ok. 5 m, licząc od wlotu otworu badawczego. W dalszej części badanego otworu, wartość wskaźnika K_s maleje, osiągając w końcowym odcinku otworu najniższą wartość rzędu 0,001% (rys. 3, tab. 3).

4. Badania przy użyciu kamery introskopowej

Istota badań introskopowych polega na wizualnej penetracji wnętrza otworu wiertniczego przy pomocy zminiaturyzowanej kamery (rys. 4), umieszczonej wewnątrz metalowego korpusu o średnicy 35 mm. Korpus kamery wprowadza się do otworu wiertniczego na lekkich, bagnetowo łączonych tyczkach. Widok obserwowanej w danej chwili ścianki otworu przekazywany jest do monitora zintegrowanego z cyfrowym rejestratorem video. Możliwe jest uzyskanie powiększenia obrazu badanego obiektu, co pozwala badać defekty materiałowe, o rozmiarach rzędu 0,1 mm. Możliwość nagrywania



Rys. 3. Rozkład wskaźnika szczelinowości [K_s] wzdłuż osi otworu badawczego nr 2
 Fig. 3. Distribution of rock mass fracturing index [K_s] along the axis of borehole no. 2



Rys. 4. Aparatura do badań introskopowych
 Fig. 4. The tools for intrascopic tests

komentarza dźwiękowego znacznie poszerza zakres analizy danych.

Badania przy pomocy kamery introskopowej wykonano w tych samych otworach, w których wcześniej wykonano

pomiary z zastosowaniem sondy aerometrycznej. Metodyka badań oraz wykorzystany sprzęt badawczy przedstawiono m. in. (Merta, Myszkowski 2004, Merta, Frejowski 2015). Opis uzyskanych wyników przedstawiono w tab. 4 i 5.

Badania introskopowe wykonane w otworze nr 1 wykazały, że pobocznicą tego otworu, praktycznie na całej długości jest gładka, a węgiel posiada jednolitą strukturę. Na całej długości badanego otworu zaobserwowano jedynie dwie wyraźnie zaznaczone szczeliny (wyrwy) o rozwarciu rzędu 5 mm (tab. 4). Na dnie badanego otworu zalegały w niewielkiej ilości zwierciny o drobnej granulacji.

Badania introskopowe wykonane w drugim otworze wykazały, że jego pobocznicą jest niejednorodna na długości 6,5 m licząc od wlotu. Na tym odcinku stwierdzono występowanie szeregu, zarówno drobnych spękań w caliznie węglowej, jak i obecność wyrw i szczelin. Powyżej 6,5 m pobocznicą otworu była gładka i pozbawiona spękań. Od odległości 7,4 m stwierdzono występowanie łupku ilastego (tab. 5). W otworze badawczym nr 2 praktycznie na całej jego długości występowały drobne zwierciny, co powodowało, że niemożliwa była obserwacja dna otworu, a jedynie bocznych ścianek oraz górnej jego części. Obecność zwiercin powodowała zasłanianie części obserwacyjnej głowicy, uniemożliwiając tym samym obserwacje.

Tabela 4. Charakterystyka otworu badawczego nr 1 na podstawie badań introskopowych
 Table 4. Characteristic of borehole no. 1 based of intrascopic tests

Długość otworu, m	Opis poboczniczy otworu
0,6 ÷ 4,0	Gładkie ścianki otworu, brak spękań, węgiel zwięzły o jednolitej strukturze
4,0	Wyraźna szczelina, wyrwa w poboczniczy otworu
4,6 ÷ 4,9	Nierówne ścianki otworu, wyraźnie widoczna struktura węgla, duże ilości zwiercin w otworze
5,2	Wyraźna szczelina, wyrwa
5,4	Koniec otworu (zator)

Tabela 5. Charakterystyka otworu badawczego nr 2 na podstawie badań introskopowych
Table 5. Characteristic of borehole no. 2 based of introsopic tests

Długość otworu, m	Opis poboczniczy otworu
1,1	Wyraźna szczelina wypełniona drobnymi fragmentami węgla
1,4	Szczelina o rozwarciu ok. 5 mm z drobnymi fragmentami węgla
1,48	Wyraźna szczelina, występują drobne okruchy węgla
1,7	Drobne spękania węgla
1,8	Drobne spękania węgla
2,0	Wyraźna szczelina, widoczna struktura węgla
2,2	Szczelina o niewielkim rozwarciu, ok. 2 mm
2,35	Drobna szczelina o rozwarciu ok. 1 mm
2,45	Wyraźna szczelina, występują drobne okruchy węgla
2,7	Dobna szczelina (wyrwa w ścianie otworu)
3,4	Ścianki otworu nierówne, poszarpane, wyraźna szczelina
3,75	Drobna wyrwa w poboczniczy otworu
4,2	Wyrwy w poboczniczy otworu
4,8	Wyrwa w poboczniczy otworu
5,5	Wyrwa w poboczniczy otworu
6,4	Nierówne ścianki otworu, wtrącenia pirytu
6,5 , 7,4	Pobocznica otworu gładka, brak spękań
7,4 , 8,1	Początek warstwy łupku ilastego, brak spękań, pobocznica otworu gładka
8,1	Koniec otworu (zator)

5. Porównanie wyników metod badawczych

Powyżej przedstawiono wyniki badań szczelinowatości górotworu, analizując dane uzyskane przy pomocy dwóch metod, tj. aerometrycznej oraz introskopowej. Metody te zasadniczo różnią się zarówno pod względem zasady działania, jak też i formy uzyskiwanych wyników.

Metoda aerometryczna pozwala określić stopień spękania (zeszczelinowania) górotworu na podstawie czasu spadku ciśnienia powietrza wtłaczanego do górotworu. Założeniem tej metody jest zasada, że im większy jest stopień spękania górotworu, tym czas spadku ciśnienia powietrza jest krótszy. Metoda ta nie pozwala jednak na wizualizację wnętrza otworu badawczego, a tym samym nie jest możliwe stwierdzenie, czy wysoka wartość wskaźnika szczelinowatości wynika z istnienia wyraźnych szczelin w całości, czy też jest skutkiem większej liczby drobnych spękań o nieznacznych rozwarciach.

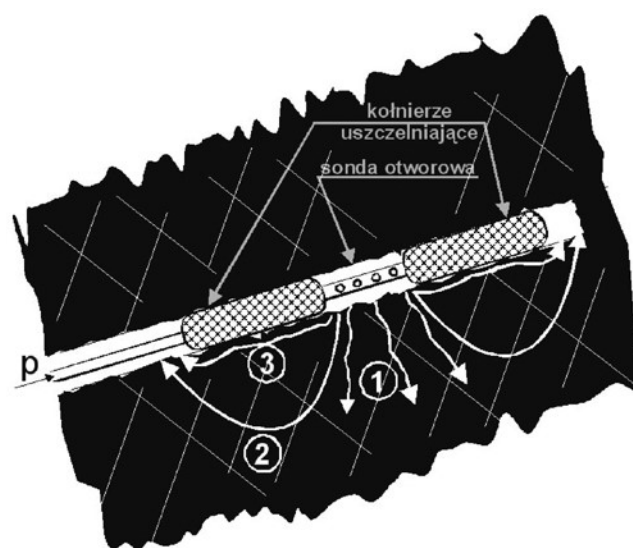
Metoda introskopowa umożliwia wizualizację wnętrza badanych otworów, umożliwiając tym samym dokładne określenie nawet drobnych spękań o wielkości rzędu 1 mm, przy spełnionym warunku dobrej widoczności. Nie pozwala natomiast określić rzeczywistej ich głębokości, co szczególnie dotyczy spękań o rozwarciu rzędu do kilkunastu milimetrów. Jest to istotna wada tej metody, ponieważ nie można stwierdzić, czy obserwowana pustka jest szczeliną o głębokim zasięgu, czy też wyłącznie lokalną wyrwą w otworze o niewielkiej głębokości.

W przypadku otworu badawczego nr 1 można dopatrzeć się pewnej korelacji wyników obydwu badań. Zauważyć można, że na odcinku otworu do głębokości ok. 4,5 m nie występują żadne szczeliny, ani spękania poboczniczy otworu. Badania aerometryczne w dużym stopniu korelują się z tymi obserwacjami i wykazały, że na tym odcinku wskaźnik szczelinowatości K_s osiąga bardzo niskie wartości wynoszące $0,027 \pm 0,035\%$. W końcowej części tego otworu występuje natomiast wyraźnie zaznaczona szczelina w poboczniczy otworu. Badania aerometryczne potwierdzają fakt jej występowania, wartość wskaźnika szczelinowatości osiąga w tym miejscu najwyższe wartości.

Nieco inna sytuacja występuje w drugim otworze badawczym. Na całej długości tego otworu pobocznica otworu jest

nierówna, występują drobne wyrwy o niewielkich rozmiarach. Sporadycznie występują lokalne szczeliny o niewielkim rozwarciu i prawdopodobnie niewielkiej głębokości. Pomimo to badania aerometryczne wykazały, że na przeważającej długości otworu, tj. do około 6,5 m wartość wskaźnika K_s jest wysoka, rzędu 0,25%. W tym przypadku, faktu tego nie można wiązać z występowaniem wyraźnych, widocznych szczelin w górotworze. O ile wokół tego otworu występują szczeliny, to ich rozwarcie jest tak niewielkie, że zaobserwowanie ich przy pomocy kamery introskopowej jest niemożliwe.

Próbując wyjaśnić mechanizm ww. zjawisk można pokusić się o ich wytłumaczenie na podstawie hipotetycznego modelu przepływu powietrza w całości, wokół aerometrycznej sondy otworowej umieszczonej w otworze badawczym (rys. 5).



Rys. 5. Drogi możliwego przepływu powietrza wokół otworu badawczego podczas badań metodą areometryczną
Fig. 5. The ways of airflow around the borehole during tests by aerometric method

W przypadku prawidłowego umieszczenia sondy w czystym otworze i dokładnym jej rozparciu, sprężone powietrze migruje do calizny przez system szczelin zgodnie z kierunkiem 1 (rys. 4). Jest to najprostsza droga ucieczki powietrza w przypadku występowania lokalnych pojedynczych szczelin. W przypadku, gdy calizna charakteryzuje się gęstą siecią spękań, nawet o niewielkich rozmiarach, sprężone powietrze może przedostawać się poza kołnierze uszczelniające do wnętrza otworu wiertniczego zgodnie z drogą 2. W przypadku prowadzenia badań w otworze, w którym znajdują się nawet niewielkie ilości nieusuniętych zwiercin, niemożliwe jest dokładne uszczelnienie otworu poprzez rozparcie kołnierzy uszczelniających. Zwierciny występujące pomiędzy kołnierzami a pobocznica otworu stanowią łatwo przepuszczalną warstwę dla sprężonego powietrza, poprzez którą będą następowały jego straty (droga 3). W takim przypadku wiarygodność uzyskanych wyników badań może budzić spore wątpliwości.

6. Podsumowanie i wnioski

Badania szczelinowości górotworu oraz zasięgu strefy spękań pozwalają ocenić jego wewnętrzną strukturę oraz pozyskać szereg cennych informacji stanowiących podstawę m.in. do określenia stateczności stropu wyrobisk, wyznaczenia zasięgu odspojenia niezbędnego dla projektowania systemów obudowy, oceny stopnia rekonsolidacji gruzowiska zawalowego i wielu innych. Badania wykonywane metodą aerometryczną oraz introskopową pozwalają na dokonanie takiej oceny, a ich zastosowanie w tych samych warunkach pozwala znacząco rozszerzyć wiedzę na temat struktury wewnętrznej badanego górotworu.

Niewątpliwą zaletą jednoczesnego stosowania tych metod jest fakt, że można ich użyć w tym samym środowisku (otworze wiertniczym) w stosunkowo krótkim odstępie czasu. Eliminuje to zatem konieczność wykonywania dodatkowych prac związanych z potrzebami badawczymi.

Metodyka badań przedstawiona w niniejszym artykule, stanowiąca połączenie metod aerometrycznej i introskopowej jest pierwszą próbą dokonania rozszerzonej analizy stanu spękania górotworu na podstawie porównania wyników dokonanych tymi metodami i dających wyniki w całkowicie innej postaci. Do chwili obecnej zakres badań należy uznać za znikomy, gdyż zostały one przeprowadzone tylko w dwóch otworach badawczych. Jednak uzyskane wyniki już na tym etapie pozwalają na sformułowanie szeregu wniosków, dla których konieczne będą dalsze, rozszerzone badania. Pozwolą one na wyznaczenie zarówno metodyki ich prowadzenia, jak również określenie pewnych kryteriów dla końcowej oceny stanu spękania górotworu.

Reasumując można stwierdzić, że:

1. Dokonano pierwszej próby porównania wyników badań stopnia spękania górotworu uzyskanych metodami introskopową i aerometryczną. Badania wykonane zostały w KD „Barbara” w pokładzie 310 w dwóch otworach poziomych. W pierwszej kolejności wykonano pomiary metodą aerometryczną, a następnie badania przy pomocy kamery.
2. Porównanie uzyskanych wyników wykazało, że w pewnych przypadkach istnieje korelacja pomiędzy występowaniem widocznych spękań w górotworze a wysoką wartością wskaźnika szczelinowości KS; dotyczy to badań wykonanych w otworze nr 1. W przypadku otworu nr 2, odnalezienie takiej korelacji jest trudne do jednoznacznego określenia.

3. W otworze badawczym nr 2 obserwacje pobocznic otworu wykazały, że jest ona nierówna, występują drobne lokalne wyrwy oraz znaczna ilość zwiercin praktycznie na całej jego długości. Z tego też powodu przedstawiono możliwości migracji powietrza w badanym odcinku tego otworu oraz warunki prowadzenia dalszych badań, które pozwolą wyeliminować zaobserwowane, niekorzystne zjawiska.
4. Wykonanie wiarygodnych badań przy pomocy obydwu metod wymaga wykonania otworów badawczych o średnicy od 48 do około 65 mm. Wynika to z możliwości pracy sondy aerometrycznej, której parametry dostosowane są do takich rozmiarów otworu wiertniczego oraz gabarytów kamery introskopowej.
5. Otwory badawcze powinny być bezwzględnie wyczyszczone ze zwiercin. Pozwala to na wiarygodną obserwację ich pobocznic przy pomocy kamery oraz dokładne uszczelnienie otworu pomiędzy kołnierzami głowicy aerometrycznej. Można więc uznać, że najkorzystniejsze warunki dla badań tymi metodami będą w otworach pionowych i skośnych wykonanych w górę. W takich warunkach następuje samoistne (grawitacyjne) usuwanie zwiercin z otworu. W przypadku otworów poziomych, bądź prawie poziomych konieczne jest dokładne ich przepłukanie przed wykonaniem badań. Duże wątpliwości budzi możliwość prowadzenia badań w otworach skierowanych w dół. W takim przypadku znaczna ilość zwiercin zostanie na dnie otworu, ograniczając zakres badań, a w przypadku zawodnienia takiego otworu ich wykonanie staje się dla obydwu metod niemożliwe.
6. Z uwagi na stosunkowo niską rozdzielczość kamery, szczeliny o wielkości rozwarcia rzędu 0,05 mm są niemożliwe do stwierdzenia.
7. Zastosowanie kamery introskopowej, jak i sondy nie daje możliwości określenia głębokości szczelin, a co za tym idzie ustalenia genezy powstania pęknięcia (naturalnego czy wynikającego z procesu wiercenia otworu lub prowadzonych robót górniczych).
8. Wydaje się, że korzystniejszym wariantem kolejności badań jest wykonanie jako pierwszych pomiarów sondą aerometryczną, która jako metoda inwazyjna w pewnym stopniu może powodować usunięcie części zwiercin pozostałych na ściankach otworu, pozwalając zaobserwować w ten sposób zmiany za pomocą kamery introskopowej. Jednak na obecnym etapie prawidłowa (bardziej korzystna) kolejność prowadzenia badań z pomocą przedmiotowych metod jest dyskusyjna.

W artykule wykorzystano częściowe wyniki uzyskane z pracy statutowej GIG nr 11103016-141

Literatura

- DUBIŃSKI J. 1989 - Sejsmiczna metoda wyprzedzającej oceny zagrożenia wstrząsami górniczymi w kopalniach węgla kamiennego. Prace GIG, seria dodatkowa. Katowice.
- FRIEDLAND A.M. 1965 – Issledowanijetreszczinowatostiparod w masiwieokružjuszczimgornujuwyrobottku. Szachtnoje Stroitelstwo nr 5.
- GWIAZDA J., HŁADYSZ Z. 1973 - Badania szczelinowości skał za pomocą pneumatycznej sondy otworowej. Biuletyn GIG nr 2, Katowice.
- KABIESZ J., PATYŃSKA R. 2009 - Badania zasięgu i intensywności strefy spękań wokół chodnikowych wyrobisk korytarzowych. „Górnictwo i Geoinżynieria”. R. 33, t. 1, s. 263-281.
- KIDYBIŃSKI A. 1982 - Podstawy geotechniki kopalnianej. Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice.
- MAŁKOWSKI P. 2004 - Obserwacje stref spękań wokół wyrobisk kory-

- tarzowych dla oceny jakości górotworu. Materiały XXVII ZSMG „Geotechnika i budownictwo specjalne”. Zakopane.
- MERTA G., FREJOWSKI A. 2015 - Ocena stanu spękania górotworu w rejonie georeaktora podziemnego zgazowania węgla. „Wiadomości Górnicze” nr 5, s. 281–286.
- MERTA G., MYSZKOWSKI J. 2004 - Badania introskopowe w otworach wiertniczych, zastosowanie, ocena metody. Materiały XI Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej „Tapania 2004”. Ustroń, s. 261–269.
- MŁYNARCZUK M., WIERZBICKI M. 2014 - Badania szczelinowości górotworu wokół otworu odmetanowania na podstawie analizy zapisów z kamery introskopowej. Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN. T. 14, nr 1-4, s. 45-52.
- NIEMIEC. B. 2001 - Doświadczenia w stosowaniu sondy aerometrycznej w wybranych kopalniach węgla. Miesięcznik WUG nr 2, s. 19-24.
- NIEROBISZ A. 2014 - Sonda aerometryczna jako narzędzie do badania szczelinowości górotworu. „Przeгляд Górniczy” nr 3, s. 65-70.
- ROGOŹ M. 2007 - Dynamika wód podziemnych. Wydawnictwo GIG.
- SJÖGREN B., OFSTHUS A. SANDBERG J. 1979 - Seismic classification of rock mass qualities. Geophys. Prps. 27, str. 409–442, 1979.

Artykuł wpłynął do redakcji – grudzień 2016
Artykuł akceptowano do druku 15.01.2017

NACZELNY REDAKTOR

w zeszycie 1-2/2010 Przeglądu Górniczego, zwrócił się do kadr górniczych z zachętą do publikowania artykułów ukierunkowanych na wywołanie

POLEMIKI – DYSKUSJI.

Trudnych problemów, które czekają na rzetelną, merytoryczną wymianę poglądów – jest wiele! Od niej – w znaczącej mierze – zależy skuteczność praktyki i nauki górniczej w działaniach na rzecz bezpieczeństwa górniczego oraz postępu technicznego i ekonomicznej efektywności eksploatacji złóż.

**Od naszego wysiłku w poszukiwaniu najlepszych rozwiązań
– zależy przyszłość polskiego górnictwa!!!**