



Sonda aerometryczna jako narzędzie do badania szczelinowatości górotworu

Aerometric probe as a tool for testing rock mass fracturing

Dr hab. inż. Andrzej Nierobisz, prof. GIG*)

Treść: W artykule opisano dotychczasowe doświadczenia w stosowaniu sondy aerometrycznej. Jest to urządzenie do badania szczelinowatości skał zalegających wokół wyrobisk podziemnych. Może być stosowane do: określenia stateczności stropu i ociosów wyrobiska korytarzowego, wyznaczania maksymalnego zasięgu odspojenia dla rozwiniętych metod projektowania systemów obudowy, sprawdzenia skuteczności strzelań wstrząsowych, badania szczelinowatości górotworu wokół tam wentylacyjnych i wodnych, kontroli poziomu szczelinowatości w sąsiedztwie skrzyżowań wyrobisk, określenia stopnia wypełnienia i scalenia gruzowiska zawałowego w badaniach nad rekonsolidacją naturalną. W artykule przedstawiono budowę i zasadę działania urządzenia oraz podano przykład zastosowania.

Abstract: This paper describes the current experience in the usage of the aerometric probe. It is a device for testing the fracturing of rock masses around underground workings. It can be used to determine the stability of the floor and the side walls of mining excavation, determine the maximum range of rock loosening for the developed methods of the containment systems design, verify the effectiveness of shootings shock, study fracturing of the rock around ventilation and water dams, control the level of fracturing in the roadway crossing, determine the degree of filling and merging of caving debris in the study of natural reconsolidation. This paper presents the structure and operation of the device which is illustrated with an example of its usage.

Słowa kluczowe:

górotwór, szczelinowatość, badanie, urządzenie

Key words:

rock mass, fracturing, testing, device

1. Wprowadzenie

Wykonanie wyrobiska w górotworze powoduje przemieszczenie skał. W kierunku wybranej przestrzeni, w jego otoczeniu skały ulegają spękanom, następuje ich odprężenie. Nacisk na obudowę wyrobisk górniczych w głównej mierze pochodzi od strefy odprężonego górotworu. Niekorzystnie wpływa ona na utrzymanie i stateczność wyrobisk korytarzowych, które ulegają zaciskaniu i wymagają przebudowy. Ocena zasięgu strefy spękań ma kluczowe znaczenie w rozwiązywaniu wielu problemów inżynierskich związanych z bezpieczną eksploatacją w podziemnych zakładach górniczych, a w szczególności dla:

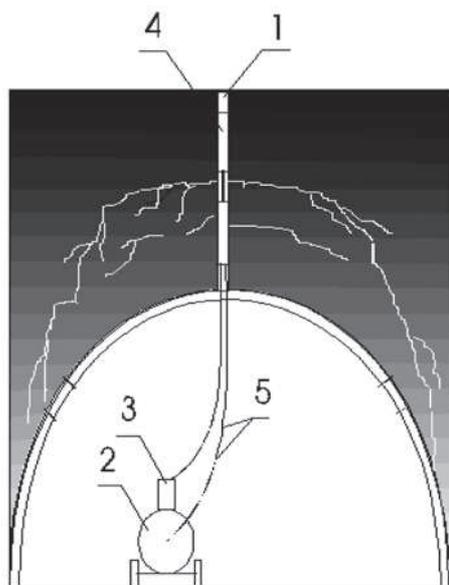
- określenia stateczności stropu i ociosów wyrobiska korytarzowego,
- wyznaczania maksymalnego zasięgu odspojenia dla rozwiniętych metod projektowania systemów obudowy,
- sprawdzenia skuteczności strzelań wstrząsowych,
- badania szczelinowatości skał wokół tam wentylacyjnych i wodnych,
- kontroli poziomu szczelinowatości w sąsiedztwie skrzyżowań wyrobisk,

- określenia stopnia wypełnienia i scalenia gruzowiska zawałowego w badaniach nad rekonsolidacją naturalną.

W warunkach *in situ* badania szczelinowatości górotworu można wykonywać za pomocą kamery introskopowej, sondy ABS, penetrometru wielkośrednicowego lub sondy aerometrycznej.

Badania introskopowe polegają na oglądaniu ścianek otworu wywierconego w górotworze i subiektywnym ocenianiu czy widoczny obraz przedstawia szczelinę w górotworze czy też nie. Uzyskane wyniki z kamery introskopowej, mogą służyć do oceny jakości górotworu [4]. Sonda ABS, dzięki wbudowanemu modułowi orientacji przestrzennej, daje obraz poboczniczy otworu wiertniczego. Cyfrowy zapis obrazu umożliwia identyfikację i określenie położenia defektów strukturalnych górotworu w profilu otworu [7]. Za pomocą metody penetrometrycznej, korzystając z zależności empirycznej, można wyliczyć tak zwany penetrometryczny wskaźnik szczelinowatości RQDp [6]. Metoda aerometryczna pozwala na określenie sumarycznej powierzchni szczelin oraz ich rozwarcia na badanym odcinku otworu wywierconego w górotworze. Idea tej metody polega na pomiarze czasu spadku ciśnienia określonej objętości powietrza sprężonego w zbiorniku podczas jego wypływu do górotworu (rys.1).

*) Główny Instytut Górnictwa, Katowice



Rys. 1. Schemat pomiaru spękań górotworu za pomocą sondy aerometrycznej

1 - otwór badawczy, 2 - zbiornik ciśnieniowy, 3 - kompresor, 4 - głowica sondy, 5 - przewody ciśnieniowe do rozparcia głowicy w otworze i badania spękań

Fig. 1. Scheme of the rock mass crack measurement by use of the aerometric probe

1 - hole test, 2 - pressure tank, 3 - compressor, 4 - sounder head, 5 - pressure conduits to sprawl head in a hole and crack tests

Badaniami szczelinowatości górotworu za pomocą sondy aerometrycznej zajmowali się między innymi: Friedland [1], Gwiazda i Hładysz [2], Stopyra i in.[20], Kabiesz i Konopko [3]. W latach 1993-2002 w Zakładzie Tępań i Mechaniki Górotworu GIG, wykonano szereg prac badawczo-usługowych z zastosowaniem sondy aerometrycznej dotyczących oceny stopnia rekonsolidacji gruzowiska zawałowego, szczelinowatości górotworu wokół przekopów i wyrobisk przyścianowych, projektowania obudowy kotwowej [5, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19].

Zaletą metody aerometrycznej jest względna łatwość wykonania i bezpieczeństwo prac wykonawczych w dowolnych warunkach kopalnianych. Jako zasadniczą wadę widzi się niemożność określenia tą metodą dokładnej pozycji pojedynczego spękania. Dla uniknięcia błędów i pomyłek najkorzystniej jest badać górotwór kilkoma metodami.

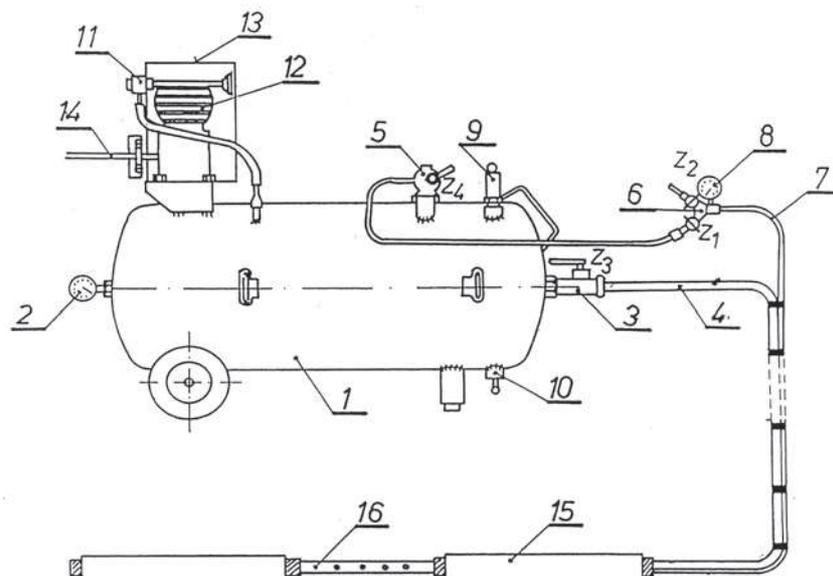
2. Budowa i działanie sondy aerometrycznej

Podstawowe części składowe sondy aerometrycznej stosowanej do badań to (rys. 2):

1 – zbiornik ciśnieniowy, 2 – manometr służący do kontroli ciśnienia w zbiorniku, 3 – zawór służący do podawania i zatrzymywania dopływu powietrza do sondy otworowej, 4 – przewód elastyczny doprowadzający powietrze ze zbiornika do sondy otworowej, 5 – zawór trójpołożeniowy służący do obniżania ciśnienia w zbiorniku, 6 – dwójnik, 7 – wąż elastyczny doprowadzający powietrze do kołnierzy uszczelniających sondy, 8 – manometr służący do kontroli szczelności kołnierzy sondy otworowej, 9 – zawór bezpieczeństwa, 10 – zawór odwadniający, 11 – zawór zwrotny, 12 – sprężarka, 13 – osłona sprężarki, 14 – sprzęgło rozłączne przenoszące napęd z wiertarki górniczej na wał napędowy sprężarki, 15 – kołnierze uszczelniające, 16 – sonda otworowa.

Badania sondą przeprowadza się w otworach o średnicy 43 mm. Polegają one na określaniu strefy spękań odcinkami o długości 25 cm. Dla każdego z odcinków określa się parametry charakteryzujące spękania, są to: otwór równoznaczny spękania, współczynnik szczelinowatości, rozwartość spękań. W płaszczyźnie jednego przekroju prostokątnego do osi wyrobiska wykonuje się kilka otworów małosrednicowych o długości 5 ÷ 10 m. Odległości pomiędzy poszczególnymi przekrojami wynoszą od 20 m do 75 m w zależności od zmienności spękań w zasięgu badanej strefy w wyrobisku.

Obsługę urządzenia stanowią trzy osoby. Pierwsza z nich obsługuje wiertarkę górniczą, druga zajmuje się przesuwaniem sondy w otworze, trzecia, pomiarem czasu spadku ciśnienia oraz obsługą układu pneumatycznego urządzenia. Po napełnieniu zbiornika sprężonym powietrzem o ciśnieniu 0,45 MPa, umieszcza się sondę na dnie otworu regulując jej



Rys. 2. Rysunek zestawieniowy sondy aerometrycznej typu SA-1

Fig. 2. Assembly drawing of the aerometric probe, type SA-1

położenie za pomocą szeregu żerdzi połączonych ze sobą. Kolejnym krokiem jest rozparcie kołnierzy uszczelniających sondę w otworze ciśnieniem 0,45 MPa. Dokonuje się tego przy zamkniętym zaworze Z_2 , poprzez otwarcie zaworu Z_1 , obserwując jednocześnie wskazania manometru (8). Następnie przez otwarcie zaworu Z_4 obniża się ciśnienie w zbiorniku do wartości 0,40 MPa. Otwarcie zaworu Z_3 powoduje podanie powietrza do odcinka pomiarowego górotworu, jednocześnie z otwarciem zaworu dokonuje się pomiaru czasu wypływu powietrza ze zbiornika (pomiaru czasu spadku ciśnienia w zbiorniku do wartości 0,25 MPa). Po określeniu czasu spadku ciśnienia zamyka się zawór Z_3 . W celu przesunięcia sondy otworowej do następnego odcinka pomiarowego należy wypuścić powietrze z kołnierzy uszczelniających za pomocą zaworu Z_2 .

Wyżej wymienione czynności powtarza się do uzyskania profilu aerometrycznego całego otworu. Wyniki badań zostają wpisane do formularza zawierającego następujące pozycje: położenie odcinka badawczego wzdłuż osi otworu (głębokość od-do) oraz czas wypływu powietrza ze zbiornika. Opracowania wyników pomiarów dokonuje się w warunkach laboratoryjnych. W obliczeniach wyników badań zastosowano następujące pojęcia:

- otwór równoznaczny spękania S_o interpretowany, jako sumaryczna wartość powierzchni spękań występująca na danym odcinku poboczniczy walca otworu wiertniczego (wyrażany w mm^2),
- wskaźnik szczelinowości K_s wyrażający sumaryczny udział powierzchni szczelin w polu powierzchni poboczniczy walca badanego odcinka górotworu (wyrażany w % lub ‰),
 - sumaryczna rozwartość szczelin R_s na danym odcinku otworu (wyrażana w mm).

Wzory na obliczanie wyżej wymienionych wielkości przedstawiają się następująco:

- otwór równoznaczny spękania

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

gdzie:

39,866; 0,7169 - stałe cechowania przyrządu,
 t - czas spadku ciśnienia w zbiorniku sondy, sek

- wskaźnik szczelinowości

$$K_s = \frac{1000 \cdot S_o}{37806}, \text{‰}$$

Rys. 3. Schemat rozmieszczenia otworów badawczych sondy aerometrycznej w Głównej Pochylni Odstawczej zlokalizowanych w miejscu posadowienia tamy wodnej.

1 - otwór w lewym ociosie, 2 - otwór w stropie wyrobiska, 3 - otwór w prawym ociosie, 4 - otwór w spągu wyrobiska

Fig. 3. Layout of boreholes of the aerometric probe in Primary Gravity Plane located close to the water dam.

1 - exploratory borehole on the left wall, 2 - exploratory borehole in the roof, 3 - exploratory borehole on the right wall, 4 - exploratory borehole on the roadway floor

gdzie:

S_o – otwór równoznaczny spękania, mm^2 ,
 1000 – stała do przeliczeń promilowych,
 37806 – powierzchnia poboczniczy walca badanego odcinka otworu, mm^2 ,

- sumaryczna rozwartość szczelin

$$R_s = \frac{S_o}{135}, \text{mm} \quad (3)$$

gdzie:

135 - obwód otworu badawczego o średnicy 43 mm.

W oparciu o dotychczasowe doświadczenia w stosowaniu sondy aerometrycznej, można scharakteryzować górotwór w sposób następujący :

- $K_s < 0,2$ - górotwór słabo spękany charakteryzujący się występowaniem w badanym odcinku górotworu szczelin o sumarycznej powierzchni nie większej od $7,4 \text{ mm}^2$ lub też pozbawiony szczelin,
- $K_s \geq 0,2$ - górotwór średnio i silnie spękany charakteryzujący się występowaniem szczelin o sumarycznej powierzchni większej lub równej $7,4 \text{ mm}^2$. Są to obszary górotworu charakterystyczne dla wyrobisk poddanych wpływem eksploatacji.

3. Przykład zastosowania sondy aerometrycznej w ZG Sobieski

Badania przeprowadzono w dniach 28-29.11.2012 r. w Głównej Pochylni Odstawczej w miejscu posadowienia tamy wodnej, w otworach rozmieszczonych zgodnie z rysunkiem 3. Celem badań było określenie zasięgu strefy spękań wokół wyrobiska. Przebadano dwa otwory ociosowe, jeden stropowy i jeden spągowy. Uzyskane wyniki przedstawiono w tabelach 1, 2, 3 oraz 4.

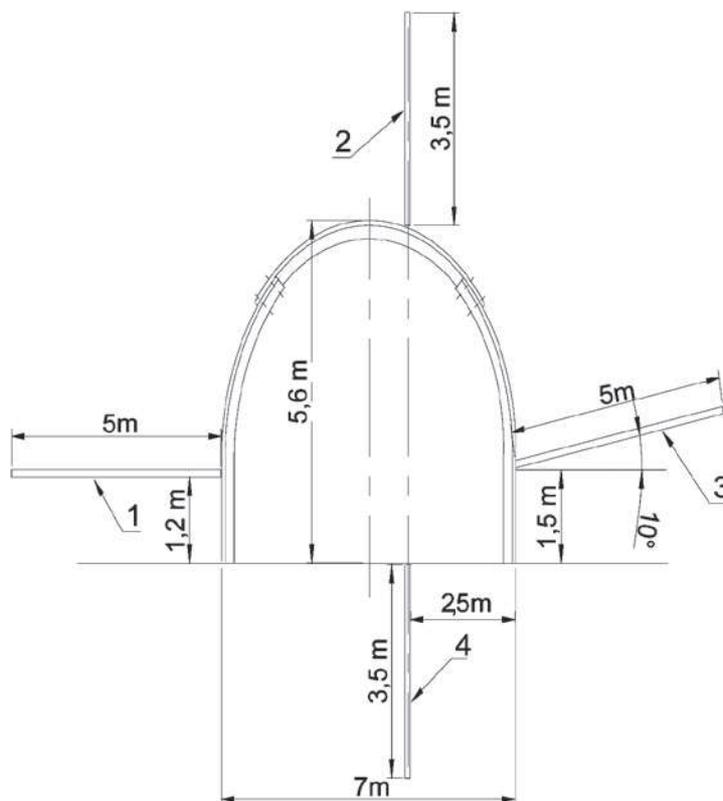


Tabela 1. Wyniki badań sondą aerometryczną w otworze nr 1
Table 1. Test results by aerometric probe in the exploratory borehole no. 1

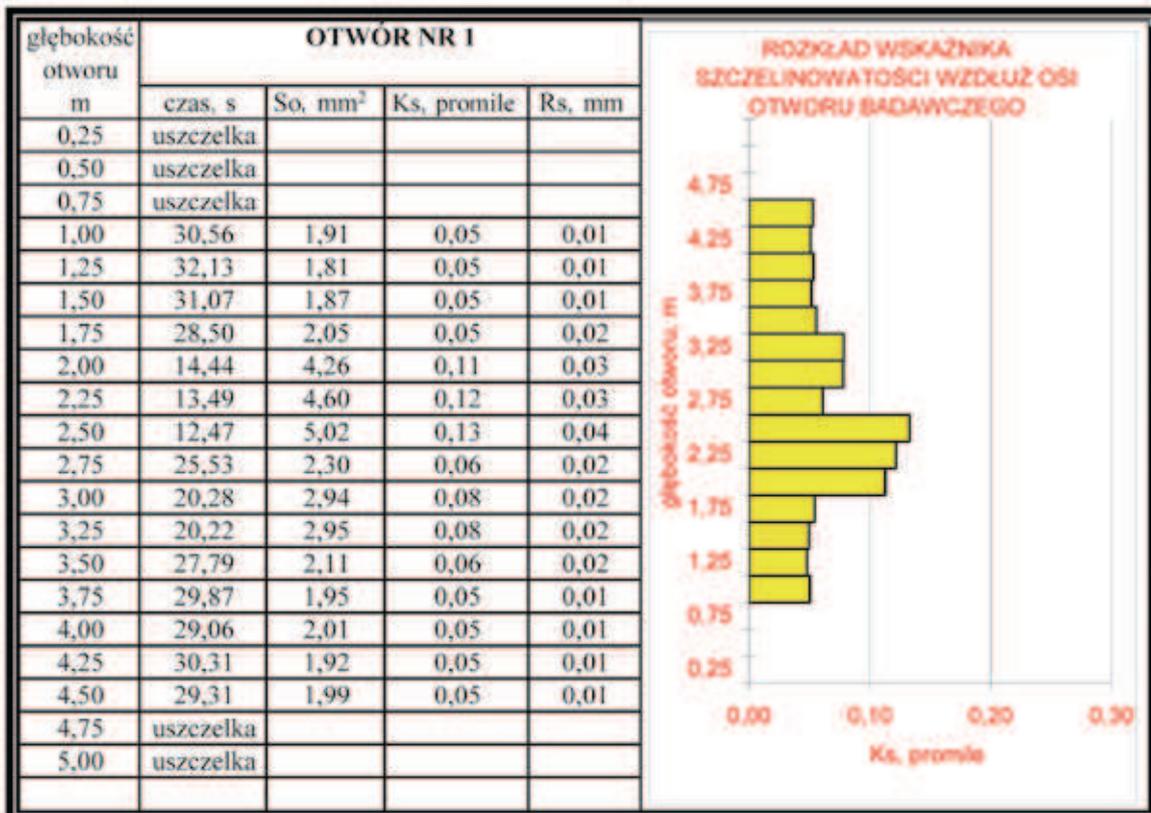


Tabela 2. Wyniki badań sondą aerometryczną w otworze nr 2
Table 2. Test results by aerometric probe in the exploratory borehole no. 2

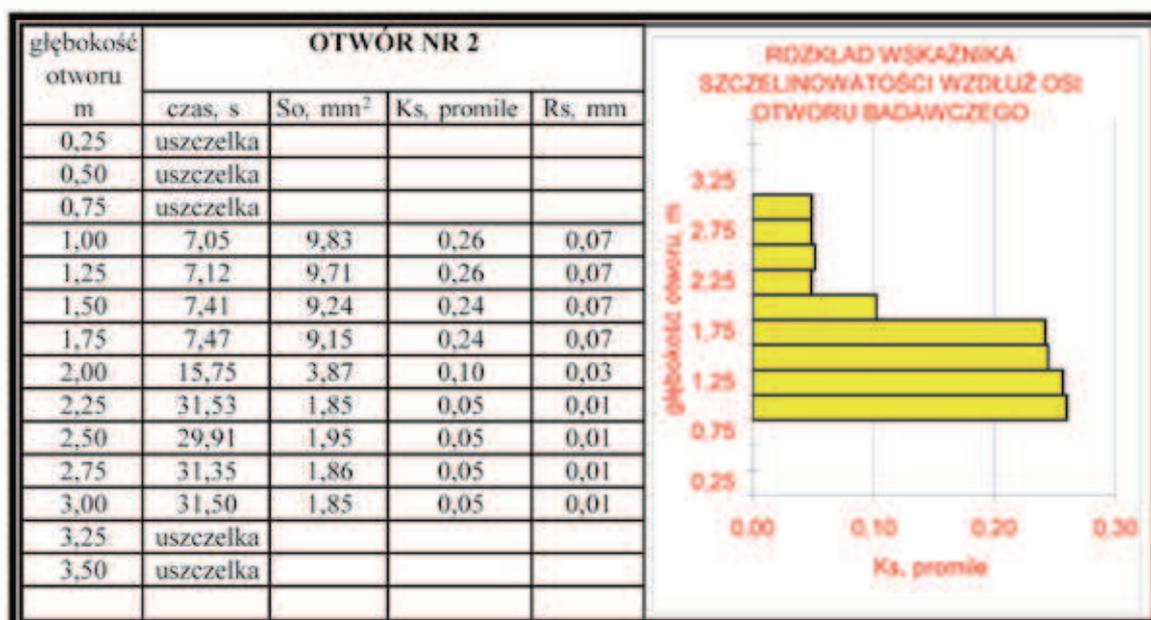


Tabela 3. Wyniki badań sondą aerometryczną w otworze nr 3
 Table 3. Test results by aerometric probe in the exploratory borehole no. 3

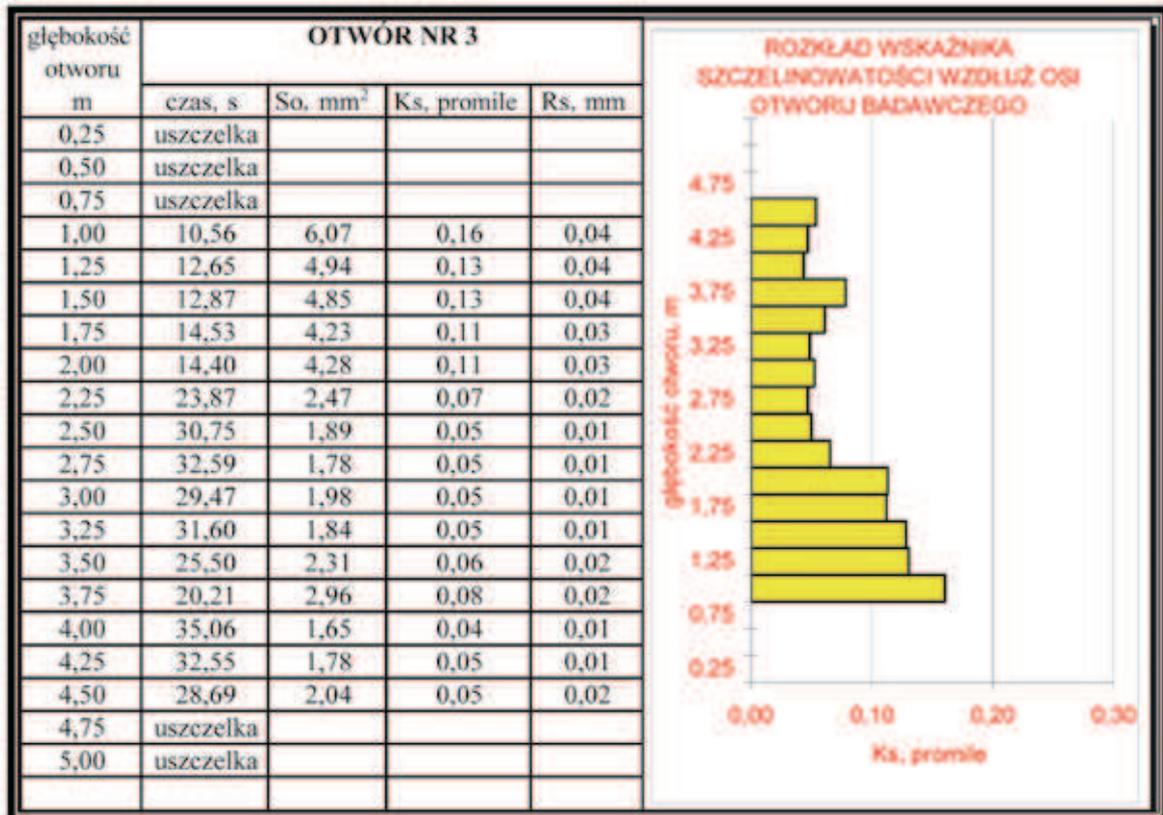
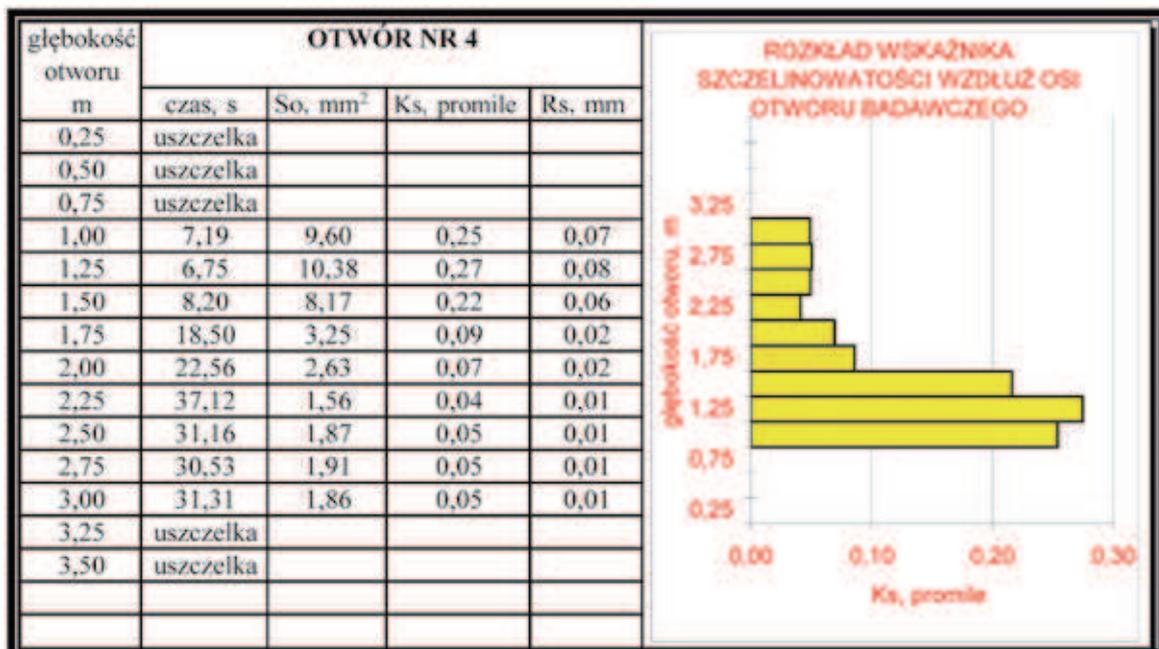


Tabela 4. Wyniki badań sondą aerometryczną w otworze nr 4
 Table 4. Test results by aerometric probe in the exploratory borehole no. 4



4. Analiza uzyskanych wyników

Na podstawie przeprowadzonych badań i obserwacji wykonanych za pomocą sondy aerometrycznej, można przedstawić następujące stwierdzenia:

1. W otworze nr 1 (lewy ocios wyrobiska) uzyskano wartości wskaźników szczelinowości K_s nie większe niż 0,13 promila, co świadczy o tym, że maksymalna sumaryczna powierzchnia szczelin wynosiła 5,02 mm². Maksymalne rozwarście szczelin nie było większe od 0,04 mm (tab.1). Uzyskane wyniki pozwalają zaklasyfikować górotwór w miejscu wykonania badania jako słabo spękany lub pozbawiony szczelin.
2. W otworze nr 2 (strop wyrobiska) do głębokości 1,75 m (od płaszczyzny stropu licząc), uzyskano wartości wskaźników szczelinowości K_s nie większe niż 0,26 promila, co świadczy o tym, że maksymalna sumaryczna powierzchnia szczelin wynosiła 9,83 mm². Maksymalne rozwarście szczelin nie było większe od 0,07 mm (tab.2). Uzyskane wyniki na powyższym odcinku otworu pozwalają zaklasyfikować górotwór w miejscu wykonania badań, jako średnio i silnie spękany. Powyżej 1,75 m stwierdzono górotwór słabo spękany lub pozbawiony szczelin, ponieważ wartości wskaźników szczelinowości K_s nie były większe niż 0,1 promila, a maksymalna sumaryczna powierzchnia szczelin wynosiła 3,87 mm².
3. W otworze nr 3 (prawy ocios wyrobiska) uzyskano wartości wskaźników szczelinowości K_s nie większe niż 0,16 promila, co świadczy o tym, że maksymalna sumaryczna powierzchnia szczelin wynosi 6,07 mm². Maksymalne rozwarście szczelin nie było większe od 0,04 mm (tab.3). Uzyskane wyniki pozwalają zaklasyfikować górotwór w miejscu wykonania badania jako słabo spękany lub pozbawiony szczelin.
4. W otworze nr 4 (spąg wyrobiska) do głębokości 1,50 m (od płaszczyzny spągu licząc), uzyskano wartości wskaźników szczelinowości K_s nie większe niż 0,27 promila, co świadczy o tym, że maksymalna sumaryczna powierzchnia szczelin wynosiła 10,38 mm². Maksymalne rozwarście szczelin nie było większe od 0,08 mm (tab.4). Uzyskane wyniki na powyższym odcinku otworu pozwalają zaklasyfikować górotwór w miejscu wykonania badań, jako średnio i silnie spękany. Poniżej 1,5 m stwierdzono górotwór słabo spękany lub pozbawiony szczelin, ponieważ wartości wskaźników szczelinowości K_s nie były większe niż 0,09 promila, a maksymalna sumaryczna powierzchnia szczelin wynosiła 3,25 mm².

5. Podsumowanie

Prezentowane urządzenie jest narzędziem pozwalającym na badanie szczelinowości górotworu w warunkach naturalnych. Jego zaletą jest możliwość określenia powierzchni i rozwarścia szczelin w badanym odcinku górotworu oraz względna łatwość wykonania i bezpieczeństwo w dowolnych warunkach. Jako zasadniczą wadę widzi się niemożność określenia tą metodą dokładnej pozycji pojedynczego spękania. Nie prowadzono dotychczas badań porównawczych szczelinowości górotworu za pomocą kamery introskopowej i sondy aerometrycznej. Dlatego też dla uniknięcia błędów i pomyłek najkorzystniej jest badać górotwór kilkoma metodami.

Literatura

1. *Fridland A.M.*: Issledowanije treszczinowatosti parod w Massimie okružuszczim goruju wyrobotku. Szchtnoje Stroitelstwo nr 5, 1965.

2. *Gwiazda J., Hładysz Z.*: Badania szczelinowości skał za pomocą pneumatycznej sondy otworowej. Biuletyn GIG nr 2, Katowice 1973.
3. *Kabiesz J., Konopko W.*: Deformacje chodnika przyścianowego przed postępującym frontem ściany. W: Metody i interpretacje badań w geotechnice. Prace Naukowe Instytutu Geotechniki i Hydrotechniki Politechniki Wrocławskiej nr 69, Seria Konferencje nr 36, 1995.
4. *Malkowski P.*: Rola spękań w ocenie stateczności wyrobisk korytarzowych w kopalniach węgla. Rozprawy i Monografie nr 265, Wydawnictwo AGH, Kraków 2013.
5. *Niemiec B.*: Doświadczenia w stosowaniu sondy aerometrycznej w wybranych kopalniach. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie nr 2, 2001, Wydawnictwo WUG, Katowice.
6. *Nierobisz A., Masny W.*(2004): Metoda obliczeń wskaźnika szczelinowości RQD za pomocą badań hydraulicznym penetrometrem otworowym. Prace Naukowe GIG, Kwartalnik „Górnictwo i Środowisko”, 2004, nr 4.
7. *Pierszalik R.*: Badania introskopowe przy użyciu sondy ABS - możliwości badawcze oraz uwagi dotyczące użytkowania. „Przeгляд Górnicy” 2010, nr 11.
8. *Praca zbiorowa*: Określenie stateczności gruzowiska zawałowego powstałego po wyeksploatowaniu warstwy przystropowej pokładu 510 oraz głębokości strefy spękań w ociosach. KWK „Miechowice”. Dokumentacja pracy badawczo-usługowej GIG (niepublikowana), 1993.
9. *Praca zbiorowa*: Badania szczelinowości górotworu w obrębie przekopu głównego poziom 390. KWK „Chwałowice”. Dokumentacja pracy badawczo-usługowej GIG (niepublikowana), 1993.
10. *Praca zbiorowa*: Badania szczelinowości górotworu w obrębie przekopu głównego poziom 390 cz. II. KWK „Chwałowice”. Dokumentacja pracy badawczo-usługowej GIG (niepublikowana), 1993.
11. *Praca zbiorowa*: Badanie szczelinowości górotworu w obrębie przekopu III wschodniego poziom 390. KWK „Chwałowice” Dokumentacja pracy badawczo-usługowej GIG (niepublikowana), 1993.
12. *Praca zbiorowa*: Badania strefy spękań w stropie w stropie chodnika 6 południowego w pokł.816 KWK „Grodzicz” Dokumentacja pracy badawczo-usługowej GIG (niepublikowana), 1996.
13. *Praca zbiorowa*: Określenie stopnia rekonsolidacji zrobów zawałowych warstwy przystropowej pokł. 414/1 w polu ściany 8d zlokalizowanej w partii "J". KWK Śląsk. Dokumentacja pracy badawczo-usługowej GIG (niepublikowana), 1996.
14. *Praca zbiorowa*: Określenie stopnia rekonsolidacji zrobów zawałowych pokł. 410/1 w partii "J". KWK Śląsk. Dokumentacja pracy badawczo-usługowej GIG (nie publikowana), 1996.
15. *Praca zbiorowa*: Badanie spękań w chodnikach przyścianowych ściany nr 19 pokł. 406/1 i G8 E/N i weryfikacja projektu oraz technologii wzmocnienia obudowy chodnika 19 KWK Knurów. Dokumentacja pracy badawczo-usługowej GIG (niepublikowana), 1997.
16. *Praca zbiorowa*: Badania zasięgu strefy spękań wokół chodnika 0504 ściany nr 538 KWK Bolesław Śmiały. Dokumentacja pracy badawczo-usługowej GIG (niepublikowana), 1997.
17. *Praca zbiorowa*: Badania strefy spękań w magistrali transportowej drażonej w pokładzie 508/509 ZWSM „Jadwiga”. Dokumentacja pracy badawczo-usługowej GIG (niepublikowana), 1998.
18. *Praca zbiorowa*: Projekt przykotwienia stropnic obudowy specjalnej typu Arnall dla dowiezchni ściany nr 156 w pokładzie 315 wschód KWK Silesia. Dokumentacja pracy badawczo-usługowej GIG (niepublikowana), 2001.
19. *Praca zbiorowa*: Projekt przykatwiania łuków stropnicowych w chodniku nr 421 oraz określenie otwarcia stropu ściany nr 421 w pokł. 324/3, rejon Bujaków KWK Bolesław Śmiały. Dokumentacja pracy badawczo-usługowej GIG (niepublikowana), 2002.
20. *Stopyra M., Stasica J., Rak Z.*: Introskopowa metoda badania struktury górotworu w otoczeniu wyrobisk górniczych. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie nr 10, 1998, Wydawnictwo WUG, Katowice.