ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1974

Seria: Górnictwo z. 64 Nr kol. 425

Tadeusz Krzemiński
Piotr Górkiewicz

METODA BEZPOŚREDNIEGO OKREŚLANIA STANU ENERGETYCZNEGO WĘGLA I GAZU W GOROTWORZE I JEJ PRAKTYCZNE ZASTOSOWANIE W BADANIACH ZJAWISKA WYRZUTÓW GAZÓW I SKAŁ

Streszczenie. W artykule przedstawiono metodą pomiarów pozwalającą na jednoczesne określanie stanu energetycznego gazu oraz naprężeń w węglu - w caliźnie przodków górniczych. Zainterpretowano wyniki przeprowadzonych pomiarów w świetle zastosowania ich w praktyce górniczej przy prognozowaniu wyrzutów węgla i gazu w kopalni "Nowa Ruda".

1. Wprowadzenie

Zjawiska i procesy poprzedzające wyrzut są jeszcze tematem licznych kontrowersji. Aktualnie istnieje kilkanaście teorii usiłujących wyjaśnić mechanizm powstawania tego zjawiska [3, 4].

W sprecyzowaniu nowej metody badawczej oparto się więc na stwierdzeniach ogólnie uznanych a mianowicie:

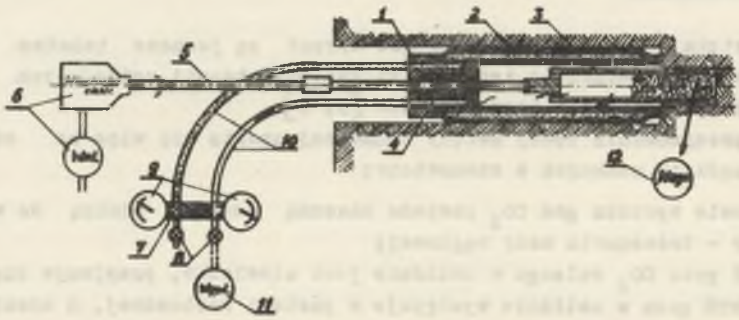
- w czasie wyrzutu gaz CO_2 posiada znaczną energię zdolną do wykonania pracy - transportu masy węglowej;
- ilość gazu CO_2 wolnego w caliźnie jest niewielka, przyjmuje się, że do ok. 95% gazu w caliźnie występuje w postaci sorbowanej, a niektórzy badacze uważają, że nawet w stanie ciekłym [4].

Sorpcja fizyczna jest zjawiskiem egzotermicznym, tzn. w czasie sorbowania następuje wydzielanie ciepła, a w czasie desorpcji jego pochłanianie [1, 7]. W związku z tym zaistniała potrzeba określenia przyczyn i okoliczności, w jakich znajdujący się w caliźnie sorbowany dwutlenek węgla, który dla uwolnienia się powinien pobierać energię - w pewnym momencie podczas wyrzutu uwalnia się wydatkując znaczne jej ilości.

Z punktu widzenia praktyki górniczej stało się konieczne znalezienie jednoznacznych odpowiedzi na następujące pytania:

1. Czy energia zakumulowana przez gaz, a potem oddawana w postaci pracy wyrzutu jest związana z warunkami panującymi w górotworze; czy też jest zjawiskiem odrębnym od pracy górotworu niezależnym.
2. Czy zjawisko wyrzutu spowodowane jest rozładowaniem energii zakumulowanej wyłącznie przez gaz, czy też energia ta nagromadzona jest również w węglu czy nawet w skałach otaczających.

Odpowiedź na pierwsze pytanie pozwoliłaby określić, czy prognozowanie wyrzutów opierać na wnioskach z laboratoryjnych badań struktur węgla i gazu w oderwaniu od warunków naturalnych (ciśnienia górotworu); czy też traktować te wnioski jako pomocnicze, a główną uwagę skupić na badaniach w całiźnie. Natomiast odpowiedź na drugie pytanie pozwoliłaby sprecyzować, czy objawów zbliżającego się wyrzutu szukać wyłącznie przez obserwację zachowania się gazu w całiźnie, czy też równolegle prowadzić obserwację naprężeń (akumulacji energii) w węglu, bądź nawet w skałach otaczających. Wyjaśnienie tych pytań pozwoliłoby również na dalsze dopracowanie podstaw teoretycznych przy doborze ewentualnych metod profilaktycznych w zwalczaniu zjawiska wyrzutów. Po licznych próbach i doświadczeniach autorzy opracowali metodę badawczą pozwalającą na określenie stanu energetycznego gazu w całiźnie, z jednoczesną obserwacją naprężeń panujących w węglu. Metoda ta oparta jest na specjalnie do tego celu skonstruowanym urządzeniu nazwanym "wiertniczą sondą pomiarową stałokomorową" (rys. 1) zgłoszonym w Urzędzie Patentowym (numer zgłoszenia 164428).



Rys. 1. Schemat ideowy wiertniczej sondy pomiarowej stałokomorowej
1. Korpus sondy, 2. Płaszcz uszczelniający. 3. Rdzeniówka. 4. Dławik uszczelniający. 5. Żerdzie wiertnicze z szybkozłączami. 6. Wiertarka elektryczna z podłączonym watomierzem. 7. Korpus głowicy pomiarowej. 8. Zawory. 9. Manometry. 10. Węże. 11. Wypływomierz. 12. Waga

2. Metoda badań

Metoda badawcza zakłada następujące postępowanie:

- wyczechowaną sondę o stałej (zmierzonej) objętości wewnętrznej umieszcza się w czole wywierconego otworu badawczego o średnicy 42 mm i dowolnej długości (praktycznie do 20 m);
- uszczelnia się ją przy pomocy sprężonego powietrza o ciśnieniu ok. 5 at;
- rejestruje się nadciśnienie, jakie ustaliło się w komorze sondy, bądź mierzy się wypływ gazu z uszczelnionej części otworu;

- wykonuje się rdzeniówką dowiert o określonej długości (praktycznie do 15 cm). Rdzeniówka ta napędzana jest wiertarką elektryczną z podłączonym watomierzem. W czasie dowiertu rejestruje się: przyrost nadciśnienia w komorze sondy, bądź mierzy się ilość gazu wypływającego w czasie wiercenia; czas wiercenia; pobór mocy wiertarki;
- po skończeniu dowiertu wydobywa się sondę z otworu, a zwierciny umieszczone w rdzeniówce waży się.

Na podstawie tych pomiarów wyznacza się następujące wskaźniki:

1. Wskaźnik energetyczny gazu "Eg"

Charakteryzuje on energię (zdolność transportową), jaką posiada gaz wyzwolony z określonej ilości węgla po rozdrobnieniu (zniszczeniu) calizny. Wylicza się go z następujących zależności: znajdujący się w komorze sondy gaz o ciśnieniu P_n posiada pewną energię E, którą może zamienić się w pracę L, jeżeli gaz ten będzie rozprężał się od ciśnienia P_n do ciśnienia atmosferycznego Po (Po $\approx$ 1 at):

$$E = L = -\int_{P_n}^{P_o} V\,dp$$

przy założeniu, że rozprężanie ma charakter izotermiczny. Opierając się na tym wzorze i uwzględniając wstępne odgazowanie calizny przed dowiertem oraz masę węgla, z którego się gaz wydzielił, otrzymano wzór na wskaźnik energetyczny gazu "Eg":

$$Eg = \frac{K \cdot P_2 \cdot \log P_2 - (1 - k) \cdot K \cdot P_1 \cdot \log P_1}{m}$$

gdzie:

P_1 – ciśnienie początkowe przed dowiertem – [kG/cm^2]

P_2 – ciśnienie końcowe po skończeniu dowiertu – [kG/cm^2]

m – masa zwierconej próbki węgla – [kg]

K, k – stałe charakterystyczne dla danej sondy:

$K = 2{,}3 \cdot V_n$ — V_n – objętość wewnętrzna sondy i części zamkniętej otworu [cm^3]

$k = \frac{Fpr}{Fotw}$ — Fpr – powierzchnia czoła (pole przekroju) zwierconej próbki [cm^2]

Fotw – powierzchnia ociosu węglowego w zamkniętej części otworu [cm^2]

Dla sprawnego posługiwania się tym wzorem należy sporządzić wykresy lub tabele funkcji:

$$Ep_2 = K \cdot P_2 \cdot \log P_2$$

$$Ep_1 = (1 - k) \cdot K \cdot P_1 \cdot \log P_1$$

i ich wyniki odczytywać bezpośrednio z wykresów (tabel).
Wtedy:

$$Eg = \frac{Ep_2 - Ep_1}{m} \left[\frac{kGcm}{kg}\right]$$

albo

$$Eg = \frac{Ep_2 - Ep_1}{100 \cdot m} \left[\frac{kGm}{kg}\right] \quad \text{lub} \quad [J/kg]$$

stosując przeliczenie 1 kGm = 9.807 J.

2. Praca zwierania "Lw"

Opierając się na definicji doc. dr. J. Tarnowskiego [6] przyjęto, że: praca zwierania jest wskaźnikiem wytrzymałości efektywnej węgla i jest odwrotnie proporcjonalną funkcją naprężeń panujących w węglu oczywiście z uwzględnieniem stałych charakterystycznych: własności węgla, jego wytrzymałości, sprawności urządzenia itp. Wyznacza się ją mierząc watomierzem pobór mocy przy zwieraniu rdzeniówką sondy określonej ilości węgla. Wygląda to następująco:

- przed wykonaniem właściwego dowiertu rdzeniówką sondy określa się każdorazowo jej pobór mocy przy biegu jałowym "Ms" wat z uwagi na różne długości żerdzi itp.,
- wykonuje się dowiert rdzeniówką sondy mierząc: pobór mocy "Mw" [wat], czas wiercenia "t" [sek], a później masę zwiercnego węgla "m" [g].

Praca zwiercania wynosi: $Lw = \frac{(Mw - Ms) \cdot t}{m} [J/g]$

3. Ilość gazu wydzielającego się w czasie zwiercnia (urabiania) węgla

a) Przy normalnym ciśnieniu, tzn. otwartej komorze sondy - wskaźnik "Vp_o"

Do wiertniczej sondy pomiarowej podłącza się wypływomierz i wykonuje pomiary wypływu gazu przed rozpoczęciem dowiertu rdzeniówką "Wp" [cm^3/sek] w trakcie dowiertu "Ww" [cm^3]; i po jego ukończeniu "Wk" [cm^3/sek], jak również czasu wiercenia "t" [sek] oraz masy zwiercnej próbki węgla "m" [g].

Ilość gazu oblicza się ze wzoru:

$$Vp_o = \frac{Ww - \frac{Wp + Wk}{2} \cdot t}{m} \left[cm^3/g\right] \quad \text{lub} \quad \left[m^3/t\right]$$

b) Przy podwyższonym ciśnieniu tzwn. zamkniętej komorze sondy - wskaźnik "Vp"

Ilość gazu wydzielonego w czasie zwierania węgla w podwyższonym ciśnieniu, czyli przy zamkniętej komorze sondy oblicza się ze wzoru:

$$V_p = \frac{V_n \cdot \frac{P_2 - P_1}{P_o}}{m} \left[cm^3/g\right] \quad \text{lub} \quad \left[m^3/t\right]$$

gdzie:

V_n - objętość komory sondy i zamkniętej części otworu cm^3

P_1 - ciśnienie w komorze sondy przed wykonaniem dowiertu rdzeniówką sondy [at]

P_2 - ciśnienie w komorze sondy po wykonaniu dowiertu [at]

P_o - ciśnienie normalne; $P_o \approx 1$ at

m - masa zwiercnego węgla [g]

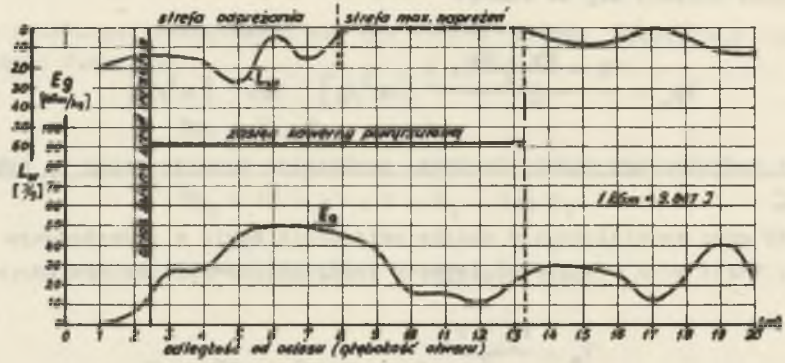
Wskaźniki "Vp_o" i "Vp" mają charakter pomocniczy i służą do:

- ilościowego uchwycenia wydzielającego się gazu z węgla;
- zlokalizowania stref wzmożonego wydzielania gazu w powiązaniu z naprężeniami w węglu;
- wyjaśnienia pewnych procesów termodynamicznych zachodzących w całiźnie nasyconej gazem sorbowanym.

3. Analiza wyników badań

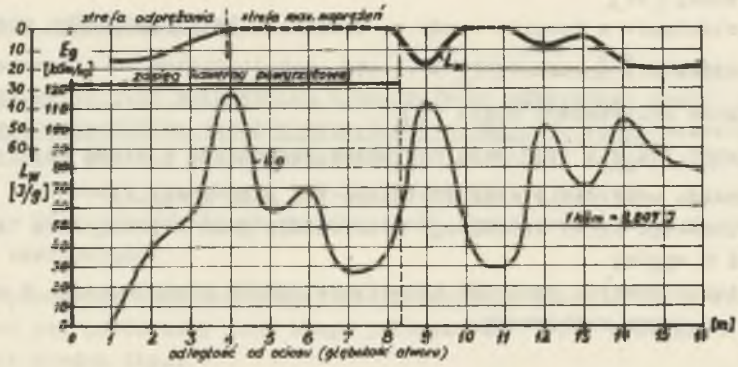
Na podstawie przeprowadzonych pomiarów stwierdzono, że istnieje zależność pomiędzy naprężeniami panującymi w węglu (wskaźnikiem "Lw") a energią gazu (wskaźnikiem "Eg"). Zmiany wartości wskaźnika "Eg" mają charakter falowy podobnie jak zmiany wskaźnika "Lw" (rys. 2 i rys. 3), jednakże lokalne ekstrema tych dwu wskaźników nie pokrywają się, a są wobec siebie przesunięte.

Praktycznie maksima wartości wskaźnika "Eg" występują w strefach spadków wartości naprężeń w węglu. Dla wyjaśnienia tego zjawiska przeprowadzono pomiary ilości wyzwalającego się gazu podczas zwierania węgla przy różnych ciśnieniach panujących w komorze sondy wiertniczej (rys. 4).



Rys. 2. Zasięg kawerny powyrzutowej na tle charakterystyk wskaźników "Lw" i "Eg". Otwór badawczy nr Bd - 12. Ściana w pokł. 412, 2,4 m przed wyrzutem

L_w - praca zwiercania węgla [J/g]. Eg - wskaźnik energetyczny gazu [kG/kg]

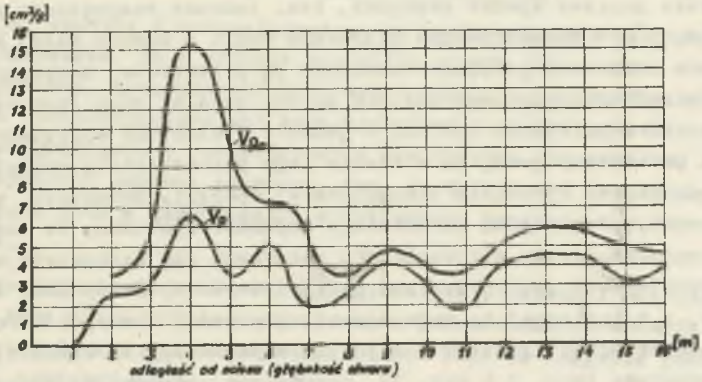


Rys. 3. Zasięg kawerny powyrzutowej na tle charakterystyk wskaźników "Lw" i "Eg". Otwór badawczy nr Bd - 13. Ściana w pokł. 412, bezpośrednio przed wyrzutem

Lw - praca zwiercania węgla [J/g]. Eg - wskaźnik energetyczny gazu [kGm/kg]

Stwierdzono, że ilości gazu wyzwalającego się w czasie wierocnia przy ciśnieniu normalnym, tzn. otwartej komorze sondy (wskaźnik "Vp_0") - są wyższe i to nieraz znacznie od ilości gazu wydzielającego się przy ciśnieniu podwyższonym, tzn. przy zamkniętej komorze sondy (wskaźnik "Vp"). Gdyby w węglu znajdował się wyłącznie sprężony gaz wolny, to jak wynika z prostego rozumowania, te ilości wyzwalającego się gazu powinny być mniej więcej jednakowe, niezależnie od ciśnienia panującego w sondzie w czasie wierce-

nia. Jednakże tak nie jest i jak się wydaje przyczyną tego zjawiska jest obecność w węglu sorbowanego dwutlenku węgla.



Rys. 4. Wydzielanie się gazu w czasie zwierceania (urabiania) węgla. Otwór badawczy nr Bd - 13. Ściana w pokł. 412, bezpośrednio przed wyrzutem
Vp_0 - przy normalnym ciśnieniu - otwartej komorze sondy [cm^3/g]. Vp - przy podwyższonym ciśnieniu - zamkniętej komorze sondy [cm^3/g]

Jak zauważono na wstępie, ilość sorbowanego gazu w węglu jest znaczna [4] i istotna w tym zjawisku jest jego aktualna energia wewnętrzna.

Jak wiadomo, sorpcja fizyczna jest zjawiskiem egzotermicznym, tzn. w czasie sorbowania następuje wydzielania ciepła, a w czasie desorpcji jego pochłanianie [1, 7]. Otóż w czasie zwierceania próbki węgla przy otwartej komorze wyzwalana przy tym energia (posiadania przez gaz, przejmowana z węgla bądź częściowo pochodząca z ciepła wierceenia), może być zużywana głównie na uwalnianie gazu sorbowanego, gdyż istnieje swobodny odpływ gazu. Natomiast w czasie zwierceania przy zamkniętej komorze, tzn. podwyższonym ciśnieniu, część tej energii musi być zużywana na podwyższenie ciśnienia gazu uwalnianego.

Tym samym w przybliżeniu ta sama ilość energii nie jest w stanie uwolnić tej samej ilości gazu przy różnych ciśnieniach panujących w komorze sondy wiertniczej. Porównywanie natomiast bezwzględnych ilości gazu wydzielającego się podczas zwierceania próbki węgla przy ciśnieniu normalnym i podwyższonym (rys. 4 - krzywe "Vp_0" i "Vp") z naprężeniami panującymi w węglu (rys. 3 - krzywa "Lw") wskazuje na to, że największe ilości gazu wydzielają się z węgla w strefach spadków naprężeń w węglu.

Również w tych strefach występują maxima wartości wskaźnika "Eg", z tym że ilości wyzwalającego się gazu w czasie wierceenia nie zawsze są proporcjonalne do jego energii. (Np. pomiary na głębokości 4 m i 9 m - rys. 3 i 4).

Reasumując powyższe spostrzeżenia wydaje się, że pierwotna akumulacja energii pochodzącej od ciśnienia górotworu następuje głównie w węglu, natomiast gaz sorbowany przejmuje ją w późniejszej fazie. Otóż, ogólnie rzecz biorąc, podczas ściskania pokładu ciśnieniem górotworu, akumulowana jest w węglu energia potencjalna sprężysta. Odzyskanie tej energii możliwe jest tylko poprzez spadek naprężeń, tzn. podczas rozprężania ściśniętego węgla [2, 5]. W rozpatrywanym przypadku węgli o bardzo małej wytrzymałości, gdzie ciśnienie górotworu znacznie ją przekracza, następuje mniej więcej od strefy maksymalnego nacisku bardzo powolny ruch (rozprężanie) w kierunku stref o mniejszym nacisku - głównie w kierunku wyrobiska. Gdyby węgiel był pozbawiony gazu, to w czasie tego procesu następowałoby rozpraszanie w górotworze uprzednio zakumulowanej energii. Natomiast w warunkach obecności w węglu gazu sorbowanego zachodzi zjawisko, że energia wyzwalana z rozprężającego się węgla nie rozprasza się całkowicie w górotworze, ale przejmowana jest przez ten gaz; w pierwszej kolejności na jego uwolnienie, a w następnej na podwyższenie prężności (energii). Porównując wyniki pomiarów przed wyrzutem - z późniejszym zasięgiem wyrzutu, tzn. kawerną powyrzutową (rys. 2 i rys. 3), nasuwa się wniosek, że wyrzut ma swoje źródło w strefie, w której naprężenia w węglu są tak duże, że jego wytrzymałość efektywna jest bliska zeru ($Lw \approx 0$). W praktyce ruchowej stwierdzenie otworem badawczym występowania w pobliżu przodku strefy, w której praca zwierania jest bliska lub równa zeru i zniszczenie materiałem wybuchowym (urobienie) strefy oddzielającej ją od wyrobiska - jest warunkiem gwarantującym powstanie wyrzutu węgla i gazu. Jednakże nie zawsze konieczne jest niszczenie materiałem wybuchowym całej strefy częściowo odprężonej, a to z następujących przyczyn:

- akumulacja energii w węglu w strefie maksymalnych naprężeń może być tak duża, że możliwe jest samoczynne zniszczenie (przerwanie) i wyrzucenie do wyrobiska również węgla ze strefy częściowo odprężonej o szerokości nawet do kilku metrów;
- w strefie węgla częściowo odprężonego występuje gaz posiadający na ogół znaczną energię, co ułatwia samoczynne zniszczenie tej strefy.

Tak więc właściwe prognozowanie wyrzutów powinno opierać się na jednoczesnej obserwacji w całiźnie w pobliżu przodku naprężeń w węglu (Lw) oraz energii gazu (Eg).

4. Wnioski

1. Opracowana metoda badawcza pozwala na nieskomplikowane i szybkie rozeznanie sytuacji energetycznej gazu w sąsiedztwie wyrobiska z jednoczesną oceną stanu naprężeń panujących w węglu. Wyniki badań przeprowadzonych tą metodą rzucają dodatkowe światło na mechanizm wyrzutu węgla i gazu, jego prognozowanie oraz rolę, jaką w tym zjawisku odgrywa sorbowany dwutlenek węgla.

2. Głównym czynnikiem powodującym wyrzuty jest gwałtowne rozładowanie energii potencjalnej zakumulowanej w węglu nasyconym gazami, a pochodzącej od ciśnienia górotworu.

3. W mechanizmie wyrzutu gaz odgrywa dwojaką rolę:

- akumulując energię z rozprężającego się węgla utrudnia rozpraszanie się jej w górotworze, co w efekcie przybliża strefę aktywności energetycznej do przodku, oraz ułatwia bądź wręcz umożliwia powstanie wyrzutu;
- usuwając (odtransportowując) masy wyrzutowe z miejsca wyrzutu powoduje, że proces gwałtownego rozładowywania się energii potencjalnej z węgla może przybierać ogromne rozmiary, tzn. że może trwać tak długo, dopóki wzrastający opór w zasypywanych wyrobiskach, kawernie itp. wyrzutu nie zahamuje.

4. Prognozowanie wyrzutów należy opierać na obserwacji naprężeń w węglu, tzn. jego wytrzymałości efektywnej z jednoczesną obserwacją sytuacji energetycznej gazu w sąsiedztwie wyrobiska. Daje to możliwie pełny obraz zagrożenia wyrzutem węgla i gazu.

LITERATURA

[1] Barrow G.M.: Chemia Fizyczna. PWN. Warszawa 1971.

[2] Borecki M., Chudek M.: Mechanika górotworu. Wydawnictwo "Śląsk" Katowice 1972 r.

[3] Cis J.: Wyrzuty gazów i skał w Dolnośląskim Zagłębiu Węgla Kamiennego Wydawnictwo "Śląsk". Katowice 1971 r.

[4] Hałamaj W.: Prognozowanie i ograniczenie skutków wyrzutów gazów i skał w pokładach o dużym zagrożeniu. Praca doktorska.Nowa Ruda 1966 r

[5] Parysiewicz W.: Tąpania w kopalniach. Wydawnictwo "Śląsk". Katowice 1967.

[6] Tarnowski J.: Wnioski wynikające z masowych pomiarów ciśnień gazu metodą desorbometryczną dla badania zagrożenia wyrzutami węgla i gazu. Archiwum Górnictwa 1970 tom XV, zeszyt 4.

[7] Youg D.M., Crowell A.D.: Fizyczna adsorpcja gazów. PWN Warszawa 1968.

АБСОЛЮТНЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ УГЛЯ И ГАЗА В ГОРНЫХ ПОРОДАХ И ПРИМЕНЕНИЕ ЕГО НА ПРАКТИКЕ В ИССЛЕДОВАНИЯХ ЯВЛЕНИЯ ВЫБРОСОВ ГАЗА И ПОРОД

Р е з ю м е

В статье представлен метод, позволяющий определить одновременно состояние газа и напряжений в угле - в целике горных забоев. Результаты, проведенных измерений, интерпретированы в свете применения их на горной практике при прогнозировании выбросов угля и газа в шахте "Нова Руда".

METHOD OF DIRECT DETERMINATION OF ENERGETIC STATES OF COAL AND GAS IN OROGEN AND ITS PRACTICAL ADAPTATION IN RESEARCH OF GAS AND ROCKS OUTBURSTS

S u m m a r y

In the paper a method of measurements has been presented which allows a simultaneous determination of gas and internal stresses in coal - in mining faces.

The results of carried out measurements have been analysed by meaus of mining practice for prognois of coal and gas antburots in the "Nowa Ruda" coal - mine.