

Badania szczelinowatości górotworu wokół otworu odmetanowania na podstawie analizy zapisów z kamery introskopowej

MARIUSZ MŁYNARCZUK, MIROSLAW WIERZBICKI

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

Streszczenie

W pracy opisano badania szczelinowatości otworów drenażowych wykonywanych w KWK Zofiówka. Na potrzeby opisywanych prac wykonano specjalistyczną aparaturę pomiarową do ciągłej rejestracji ścian otworów. Aparatura ta bazuje na wykorzystaniu kamery do rejestracji obrazów w podczerwieni. Opracowano metodykę rejestracji filmów wideo z otworów odmetanowania, możliwą do aplikacji w warunkach kopalnianych. Zaproponowano też sposób klasyfikacji szczelinowatości, który może być wykorzystany do ilościowego opisu spękań na bazie obserwacji filmów wideo. Wypracowaną metodykę pomiarową przetestowano w otworze drenażowym w chodniku nadścianowym B-3a w pokładzie 405/1łg kopalni „Zofiówka”.

Słowa kluczowe: szczelinowatość, otwory odmetanowania, klasyfikacja spękań, zagrożenie metanowe

1. Wstęp

W ramach prowadzonych w Instytucie Mechaniki Górotworu PAN badań mających na celu kompleksową analizę dopływu metanu do otworów odmetanowania na poszczególnych jego fragmentach, zaistniała potrzeba rejestracji i pomiarów szczelinowatości w tego typu otworach. Specyfika zaplanowanych badań wymagała wytworzenia specjalistycznej aparatury badawczej, oraz zaproponowania sposobu rejestracji oraz ilościowego opisu spękań charakteryzujących otwory drenażowe. Niniejsza praca przedstawia osiągnięte rezultaty oraz prezentuje wyniki pomiarów dołowych prowadzonych w oparciu o zaproponowaną metodykę.

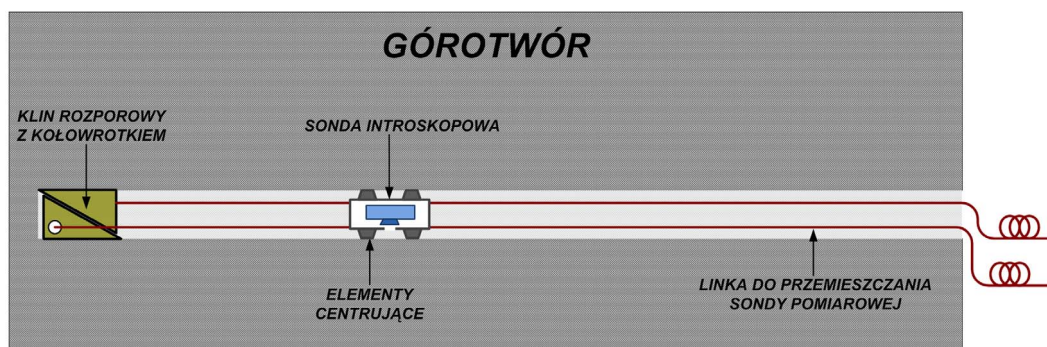
W pracy przedstawiono wyniki pomiarów szczelinowatości wokół otworu o długości 98 m, wykonanego z chodnika nadścianowego B-3a w pokładzie 405/1łg kopalni „Zofiówka”. Kąty poziomy i pionowy wykonania otworu wynosiły odpowiednio 32° i 23° .

2. Kamera introskopowa

Dla potrzeb badania szczelinowatości otworów odmetanowania opracowana została sonda z kamerą introskopową. Analiza budowy podobnych urządzeń (Stopyra i in., 1998) skłoniła autorów do wykorzystania kamery, rejestrującego obraz w świetle podczerwonym. Rozwiązanie takie, zgodnie z danymi literaturowymi (Stasica i Rak, 2012), pozwalać miało również na rejestrację szczelin wypełnionych zwiercinami.

Ogólna idea wykorzystywanego w badaniach systemu pomiarowego wykorzystującego kamerą introskopową przesuwaną w długim otworze badawczym o średnicy 75 mm przedstawiona została na rysunku 1.

Na dnie otworu za pomocą żerdzi wiertniczych umieszczony i zablokowany został klin z kołowrotkiem. Na kołowrotku naciągnięta została linka stalowa o średnicy 3 mm. Tak zaplanowany eksperyment pozwolił na swobodne przemieszczanie sondy wzdłuż otworu badawczego.



Rys. 1. Schemat ideowy rejestracji szczelinowatości otworu za pomocą kamery introskopowej

W konstrukcji sondy użyto:

- kamerę CCD pozwalającą na rejestrację sekwencji wideo o rozdzielczości HDTV 720p (1280×720) z szybkością 60 klatek/s., lub o rozdzielczości HDTV 1080p (1920×1080) z szybkością 30 klatek/s.,
- zestawu obiektywów i konwerterów pozwalających na uzyskanie ostrego obrazu w otworze o średnicy 75 mm (pole widzenia kamery to obszar około 30×20 mm),
- zestawu diod stanowiących źródło światła,
- akumulatora litowo-jonowego,
- elementów konstrukcyjnych.

Kamera wraz z układami pomocniczymi zamknięta została w hermetycznej obudowie wykonanej z rury stalowej o średnicy 50 mm. Film rejestrowany przez kamerę zapisywany był w formacie skompresowanym na karcie pamięci SD o pojemności 8GB. Parametry te pozwalały na zarejestrowanie sekwencji wideo o długości około 1,5 h. System pomiarowy pracował autonomicznie na wewnętrznym zasilaniu i nie wymagał doprowadzania żadnych sygnałów elektrycznych.

3. Metodyka rejestracji materiału wideo w otworach odmetanowania

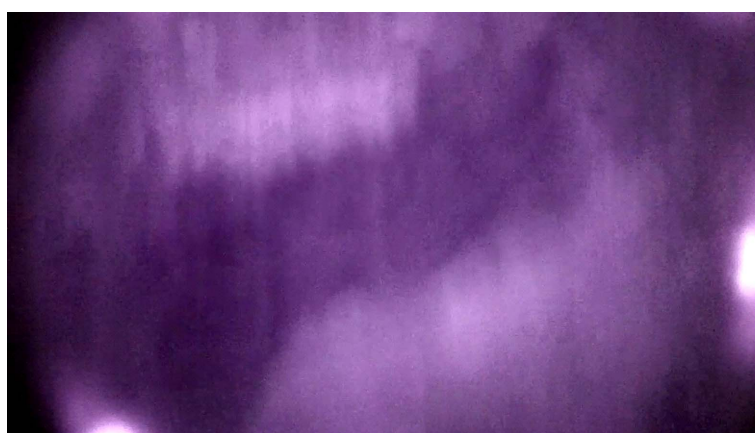
Klasyczne metody pomiarów stereologicznych, stosowane m.in. w geologii i geotechnice, opierają się na zliczeniach i pomiarach prowadzonych np. na zdjęciach przedstawiających struktury skalne. Początkowo planowano wykorzystanie takiej właśnie metody pomiarowej, a co za tym idzie planowano aby wykonać dla poszczególnych metrów otworu kilka lub kilkanaście fotografii. Metodyka taka pozwalałaby na w miarę poprawne wyznaczenie szczelinowatości. Ze względu jednak na prowadzenie pomiarów podczas eksploatacji ściany w czynnych otworach odmetanowania, trudne byłoby opróbowanie otworów w sposób dokładny, gdyż należałoby wykonać 50 sąsiadujących („stykających się”) ze sobą zdjęć na każdy analizowany metr otworu. Dodatkowo, każde z tych zdjęć powinno być wykonane w statycznym położeniu kamery (bez przesuwu). Biorąc jednak pod uwagę brak możliwości dokładnego przesuwu kamery, zdjęcia takie powinny być robione „na zakładkę”, co praktycznie prawie podwoiłoby ich ilość.

Dlatego też zaplanowano wykonanie siedmiu statycznych zdjęć na każdy metr długości otworu (pozwoliło to zarejestrować około 14% poboczniczy otworu), oraz rejestracji pozostałych fragmentów otworu w trakcie przesuwu kamery. Zarejestrowany materiał wideo posiadał więc zarówno w miarę dobrej jakości klatki zarejestrowane podczas postoju kamery (patrz rys. 2), jak i gorszej jakości klatki zarejestrowane podczas przesuwu kamery (patrz rys. 3). Również na klatkach o gorszej jakości można było dostrzec zarejestrowane spękania. Uzyskana w ten sposób sekwencja wideo niosła informację o szczelinowatości na całość całego otworu. Zdecydowano się więc na analizę całego materiału wideo, zdając sobie sprawę, że na ów materiał składają się zarówno dobrej jakości klatki „statyczne” jak i gorszej jakości klatki zarejestrowane podczas przesuwu kamery.

W trakcie rejestracji kamerę przesuwano dość wolno, zatrzymując się siedmiokrotnie na każdym metrze pomiarowym. Po przesunięciu kamery o pełen metr następowało jej zatrzymanie na kilka sekund. Była to informacja (dla osoby analizującej materiał filmowy) o przebyciu kolejnego metra otworu. Dodatkowo zarejestrowano, w sposób zsynchronizowany, dźwiękową informację o położeniu kamery (na dyktafonie). Programy komputerowe pozwalały na połączenie dźwięku i filmu wideo w jedną całość, co było istotne w procesie analizy posiadanego materiału.



Rys. 2. Przykładowa klatka zarejestrowana podczas postoju kamery



Rys. 3. Przykładowa klatka zarejestrowana podczas przesuwu kamery

4. Klasyfikacja spękań zarejestrowanych na sekwencjach wideo

Powszechnie stosowane, standardowe metody klasyfikacji spękań (np. Kidybiński, 1982, Małkowski, 2004) nie są do końca skuteczne w przypadku analizy sekwencji wideo zarejestrowanych w otworach. Wpływ na to ma zwłaszcza fakt, że zarejestrowane klatki filmowe mają wielkość ok. 30×20 mm. Na obrazach tych widoczne są szczeliny o różnej rozwartości. Jednakże wszystkie one mieściłyby się w najniższych klasach używanych powszechnie klasyfikacji. Ponadto trudnym zadaniem byłoby wyznaczenie odstępów pomiędzy szczelinami, co jest istotnym parametrem dla większości klasyfikacji. Dlatego też, na potrzeby niniejszych badań, zaproponowano inny rodzaj klasyfikacji.

Specyfika prowadzonych badań miała polegać na analizie filmów wideo w poszukiwaniu korelacji pomiędzy szczelinowatością otworów a wydatkiem gazów zarejestrowanym w tych otworach. Uznano, że z punktu widzenia tej problematyki najistotniejsze jest rozwarcie szczelin, które ma decydujący wpływ na (ewentualny) dopływ gazów. Dlatego, na potrzeby niniejszych badań, bazując na obserwacjach materiału filmowego, zdefiniowano trzy graniczne rozwartości spękań: do 0.5 mm, do 2.5 mm, oraz powyżej 2.5 mm. Tak zdefiniowane rozwartości mieszczą się w klasach szczelinowatości I, II i III wg Kidybińskiego (Kidybiński, 1982) i w klasach I oraz II wg Małkowskiego (Małkowski, 2004). Do proponowanej klasyfikacji wprowadzono jeszcze pojęcie „obszarów o dużej sieci spękań typu rumosz”, opisujące bardzo duże zniszczenie struktury obserwowane na całym obrazie. Opisane powyżej typy spękań zaprezentowano na rysunkach 4-7.

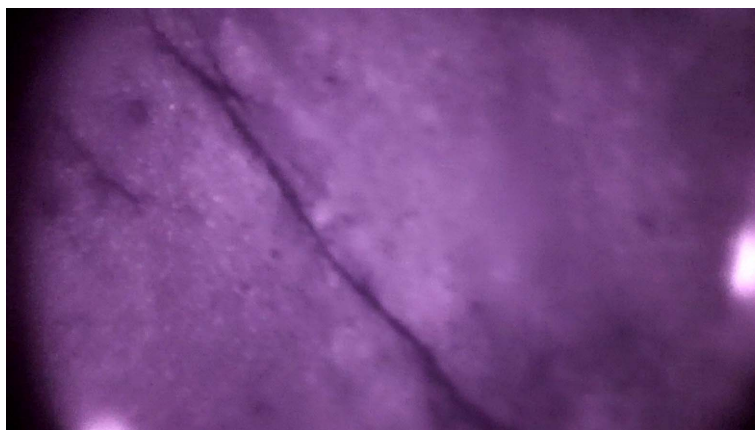
Drugim istotnym parametrem występującym w klasyfikacjach szczelinowatości, jest wielkość wydzielonych szczelinami bloków, niekiedy rozumiana jako liczba spękań. Dla potrzeb niniejszych badań przyjęto ten drugi sposób reprezentacji parametru, z tym, że dostosowano go do analizy sekwencji wideo. Przyjęto, że metr górotworu posiada dużą liczbę spękań, gdy w zarejestrowanym materiale filmowym pojawiają się one na ponad 33% klatek wideo (przy założeniu, że 300 klatek wideo odpowiada 1 metrowi otworu znaczny

to, że spękania są obserwowane na ponad 100 klatkach wideo). Wprowadzono również dodatkowy parametr, bardzo dużej liczby spękań, informujący o występowaniu sieci spękań na ponad 80% klatek (240 klatek z występującymi szczelinami dla materiału filmowego, dla którego 300 klatek wideo odpowiada 1 metrowi otworu).

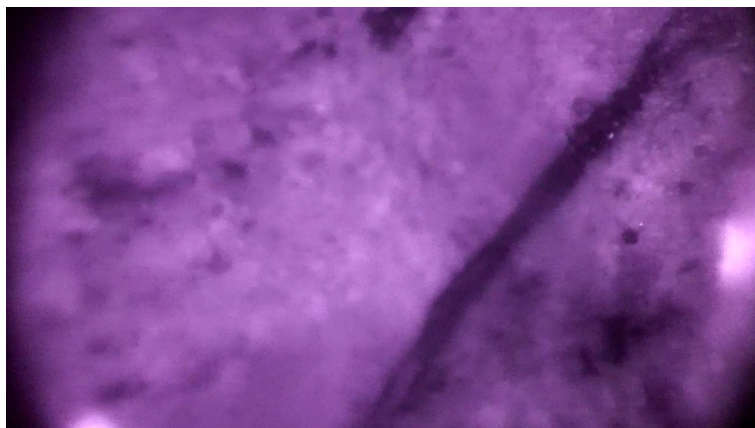
Powyższa klasyfikacja, uszczegółowiona i dostosowana do struktur obserwowanych na zarejestrowanych w niniejszej pracy sekwencjach, przedstawiona została w tabeli 1.

Tab. 1. Zaproponowana klasyfikacja opisu szczelinowatości na podstawie oglądu materiału filmowego

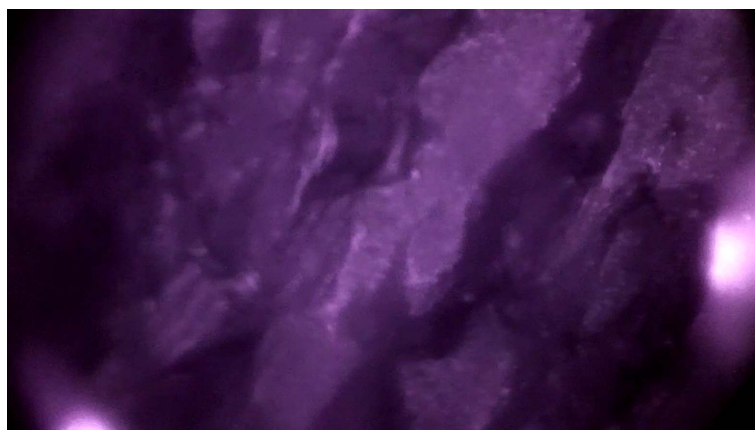
Klasa	Opis spękań (w odniesieniu do odcinka pomiarowego – w badaniach równego 1 m, co odpowiada około 300 klatkom wideo)
0	brak spękań
1	szczeliny o małej rozwarości (do 0.5 mm), występujące sporadycznie, na pojedynczych klatkach
2	szczeliny o małej rozwarości (do 0.5 mm), występujące na więcej niż 33% klatek
3	szczeliny o średniej rozwarości (do 2.5 mm), występujące sporadycznie, na pojedynczych klatkach lub: szczeliny o małej rozwarości (do 0.5 mm) występujące na więcej niż 80% klatek
4	szczeliny o średniej rozwarości (do 2.5 mm), występujące na więcej niż 33% klatek
5	szczeliny o dużej rozwarości (powyżej 2.5 mm), występujące sporadycznie, na pojedynczych klatkach lub: szczeliny o średniej rozwarości (do 2.5 mm) występujące na więcej niż 80% klatek
6	szczeliny o dużej rozwarości (powyżej 2.5 mm), występujące na więcej niż 33% klatek
7	obszary o dużej sieci spękań (typu rumosz), występujące sporadycznie, na pojedynczych klatkach lub: szczeliny o dużej rozwarości (pow. 2.5 mm), występujące na więcej niż 80% klatek
8	obszary o dużej sieci spękań (typu rumosz), występujące na więcej niż 33 % klatek
9	obszary o dużej sieci spękań (typu rumosz), występujące na więcej niż 80 % klatek



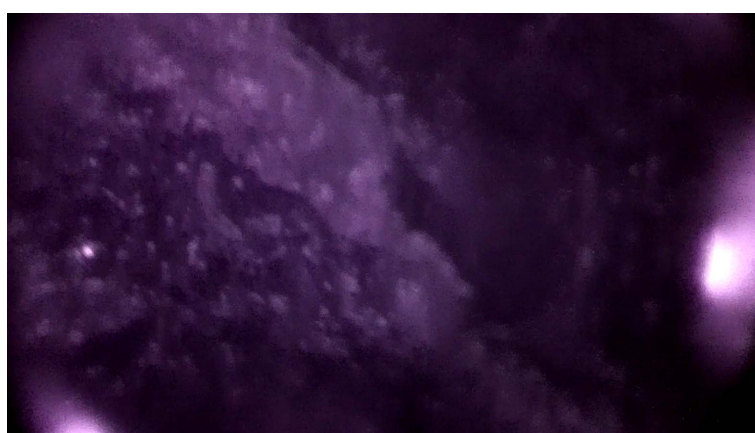
Rys. 4. Szczelina o rozwarości charakterystycznej dla klasy 1 (rozwarość szczeliny 15 pikseli, co odpowiada ok. 0.4 mm)



Rys. 5. Szczelina o rozwarości charakterystycznej dla klasy 3 (rozwarość szczeliny 57 pikseli, co odpowiada ok. 1.4 mm)



Rys. 6. Szczelina o rozwarości charakterystycznej dla klasy 5 (rozwartość szczeliny 160 pikseli, co odpowiada ok. 3.9 mm)



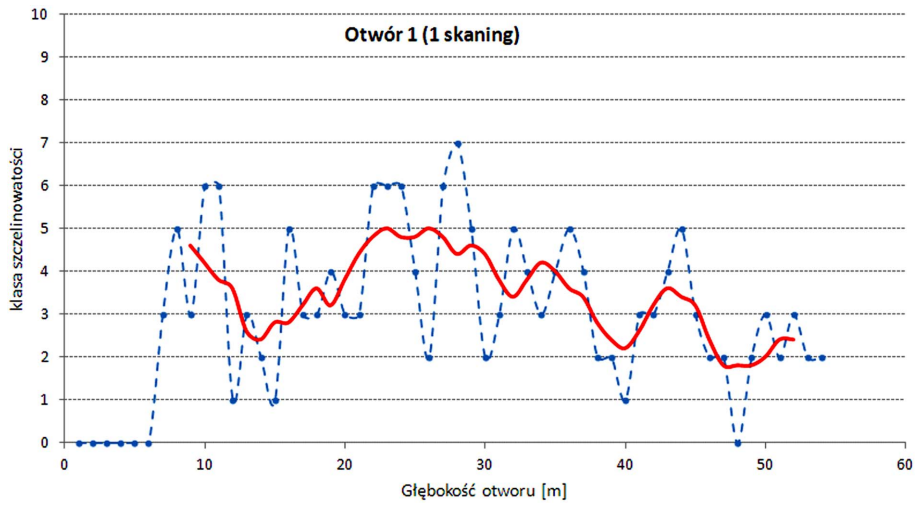
Rys. 7. Obszar o strukturze typu rumosz, charakterystycznej dla klasy 7

5. Przykładowe wyniki pomiarów szczelinowatości

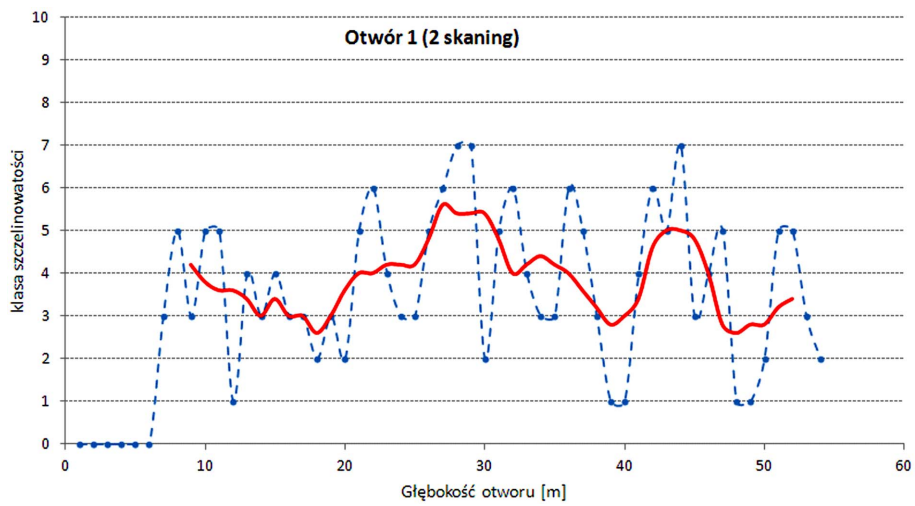
Wykorzystując zaproponowaną metodykę klasyfikacji i analizując filmy wideo zarejestrowane podczas skanowania otworu uzyskano zmienności klas spękań na poszczególnych głębokościach otworu, oraz w poszczególnych dniach pomiarowych (czyli w różnych odległościach otworu od frontu ściany). Dla badanego otworu wykonano 4 skanowania. Dwa pierwsze do głębokość 54 metry, dwa następne do głębokość 47 metrów. Tylko taka głębokość, z około 100 metrowej, pierwotnej głębokości, była możliwa do penetracji przez kamerę. Należy wspomnieć, że w tym otworze, podczas 5-go pomiaru, stracona została kamera wideo. Rezultaty pomiarów zestawiono na rys. 8-11. Dla każdego z pomiarów wyznaczono również linię trendu, poprzez wyznaczenie średniej kroczącej o wielkości 5.

Analizując otrzymane rezultaty należy mieć na uwadze następujące uwarunkowania:

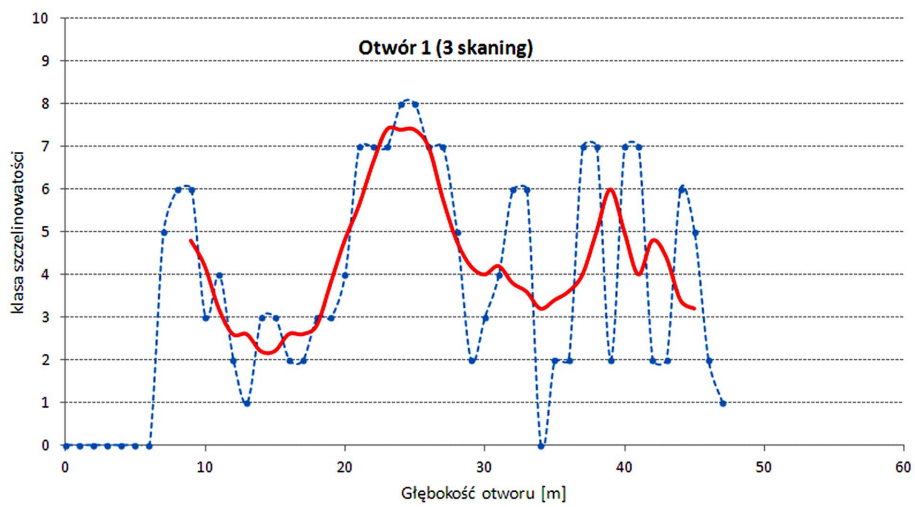
- na pierwszych 6-ciu metrach otworu umieszczona była rura osadowa, stąd też brak jest wyników pomiaru szczelinowatości na tym fragmencie otworu,
- analizowany otwór miał głębokość około 98 m, jednakże nie był możliwy pomiar na całej jego długości, ponadto podczas jednego z pomiarów kamera została w otworze.
- na jakość zarejestrowanego filmu istotny wpływ miały warunki oświetlenia, odległość obiektywu kamery od poboczniczy otworu (czyli w efekcie ostrość obrazu), częste w warunkach kopalnianych zabrudzenie szybki kamery, itp. W trakcie pomiarów podjęto wysiłek, aby wpływ tego typu negatywnych uwarunkowań na materiał filmowy był jak najmniejszy. Niemniej jednak, należy zdawać sobie sprawę z pewnej nieporównywalności poszczególnych sekwencji wideo.



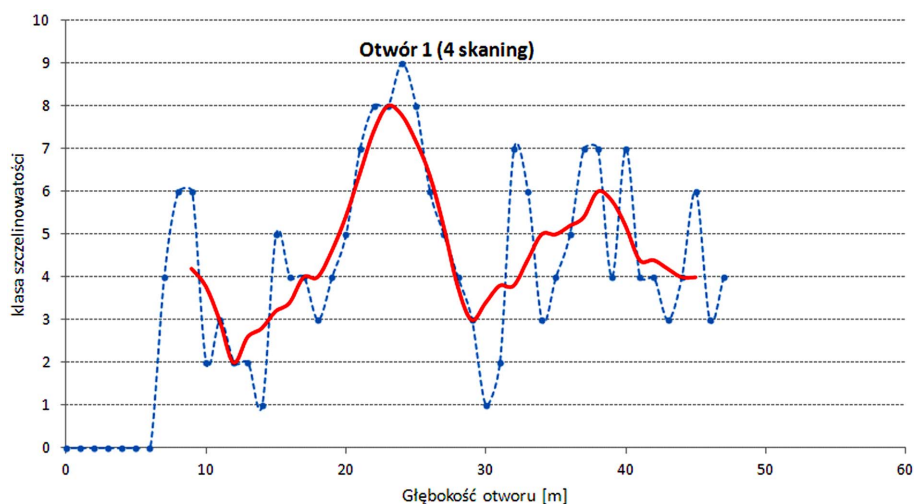
Rys. 8. Otwór 1, rejestracja nr 1



Rys. 9. Otwór 1, rejestracja nr 2



Rys. 10. Otwór 1, rejestracja nr 3

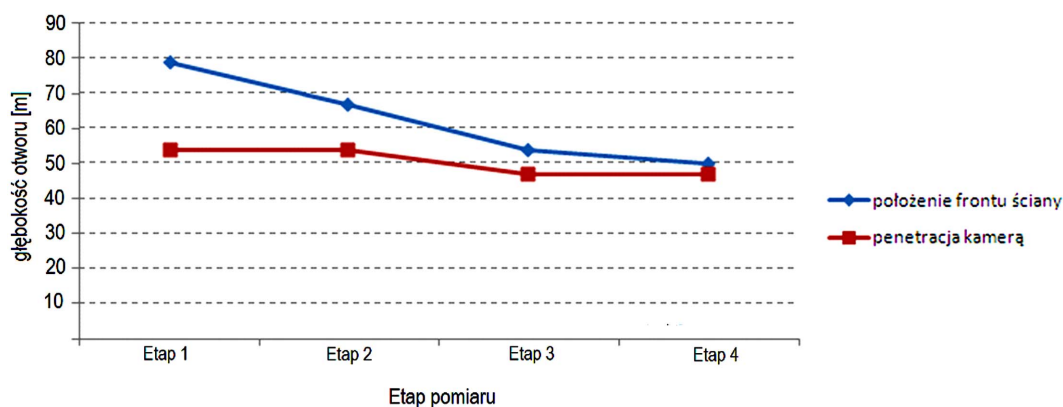


Rys. 11. Otwór 1, rejestracja nr 4

Dla analizowanego otworu o głębokości 98 m:

- w dniach 27 i 30 maja 2012 r. zdołano zarejestrować obraz jedynie do głębokości 54 metrów,
- w dniach 4 i 6 czerwca 2012 r. zdołano zarejestrować obraz jedynie do głębokości 47 metrów,
- w dniu 12 czerwca 2012 r. utracono kamerę w otworze (zakleszczenie)

Przedstawione informacje w połączeniu z danymi o eksploatacji ściany (patrz rys. 12) mogą sugerować, że głębokość, na którą możliwa była penetracja badanego otworu powiązana była z odległościami od frontu ściany.



Rys. 12. Głębokość (w metrach), na której otwór 1 przecinał front ściany w poszczególnych dniach pomiarów oraz głębokości, na które możliwa była penetracja otworu

6. Podziękowania

Autorzy pragną podziękować dr inż. Norbertowi Skoczylasowi za pomoc w konstrukcji sondy pomiarowej, oraz dr Norbertowi Skoczylasowi oraz mgr inż. Mateuszowi Kudasikowi za rejestrację materiału filmowego w KWK „Zofiówka”

7. Podsumowanie i wnioski końcowe

W pracy przedstawiono proces analizy sieci spękań oparty na analizie sekwencji wideo zarejestrowanych kamerą introskopową w podcierwieni, w otworach odmetanowania. Dla celów analizy sekwencji wideo zdefiniowano nową klasyfikację spękań. Zdefiniowano w niej trzy klasy rozwartości spękań. Do klasyfikacji wprowadzono również pojęcie „obszarów o dużej sieci spękań – typu rumosz”, opisujące bardzo duże zniszczenie struktury obserwowane na całym analizowanym obrazie. Drugim istotnym parametrem występującym w klasyfikacjach szczelinowości, jest parametr liczby spękań. Dla potrzeb prezentowanych badań przyjęto, że parametr ten zdeterminowany został jako procentowy udział klatek sekwencji wideo, na której pojawiają się spękania. Bazując na powyższych założeniach zdefiniowano dziesięć klas szczelinowości, do których przypisywano poszczególne fragmenty analizowanych sekwencji wideo.

Na bazie tej klasyfikacji dokonano pomiarów szczelinowości otworów odmetanowania. Rozpoznanie literaturowe dotyczące tej tematyki badawczej wskazuje, że tego typu badania są badaniami pionierskimi i nie wykonywano ich dotychczas w światowym górnictwie węgla kamiennego.

Badania przeprowadzono w ramach Strategicznego Projektu Badawczego NCBiR pt. „Poprawa bezpieczeństwa pracy w kopalniach”, zadanie badawcze 4 pt. „Poprawa efektywności odmetanowania górotworu w warunkach dużej koncentracji wydobywania w podziemnych zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny”, podzadanie 4.2.3 pt. „Badania nad dopływem metanu wraz z określeniem rozkładu ciśnienia w otworach drenażowych”

8. Literatura

- Kidybiński A., 1982: *Podstawy geotechniki kopalnianej*. Katowice, Wydawnictwo „Śląsk”
- Małkowski P., 2004: *Obserwacje stref spękań wokół wyrobisk korytarzowych dla oceny jakości górotworu*. Materiały XXVII ZSMG „Geotechnika i budownictwo specjalne”. Zakopane.
- Stasica J., Rak Z., 2012: *Introsopic camera to examine rock structure penetrated by drilling operations*. AGH Journal of Mining and Geoengineering, vol. 36, No. 3.
- Stopyra M., Stasica J., Rak Z., 1998: *Introskopowa metoda badania górotworu w otoczeniu wyrobisk górniczych*. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, Miesięcznik WUG, Nr 10.

Research on the fractures in the rock mass around the drainage drawhole based on the analysis of video from the introsopic camera

Abstract

This paper describes the study of fracturing around the drainage drawhole, performed in the coal mine “Zofiówka”. For the purpose of the work specialized measuring equipment to registering a drawhole side has been done. This apparatus is based on the infrared CCD camera. Methodology of video recording with drainage drawholes was developed. This method was possible to use in mining conditions. A classification of fracturing was proposed. This classification can be used for quantitative description of fracture based on video sequence observation. The proposed methods of measurement and classification were tested in the drainage drawhole in the B-3a gallery of coal seam 405/11g of the „Zofiówka” coal mine.

Keywords: fracturing, drainage drawhole, fractures classification, methane hazard