ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1979

Seria: GÓRNICTWO z. 99 Nr kol. 601

Bogdan ĆWIĘK

MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA GEOFIZYCZNEJ METODY ELEKTROOPOROWEJ DLA BADANIA ZMIAN ZACHODZĄCYCH W OCIOSIE WYROBISK EKSPLOATACYJNYCH

Streszczenie. W pracy podano metodę elektrooporową do badania zmian zachodzących w ociosie wyrobisk eksploatacyjnych oraz wyniki z przeprowadzonych badań w kopalni "Czerwona Gwardia".

1. Wprowadzenie

Z pomiarów geodezyjnych przeprowadzonych w trakcie rozruchu ścian zawałowych wynika, że ma miejsce wyraźna zmiana stanu odkształcenia w stropie eksploatowanego pokładu, w sąsiedztwie rozpoczynanej ściany. Obserwacje ruchów punktów zastabilizowanych w stropie wskazują na przemieszczanie się stropu w kierunku zrobów. Składowa przemieszczenia wzdłuż osi x określa zależność:

$$E_x = \frac{\partial U}{\partial x} \tag{1}$$

Odkształcenia poziome właściwe związane są z naprężeniami rozciągającymi, występującymi w sąsiedztwie ściany.
Do momentu, w którym naprężenia te są mniejsze od wytrzymałości skał na rozciąganie, następuje w pewnym sensie "rozluźnienie" ośrodka. W górotworze rzeczywistym zjawisko to wyraża się przez rozwieranie się porów i mikrospękań w skałach. Stan taki, który można generalnie określić jako wzrost porowatości w skałach stropowych przenosi się również na pokład węgla i trwa do momentu przerwania ciągłości warstw na skutek połączenia się mikrospękań w jedną lub kilka makroskopowych powierzchni zniszczenia. Powstanie spękań i szczelin odpręża skały, przez co odkształcenia poziome właściwe i przemieszczenia wyraźnie maleją. Porowatość skał jest jednak nadal duża, gdyż wszelkie spękania i szczeliny jako efekt kruchego zniszczenia skały są oczywiście zjawiskiem nieodwracalnym.
Przy pierwszym pełnym zawale na skutek chaotycznego przemieszczania się brył stropu do zrobów porowatość skał i węgla gwałtownie wzrasta.

Do obserwacji zmian porowatości można między innymi zastosować również geofizyczną metodę elektrooporową, na rzecz której przemawia łatwość pomiaru i prosta, dostępna w kraju aparatura.

2. Geofizyczna metoda elektrooporowa

Metoda elektrooporowa stanowi jedną z metod geofizycznych i polega na pomiarze elektrycznego oporu pozornego ośrodka.

Podstawowym równaniem matematycznym dla metody elektrooporowej jest równanie Laplace'a, które w prostokątnym układzie współrzędnych przyjmuje postać:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} = 0 \qquad (2)$$

Całką tego równania jest skalarna funkcja U, będąca potencjałem pola elektrycznego. Rozwiązanie szczegółowe tego równania uzyskuje się po uwzględnieniu warunków brzegowych. Po ich ustaleniu i uwzględnieniu podstawowych praw fizycznych dla pól przestrzennych otrzymuje się wzór określający wielkość elektrycznego oporu właściwego badanego ośrodka:

$$\rho = k \frac{\Delta U}{I} \qquad (3)$$

gdzie:

k - tzw. współczynnik geometrii układu pomiarowego,

U - różnica potencjałów w dwóch punktach badanego ośrodka,

I - natężenie prądu przepływającego przez ośrodek.

Znając wartości k i I oraz mając pomierzone ΔU, drogą nieskomplikowanych obliczeń otrzymuje się opór elektryczny właściwy badanego ośrodka. W ośrodku niejednorodnym, jakim jest górotwór, obliczona wartość nie jest elektrycznym oporem właściwym, lecz elektrycznym oporem właściwym pozornym, oznaczonym dla odróżnienia przez ρ_p.

Opór elektryczny ρ_p zależy od wielu czynników, przy czym najważniejsze znaczenie posiadają: skład mineralny skały, jej struktura i tekstura, porowatość i szczelinowatość, stopień nasycenia wodą skały, mineralizacja wód wypełniających pory skały, temperatura badanego ośrodka, ciśnienie, inne czynniki geologiczne (wiek skały, geneza itp.) .

Wpływ poszczególnych czynników na wielkość ρ_p jest różny w zależności od lokalnych warunków górniczo-geologicznych.
Przy badaniu jednak zmian oporu elektrycznego w tym samym miejscu wiele z nich można pominąć. Wpływ ich będzie stały, podwyższający albo obniżający średnią wartość elektrycznego oporu właściwego pozornego ośrodka.

Badając zmiany elektrycznego oporu pozornego ρ_p w otoczeniu danego punktu, zachodzące pod wpływem czynników zewnętrznych, można pominąć wpływ składu mineralnego skały oraz jej teksturę, strukturę, nasycenie wodą, mineralizację wód w porach skały, temperaturę oraz inne czynniki geologiczne.

Decydujący wpływ na kształtowanie się zmian wartości elektrycznego oporu pozornego posiada ciśnienie (naprężenie) oraz porowatość i szczelinowatość skały, a więc te parametry, które wyraźnie zmieniają się w ociosie ściany zawałowej podczas jej rozruchu.

Wpływ porowatości i ciśnienia na wartość ρ_p był wielokrotnie badany w laboratoriach przez wielu badaczy [6] i [7].

Generalnie rzecz biorąc wyniki tych badań ustaliły, że w pozostałych warunkach niezmienionych elektryczny opór właściwy pozorny ρ_p maleje ze wzrostem ciśnienia, a wzrasta ze wzrostem porowatości, przy czym wpływ porowatości, a szczególnie spękań jest bardzo duży.

3. Metodyka pomiarów

Powstanie pierwszego pełnego zawału powoduje wyraźny, a czasem nawet gwałtowny wzrost porowatości skały.
Projektując zastosowanie metody elektrooporowej do tego celu ustalono:

- optymalną lokalizację stanowiska pomiarowego,
- sposób i zasady wykonywania badań.

Ustalając lokalizację stanowiska pomiarowego autor wykorzystał rezultaty obserwacji geodezyjnych uprzednio przeprowadzonych i szczegółowo opisanych w pracy oraz rozważania teoretyczne podane w pracach H. Gila, w których wykorzystując kryterium Prandtla wyprowadzone zostały wzory określające zasięg deformacji w pokładzie węgla w otoczeniu zrobów. W pracach tych wytrzymałość pokładu w przyścianowej części pokładu określa wzór:

$$\sigma_{zx} = -\frac{\pi \cdot K}{2} + n\gamma H - \frac{K}{H}(x - x_0) \qquad (4)$$

gdzie:

$n = \frac{\nu}{1 - \nu}$,

k - stała plastyczności węgla,

h - grubość eksploatowanego pokładu,

x_o - odległość od ociosu określająca zasięg strefy, w której słuszne jest rozwiązanie Prandtla.

W praktyce wielkość x_o wynosi od 2 h do 4 h. W strefie plastycznej występują największe deformacje trwałe w postaci pęknięć, szczelin itp.

Autor większość swoich badań wykonał w pokładzie 615 KWK "Czerwona Gwardia", który posiada średnią grubość 1,7 m.
Przy takiej miąższości pokładu wartość x_o waha się w granicach:

$$3,5 < x_o < 7 \text{ m}$$

Uwzględniając podany wyżej zakres oraz wyniki obserwacji geodezyjnych ustalono, że stanowisko pomiarowe znajdować się będzie w odległości około 5 m od dolnego ociosu przecinki podścianowej.

W klasycznej geofizycznej metodzie elektrooporowej zadanie polega najczęściej na określaniu budowy geologicznej i litologii podłoża w oparciu o pomierzone wartości oporności elektrycznej.

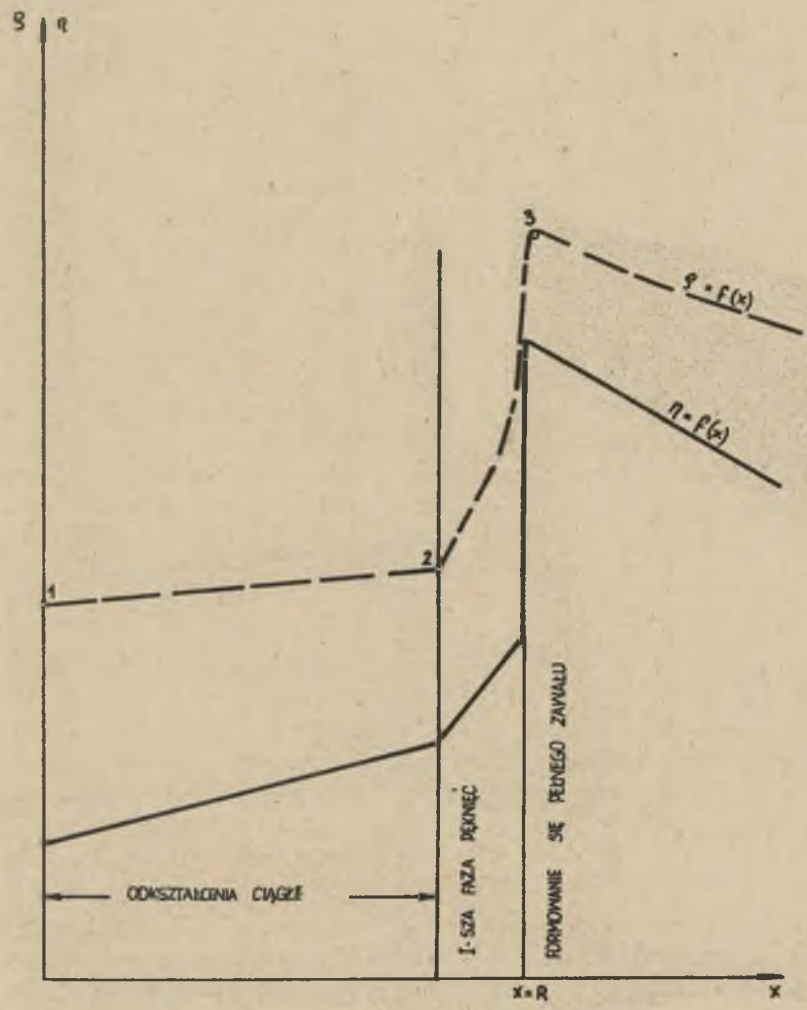
Przy prowadzeniu badań w wyrobiskach górniczych problem zostaje odwrócony: obserwując zmiany określonego parametru w ośrodku o znanej budowie geologicznej, doszukuje się przyczyn powodujących te zmiany.

W pracach Instytutu Techniki Eksploatacji Złóż zaobserwowano, że najlepsze wyniki dla obserwacji zmian danego parametru uzyskuje się prowadząc tzw. pomiary stacjonarne, t.j. wykonując pomiar ciągle w tym samym miejscu, przy zmieniającej się sytuacji górniczej.

W pracy [4] ustalono, że dla określenia czasu i miejsca wystąpienia pierwszego zawału dokona się pomiarów zmian porowatości. Przebieg tych zmian zilustrowano na rys. 1, na którym podano zmiany elektrycznego oporu węgla w ociosie przecinki ścianowej. Oczywiście schemat na rys.1 jest wyidealizowany i zmiany oporu elektrycznego, szczególnie na odcinku 1-2, na skutek wzrostu nacisków pionowych mogą kształtować się nieco inaczej, niemniej na odcinku 2 - 3 winien nastąpić wyraźny wzrost oporu.

Tutaj również możliwe jest odstępstwo od reguły.
Mianowicie, jeżeli nad stropem zawałowym (bezpośrednim) zalega zawodniony strop zasadniczy, to w miarę rozwoju pęknięć i szczelin w stropie bezpośrednim wystąpi przenikanie wody do pokładu.

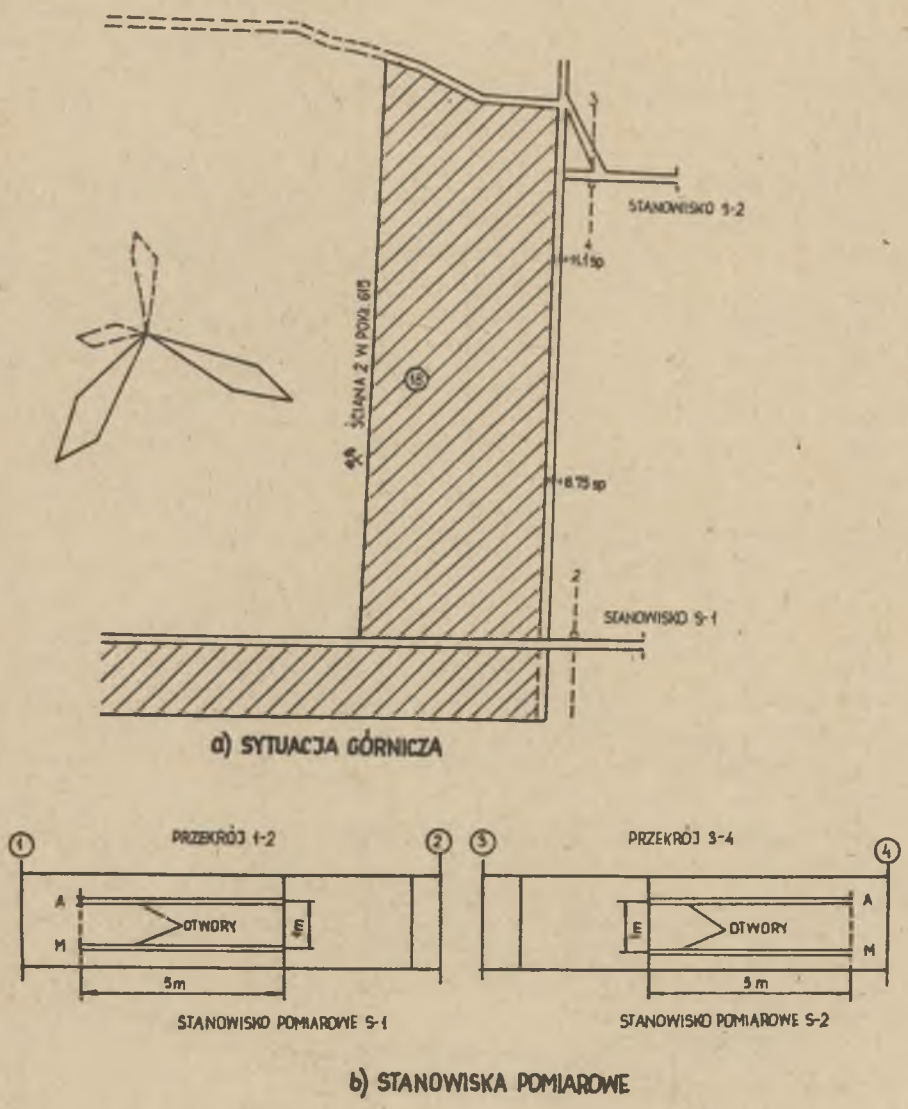
Woda z zalegających wyżej warstw wypełniać będzie szczeliny i pory w węglu, obniżając opór elektryczny pokładu. Bezpośrednim efektem tego



η = pierwotność ośrodka

ϱ = elektryczny opór ośrodka

Rys. 1. Przebieg zmian porowatości



Rys. 2. Sytuacja górnicza i stanowiska pomiarowe w badaniach w kpp."Czerwona Gwardia"

zjawiska, wprawdzie stosunkowo rzadko występującym, będzie obniżanie się elektrycznego oporu, w miarę przesuwania się frontu nowo rozpoczynanej ściany. Wynika stąd wniosek, że interpretacja pomiarów elektrooporowych winna być poprzedzona wnikliwą analizą lokalnych warunków geologicznych, ze szczególnym uwzględnieniem hydrogeologii rozpatrywanego ośrodka.

Aby zapewnić stałe warunki pomiaru, autor zastosował tę samą technikę pomiaru, według schematu przedstawionego na rys. 2.

Rys. 2 odnosi się wprawdzie do pierwszego pomiaru wykonanego podczas rozruchu ściany 2 w pokładzie 615, lecz w dalszych badaniach układ pomiarowy był analogiczny.

Stanowiska pomiarowe lokalizowano w odległości od 5 m do 10 m, w zależności od aktualnych możliwości technicznych. Elektrody pomiarowe umieszczano w otworach, wyprowadzając kable od tych elektrod na chodnik.

Do pomiarów wykorzystywano dostępny w kraju miernik geoelektryczny typu PLH. Typowy schemat pomiaru pokazano na rys. 3a.

Z zasady stosowano układ tzw. dwubiegunowy A - 1,0 - M ∞ N ∞ B. Wykonując pomiar ciągle w tym samym miejscu lecz w różnej sytuacji górniczej, wyeliminowano w znacznym stopniu błędy pomiaru oraz wpływ geometrii układu pomiarowego.

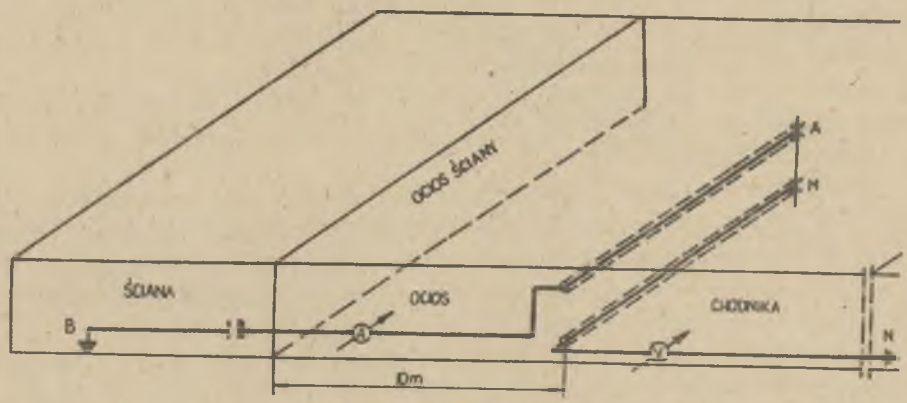
4. Wykonanie badań eksperymentalnych

W celu sprawdzenia przydatności metody elektrooporowej dla badania zmian elektrycznego oporu skał, zachodzących podczas rozruchu ściany zawałowej, autor wykonał pierwszą serię obserwacji w ścianie nr 2 w pokładzie 615 w kopalni "Czerwona Gwardia". Sytuację górniczą pokazano na rys. 2.

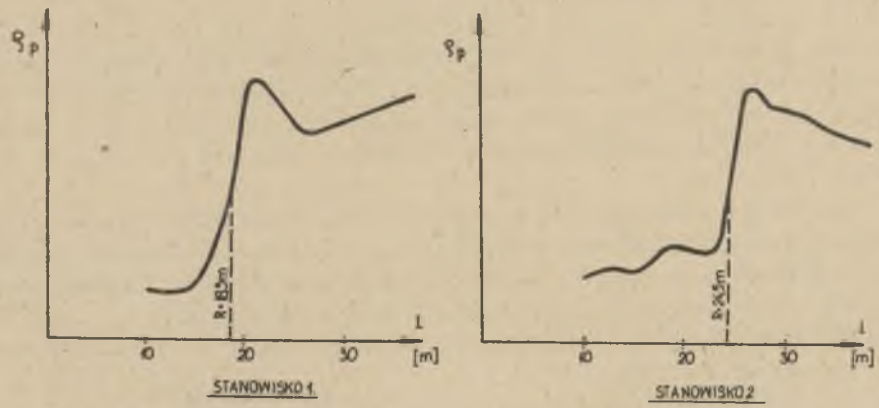
Ściana nr 2 w pokładzie 615 prowadzona była z przecinki ścianowej w kierunku zachodnim. Grubość eksploatowanego pokładu wynosiła 1,7 m do 2,1 m. Pokład zalega prawie poziomo (nachylenie około 3°), Główne kierunki kliważu podane są na wycinku mapy pokładowej na rys. 3 a.
Strop eksploatowanego pokładu tworzą kolejno warstwy:

0	-	3,0 m	- iłowce
3,0	-	3,5 m	- mułowce
3,5	-	4,5 m	- iłowce
4,5	-	5,8 m	- mułowce
5,8	-	6,1 m	- węgiel
6,1	-	7,9 m	- iłowce
7,9	-	17,9 m	- mułowce

Skały stropowe nie były zawodnione. W trakcie prowadzenia eksploatacji nie stwierdzono wykropleń wody ze stropu.



a) SCHEMAT POMIARU



b) REZULTATY POMIARÓW UZYSKANYCH W KOP. »CZERWONA GWARDIA«

Rys. 3. Schemat pomiarów i rezultaty uzyskane w kopalni "Czerwona Gwardia"

Dane techniczne ściany nr 2

- długość	210 - 220 m
- projektowany wybieg	530 m
- obudowa	indywidualna ze stropnicami SCG-110/1200 i stojakami SHC-40
- odsłonięcie stropu	3,7 m
- urabianie	kombajn
- postęp w fazie rozruchu	2,4 m/d
- głębokość eksploatacji	260 m

Stanowiska pomiarowe zainstalowane zostały w ociosie chodników w odległości 10 m od ociosu ściany (rys. 2).
Wykonano je w postaci dwóch równoległych otworów o głębokości 5 m, odwierconych w płaszczyźnie uławicenia, prostopadle do ociosów chodników w odległości 1 m od siebie.
Do otworów wprowadzono elektrody. Kable dołączone do tych elektrod wyprowadzono z otworów na chodniki.
Zastosowany schemat pomiarów pokazano na rys. 3.

Po uruchomieniu ściany rozpoczęto prowadzenie systematycznych obserwacji, wykonywując je w miarę możliwości raz na dobę. Uzyskane rezultaty przedstawiono w formie wykresów na rys. 3b.

Na osi rzędnych wykresu naniesiono pomierzone wartości oporu elektrycznego, a na osi odciętych rozpiętość wyrobiska x.

Na stanowisku 1 zarejestrowano wzrost ρ_p już przy L = 15 m, przy czym maksimum odpowiada odciętej L = 22 m.
Wynika stąd, że przy rozpiętości ściany wynoszącej 15 m strefa spękań dotarła do stanowiska pomiarowego.
Przy dalszym wzroście L skały stropowe zaczynają przechodzić w stan zawału. Rabowalność stropu w danym przypadku należy określić na około 18,5 m.

Wykres zarejestrowany na stanowisku 2 charakteryzuje się bardziej ostrym wzrostem oporności ρ_p. Szczególnie duży wzrost obserwuje się na odcinku 23 - 26,5 m. Rabowanie się stropu następuje przy rozpiętości wyrobiska równej 23 m. Przy zwiększeniu się L do 26,5 m pełny zawał jest już całkowicie uformowany. Rabowalność stropu w tym miejscu należy ocenić na około 24,5 m.

Na stanowisku 1 pełny zawał zarejestrowano przy R_1 = 18,5 m a na stanowisku 2 przy R_2 = 24,5 m.
Różnicę tę można jednak łatwo wytłumaczyć, uwzględniając warunki lokalne. Stanowisko 1 założone zostało przy części ściany w sąsiedztwie starych zrobów (zawalisko).
Skały stropowe w otoczeniu zrobów są niewątpliwie znacznie spękane i niejako "rozluzowane". Oczywiste jest, że w takich warunkach zawał wystąpi

wcześniej, przy mniejszym odsłonięciu stropu. Poza tym proces rabowania stropu przebiega stopniowo, bardziej łagodnie, o czym świadczy zresztą mniej gwałtowny wzrost ρ_p niż na stanowisku 2, założonym w pobliżu części ściany prowadzonej przy caliźnie, gdzie zawał wystąpił bardziej gwałtownie niż przy zrobach.

Rabowalność stropu określono również metodą opracowaną przez Główny Instytut Górnictwa [5]. Rozpiętość wyrobiska, przy jakiej winien nastąpić pierwszy pełny zawał, oznaczono na:

$$R = 25 \div 30 \text{ m}$$

Porównując ten rezultat z wynikiem uzyskanym na stanowisku 2, gdzie rabowalność wynosiła 24,5 m, dostrzega się całkowitą ich zbieżność.

Wyniki wykonanych pomiarów potwierdzono metodą Głównego Instytutu Górnictwa i zgodność ich z obserwacjami geodezyjnymi wykonanymi w sąsiedniej ścianie 1 potwierdziły pełną przydatność metody elektrooporowej dla rejestracji wystąpienia pierwszego pełnego zawału w trakcie rozruchu ściany. Aby uzyskać pewność, czy metoda ta może znaleźć zastosowanie na skalę przemysłową, autor postanowił:

a) sprawdzić przydatność metody w innych wyrobiskach ścianowych kopalni "Czerwona Gwardia",

b) wyjaśnić, czy zmiany elektrycznego oporu skał w sąsiedztwie ociosu chodnika są takie same jak w caliźnie (tj. w większej odległości od wyrobiska korytarzowego),

c) zastosować metodę w innych kopalniach.

Opis prac badawczych związanych z wyjaśnieniem podanych wyżej zagadnień przedstawiony zostanie w następnych pracach.

LITERATURA

[1] BILIŃSKI A., KONOPKO W., KOSTYK T.: Opinia odnośnie klasy i rabowalności stropu pokładu 615 w rejonie XV^b. Opinia Zespołu Rzeczoznawców SIiTG, Katowice 1976.

[2] CHUDEK M.: Zachowanie się skał stropowych nad wyrobiskiem ścianowym w świetle badań modelowych. Zeszyty Naukowe Pol.Śl., Górnictwo z.30, 1968.

[3] CHUDEK M., PACH A.: Obudowa czynnikiem regulacji ciśnień eksploatacyjnych. Przegląd Górniczy nr 1, 1974.

[4] ĆWIĘK B.: Zastosowanie metody elektrooporowej dla określania miejsca powstawania pierwszego pełnego zawału stropu podczas rozruchu ściany zawałowej. Praca doktorska, Gliwice 1978.

[5] GIL H.: Próba teoretycznego ujęcia procesu rozwarstwiania górotworu. Archiwum Górnictwa. Tom XVI, z.2, Warszawa 1971.

[6] PARACHOMONIENKO J.: Elektriczieskije swojstwo gornych porod. Wyd. "Nauka", Moskwa 1965.

[7] ROPSKI S., ZNAŃSKI J.: Zachowanie się stropu nad pokładem wybieranym ścianą z zawałem. Przegląd Górniczy nr 10/1965.

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЯЕМОГО МЕТОДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ИЗМЕНЕНИЙ ПРОИСХОДЯЩИХ В БОРТАХ ОЧИСТНЫХ ВЫРАБОТОК

Резюме:

В статье рассматривается электросопротивляемый метод для исследований изменений происходящих в массиве окружающих пород очистных выработок, а также результаты проведенных на шахте "Красная гвардия" исследований.

POSSIBILITIES OF UTILIZING THE GEOPHYSICAL ELECTRIC RESISTANCE METHOD FOR EXAMINING THE CHANGES IN THE EXPLOITATION SIDE OF WORK

S u m m a r y

The paper presents the electric resistance method serving to examine the changes in the exploitation side of work and the results of performed research in the coal mine "Czerwona Gwardia".