

ZASTOSOWANIE ZDJĘĆ SZYBKICH DO BADANIA ROZPADU PRÓBEK I ROZSADZANIA OCIOŚC WĘGLOWEGO

Mieczysław Hobler

Instytut Górnictwa Podziemnego
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

Wraz z postępowaniem we wszystkich dziedzinach wiedzy zaznacza się bardzo duży postęp w dziedzinie techniki fotograficznej i filmowej. Obydwie te techniki są reprezentowane we wszystkich gałęziach wiedzy związanych z działalnością człowieka.

Stosowanie techniki fotograficznej w górnictwie do fotografowania nieruchomych skał, maszyn i urządzeń oraz ludzi wykonujących określone czynności, zapisów i wykresów wykonywanych przez aparaturę rejestrującą itp. umożliwia odtworzenie rzeczywistego stanu, koniecznego w celu opracowania pomiarów lub analizy.

Technika filmowa w górnictwie ma bardzo szeroki zakres i zasięg działania. Umożliwia filmowanie takich procesów, jak rozsadzanie i rozpad skał, filmowanie rozprzestrzeniania się fal naprężeniowych, tworzących się przy wybuchu, sieci szczelin itp. Analiza tych przebiegów umożliwia ustalenie i poznanie pewnych prawidłowości przy wybuchu, objaśnienie istoty procesu rozsadzania skał, co z kolei warunkuje prawidłowe projektowanie i przeprowadzanie robót strzelniczych. Ustalenie jakościowych wskaźników i ilościowych wartości umożliwi maksymalne uzyskanie energii wybuchu i uzyskanie optymalnej efektywności rozsadzania.

W czasie wybuchu zwarte i bardzo zwarte skały znajdują się w złożonym stanie naprężeń i odkształcają się jak ciała sprężysto-krucho. Przy wybuchu tworzy się sieć szczelin, powodująca rozpad skały, która wskutek rozsadzającego działania odrywana jest od calizny. Dlatego poznanie mechanizmu powstawania, rozwijania się i zanikania szczelin ma bardzo duże znaczenie teoretyczne i praktyczne. Na proces rozsadzania i rozpadu szczelinowatych skał istotny wpływ wykazują: długość, szerokość

kość i kierunek szczelin oraz ich wypełnienie, długość fali i czas jej oddziaływania, początkowe naprężenie przy wybuchu ładunku i przekazywanie energii wybuchu skałom. Dlatego też dużą pomocą i sprawdzianem w poznaniu mechanizmu rozsadzania jest bezpośrednio filmowanie kamerą do zdjęć szybkich szczelin oraz rozpadu calizny. Analiza ta-



Rys. 1. Zawał skał stropowych. (Należy zaznaczyć, że przy wykonywaniu zdjęcia p z uwagi na podkład zawierający metan — zastosowano specjalną lampę błyskową firmy Braun Standard 1/1000 s, dopuszczoną do kopalni gazowych)

kiego filmu umożliwia prawidłowe projektowanie metryk strzałowych oraz przyczynia się do wyeliminowania niewypałów, powstałych z niewłaściwej technologii urabiania.

Rysunek 1 przedstawia charakterystyczny przykład dokumentacji, dotyczącej usytuowania skał.

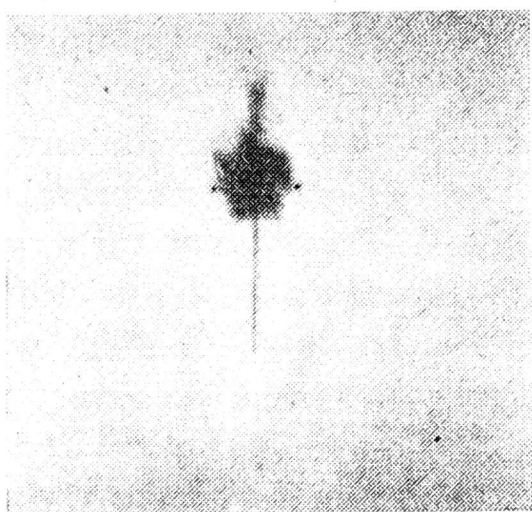
BADANIA LABORATORYJNE NAD ROZSADZANIEM WĘGLA MATERIAŁEM WYBUCHOWYCH PRZEPROWADZANE W CHODNIKU WĘGLOWYM Z UŻYCIEM KAMER DO ZDJĘĆ SZYBKICH

W ramach badań kompleksowych przeprowadzono badania nad efektywnością rozsadzania materiałem wybuchowym. Badania laboratoryjne przeprowadzono w Laboratorium Rozsadzania Skał w Leningradzkim Instytucie Górnictwa, później — rozszerzone i kontynuowane — w chodniku węglowym w kopalni „Janina” w Libiążu.

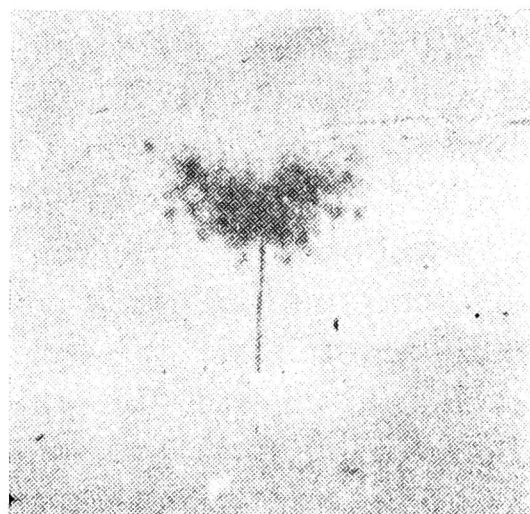
Do badań laboratoryjnych użyto bryłę węgla z kopalni „Krasnogorska” z Zagłębia Kuźnieckiego. Z węgla wycięto próbki o wymiarach $5 \times 5 \times 5$ cm oraz $1 \times 1 \times 1$ cm, które przeznaczono do rozsadzania (próbki większe) i do badania rozrzutu po wybuchu (próbki mniejszej). Wyznaczono ciężar objętościowy węgla, wilgotność w stanie powietrzno-

-suchym i po nawilgoceniu oraz prędkości fali podłużnej — poprzecznie i podłużnie do uwarstwienia.

W próbkach węgla o wymiarach $5 \times 5 \times 5$ cm przewiercano otworek o średnicy 3 mm i wkładano do niego ładunek pentrytu o ciężarze 0,02 G, zapakowany w bibułkę. Jako inicjator zastosowano kropelkę azydku ołowiu o ciężarze 0,003 G, wtopiony na końcu przewodów. Otworek uszczelniano z obydwóch stron plasteliną, która odgrywała rolę przybitki. W celu umożliwienia filmowania próbki umieszczano na specjalnej konstrukcji drewnianej. W celu zwiększenia kontrastu z tyłu próbki umieszczono białe tło z papieru. Przed rozpoczęciem filmowania do większych próbek węgla przytwierdzono mniejsze. Filmowanie przeprowadzono kamerą do zdjęć szybkich typu SKS-1 m. Do oświetlania próbki używano 4 reflektory o łącznej mocy 8 kW. Odstęp kamery od próbki wynosił 4,5 m. Przebieg rozpadu próbki filmowano z prędkością 1800 kl./s. Filmowanie przeprowadzono w specjalnym pomieszczeniu laboratoryjnym. Uruchamiano najpierw kamerę, a następnie przeprowadzano odpalanie (rys. 2-3).



Rys. 2. Próbka węgla po czasie 0,0033 s
(klatka 6)



Rys. 3. Próbka węgla po czasie 0,011 s
(klatka 20)

Po wypróbowaniu kilku sposobów przeprowadzania pomiarów przemieszczania się małych próbek zdecydowano — ze względu na dokładność — przeprowadzić je metodą fotogrametryczną za pomocą stereokomparatora firmy Carl Zeiss Jena.

Na zasadzie założeń z teorii sprężystości obliczono prędkość odrywania się małych próbek, prędkość ich przemieszczania oraz naprężenia radialne wg wzoru:

$$U = \frac{V}{2}$$

$$\sigma_r = \frac{\gamma}{g} \cdot C \cdot U \cdot 10^{-3}$$

gdzie:

- γ — ciężar objętościowy, G/cm³,
- g — przyspieszenie ziemskie, cm/s²,
- C — prędkość fali podłużnej, cm/s,
- U — prędkość przemieszczania się próbki, cm/s,
- V — średnia prędkość oderwania się próbki, cm/s,
- σ_r — naprężenie radialne, kG/cm².

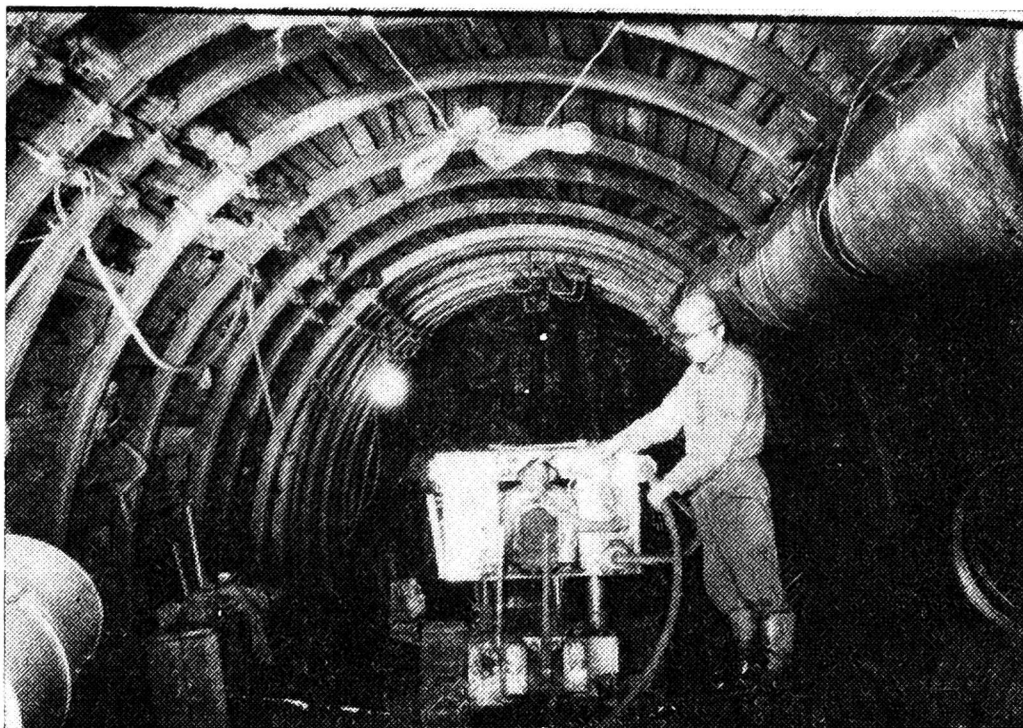
Na podstawie pomiarów dokonanych na filmie oraz obliczeń stwierdzono, że prędkość oderwania i przemieszczania się próbki oraz naprężenia radialne większe są dla próbek nawilżonych niż dla próbek w stanie powietrzno-suchym.

Badania w chodniku węglowym były przeprowadzone w warunkach naturalnych, stosowanych w górnictwie podziemnym. Dotyczyły one efektu urabiania materiałem wybuchowych przy użyciu różnych rodzajów przybitek, stosowanych obecnie w polskim górnictwie węglowym i przy zastosowaniu zapalników momentalnych oraz milisekundowych.

Rozsadzanie calizny węglowej chodnika odbywało się po uprzednim wykonaniu wrębiarką WŁE-30ch specjalnej wnęki o wysokości 2,5 m, szerokości 1,4 m i głębokości 1,5 m, która imitowała podwrębniony ocios w ścianie lub w chodniku (rys. 9). Wnękę podzielono na dwie części przegrodą wykonaną ze spiętych ze sobą zużytych kawałków taśm gumowych, wzmocnionych siecią rybacką. Wnęka umożliwiała filmowanie przebiegu odrywania się rozsazanego węgla i zatrzymującego się w niej odstrzelonego urobku. Do ociosów wnęki przytwierdzono po cztery próbki węglowe o wymiarach 6 × 6 × 6 cm i jednakowej masie 285 gramów. Próbki umieszczano naprzeciw środka ładunku materiału wybuchowego barbarytu FGH, którym odstrzelowano otwory z obydwóch stron wnęki (rys. 4-6).

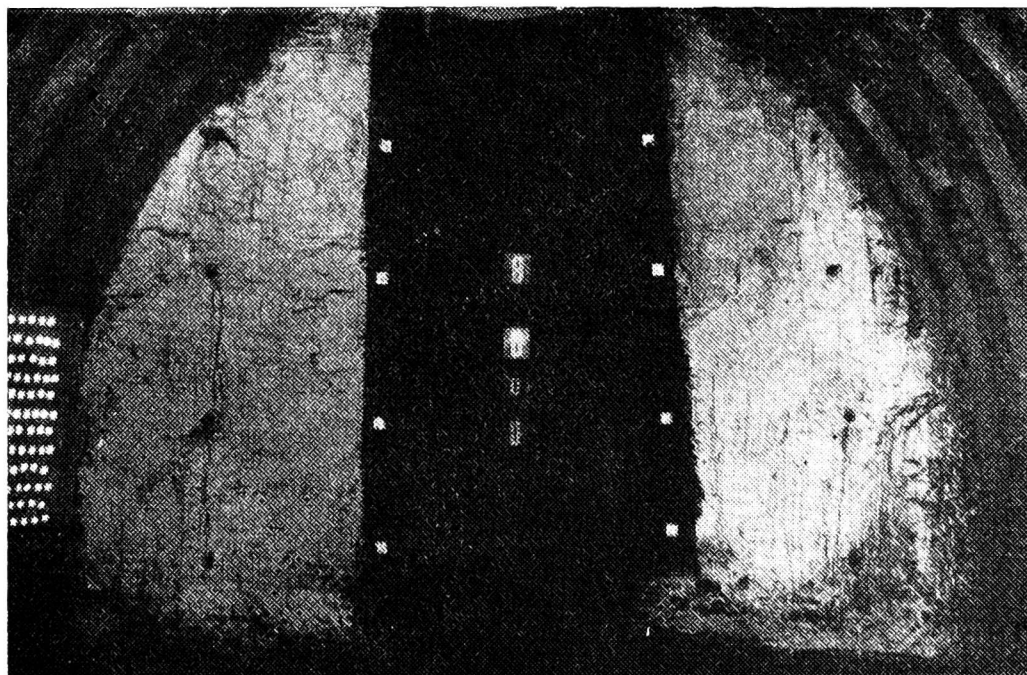
Próbki te, podobnie jak w metodzie laboratoryjnej, umożliwiały wyznaczenie prędkości oderwania się i przemieszczania próbek węgla, a następnie obliczenia naprężeń normalnych dla wariantów z różną przebitką i zapalnikami z każdej strony wnęki. Uzyskano w ten sposób możliwość filmowania przebiegu rozsadzania calizny węglowej z obydwóch stron wnęki w jednym czasie i prawie w tym samym miejscu z zastosowaniem różnych parametrów strzelania. Sposób ten umożliwiał również sprawdzenie wpływu przybitki i zapalników na wychód asortymentów węgla, na ilość odstrzelonego urobku oraz na wartość jednej tony urobionego węgla.

Filmowanie rozsadzania węgla wraz z powstającymi szczelinami prze-

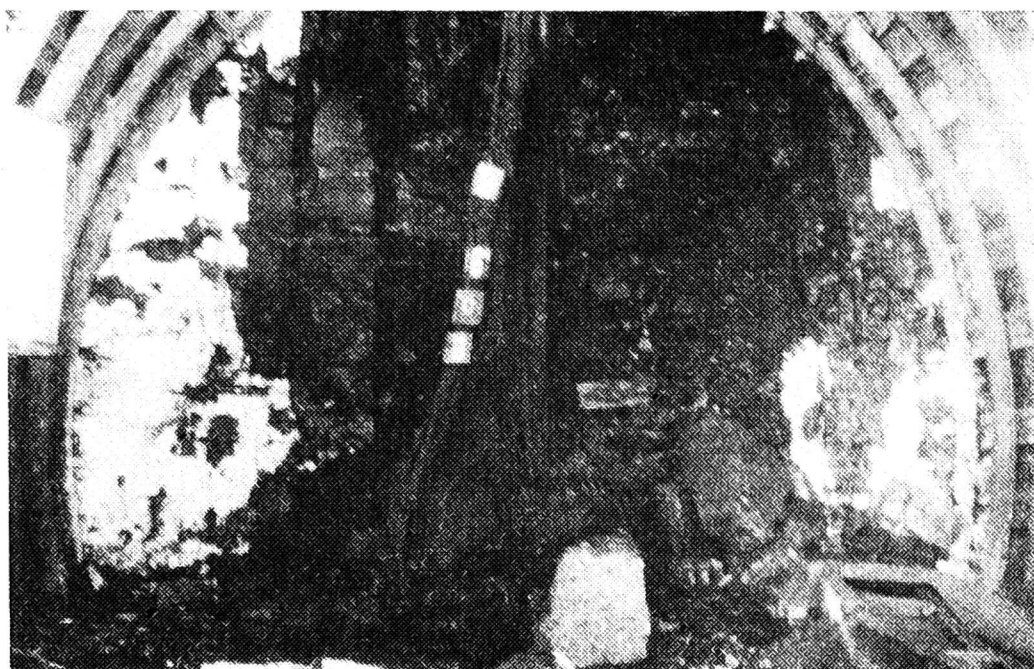


Rys. 4. Wykonanie wnętrza w chodniku badawczym

prowadzano kamerą Pentazet 16. Kamerę sterowano z miejsca strzelania. Najpierw włączono kamerę, a następnie odpalano zapalniki elektryczne. Kamerę ustawiono za specjalną osłoną wykonaną ze stojaków i desek obitych blachą, w celu zabezpieczenia przed odłamkami skalnymi. W osłonie znajduje się przeszklony otwór do filmowania. Kamerę ustawiono w odległości 11,5 m od czoła chodnika, co umożliwiło filmowanie całego chodnika. Aby uzyskać duże natężenie oświetlenia, zastosowano 15 reflektorów o mocy 15 kW oraz 4 bloki oświetleniowe specjalnej konstrukcji. Odległość reflektorów od czoła chodnika wynosiła



Rys. 5. Widok czoła chodnika z wnętrza przed rozsadzeniem



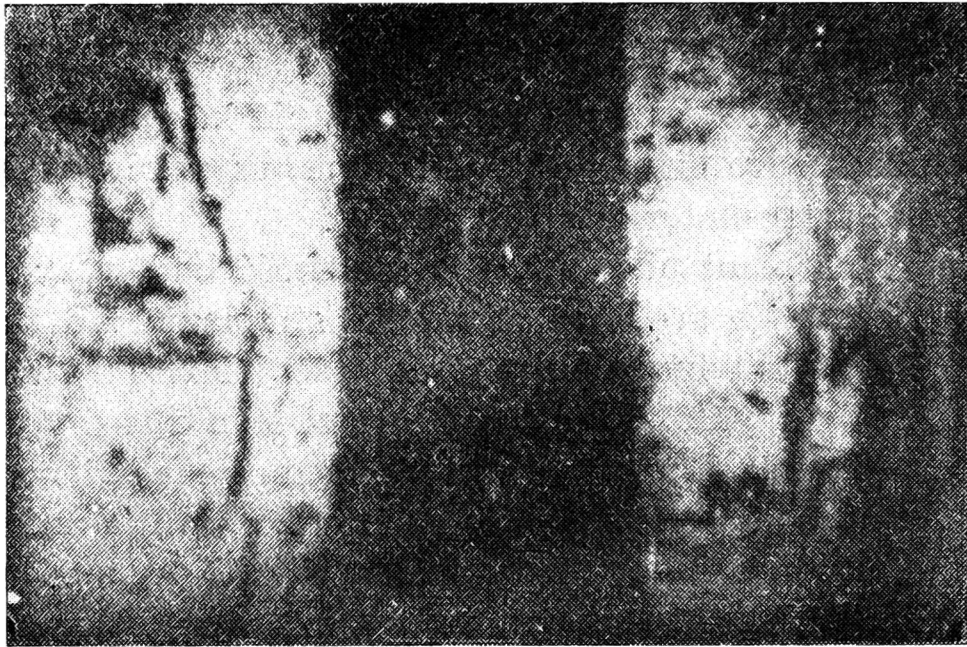
Rys. 6. Widok czola chodnika po rozsadzeniu

około 8 m, a bloków oświetleniowych około 3,5 m. Reflektory i bloki oświetleniowe zabezpieczono przed uszkodzeniem odłamkami węgla. W celu uzyskania lepszej widoczności kostki węgla owijano cynfolią, a ocios chodnika bielono kredą. Po początkowych próbach ustalono prędkość filmowania na 600 kl./s i przyjęto przysłonę 5,6. Badanie przemieszczania się próbek, ociosów wnęki i rozprzestrzenianie się szczelin przeprowadzono podobnie jak dla badań laboratoryjnych, sposobem fotogrametrycznym.

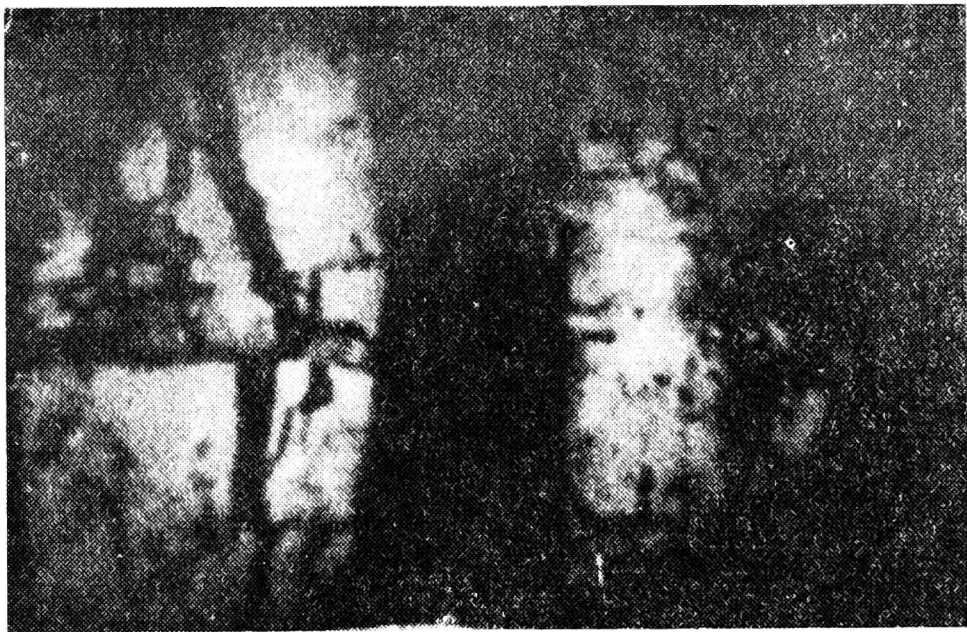
Po wielu próbach nad ustaleniem prawidłowej metryki strzelania zdecydowano, że otwory o długości 1,5 m zostaną umieszczone w odległości 60 cm od siebie i 70 cm od ociosu. Strzelano barbarytem powietrznym FGH w dwóch nabojach po 100 g, umieszczonych w osłonkach plastikowych, oraz zapalnikami elektrycznymi ciśnieniowymi momentalnymi i zapalnikami milisekundowymi powietrznymi. W celu umożliwienia porównania wyników wszystkie strzelania przeprowadzono z inicjacją tylną. Jako przybitkę stosowano:

- 1) łupek z piaskiem,
- 2) po dwie wkładki *M* i łupek z piaskiem,
- 3) dwa pojemniki z wodą i łupek z piaskiem,
- 4) łupek z piaskiem po uprzednim wtłoczeniu wody,
- 5) ciśnienie wody za pomocą samouszczelniających się głowic.

Na rysunkach 7-9 przedstawiono przebieg rozsadzania chodnika. Dzięki pobieraniu prób w tym samym czasie i (w przybliżeniu) w tym samym miejscu prawie całkowicie wyeliminowano wpływ zmiennych parametrów górniczo-geologicznych. Umożliwiało to bardzo dokładną ocenę porównawczą między założonymi sposobami strzelania oraz wyciągnięcia



Rys. 7. Widok czoła chodnika po czasie 0,033 s (klatka 20)



Rys. 8. Widok czoła chodnika po czasie 0,083 s (klatka 50)



Rys. 9. Widok czoła chodnika po czasie 0,1663 s (klatka 100)

właściwych wniosków. Przeprowadzone badania kompleksowe umożliwiły także uzyskanie bardzo cennego pod względem naukowym, technologicznym i ekonomicznym materiału badawczego.

Badaniami i próbami udowodniono słuszność badawczych hipotez roboczych. Na podstawie średnich wyników strzelania ZE momentalnymi i milisekundowymi stwierdzono, że objętość (ciężar) rozpadających się skał w stanie wilgotnym jest większa niż w stanie suchym. Wzrost ciężaru węgla przy odstrzeliwaniu otworów z pojemnikami z wody wynosił 11,1% dla ZE momentalnych i 11,5% dla ZE milisekundowych. Przy strzelaniu z przybitką wody pod ciśnieniem dla ZE momentalnych wzrost ten wynosił 12,6%, a przy strzelaniu po uprzednim wtłoczeniu wody dla ZE milisekundowych 21,9%. Stwierdzono również procentowy wzrost wychodu węgla grubego zawilgoconego w porównaniu do węgla w stanie powietrzno-suchym.

W celu odstrzeliwania węgla przeprowadzono próby wyznaczania wychodu sortymentów sposobem fotograficznym (rys. 10). Badania labora-



Rys. 10. Widok odstrzelonego węgla dla wyznaczania wychodu sortymentów

toryjne wykazały wzrost naprężeń radialnych w próbkach węgla zawilgoconego oraz większą przestrzeń zajmowaną w czasie rozpadu przez te próbki. W trakcie badań w chodniku stwierdzono znacznie większe przemieszczanie się ociosu nasyconej wodą calizny węgla od przemieszczania się ociosu suchej calizny węgla.

W badaniach laboratoryjnych i w chodniku badawczym zastosowano nową metodykę badań, umożliwiającą wyznaczanie prędkości odrywania i przemieszczania się próbek oraz naprężeń radialnych. Po raz pierwszy do tego rodzaju badań zastosowano pomiary metodą fotogrametryczną.

Oryginalnie opracowano filmowanie procesu rozsadzania calizny węglowej oraz sposób pobierania prób dla wyznaczenia wychodu sortymentów i ilości odstrzelonego węgla. Sposoby te zostały opatentowane. Wdrożona metodyka badań w wyniku wielu prób zdała egzamin i może być szeroko stosowana do badania procesów rozsadzania.

Wiele zalet zarówno ze względu na wychód sortymentów jak i na ilość odstrzelonego węgla wykazuje przybitka pod ciśnieniem wody z uprzednim nawilżaniem calizny. W czasie prób zastosowano równoczesne wtłaczanie wody czterema głowicami oraz odstrzeliwanie czterech otworów. Przy zastosowaniu pomp o wyższym ciśnieniu i o większych wydajnościach można by równocześnie wtłaczać i odstrzeliwać nawet osiem otworów.

Przed odstrzeliwaniem otwory strzałowe należy wykorzystywać do nawilżania calizny węglowej chodników i ścian. Zwiększa się przez to efekt odstrzału, ilość odstrzelonej masy węgla i wychód grubych sortymentów. Następuje również zmniejszenie ilości materiału wybuchowego do odstrzelania, ilości otworów strzałowych i ilości wytworzonego pyłu węglowego.

Dla różnych rodzajów przybitek zastosowanych przy strzelaniu zmienia się wartość urobionego węgla. Największa różnica w wartości odstrzelonej 1 tony węgla po nawilżeniu i w stanie powietrzno-suchym dla strzelania momentalnego wynosi 8,95 zł, a dla strzelania milisekundowego 20,06 zł.

Należy podkreślić, że kierownictwo kopalni zainteresowane badaniami umożliwiło ich właściwą realizację. Dane dotyczące przeprowadzonych badań oraz częściowe wyniki badań były udostępnione kopalni, która odpowiednio je wykorzystywała. Kontynuowano wdrażanie wtłaczania wody w ścianach przed kombajnem oraz strzelanie rozluźniające w węglu z przybitką wodną pod ciśnieniem wody.

WNIOSKI

Na podstawie dotychczasowych badań stwierdzono bardzo dużą przydatność dokumentacji fotograficznej. Umożliwia ona obiektywną analizę, a nawet dokonywanie pomiarów przez badacza fotografującego, albo też przez zespół specjalistów, w warunkach odmiennych od istniejących przy fotografowaniu.

Dotychczasowe doświadczenia z filmowaniem kamerą do zdjęć szybkich w trudnych warunkach w podziemnej kopalni węgla pozwalają na optymistyczne prognozy. Filmowanie filmami czarno-białymi lub barwnymi umożliwia dalszy postęp w wykorzystaniu kamer do badań naukowych oraz do rozwiązywania problemów technicznych.

LITERATURA

1. Baranow E. G., Danczew P. S., Iwanow K. I., Malczonok W. O., Paszkow A. D., Chanukajew A. N.: Issledowanje processow burenji i wzrywanja (s primienieniem kinosjomki) Ugletiechizdat, Moskwa 1959.
2. Cyprian T.: Fotografia, Technika i Technologia. WNT, Warszawa 1970.
3. Drukowanyj M. F., Pietraszyn Ł. F., Bilokoń W. P., Kuźniecowa G. W.: Metody i śriedstwa registracji dziejstwa wzrywa w gornych porodach. Naukowaja dumka, Kijew 1971.
4. Dubowik A. S.: Fotograficzeskaja registracja bystroprotiekajuszczich processow. Izd. Nauka, Moskwa 1969.
5. Giebelhausen J.: Industriefotografie für Technik und Wirtschaft. Verlag Grossbild — Technik GMBH. München 1966.
6. Hobler M.: Badania nad efektywnością rozsadzania materiałem wybuchowym w wyrobisku węglowym. Zesz. nauk. Akademii Górniczo-Hutniczej, Górnictwo 41, Kraków 1972.
7. Hobler M.: Badania nad rozsadzaniem próbek węglowych i calizny węglowej z użyciem kamery do szybkich zdjęć. Mater. konf. nauk. „Techniki fotograficzne i filmowe w badaniach naukowych”. Politechnika Gdańska, Gdańsk 25-26 maja 1972.
8. Hobler M.: Zastosowanie techniki fotograficznej i filmowej do górniczych badań laboratoryjnych i w kopalniach podziemnych. W druku.
9. Hobler M.: Perspektywy wykorzystania filmowania kamerą do szybkich zdjęć w badaniach nad rozsadzaniem materiałami wybuchowymi w podziemnych kopalniach rud. SIiTG Olkusz, styczeń 1974.
10. Hobler M.: Rozsadzanie pokładów węgla metodą Armstrong z zastrzykami wody przy wykorzystaniu podzielności i odprężenia się pokładu. PAN Oddział w Krakowie. Górnictwo 5, Kraków 1968.
11. Hobler M.: Badania nad własnościami termicznymi skał w temperaturach ujemnych. PAN Oddział w Krakowie. Górnictwo 12, Kraków 1973.
12. Hobler M., Znański J.: Investigations of blasting coal seams in Polish collieries by means of the Armstrong Airbreaker preceded by water infusion. Mining & Minerals Engineering, October 1969.
13. Hobler M.: Razruszenje uгля sposobami kardoks i Armstrong w polskoj narodnoj respublikie. Technologie dobyczy uгля podziemnym sposobom, nr 3, 1969.
14. Hobler M.: Zwiększenie efektywności urabiania kombajnami przez uprzednie wtłaczanie wody do calizny węglowej. Prz. gór. nr 5, 1972.
15. Hobler M., Maciejasz Z.: Roboty strzelnicze w górnictwie podziemnym. AGH. Skrypt uczelniany nr 25. Kraków 1972.
16. Hyzer W. G.: Engineering and Scientific High-Speed Photography. New York, The Macmillan Company 1963.
17. Iliński M.: Materiały fotograficzne czarno-białe. Wyd. Artystyczne i Filmowe. Warszawa 1970.
18. Patterson E. M.: A photographie study of blasting in coal-bearing strata. Colliery Engineering, nr 397, 398, 1957.
19. Teicher G.: Handbuch der Fototechnik Fotokinoverlag. Leipzig 1972.

М. Хоблер

ПРИМЕНЕНИЕ БЫСТРЫХ СЪЕМОК ДЛЯ КИНОСЪЕМКИ
РАСПАДА ОБРАЗЦОВ И ВЗРЫВА УГОЛЬНОЙ БОКОВОЙ ВЫЕМКИ

Резюме

Описан метод съёмки угольных образцов камерой СКС-1 (для быстрых снимков), а также методику определения скорости отрыва, скорости перемещения и радиальных напряжении небольших образцов прикреплённых к отпаливанным образцам. Представлено комплексные опыты в штреку и использованием камеры Пентазет 16. Одновременно сделаны научные, технологические и экономические выводы, подчеркивающие преимущество добычи взрывчаткой с использованием воды.

M. Hobler

USE OF HIGH-SPEED PHOTOGRAPHY TO OBSERVE
THE COAL SAMPLE BREAK-UP AND THE SIDE WALL SPLIT

Summary

The use of high-speed film camera SKS-1m for investigation of the coal samples break-up was described as well as the method to determine tearing and displacement speeds and radial stresses in small samples attached to the samples being shot away. Complex investigations by the use of Pentazet 16 high-speed camera into testing gallery were presented. On the basis of scientific conclusions the technical and economic recommendations were given marking the preference of blasting and hydraulic mining over the other methods.