

Antoni CZEKAJ, Ryszard WARDZAŁA

ZASTOSOWANIE METODY GEOELEKTRYCZNEJ DO WYZNACZANIA ZASIĘGU  
ODDZIAŁYWANIA KRAWĘDZI W WYROBISKACH GÓRNICZYCH

Streszczenie. Omówiono badania geoelektryczne wykonane w kopalniach w celu określania zasięgu oddziaływania krawędzi eksploatacji zatrzymanej w pokładach sąsiednich, podając przyczyny obserwowanych zmian elektrycznego oporu skał. Podano również zasady wykonywania badań w warunkach górniczych w zakresie niezbędnym dla stosowania metody na skalę przemysłową.

Eksploatacja górnicza w rejonie Górniczego Zagłębia Węglowego prowadzona jest od około 200 lat. Pokłady zalegające na niewielkiej głębokości zostały już całkowicie wybrane, w związku z czym obserwuje się wzrost średniej głębokości eksploatacji. Obecna roboty górniczne prowadzone są w przeważającej części na dużych głębokościach, gdzie ciśnienie górotworu posiada decydujące znaczenie w technologii robót i bezpieczeństwa pracy.

W pewnych obszarach naprężenia w skałach są szczególnie duże, powodujące szereg niebezpiecznych zjawisk, takich jak: tąpnięcie, zawały, zagniatanie wyrobisk, wypiętrzenia spągu itd.

Biorąc pod uwagę znaczenie, jakie dla bezpieczeństwa pracy i praktyki górniczej posiadają ww. zagrożenia Instytut Techniki Eksploatacji Złóż Politechniki Śląskiej przeprowadził szereg badań w kopalniach węgla, wykorzystując do tych celów metody geoelektryczne. Badania przeprowadzono w rejonie krawędzi eksploatacyjnych, gdyż są one jedną z przyczyn powodujących koncentrację naprężeń.

Metody geoelektryczne są powszechnie stosowane w poszukiwaniach geofizycznych z powierzchni ziemi. Na podstawie zmian elektrycznego oporu wnioskuje się o budowie geologicznej podłoża.

W problematyce górniczej występujące zagadnienia są całkiem odmienne. Budowa geologiczna jest dokładnie rozpoznana, a ewentualne zmiany elektrycznego oporu skał spowodowane są innymi przyczynami.

Prace badawcze z zakresu metod elektrycznych należało ukierunkować tak, aby wyjaśnić:

- a) jaki rozstaw elektrod pomiarowych jest najkorzystniejszy przy prowadzeniu badań w wyrobiskach korytarzowych,
- b) wzdłuż jakiej powierzchni odalenienia (strop, spąg czy ocios) należy prowadzić pomiary,

c) w jaki sposób, w zależności od lokalnych warunków, należy interpretować pomiary.

Rozpatrując ww. zagadnienie stwierdzono, że metoda geoelektryczna może być z powodzeniem stosowana dla określania zasięgu oddziaływania krawędzi, szczególnie w górotworze odwodnionym, gdzie wpływ zjawisk hydrogeologicznych może być pomijany.

Sytuacja komplikuje się znacznie, jeśli badany ośrodek jest zawodniony. Wówczas woda może wypełniać pustki i szczeliny w skałach, zniekształcając znacznie wyniki pomiarów, tym bardziej, że wpływy szczelinowości i zawodnienia kompensują się wzajemnie. Wynika stąd wniosek, że obecność wody w górotworze znacznie utrudnia i ogranicza możliwości zastosowania pomiarów geoelektrycznych. Nie dyskwalifikuje to jednak metody, gdyż:

1<sup>o</sup> - przy uwzględnieniu warunków hydrogeologicznych i uwzględnieniu wpływu wody wyniki pomiarów można ostatecznie w sposób jednoznaczny zinterpretować,

2<sup>o</sup> - określenie zasięgu oddziaływania krawędzi [1] jest zagadnieniem ważnym, głównie dla kopalń tąpniętych, w których z reguły górotwór nie zawiera wody wolnej. Tam gdzie występuje woda, wytrzymałość skał silnie spada, zagrożenie tąpnięciami maleje i określenie zasięgu oddziaływania krawędzi ma drugorzędne znaczenie.

Mając na uwadze wyżej podane okoliczności, w kilku kopalniach węgla, w różnych warunkach górniczych i geologicznych, wykonano serię badań geoelektrycznych.

#### TECHNIKA POMIARÓW I BADANIA W KOPALNIACH

Jako podstawową technikę pomiarową zastosowano metodę profilowań geoelektrycznych, tzn. pomiar zmian oporu wzdłuż pewnej ustalonej linii. Wiadome jest, że podstawowym warunkiem i celem zastosowania metody geoelektrycznej jest uzyskanie wyraźnych i czytelnych anomalii. Początkowo pomiary wykonywano różnie, wzdłuż odciosu, spęgu i stropu wyrobiska, jednakże wkrótce zrodziła się potrzeba porównania jakości uzyskanych wyników. Pomiar taki wykonano w KWK "Wieżorek" wzdłuż ściany podstropowej w pokładzie 510 i stwierdzono, że najkorzystniejsze rezultaty zarejestrowano wykonując pomiar w spęgu.

Stwierdzenie to ma duże znaczenie praktyczne, gdyż wykonywanie pomiarów w spęgu jest technicznie najprostsze, nie wymagające zazwyczaj odwiercenia otworów. Strop wyrobiska, w którym z reguły występuje szereg spękań i odepojeń, z punktu widzenia techniki pomiarów geoelektrycznych jest najmniej przydatny.

Bardzo ważnym problemem technicznym był wybór odpowiedniego rozstawu pomiarowego. Górotwór stanowi ośrodek warstwowy, w którym jedynym obcym

elementem przestrzennym jest wyrobisko górnicze. Wymiary tego wyrobiska w decydującym stopniu wpływają na uzyskane rezultaty.

Wpływ wyrobiska można znacznie ograniczyć, stosując odpowiednie rozstawy pomiarowe. Zagadnienie to badano na modelach i ustalono, że w ośrodku jednorodnym istnieje funkcja zależności pomiędzy średnicą "d" wyrobiska, a długością rozstawu pomiarowego "AB". Zależność tę wyrażono za pomocą współczynnika  $S_w$ , który należy wprowadzać do rezultatów pomiarów. Wartości tego współczynnika wg pracy [2] podano w tabeli 1.

Tabela 1

$\frac{AB}{2} = d$	0,5	1,0	1,5	1,7	2,0	2,5	3	4	5	6	10
$S_w$	1	1,1	1,45	1,55	1,65	1,75	1,85	1,95	1,98	2,0	2,0

Z tabeli 1 wynika, że przy  $\frac{AB}{2} = d = 0,5$  uzyskuje się wyniki nie wymagające wprowadzania poprawek i tym samym najbardziej obiektywne. Zależność tę sprawdzono w KWK "Murcki", gdzie wpływ tej samej krawędzi mierzono trzykrotnie, stosując różne rozstawy elektrod. Zastosowano trzy rozstawy pomiarowe:

$$I \quad \frac{AB}{2} = 3,5 \text{ m}$$

$$II \quad \frac{AB}{2} = 8,5 \text{ m}$$

$$III \quad \frac{AB}{2} = 13,5 \text{ m}$$

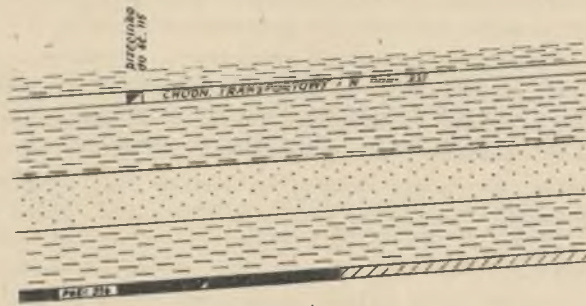
Wyrobisko korytarzowe, w którym prowadzono pomiary, posiadało przekrój 4 x 3 m. Zmieniając je na walec równoważny uzyskano średnią  $d = 3,5$  m. Obliczone wartości  $S_w$  wskazały, że wartości  $\rho_p$  zmierzone rozstawami  $AO = 8,5$  m i  $AO = 13,5$  m, były znacznie zawyżone i aby uzyskać możliwość porównania wyników należało wprowadzić odpowiednie poprawki.

Na wykresach na rys. 1 przedstawione zostały wyniki pomiarów wykonanych nad krawędzią w pokładzie 334 na głębokości 220 m. Wyrobisko korytarzowe, w którym wykonano pomiary, znajdowało się o 40 m wyżej w pokładzie 331.

Serię pomiarów wykonano w spągu chodnika transportowego w pokładzie 331. Chodnik ten wykonany został prawie prostopadłe do krawędzi w zalegającym niżej pokładzie 334 o miąższości 1,8 m, eksploatowanym systemem ścianowym z zawalaniem stropu.

Odcięta  $X = 0$  odpowiada krawędzi. Dodatnie wartości  $X$  dotyczą punktów położonych nad calizną, a ujemne nad zrobami. Zmiany elektrycznego oporu skał w otoczeniu krawędzi są dostrzegalne na wszystkich wykresach, z tym że na lepsze zróżnicowanie wykresu uzyskano przy małym rozstawie elektrod  $AO = 3,5$  m.

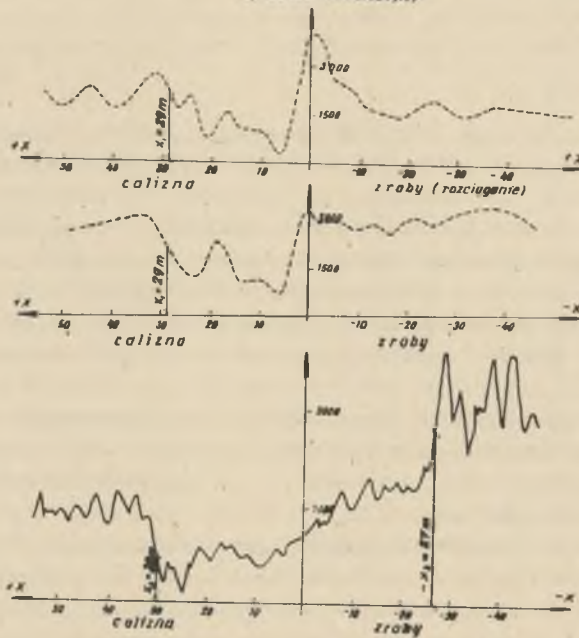
Z wykresu tego wynika, że zasięg oddziaływania krawędzi wynosi 30 m od ( $x = 0$  do  $x = 30$  m).



a) PRZEKRÓJ PIONOWY

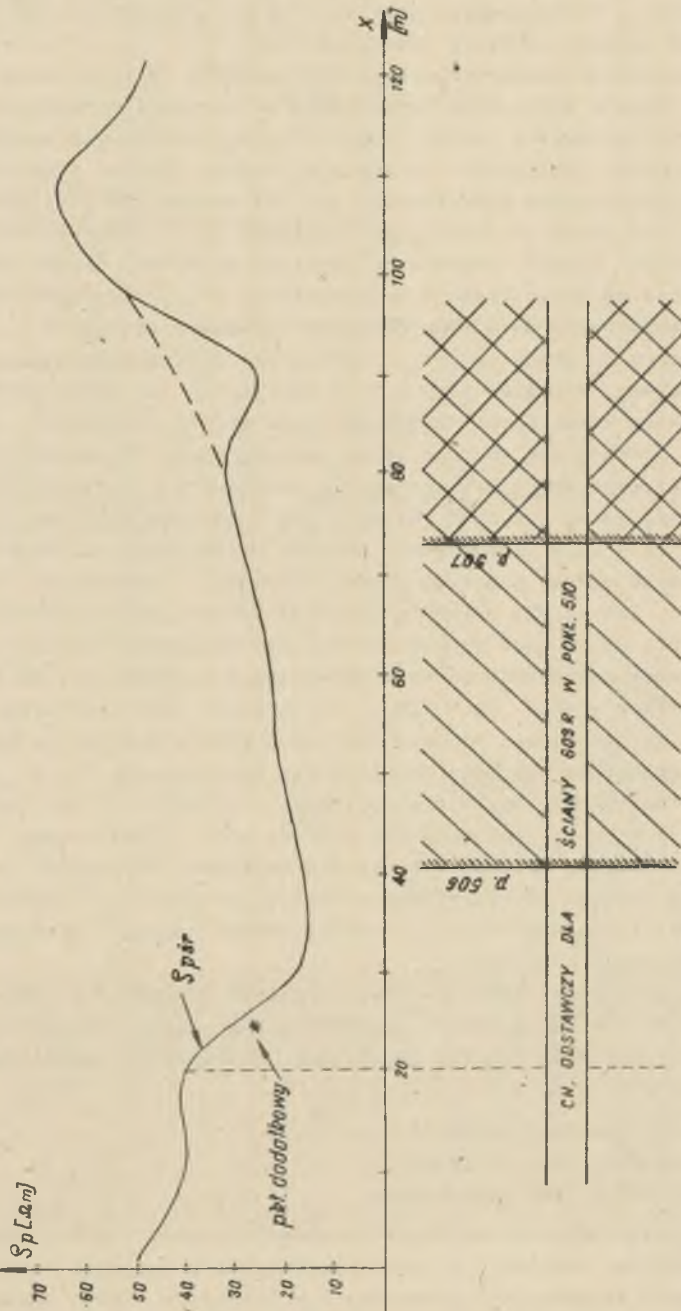


b) SZKIC SYTUACYJNY



Rys. 1. Badania zasięgu wpływu krawędzi w pokł. 334 na pokł. 331 w KWK "Murcki"

Chodnik transportowy



Rys. 2. Zmiany oporu elektrycznego w otoczeniu krawędzi w pokł. 506 i pokł. 507 w KWK "Dymitrow"

Strefa podwyższonych oporów kończy się w okolicy krawędzi w odległości  $x = 27$  m nad zrobami, opór elektryczny gwałtownie wzrasta, co wskazuje na szereg pęknięć i rozwarstwień. Jest to strefa całkowicie odprężona, co zresztą jest zgodne z pracami teoretycznymi.

W profilowaniach geoelektrycznych wykonywanych w kopalniach obserwuje się często znaczne odchylenia standardowe od wartości rzeczywistej. Błąd ten można wyeliminować w bardzo prosty sposób, powtarzając pomiary kilkakrotnie tym samym rozstawem i uśredniając wyniki. Celowe jest jednak pewne przesunięcie punktów pomiarowych, tak aby pomiar nie był wykonywany w tych samych miejscach. Po obliczeniu wartości  $\varphi_p$  i wykreśleniu poszczególnych profili należy w wybranych punktach odczytać rzędne dla odpowiadających "x" i obliczyć średnie arytmetyczne  $\varphi_{p_{\text{śr}}}$ . Uzyskany w ten sposób wykres z pięciu pomiarów w KWK "Dymitrow" pokazano na rys. 2.

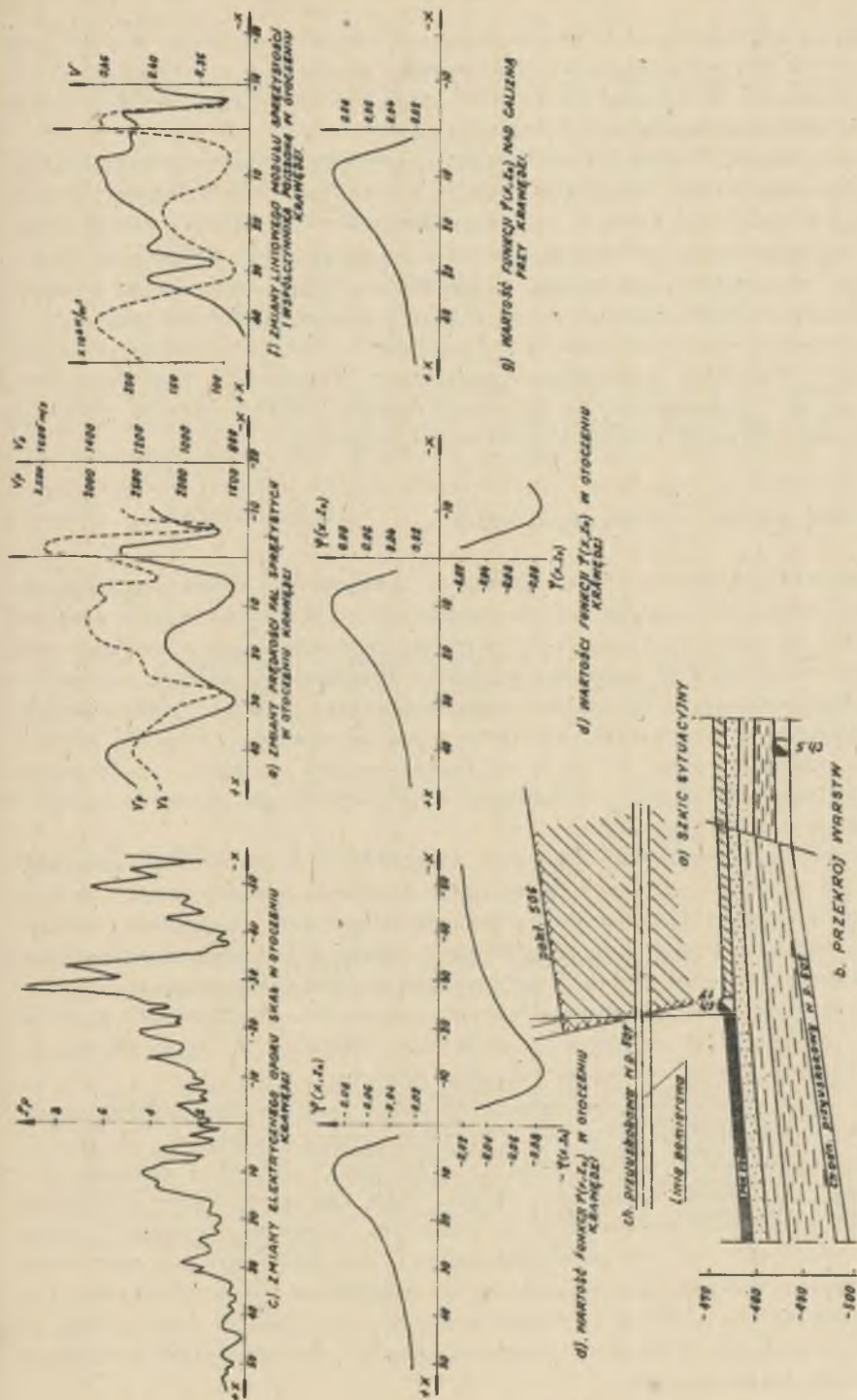
Krzywa wartości średnich  $\varphi_{p_{\text{śr}}}$  potwierdza obliczenie otrzymane na drodze analitycznej. Przykład jest o tyle nietypowy, że linia profilu przebiega pod dwoma krawędziami, skutkiem czego strefy obniżonych oporów pod krawędziami zlewają się tworząc jedno duże minimum. W kierunku wzrastających "x" następuje stopniowy wzrost  $\varphi_p$  związany z odprężeniem pokładu przez wybranie wyżej leżących pokładów 506 i pokładu 507. Lokalne minimum na odciętej  $x = 90$  m spowodowane zostało prawdopodobnie błędem pomiarowym. Oczywiście wykres można sporządzić znacznie dokładniej, odczytując rzędne 5 m. Używa się przez to bardziej wyraźne rozgraniczenie poszczególnych stref. Generalnie jednak kształt wykresu będzie zbliżony. Potwierdza to dokładne obliczenie wartości średniej w punkcie  $x = 25$  m. Średni opór elektryczny wynosi  $P_s = 27\Omega$  m i oznaczony jest gwiazdką na wykresie na rys. 2; jak widać, różnica jest niewielka i pomijalnie mała.

Wpływ krawędzi na wykresie zaznacza się w odległości 20 m, przy czym maksymalne naprężenia ściskające występują w odległości 10 m od krawędzi w pokładzie 506. Poza krawędzią pod zrobami opór elektryczny stopniowo wzrasta, co wskazuje na zmniejszenie się naprężeń. Wzrost ten jednak jest niewielki ze względu na występowanie drugiej krawędzi w pokładzie 507. Dopiero za tą krawędzią następuje szybki spadek naprężeń; przejawiając się wzrostem oporności pozornej.

Kolejną serię badań zasięgu wpływu krawędzi wykonano w KWK "Pokój". Zastosowano tu nie tylko metodę geoelektryczną, lecz również dla sprawdzenia. Wykonano także pomiary sejsmiczne. Na komplet badań przedstawionych na rys. 3 złożyły się:

- profilowanie geoelektryczne A3 M1 N3 B,
- pomiar prędkości fali podłużnej,
- pomiar prędkości fali poprzecznej.

Na podstawie badań sejsmicznych określono również zmiany wartości modułu sprężystości liniowej  $E$  oraz współczynnika Poissona. Badania wykonane zostały w chodniku przyuskokowym 3 w pokładzie 507, wykonanym pod krawędzią w pokładzie 506.



Rys. 3. Badanie wpływu krawędzi w pokł. 506 na pokł. 507 w KWK "Pokój"

Chodnik przyuskokowy, w którym wykonane pomiary, znajduje się na głębokości 490-500 m i przechodzi w odległości około 20 m pod krawędzią. Należy zaznaczyć, że górotwór w rejonie badań był odwodniony, przez co wpływ wody na wyniki pomiarów można było pominąć.

Wyniki pomiarów w KWK "Pokój" różnią się znacznie od poprzednio uzyskiwanych rezultatów. Zasadniczą różnicę stanowi tu występowanie pewnej strefy pod calizną w pasie o odciętych od  $x = +3$  m do  $x = +37$  m. Strefa ta charakteryzuje się podwyższonymi wartościami  $\varphi_p$ . Maksymalne wartości  $\varphi_p$ , występujące pod zrobami w odległości 30 m, związane są z występowaniem serii niewielkich uskoków i towarzyszących im zaburzeń.

Na podstawie badań w kopalniach "Dymitrow", "Murcki", "Pokój" oraz całej serii obserwacji wykonanych w kopalniach "Wieczorek", "Jowisz" i "Czerwona Gwardia" stwierdzono, że za pomocą metody geoelektrycznej można z powodzeniem określać zasięg oddziaływania krawędzi.

#### PODSTAWOWE WARUNKI STOSOWALNOŚCI METODY

Uzyskanie jednoznacznych wyników przy zastosowaniu metody geoelektrycznej dla określenia zasięgu wpływu oddziaływania krawędzi wymaga spełnienia kilku warunków technicznych w prowadzeniu pomiarów oraz uwzględnienie przy ich interpretacji lokalnych warunków górniczo-geologicznych. Należy na wstępie zaznaczyć, że metodą tą można określić jedynie jakościowo zasięg oddziaływania krawędzi. Do wykonywania badań można stosować dowolny miernik geoelektryczny, z tym że najlepsze wyniki uzyskuje się stosując mierniki zmiennoprądowe. Produkowany w Polsce miernik typu PLH całkownie nadaje się do tego celu.

Pomiar należy wykonywać rozstawem symetrycznym lub trójelektrodowym, przy czym wielkość  $AO_1$ , połowa długości rozstawu, winna wynosić od 2 do 4 m. Dla uzyskania dodatkowych informacji celowe jest wykonanie pomiaru również większym rozstawem  $AO = 10-15$  m. Ułatwi to znacznie interpretację, szczególnie przy wykonywaniu pomiarów w strefach zawodnionych.

Na rezultaty pomiarów duży wpływ posiada miejsce przyłożenia elektrody. Najlepsze wyniki uzyskuje się prowadząc badania w spęgu wyrobisk, gdyż uzyskuje się tu najlepsze "wejście prądu".

Opór elektryczny skał w otoczeniu krawędzi jest znacznie zróżnicowany, niemniej ze względu na specyficzne warunki pomiaru należy się liczyć z możliwością zarejestrowania anomalii "fałszywych", których źródłem jest nieodpowiedni kontakt elektroda - skała. Błąd ten można łatwo wyeliminować, zmieniając miejsce przyłożenia elektrody, powtarzając pomiary i uśredniając wartości  $\varphi_p$ . Obliczona wartość średnia jest obarczona już znacznie mniejszym błędem. Oczywiście jest, że dokładność jest tym większa, im więcej wykonano pomiarów. Wykonanie pomiaru jest bardzo proste. Mogą go wykonać przyuczeni pracownicy kopalń o średnich kwalifikacjach górniczych po krótkim przeszkoleniu.



## WNIOSKI KOŃCOWE

Na podstawie wykonanych badań można sformułować następujące wnioski:

1. W otoczeniu krawędzi eksploatacji zatrzymanej w pokładach sąsiednich występują wyraźne zmiany elektrycznego oporu ośrodka. Wynika stąd, że stosując geofizyczne metody elektroperowe można określać granice obszaru oddziaływania tych krawędzi.

2. W warunkach przeciętnych, tzn. wówczas gdy górotwór nie jest zawodniony, obszar oddziaływania krawędzi od strony zrobów zaznacza się jako strefa anomalii dodatnich, a od strony calizny jako strefa anomalii ujemnych.

3. Pomiar zmian oporu należy wykonywać małymi rozstawami elektrod (AB 15 m) w ociosie lub spęgu, stosując zmiennoprądowe mierniki geoelektryczne. Technika pomiaru jest prosta, w związku z czym wyznaczenie obszarów oddziaływania krawędzi metodą elektrooporową może znaleźć szerokie zastosowanie w kopalniach węgla.

## LITERATURA

- [1] Gil H., Czyplonka S.: Wpływ krawędzi zatrzymanej eksploatacji na pokłady wyżej i niżej leżące. Przegląd Górniczy Nr 5/1973.
- [2] Tarchow A. i inni: Podziemna geofizyka. Wyd. "Niedra" Moskwa 1973.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Stanisław Małozzewski

Wpłynęło do Redakcji 9.12.1981 r.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МЕТОДА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕДЕЛА ВЛИЯНИЯ БРОВКИ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

## Резюме

В работе рассмотрены геоэлектрические исследования веденные на шахтах для определения размеров влияния эксплуатационной бровки задержанной в соседних пластах, указывая на причины наблюдаемых изменений электрического сопротивления горной породы. Одновременно даны принципы проведения исследований в горнопромышленных условиях в объеме необходимом для применения метода в производственном масштабе.

UTILIZATION OF THE GEOELECTRIC METHOD IN DEFINING  
THE RANGE OF INFLUENCE OF AN EDGE IN MINE WORKINGS

S u m m a r y

The discussed geoelectric tests have been carried out in mines in aim to define the range of influence of an exploitation edge, when stopped in neighbouring seams, and giving reasons for the observed changes in electric resistance in rock mass. The principles of carrying out tests in mining conditions are also shown, as far as it is necessary in an industrial scale.