

Antoni GOSZCZ

ZASTOSOWANIE GEOFIZYCZNEJ METODY ELEKTROOPOROWEJ
DLA WYZNACZANIA SZEROKOŚCI STREFY SPEKAŃ
W SĄSIĘDZTWIE WYROBISK GÓRNICZYCH

Streszczenie. Metody geofizyczne stanowiące jedną z form nieniszczącego badania środowiska, zaczynają być w ostatnich latach stosowane w rozwiązywaniu niektórych problemów mechaniki górotworu. W artykule omówiono przykłady zastosowania jednej z metod, a mianowicie metody elektrooporowej dla określenia zasięgu strefy spekań w sąsiedztwie wyrobisk korytarzowych i ścianowych. Podano również interpretację górnictwاً uzyskanych rezultatów i sformułowano wnioski określające możliwości dalszego wykorzystywania metody.

1. WSTĘP

Badania przejawów ciśnienia górotworu w otoczeniu wyrobisk górnictwاً stanowią podstawowy problem mechaniki górotworu. W tym celu technika górnictwاً wypracowała szereg metod badawczych oraz konieczną ilość sprzętu pomiarowego i aparatury, w postaci czujników, dynamometrów, tensometrów, konwertometrów itp. Niemniej problem opracowania najważniejszej metodyki pomiarów jest ciągle otwarty i wymaga dalszych studiów i badań.

W ostatnich latach w górnictwie rozpoczęto stosowanie metod geofizycznych. Badania te dotychczas wykorzystywano głównie do rozwiązywania problemów z zakresu geologii i hydrogeologii górnictwاً oraz dla badania terenów przewidzianych pod zabudowę. Te ostatnie nabrały szczególnego znaczenia na terenach dawnej płytkiej eksploatacji górnictwاً, gdzie istnieje prawdopodobieństwo występowania pustek poeksploatacyjnych, stwarzających zagrożenie powstawania deformacji nieciągłych powierzchni terenu w postaci zeskoków, lejów, zapadlisk itd.

W problematyce mechaniki górotworu zastosowanie metod geofizycznych miało dotychczas charakter odosobnionych eksperymentów, przeprowadzanych dla rozwiązywania określonych zagadnień.

Dopiero w ostatnich latach w Instytucie Geofizyki Stosowanej i Poszukiwań Naftowych przy Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie opracowano długofalowy i obszerny program badań dla potrzeb górnictwاً, obejmujący praktycznie wszystkie metody geofizyczne.

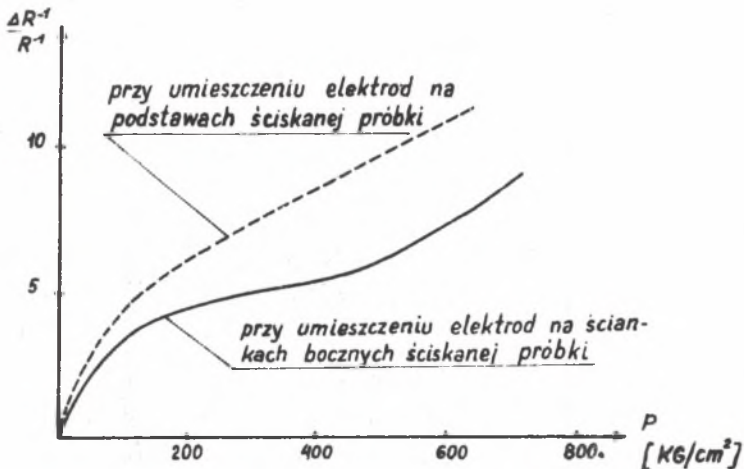
Badania nad możliwościami zastosowania metod geofizycznych dla rozwiązywania podstawowych problemów z mechaniki górotworu prowadzone są również w Instytucie Techniki Eksploatacji Złóż Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Zakres badań został w pierwszym etapie celowo zawężony do zbadania dwóch problemów, mających zasadnicze znaczenie dla mechaniki górotworu, a mianowicie:

- a) do lokalizowania w górotworze stref spękań i szczelin,
- b) do badania rozkładu naprężeń w górotworze w sąsiedztwie wyrobisk górniczych.

Omówienie wyników badań prowadzonych w kopalni dla określenia rozkładu naprężeń w sąsiedztwie wyrobisk górniczych jest tematem niniejszej publikacji.

2. OMÓWIENIE ZASTOSOWANEJ METODY

Geofizyka poszukiwawcza dysponuje dużą ilością metod, które po odpowiedniej adaptacji mogą być wykorzystywane do badania zjawisk z dziedziny mechaniki górotworu. Na przeszkodzie staje jednak szereg czynników obiektywnych i subiektywnych, do których między innymi należy zaliczyć brak odpowiedniej aparatury pomiarowej, przystosowanej do badań w kopalniach, wysoki koszt aparatury, często skomplikowana technika pomiarowa itd.



Rys. 1. Zależność przewodności elektrycznej od ciśnienia (wg J. Rizniczenki)

Z metod geofizycznych szerokie zastosowanie w górnictwie może znaleźć metoda geoelektryczna. Jako główne jej zalety należy wymienić prostą, lekką i stosunkowo tanią aparaturę produkcji krajowej, łatwość pomiaru i dużą operatywność. Z tych też powodów metoda geoelektryczna jest coraz częściej stosowana, dając na ogół dobre rezultaty.

Każdy z pomiarów geofizycznych sprowadza się praktycznie do określenia niektórych parametrów badanego ośrodka. W metodzie geoelektrycznej bada się rozkład pola elektrycznego, określając opór elektryczny ośrodka, na który wpływa szereg różnych czynników. Większość z nich przy prowadzeniu pomiarów w wyrobiskach górniczych, gdzie geologia ośrodka jest już rozpoznana, nie posiada istotnego znaczenia, a decydującą rolę posiadają porowatość i szczelinowatość ośrodka oraz ciśnienie zewnętrzne.

Wpływ porowatości i szczelinowatości ośrodka na wielkość oporu elektrycznego został dokładnie zbadany, gdyż parametr ten posiada podstawowe znaczenie przy interpretacji geologicznej rezultatów poszukiwań geofizycznych.

Na podstawie przeprowadzonych badań i doświadczeń należy się spodziewać, że przy prowadzeniu pomiarów w wyrobiskach górniczych, w stałych warunkach geologicznych i hydrogeologicznych, w strefach spękań i szczelin następuje wzrost wartości pozornego elektrycznego oporu właściwego ρ_k . Odwrotnego zjawiska należy się spodziewać tam, gdzie występuje duże ciśnienie.

Wskazują na to badania laboratoryjne, wykonane przez kilku badaczy. Na rys. 1 podano zależność przewodności elektrycznej (odwrotność oporu właściwego) od ciśnienia zewnętrznego, ustaloną drogą badań laboratoryjnych. Jak wynika z wykresu zależność oporu elektrycznego od ciśnienia jest bardzo wyraźna: przy wzroście ciśnienia do 200 kg/cm^2 , opór elektryczny zmniejsza się pięciokrotnie. Zjawisko to ma decydujące znaczenie dla zastosowania metody elektrooporowej dla zjawisk z dziedziny mechaniki górotworu.

3. BADANIA W KOPALNI

Metodę elektrooporową zastosowano do określenia zasięgu strefy odprężonej i rozkładu naprężeń w sąsiedztwie wyrobisk górniczych. Badania przeprowadzone zostały w Kopalni "Gen. Zawadzki" w wyrobiskach w pokł. 501 i pokł. 816. Badania wykonano w celu uzyskania praktycznego potwierdzenia rozkładu naprężeń, określonego drogą teoretycznych obliczeń.

a. Badania w wyrobiskach korytarzowych

Wykonanie wyrobiska korytarzowego powoduje zmianę pierwotnego stanu napięcia w górotworze. Nacisk warstw stropowych przenosi się na wyrobiska, powodując przyrost naprężeń cisańcych. Naprężenia te powodują powstanie w odciskach strefy spękań, zwanej strefą odprężną. Teoretyczne ujęcie tego zjawiska, dla układów sprężystych z obszarem spękań podał A. Sałustwicz, uzyskując układ równań określających rozkład naprężeń.

W obszarze spękań naprężenia określają wzory:

- naprężenia radialne:

$$\sigma_r = \left(p - \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot k \right) \cdot \left(\frac{r}{R} \right)^{c-1},$$

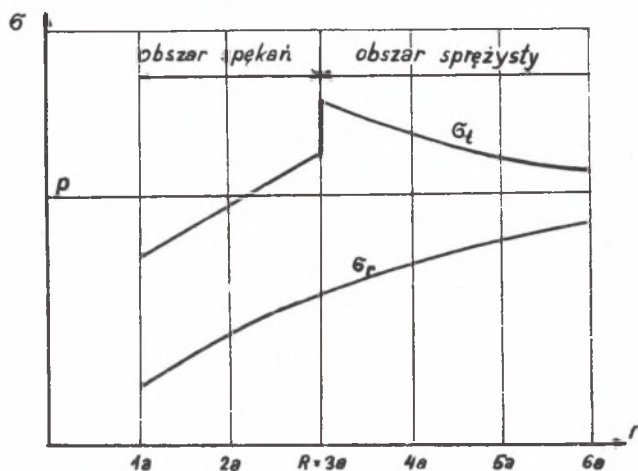
- naprężenia obwodowe:

$$\sigma_t = c \left(p - \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot k \right) \left(\frac{r}{R} \right)^{c-1}.$$

We wzorach oznaczono przez:

- p - ciśnienie pierwotne w górotworze,
- k - wytrzymałość skał na ściskanie,
- r - odległość od środka układu,
- R - zasięg obszaru spękań,

$c = \frac{1 + \sin \varrho}{1 - \sin \varrho}$, gdzie ϱ kąt tarcia wewnętrzznego.



Rys. 2. Rozkład naprężeń w obszarze spękań i w obszarze sprężystym

Wykresy naprężeń podane są na rys. 2. Na granicy strefy spękań i obszaru sprężystego, w odległości R naprężenia obwodowe uzyskują maksymalną wartość. Przy $r > R$ wartość naprężeń stopniowo się zmniejsza do p (ciśnienia pierwotnego na danej głębokości). Oczywiście podane zależności dotyczą ośrodka jednorodnego, izotropowego.

Dla zbadania szerokości strefy odprężonej wokół wyrobiska korytarzowego zastosowano metodę elektrooporową. Warunki górniczo-geologiczne podane zostały na rys. 3. W pokł. 816 o grubości 1,9+2,0 m, na głębokości około 290 m, wykonano 2 równoległe wyrobiska korytarzowe: chodnik transportowy (w prawej części rys.) i przecinęk podścianową. Szerokość przecinki wynosiła 5,5 m.

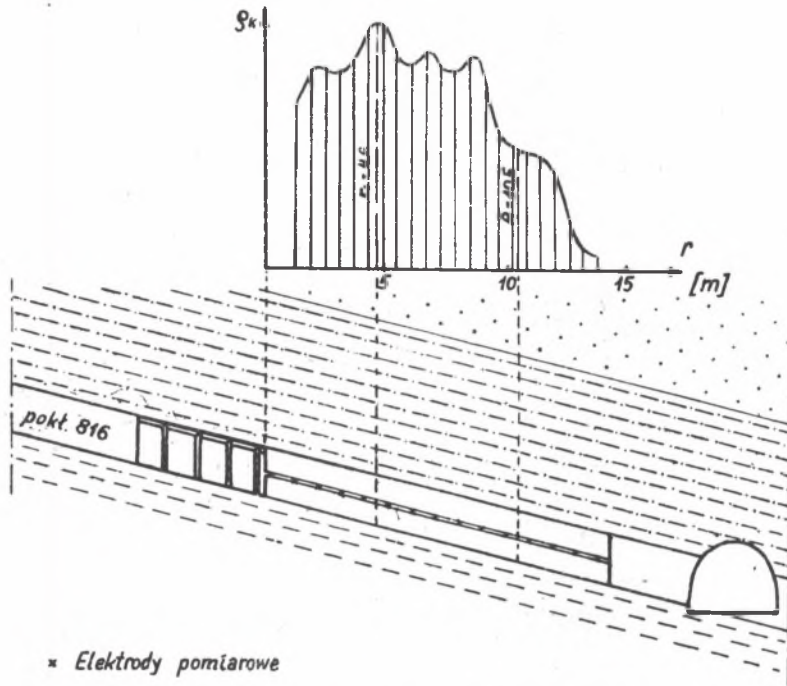
Pomiędzy wyrobiskami korytarzowymi odwiercony został otwór równoległy do uławicenia pokładu. W otworze w odległości co 1 m umieszczone zostały elektrody pomiarowe o specjalnej konstrukcji, zapewniające dobry kontakt elektryczny ze skałą.

Wzdłuż otworu wykonano dwukrotnie profilowanie elektrooporowe w tzw. układzie dwubiegunowym A1M∞N∞B. Wyniki uzyskanych pomiarów wartości ϱ_k podano w górnej części rys. 3.

Osi rzędnych celowo nie wyskalowano, ze względu na jakościowy charakter interpretacji.

Z wykresu na rys. 3 wynika, że strefa odprężona (spękana) sięga na głębokość 10,5 m. Na odcinku od zera do 10,5 m skały są silnie spękane i rozluźnione, na co wskazuje znaczne podwyższenie wartości ϱ_k . Szczeliny o największym rozwarciu występują w odległości $r_1 = 4,6$ m od osi chodnika. Zinterpretowanie prawej części wykresu, odpowiadającej odległości większej niż 12 m od osi chodnika jest niemożliwe z przyczyn technicznych

(wpływ wnęki, z której wykonano otwór). Niemniej wartość ρ_k na tym odcinku silnie spada, co wskazuje na występowanie statycznych naprężeń ścisających.

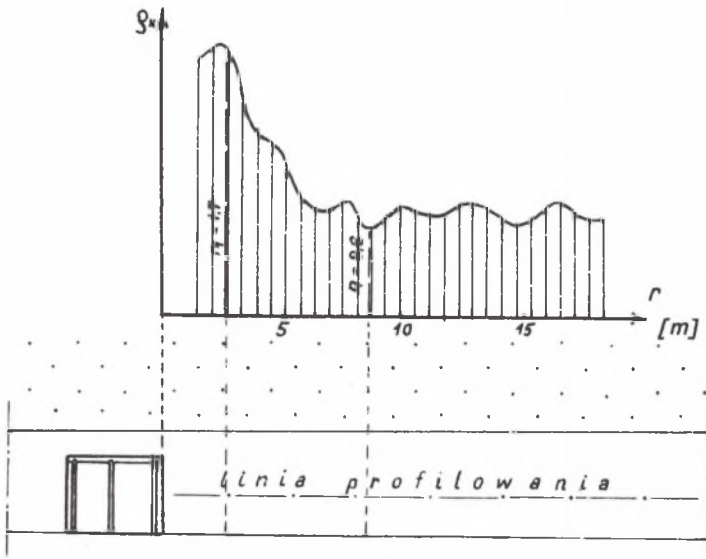


Rys. 3. Zmiany wartości ρ_k w zależności od odległości od ociosu chodnika

W nieco inny sposób zbadano zasięg strefy spękań wokół chodnika nadścianowego w pokł. 501 (rys. 4). W pokładzie o grubości ok. 4,5 m, zalegającym na głębokości 165 m, wykonano wyrobisko korytarzowe o wymiarach $4 \times 3,2 \text{ m}^2$. Prostopadle do chodnika nadścianowego wykonano pochylnię przyścianową. Front ściany prowadzonej poprzecznie z podszadką hydrauliczną znajdował się w okresie pomiarów w znacznej odległości (ponad 100 m) od chodnika, przez co jakkolwiek wpływ eksploatacji na część pokładu, znajdująca się w bezpośrednim sąsiedztwie chodnika, był wykluczony.

Dla zbadania zasięgu strefy spękań w zależności od odległości od ociosu chodnika, wykonano pomiar wartości oporu elektrycznego węgla. Pomiar wykonano metodą profilowania elektrycznego w układzie $A10M1N\infty B$, w płaszczyźnie uławiczenia pokładu (zbliżonej do poziomej), lokalizując elektrody pomiarowe i prądowe na ociosie pochylni, wzdłuż linii oznaczonej na rys.4. Zarejestrowane zmiany ρ_k w różnych odległościach r od ociosu chodnika, podano na wykresie na rys. 4. Pomiar wykonywany był kilkakrotnie i na wykresie podano wartości uśrednione.

W bezpośrednim sąsiedztwie chodnika na odcinku od zera do $R=8,6 \text{ m}$ za-



Rys. 4. Zmiany wartości R_w w zależności od odległości od ościs chodnika w pokł. 501

znacza się strefa wyraźnie podwyższonych wartości R_k . Jest to niewątpliwie strefa odprężona z licznymi spękaniami.

Szczelina o największym rozwarciu znajduje się w odległości $r_1 = 1,7$ m od ościs chodnika. W punkcie o odciętej $R = 8,6$ m występuje minimum wartości R_k , które należy interpretować jako granicę obszaru sprężystego i obszaru spękań. W odległości $r > 8,6$ m występuje strefa sprężysta, gdzie wartości R_k praktycznie wahają się wokół średniej, charakterystycznej dla lokalnych warunków geologicznych i górniczych.

W obydwu opisywanych przypadkach uzyskano zróżnicowanie wartości elektrycznego oporu pozornego R_k w sąsiedztwie wyrobisk korytarzowych, co świadczy o właściwym wyborze metody badawczej. Dalsze prace badawcze winny być skoncentrowane na doskonaleniu techniki pomiaru, a szczególnie na optymalnym doborze układu pomiarowego, umożliwiającym wyeliminowanie błędów spowodowanych niewłaściwym kontaktem elektroda - skała, bądź nieświadomym umieszczeniem elektrody w nieodpowiednim miejscu (np. na odspojonej bryle).

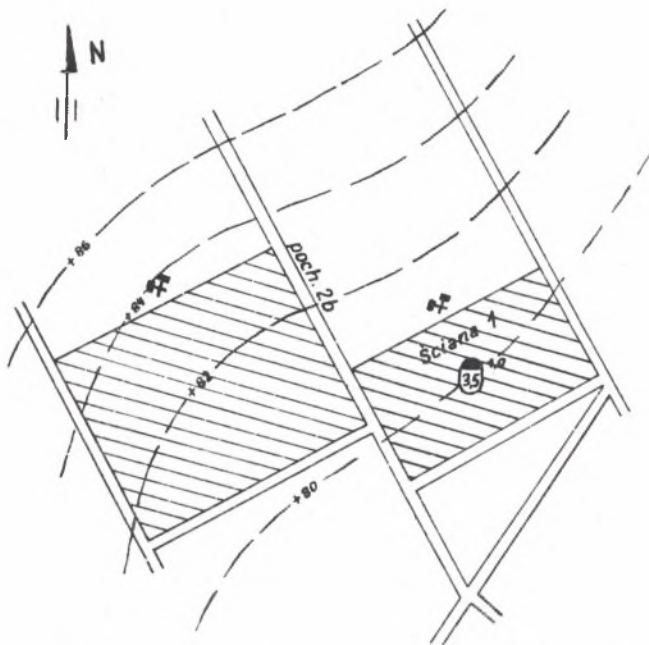
Wnioski o charakterze górniczym podane są w końcu artykułu.

b. Badania przed frontem wyrobiska ścianowego

Przykłady zastosowania metody elektrooporowej, opisane w pktcie 3a, dotyczyły badań zasięgu strefy odprężonej, powstającej przy wyrobiskach korytarzowych. Dla skontrolowania przydatności metody elektrooporowej do badania rozkładu naprężeń przed frontem ściany, wykonano serię badań wg specjalnie opracowanego schematu. Jak powszechnie wiadomo, w eksploatowanym pokładzie, przed frontem ściany, można wyróżnić trzy strefy:

- spękań, położoną najbliżej krawędzi eksploatacji, w której węgiel jest silnie spękany,
- plastyczną lub pseudoplastyczną, gdzie naprężenia osiągnęły wartości maksymalne,
- sprężystą, gdzie następuje stopniowy spadek naprężeń do wartości ciśnienia pierwotnego.

Przeprowadzone badania miały na celu wydzielenie podanych wyżej stref. Sytuację górnictwa podano na rys. 5a przekrój warstw na rys. 6.

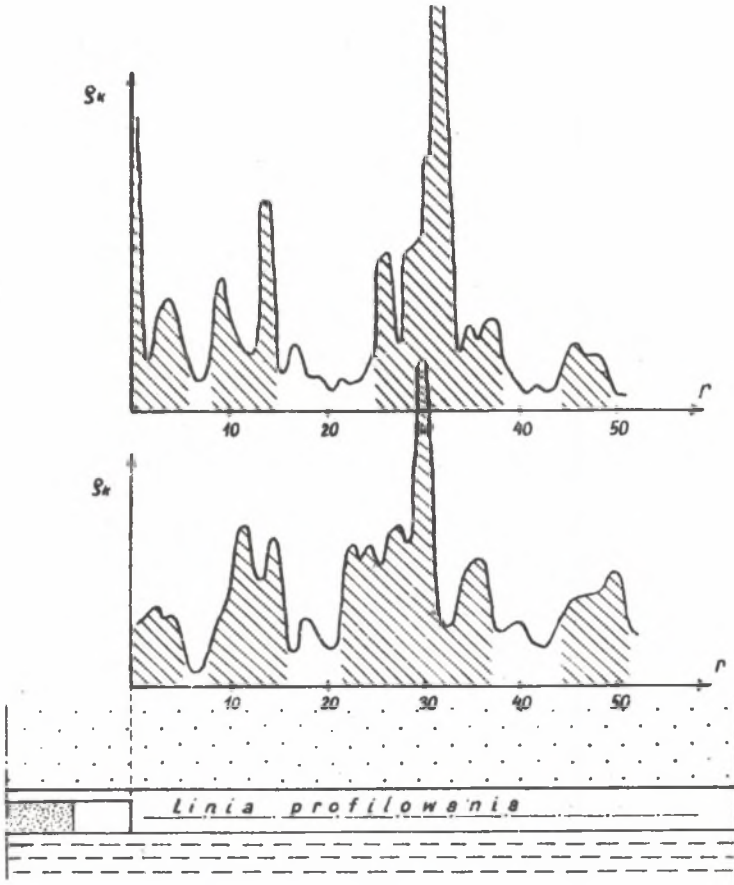


Rys. 5. Sytuacja górnictwa w okresie badań

Pokład 501 o grubości około 4,5 m zalegający na głębokości 160-180 m, eksploatowano systemem ścianowym poprzecznym z podsadzką hydrauliczną. Front ścianowy o wysokości 3,2 m przesuwał się ze średnią prędkością 1,2 m/d. Caliznę węglową urabiano kombajnem KWB-3RDS. Zalegający głębiej o 20 m pokład 510 został całkowicie wybrany, a pustki poeksploatacyjne zlikwidowano przez hydrauliczne podsadzenie.

Dla określenia szerokości strefy odprężonej i strefy maksymalnych naprężeń przed frontem ściany, wzdłuż wschodniego ociosu poch. 2b wykonano serię profilowań elektrooporowych w układzie A10M1N ∞ B, prowadząc pomiary w ten sposób, aby ostatni punkt pomiarowy znalazł się na linii frontu ściany. W miarę postępu robót, pomiary powtarzano kilkakrotnie co kilkanaście dni.

Wykresy zmian ρ_k zarejestrowane w dwóch seriach pomiarowych w odstępie 10 dni, podane w górnej części rys. 6.



Rys. 6. Zmiany wartości q_k przed frontem ściany

Należy zaznaczyć, że z przyczyn technicznych badania musiały zostać zlokalizowane w partii, gdzie warunki górniczo-geologiczne nie były zbyt korzystne, ze względu na wcześniejszą eksploatację pokł. 510. Eksploatacja ta nie mogła pozostać bez wpływu na zalegający wyżej pokł. 501, powodując powstanie w nim spękań.

Występowanie spękań i szczelin powoduje podwyższenie wartości q_k , skąd możliwe jest pewne skażenie wyników. Skażenie to jest szczególnie duże przy przechodzeniu linii profilowania nad starym chodnikiem taśmowym w pokł. 510. Chodnik ten jako główna droga transportowa był szczególnie pieczołowicie utrzymywany. Kilkakrotne przebudowy chodnika, uniemożliwiały regularne osiadczenie warstw stropowych nad wybranym pokładem 510, w wyniku czego w warstwach tych powstały spękania sięgające aż do pokładu 501. Strefa spękań nad chodnikiem, zaznaczyła się jako strefa podwyższonych oporów na odcinku 25÷38 m na wykresie górnym i na odcinku 21,5÷36,5 na wykresie dolnym.

Strefa odprężona na wykresach Q_k , zgodnie z przewidywaniami, zaznaczyła się jako strefa podwyższonych wartości Q_k . Szerokość tej strefy wynosi na wykresie górnym 15 m, a na wykresie dolnym 16,6 m. W strefie tej występuje lokalne, bliżej niewyjaśnione minimum Q_k w odległości 5,5÷8,0 m przed frontem ściany. Można przypuszczać, że stan taki spowodowało ścisnięcie większych bloków węgla, odspojonych od calizny, lecz jeszcze nierozkruszonych.

W strefie odprężonej występuje szereg pęknięć, które na wykresach Q_k zaznaczają się jako lokalne maksima (piki). Strefy, w których występują spękania, oznaczono przez zakreskowanie wykresu.

Strefa maksymalnych naprężeń znajduje się w odległości 15 m (wykres górny) i 16,5 m (wykres dolny). Strefa ta kończy się obszarem spękanym nad chodnikiem w pokł. 510. Rzeczą oczywistą jest, że w opisanej sytuacji ustalenie odległości na jakiej naprężenia w pokładzie osiągną wartość ciśnienia pierwotnego jest niemożliwe.

4. WNIOSKI

Interpretacja górnicza uzyskanych rezultatów, dostarcza ciekawych wniosków, mających istotne znaczenie dla praktyki górniczej.

- a. Metodą elektrooporową można w sposób łatwy i stosunkowo dokładny wyznaczyć szerokość strefy odprężonej wokół wyrobiska korytarzowego. Szerokość tej strefy ma bardzo istotne znaczenie przy ustalaniu optymalnej szerokości filarów oporowych, zarówno ze względu na zagrożenie tąpnięciami jak i racjonalną gospodarką złożem. Szerokość strefy spękań posiada również duże znaczenie przy prowadzeniu wyrobisk górniczych w warunkach zagrożenia wodnego, w pobliżu podziemnych zbiorników wodnych.
- b. Badania szerokości strefy odprężonej wykonane w różnych warunkach górniczo-geologicznych wykazały zgodnie z oczekiwaniami, że szerokość tej strefy zależy od lokalnych warunków. Dalsze badania nad określeniem szerokości strefy odprężonej, należy prowadzić wg określonego programu, w celu uzyskania ilościowych zależności empirycznych, uwzględniających podstawowe parametry charakteryzujące dany ośrodek.
- c. Metoda elektrooporowa wg schematu zastosowanego w pokł. 816 może być z powodzeniem wykorzystana przy śledzeniu zjawisk zachodzących w górotworze w otoczeniu chodników (pochylń), przy dochodzeniu do nich frontu eksploatacji. Stosując tę metodę, można na bieżąco określać położenie strefy maksymalnych naprężeń i stosując odpowiednią profilaktykę (nawilżanie, strzelanie wstrząsowe itp.) zlikwidować, a co najmniej ograniczyć zagrożenie tąpnięciami.
- d. Metoda elektrooporowa nadaje się również do badania zasięgu strefy odprężonej i lokalizowania strefy maksymalnych naprężeń przed frontem ściany. Wykonane badania ograniczyły się wyłącznie do badania zasięgu strefy odprężonej w obszarze znajdującym się w pobliżu cciosu pochylni przyscianowej.

Niemniej wydaje się, że przy odpowiedniej technice pomiaru, zasięg penetracji można zwiększyć, w zależności od potrzeb. Dalsze badania powinny być prowadzone w tym właśnie kierunku.

- e. Metodą elektrooporową można lokalizować strefy spękań powstałe na skutek eksploatacji niżej zalegającego pokładu, przez co można odpowiednio wcześniej zabezpieczyć wyrobiska w pokładzie wyższym, zwiększając warunki bezpieczeństwa pracy i obniżając koszty utrzymania wyrobisk. Wydaje się również, że metoda ta może znaleźć praktyczne zastosowania, przy określaniu zasięgu wpływu krawędzi.

Uzyskane doświadczenia wskazują na bezsporną przydatność metody elektrooporowej dla badania zjawiska z dziedziny mechaniki górotworu, a szczególnie przy zwalczaniu zagrożeń tąpnięciami. Dlatego też prowadzenie dalszych badań w celu uzyskania maksymalnej ilości doświadczeń i obserwacji oraz dla doskonalenia sprzętu pomiarowego i metodyki badań jest w pełni uzasadnione i celowe.

LITERATURA

- [1] Goszcz A.: Zastosowanie metody elektrooporowej do określania miejsc w górotworze, w których nastąpiło pęknięcie stropu zasadniczego. Praca doktorska, Gliwice 1975 r.
- [2] Goszcz A., Zakolski R.: O możliwościach zastosowania metod geofizycznych do rozwiązywania niektórych problemów mechaniki górotworu. Ochrona Terenów Górniczych, nr 13 WUG, Katowice 1970.
- [3] Kowalczyk J., Małoszewski St., Ney R.: Metody geofizyki stosowanej w zagadnieniach geodynamiki Górnego Śląska. Materiały konf. "Problemy Geodynamiki i Tąpnięć". Komitet Górnictwa PAN, Kraków 1972.
- [4] Parachomierko J.: Elektrieskije svojstwa gornych porod. Wydawnictwo "Nauka", Moskwa 1965.
- [5] Rizniczenko J.: Issledowanije gornowo dawlenia geofiziceskimi metodami. Wydawnictwo "Nauka" Moskwa 1967.
- [6] Sałustowicz A.: Mechanika górotworu. Wydawnictwa Górniczo-Hutnicze, Katowice 1955.
- [7] Zakolski R.: Określanie nieciągłości górotworu metodami geofizycznymi na obszarze Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Komunikat GIG nr 622, Katowice 1974.

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО МЕТОДА СОПРОТИВЛЕНИЙ
ДЛЯ УСТАНОВЛЕНИЯ ШИРИНЫ ЗОНЫ ТРЕЩИН В СОСЕДСТВЕ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Р е з ю м е

Геофизические методы, составляющие одну из форм неразрушительного исследования среды, начинают в последнее время применять при решении некоторых проблем механики горной породы. В статье излагаются примеры применения одного из методов, а именно метода сопротивлений для определения дальности зоны трещин в соседстве коридорных и лавочных выработок. Дается тоже горная интерпретация полученных результатов и формулируются выводы, определяющие возможность дальнейшего использования метода.

AN APPLICATION OF A GEOPHYSICAL ELECTRORESISTANT METHOD
FOR DETERMINATION OF THE CRACKS WIDTH ZONE
IN THE NEIGHBOURHOOD OF MINING WORKINGS

S u m m a r y

Geophysical methods, which are one of non-destructive ways of environment investigation are being used recently in solving some of rock's mechanics problems.

In the paper some examples of using one of these methods, namely the electroresistant method for determination of the cracks width zone in the neighbourhood of roadways and longwalls workings - have been discussed.

A mining interpretation of obtained results, and the conclusions determining possibilities of further utilization of this method had been given.