

Antoni GOSZCZ  
Bogdan ŐWIEK  
Janusz DWORAK

## KONTROLA PROCESU FORMOWANIA SIĘ PIERWSZEGO PEŁNEGO ZAWAŁU STROPU METODĄ GEOELEKTRYCZNA

**Streszczenie.** W artykule omówiono wyniki zastosowania metody geoelektrycznej do kontrolowania procesu tworzenia się pierwszego pełnego zawału. Przedstawiono rezultaty badań przeprowadzonych w różnorodnych warunkach górniczo-geologicznych. Omówiono próby z zastosowaniem ciągłego pomiaru rejestrowanych parametrów elektrycznych skał, przy użyciu prototypowej aparatury pomiarowej. Sformułowano wnioski mające istotne znaczenie dla praktyki górniczej.

### 1. WSTĘP

Eksploracja węgla systemem ścianowym z zawałem stropu wymaga właściwego kierowania tym procesem z uwagi na możliwość występowania nieprawidłowości w tworzeniu się regularnego i pełnego zawału. Szczególnie duże zagrożenie występuje w fazie rozruchu ściany do momentu wystąpienia pierwszego pełnego zawału, obejmującego warstwy stropowe na wysokość odpowiednią dla danych warunków geologicznych. W okresie rozruchu zwisający strop obciąża nadmiernie obudowę, wywiera duże naciski, powodując w ten sposób koncentrację naprężeń w narożach i szereg innych niekorzystnych zjawisk.

Mimo wielu starań czynionych w tym kierunku, nie wypracowano dotąd skutecznej metody umożliwiającej kontrolę zachowania się skał stropowych w okresie rozruchu.

Autorzy tego artykułu gromadząc długoletnie obserwacje ścian zawałowych w fazie ich rozruchu doszli do wniosku, że do śledzenia zmian zachodzących w stropie eksploatowanego pokładu można zastosować metody oparte na pomiarze zmian oporności właściwej węgla w ociosie obcinki podścianowej.

A. Goszcz i B. Őwiek (1976 r.) przedstawili wyniki obserwacji dokonanych w niektórych kopalniach. Uzyskane pozytywne rezultaty stały się bodźcem do podjęcia prac mających na celu dalszy rozwój opisanej przez nich metody. Efekty tych działań stanowią temat niniejszego artykułu.

## 2. PARAMETRYZACJA PROCESU ROZRUCHU ŚCIANY ZAWAŁOWEJ

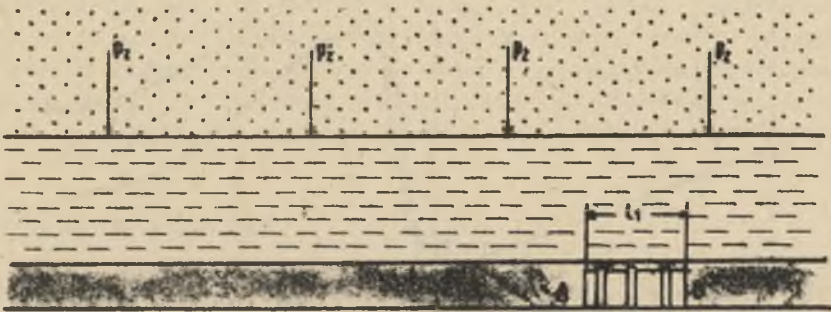
Możliwość dostosowania - w problemach mechaniki górotworu - jakiegokolwiek metody badawczej opartej na analizie zmian własności fizycznych charakteryzujących skały wynika z założenia istnienia związków korelacyjnych między czynnikami opisującymi stan zachowania górotworu a fizyką skał. W związku z powyższym należy postawić sobie pytanie: przy pomocy jakich wskaźników możemy opisać proces rozruchu ściany zawałowej. Prześledźmy więc ten proces pod kątem znalezienia odpowiedzi na postawione powyżej pytanie.

Proces rozruchu ściany zawałowej przedstawiono obrazowo na rys. 1. Na tym samym rysunku podano również dodatkowe oznaczenia stosowane w dalszej części artykułu.

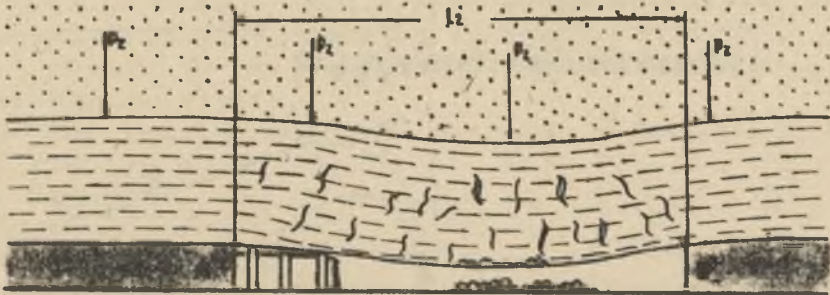
Ściana zawałowa rozpoczyna się z przecinki podścianowej, której szerokość przeważnie wynosi około 5 m. Wstępna analiza kolejnych faz rozruchu wskazuje na ocios B przecinki podścianowej jako na najdogodniejszy technicznie rejon do prowadzenia obserwacji zmian zachodzących w skałach, z uwagi na dostępność tego miejsca przez cały okres rozruchu.

Proces zmian zachodzących w ociosie obcinki podścianowej przebiega w kilku fazach ściśle związanych z kolejnymi etapami rozruchu ściany zawałowej:

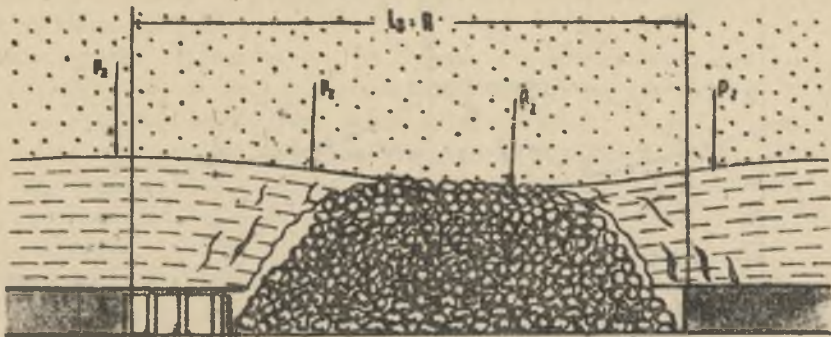
- po wykonaniu przecinki podścianowej w ociosie powstaje strefa podwyższonych naprężeń. Jeżeli naprężenia te będą mniejsze od wytrzymałości skały, to w ociosie tym powstają strefy odkształceń sprężystych, których fizycznym obrazem będzie ściśnięcie węgla i zamykanie się porów i szczelin. Jeżeli jednak naprężenia te będą większe niż wytrzymałość węgla, wówczas w ociosie powstanie obszar spękań, a strefa maksymalnych naprężeń przesunie się w głąb calizny,
- po uruchomieniu ściany obciążenie ociosu wzrasta. Możliwe są tu takie same przypadki jak wyżej, a więc utrzymywanie się nadal strefy odkształceń sprężystych lub powstanie strefy spękań. Jeżeli jednak obszar spękań powstał już wcześniej (po wykonaniu przecinki lecz przed uruchomieniem ściany), wówczas strefa maksymalnych naprężeń odsuwać się będzie w głąb calizny),
- bezpośrednio przed powstaniem pierwszego pełnego zawału naprężenia w ociosach osiągają wartość maksymalną. Ugięcie się stropu jest wówczas największe, a przemieszczenie się warstw powoduje nie tylko ich rozwarstwienie, lecz również przemieszczenie się ich w płaszczyźnie poziomej w kierunku pustki. Na skutek przemieszczenia się w kierunku poziomym na powierzchni granicznej pomiędzy pokładem i stropem powstają naprężenia styczne. Efektem tych naprężeń są spękania węgla w części przystropowej,
- z chwilą zaistnienia pełnego zawału dezintegrujące się warstwy stropu tracą ciągliwość i "wysypują się" do zrebów. Obciążenie dynamiczne i jed-



**a) rozpoczęcie ściany z przecinki**



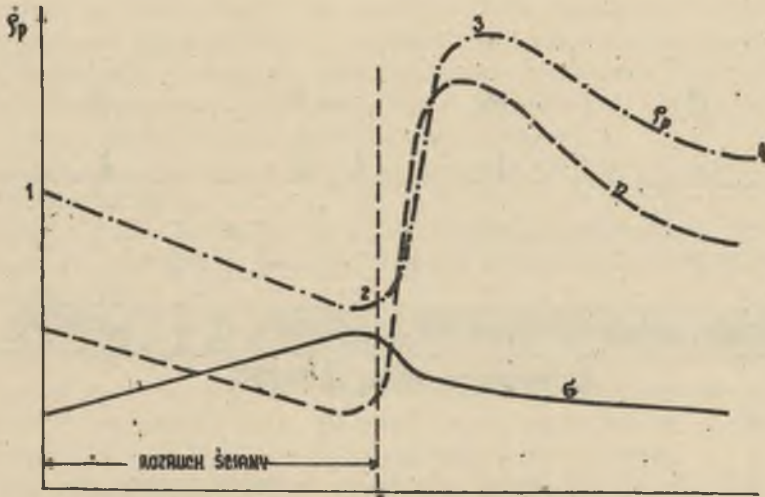
**b) przed pełnym zawalem**



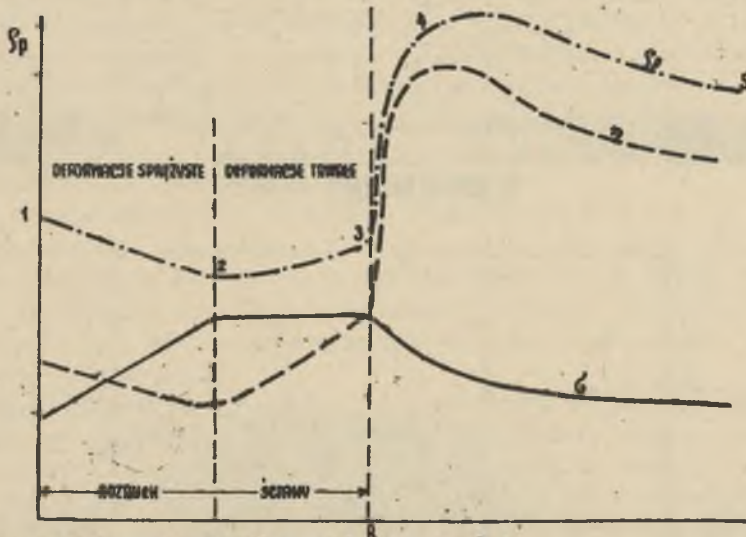
**c) powstanie pierwszego pełnego zawala**

Rys. 1. Fazy okresu rozruchu ściany zawałowej





a) Schemat zmian  $\zeta_p$  w układzie gdy  $G < k$



b) Schemat zmian  $\zeta_p$  w układzie gdy  $G > k$

Rys. 2. Schemat zmian wartości  $\zeta_p$  zachodzących w ośrodku ściany zawałowej w okresie jej rozruchu

noczesny obrót bloków skalnych powoduje popękanie węgla w ociosie i powstanie nawet otwartych szczelin. Równoległe z formowaniem się zawału następuje odciążenie ociosu węglowego, którego nie obciąża już wspornik skalny nad zrobami.

Przedstawiona powyżej analiza formowania się pełnego zawału stropu wskazuje, że proces ten możemy skorelować ze zmianami szeroko pojętej porowatości węgla w ociosie obcinki podścianowej. Zmiany tego parametru, stanowiące rezultat oddziaływania niejednorodnych pól naprężeń tworzących się w trakcie kolejnych faz rozruchu ściany, przedstawione zostały na rys. 2.

### 3. WYBÓR METODY BADAWCZEJ

Uwzględniając uwagi podane w punkcie 2 niniejszego artykułu, dokonano szczegółowej analizy możliwości zastosowania dostępnych metod, uwzględniając zarówno zagadnienia aparaturowe, jak i konieczność spełnienia niezbędnych warunków dla wykonania badań.

W wyniku tej analizy postanowiono zastosować geoelektryczną metodę elektrooporową, polegającą na badaniu pola elektrycznego i określaniu podstawowego parametru dla tego pola, a mianowicie wartości elektrycznego oporu właściwego pozornego  $\varrho_p$ .

Opór elektryczny skały zależy od wielu czynników. Aby uzależnić go tylko od trzech, tj. od:

- szczelinowatości,
- ciśnienia,
- zawodnienia,

zastosowano metodę pomiarów stacjonarnych, polegającą na badaniu zmian  $\varrho_p$ , ciągle w tych samych zastabilizowanych punktach. Przy takiej metodyce pomiaru wpływ czynników geologicznych, temperatury oraz mineralizacji wód dołowych można pominąć.

Wykorzystując zależności  $\varrho_p$  od ciśnienia i porowatości, podjęto próbę skonstruowania modelu zmian oporności zachodzących w ociosie ściany zawałowej, uwzględniającego zmiany porowatości badanego ośrodka, w trakcie kolejnych faz rozruchu ściany. Przedstawiony na rysunku 2 schemat zmian wartości  $\varrho_p$  uwzględnia dwa modele zachowania się ośrodka w zależności od relacji naprężeń działających na skały a wartością krytyczną charakteryzującą ich reakcję.

W przypadku odkształceń sprężystych ( $\delta < k$ ) wzrostowi naprężeń w ociosie towarzyszy zamykanie się por i szczelin. Proces ten odzwierciedla się spadkiem wartości  $\varrho_p$  niewielkim, niemniej zauważalnym. Oporność osiąga wartość minimalną bezpośrednio przed odcięciem R, odpowiadającą przyjsciu ciśnienia eksploatacyjnego. Przy przechodzeniu skał stropowych w stan zawału następuje silne spękanie ociosu, czego wyrazem jest gwałtowny wzrost  $\varrho_p$  na odcinku 2 - 3. Po uformowaniu się pełnego zawału, zawalisko stopnio-

w doszczelnia się, co obrazuje asymptotyczny spadek oporności, przy czym osiągnięcie asymptoty odpowiada całkowitemu uspokojeniu się ruchów górotworu w bezpośrednim otoczeniu ściany.

Wykres b na rysunku 2 odpowiada sytuacji, gdy  $\sigma > k$  i w ociosie powstaje strefa spękań. Odcinek 1 - 2 odpowiada strefie deformacji sprężystych, występującej przy niewielkiej rozpiętości wyrobiska L. Obserwować się tu powinno niewielki spadek wartości  $Q_p$ . Przy dalszym wzroście L w ociosie ściany wytwarza się strefa spękań. Rozwartość tych spękań jest jeszcze niewielka, co przy stałej wartości naprężeń  $\sigma = k$  daje w efekcie tylko niewielki przyrost  $Q_p$ . Dopiero wówczas, gdy  $L = R$  następuje gwałtowne "zruszenie" ociosu. Rozwartość szczelin nagle się zwiększa. Zjawisku temu odpowiada duży wzrost wartości elektrycznego oporu pozornego (odcinek 3 - 4 na rysunku 2b). Po przejściu przez maksimum oporność ośrodka stopniowo maleje z przyczyn omówionych już wyżej.

Opisane wyżej dwa podstawowe schematy zmian  $Q_p$  w zależności od L nie uwzględniają wpływu wody. Może się zdarzyć, że szczeliny w stropie ułatwią migrację wody z wyższych warstw do węgla. Wówczas zmiany  $Q_p$  będą przebiegały inaczej, niemniej powstanie pierwszego pełnego zawału musi spowodować zmiany elektrycznego oporu węgla w ociosie (najczęściej wzrost).

#### 4. BADANIA W WYROBISKACH GÓRNICZYCH KOPALŃ PW

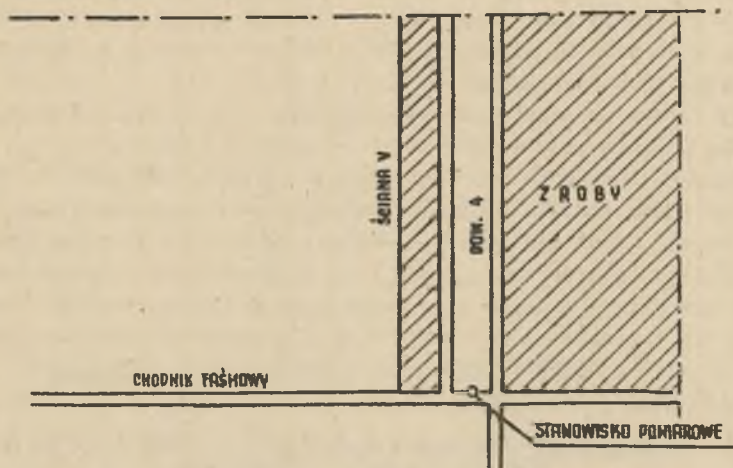
Opisany powyżej model zmian zachodzących w ociosie obcinki podścianowej w trakcie formowania się pierwszego zawału stropu oraz odpowiadający temu modelowi schemat zmian oporności właściwej znalazł potwierdzenie w serii badań przeprowadzonych w obrębie ścian zawałowych kopalń PW.

Wyniki pierwszych doświadczeń omówione zostały w roku 1976 [1]. Dla wykazania uniwersalności opisywanej tu metody przeprowadzono dodatkowe próby w różnych warunkach górniczo-geologicznych. Jako ilustrację tych prac wybrano rezultaty uzyskane w kopalni "Wujek", gdzie kontrolowano wystąpienie pierwszego zawału w ścianie V w pokładzie 402 (rys. 3).

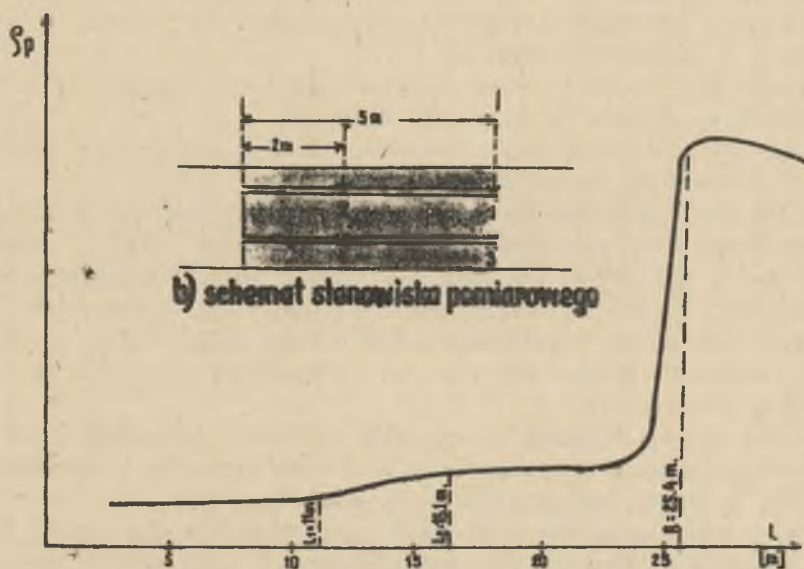
W omawianym tu przypadku przecinę ścianową wykonano równoległe do powierzchni 4, ograniczającej od zachodu stare zroby. Nowo uruchomioną ścianę V dzielił od zrobów wąski filar oporowy, w ociosie którego zlokalizowane zostało stanowisko pomiarowe. Z uwagi na niewielką szerokość filaru oporowego stanowisko pomiarowe musiało być zlokalizowane w silnej strefie spękań, co wywierało określony wpływ na uzyskiwane rezultaty. Wyniki obserwacji przedstawione na rysunku 3 są mimo to bardzo podobne do uzyskanych w kopalniach "Gen. Zawadzki", "Czerwona Gwardia", "Jowisz" i innych [1].

Do rozpiętości wyrobiska ścianowego  $L = 11$  m nie zauważa się poważniejszych zmian oporności. W punkcie  $L = 11$  m rozpoczyna się niewielki wzrost badanego parametru (rys. 3). Stosownie do przedstawionych powyżej rozwa-





a) sytuacja górnicza i lokalizacja stanowiska pomiarowego



b) schemat stanowiska pomiarowego

c) rezultaty pomiarów w KWK „WUJEK”

Rys. 3. Sytuacja górnicza i rezultaty badań wykonanych w pokł. 402 w kopalni „Wujek”

zań, wzrost ten należy interpretować jako powstanie strefy spękań. Wynika stąd, że pomimo niewielkiej szerokości filaru oporowego pomiędzy zrobami a ścianą V w filarze tym występowały, w pierwszej fazie, odkształcenia sprężyste, a dopiero po oddaleniu linii frontu od ociosu na odległość 11m ujawniły się deformacje trwałe.

Wyraźny wzrost wartości elektrycznego oporu właściwego pozornego rozpoczyna się dopiero przy rozpiętości wyrobiska  $L = 24,5$  m.

Przy dalszym oddalaniu się linii frontu na odległość  $L = R = 25,4$  m powstaje pełny zawał stropu. Ogólny przebieg krzywej pomiarowej, uzyskanej w kopalni "Wujek", jest stosunkowo spokojny. Potwierdza to poczynione w szeregu kopalniach spostrzeżenia, że proces formowania się pierwszego zawału w skałach wstępnie spękanych i rozluźnionych przebiega na ogół łagodnie.

Równoległe z badaniami geoelektrycznymi prowadzone były obserwacje wizualne w ścianie i w ochodnikach otaczających zroby. Obserwacje te potwierdziły uzyskane rezultaty.

#### Badania w kopalni "Dymitrow"

Dotychczasowe badania wykonywane były na głębokości do 300 m. W celu uzyskania informacji, jak zjawisko zmian oporności elektrycznej podczas rozruchu ściany zawałowej przebiega przy eksploatacji na dużej głębokości, kolejną serię obserwacji przeprowadzono w kopalni "Dymitrow", w ścianie nr 603a w pokładzie 510 (rys. 4).

Wybranie warstwy podstropowej systemem zawałowym miało na celu odprężenie pokładu ze względu na zagrożenie tapaniami.

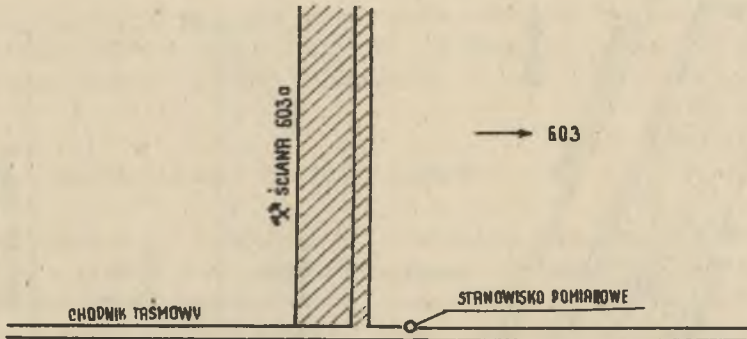
Stanowisko zlokalizowano na chodniku taśmowym, w odległości pięciu metrów od wschodniego ociosu przecinki ścianowej.

Wykres zmian oporności elektrycznej  $\varrho_p$  podczas rozruchu ściany podany jest na rysunku 5. Przy rozpiętości wyrobiska równej 15,8 m zanotowano spadek oporu  $\varrho_p$ . Spadek ten jest stosunkowo niewielki i osiąga minimum przy odciętej 19,4 m. Później, w miarę oddalania się frontu ściany, nastąpił początkowo wolny, a następnie szybki wzrost elektrycznego oporu właściwego pozornego badanego ośrodka. Przy rozpiętości wyrobiska  $R = 23,2$  m powstał pierwszy zawał.

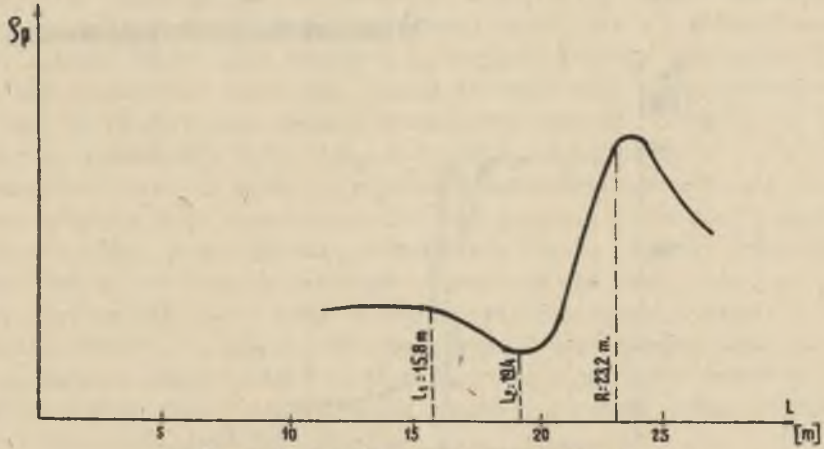
Kształt krzywej wskazuje na sprężysty charakter deformacji w pokładzie. W miarę powiększania się rozpiętości wyrobiska wzrastają naprężenia ścisające w ociosach, osiągając wartość maksymalną, przy  $L = 19,4$  m. Przy dalszym wzroście rozpiętości wyrobiska wytrzymałość węgla zostaje przekroczona, w ociosach powstają pierwsze spęknięcia, a jednocześnie tworzą się spęknięcia w stropie. Jak już podano wyżej, przy rozpiętości wyrobiska 23,2 m powstaje pierwszy pełny zawał.

Badania wykonane w kopalni "Dymitrow", niezależnie od dalszego rozpoznawania zjawiska, miały również znaczenie ruchowe, gdyż ścianę nr 603 można było uruchomić dopiero po powstaniu pełnego zawału w ścianie nr 603a.



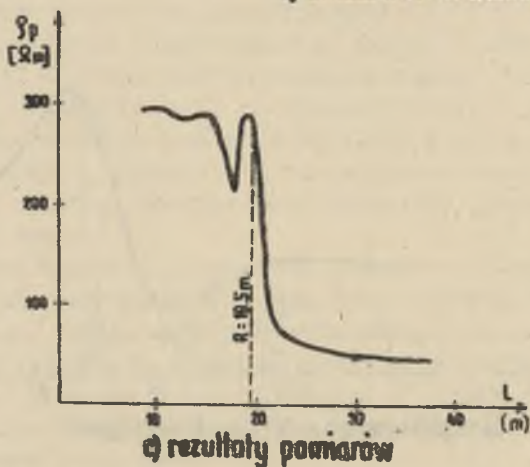
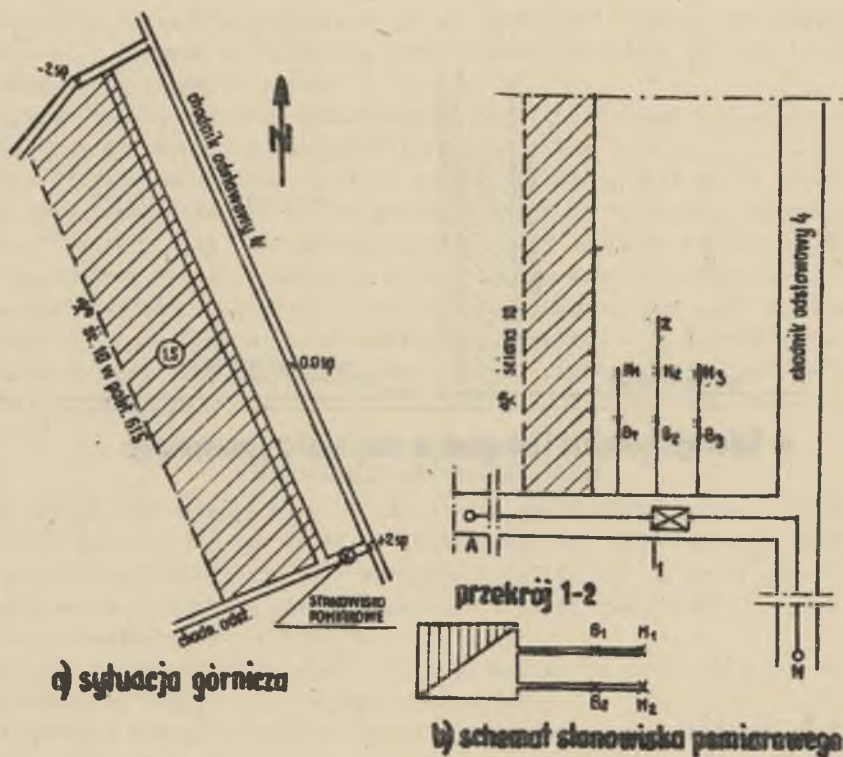


a) Sytuacja górnicza i lokalizacja stanowiska pomiarowego



b) wyniki badań w KWK „DYMITROW”

Rys. 4. Sytuacja górnicza i wyniki badań uzyskane w pokł. 510 kop. "Dymitrow"



Rys. 5. Rezultaty badań wykonanych przy zastosowaniu automatycznej rejestracji zmian  $\sigma_p$

Wadą stosowanej początkowo i opisaną na przykładach kopalń "Wujek" i "Dymitrow" metodyki badawczej była ograniczona częstotliwość obserwacji. Wykonywano je raz na dobę, co jednak przy znacznym postępie ścian zawałowych, dochodzącym do 3 m/dobę, było za mało. Zwiększenie częstotliwości obserwacji z różnych przyczyn natury techniczno-ruchowej było trudne do zrealizowania. Stąd zrodził się pomysł podjęcia prób z zastosowaniem automatycznego układu rejestracji ciągłej.

## 5. PRÓBY Z ZASTOSOWANIEM REJESTRACJI CIĄGŁEJ

Pomiar zmian oporu elektrycznego, wykonywany okresowo, może być stosowany tylko w pierwszym okresie przemysłowego wdrożenia metody. Biorąc pod uwagę dążenie resortu górnictwa do zautomatyzowania metod sygnalizujących zagrożenie dla określenia miejsca i czasu wystąpienia pierwszego zawału przeprowadzono próbę zastosowania rejestracji ciągłej w celu uzyskania takiego rozwiązania, aby pomiar mógł być wykonywany samoczynnie bez udziału ludzi. Wobec niewątpliwego sprawdzenia opracowanej metody w warunkach przemysłowych problem sprowadzał się do skonstruowania prototypu aparatury pomiarowej, a później zapewnienia jej stałej obsługi w okresie badań w kopalni.

### 1. Aparatura

Prototyp aparatury zestawiony w celu rejestracji zmian elektrycznego oporu w okresie rozruchu ściany zawałowej składa się z trzech zasadniczych części. Dwie z nich stanowią generator i miernik PIH, trzecia to 6 kanałowy rejestrator zapisujący zmiany elektrycznego oporu pozornego ośrodka, umożliwiający pomiar różnicy potencjałów pomiędzy niezależnymi sześcioma parami punktów MN,  $M_1N_1$ ,  $M_2N_2$ ,  $M_3N_3$ ,  $M_4N_4$ ,  $M_5N_5$ ,  $M_6N_6$ .

Generator zasilany przez układ prostownik-stabilizator z sieci kopalnianej wytwarza pole elektryczne. Miernik napięcia podłączony jest do bloku rejestratora, gdzie system przełączników włącza kolejno odpowiednie pary MN. Pomierzona różnica potencjałów przekazywana jest kolejno przez wzmacniacz na odpowiedni kanał rejestratora, zapisującego odczyt w formie kropki na taśmie. Po upływie 20 sekund włącza się następna para MN itd. W rezultacie w ciągu 2 minut na taśmie uzyskuje się sześć odczytów.

Wobec bardzo dużej częstotliwości odczytów i posuwu taśmy 2 cm/godz. pomiar można traktować jako ciągły.

Prototyp aparatury stanowi zestaw o niewielkich gabarytach. Największą częścią jest blok rejestratora, który posiada wymiary około 0,5 x 0,4 x 0,4 m. Całą aparaturę można umieścić we wnęce w wyrobisku górniczym w miejscu, gdzie nie przeszkadza w procesach produkcyjnych.

Szczegółowy opis układu elektrycznego został w niniejszym artykule pominięty, gdyż jak już podano wyżej, zastosowana aparatura stanowi zestaw



laboratoryjny nie pretendujący do nazwy prototypu w dosłownym tego słowa znaczeniu. Dla informacji podaje się jednak, że obecnie w Instytucie Techniki Eksploatacji Ziół prowadzone są prace nad wykonaniem dokumentacji prototypu przystosowanego w pełni do badań w kopalniach, przy urządzeniu doświadczeń zebranych podczas prowadzenia prac badawczych.

## 2. Wykonanie badań w kopalni "Czerwona Gwardia"

Urządzenie przystosowane do automatycznej i praktycznie ciągłej rejestracji zmian elektrycznego oporu pozornego ośrodką zastosowano w kopalni "Czerwona Gwardia" podczas rozruchu ściany 10 w pokładzie 615, oddział G-II. Aparaturę uruchomiono przed wykonaniem pierwszego skrawu. Pomiar zakończono, gdy rozpiętość wyrobiska wynosiła 37,2 m.

Lokalizację stanowiska pomiarowego, jego schemat oraz wyniki pomiaru podano na rysunku 5. Wykres na rysunku 5 opracowano na podstawie wykresu zbiorczego rejestrowanego na taśmie po wstępnej obróbce danych (uwzględnienie skali, zakresów pomiarowych włączających się automatycznie itd.).

Uformowanie się pierwszego pełnego zawału zaznaczyło się na krzywej  $\xi = f(L)$  jako wyraźny spadek elektrycznego oporu węgla. Spadek ten rozpoczyna się przy rozpiętości wyrobiska około 19 m, trwa aż do  $L = 30$  m z tym, że najbardziej gwałtowny spadek zaznacza się przy rozpiętości od 19,5 m do 22 m. Jako rabowalność stropu przyjęto wartość  $R = 19,5$  m.

Analizując wykres na rysunku 5 dostrzega się rzadko spotykany stan, że pierwszy zawał zaznacza się spadkiem oporu. Zjawisko to jednak jest całkowicie zrozumiałe, jeżeli uwzględni się wpływ wody. Spękania w stropie umożliwiają przenikanie wody, która nawet w minimalnych ilościach obniża silnie elektryczny opór właściwy pozorny węgla.

W sumie jednak, ogólny charakter anomalii określonej w trakcie ciągłej rejestracji parametrów elektrycznych, nie odbiega od krzywej zdejmowanej w większych odstępach czasu.

## PODSUMOWANIE

Seria badań i obserwacji wykonanych w różnych warunkach górniczych i geologicznych w różnych kopalniach ("Czerwona Gwardia", "Generał Zawadzki", "Murcki", "Wujek", "Dymitrow", "Lenin", "Grodziec", "Jowisz") wykazała, że stosując metodę geoelektryczną można określić miejsce i czas wystąpienia pierwszego pełnego zawału podczas rozruchu ściany zawałowej. Metodę tę można od zaraz stosować na skalę przemysłową w górnictwie.

## LITERATURA

- [1] GOSZCZ A., ŚWIEK B., ŚPIEWAKOWSKI ST.: Zastosowanie metody geoelektrycznej dla rejestrowania pierwszego pełnego zawału. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. "Górnictwo", s. 70, Gliwice 1976.
- [2] GIL H.: Próbą teoretycznego ujęcia procesu rozwarstwiania górotworu. Archiwum Górnictwa, Tom XVI, zeszyt 2, Warszawa 1971.
- [3] ROPSKI ST.: ZNAŃSKI J.: Zachowanie się stropu nad pokładem wybieranym ścianą z zawałem. Przegląd Górniczy, nr 1/1965.
- [4] TARCHOW i inni: Podziemnego górnictwa. Wydawnictwo "Niedwa", Moskwa 1973.

КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ПЕРВОГО ОБРУШЕНИЯ  
КРОМЛЯ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

## Р е з ю м е

В статье приведены результаты применения геоэлектрического метода для контроля процесса образования первого полного обрушения. Приведены результаты исследований проведенных в разных горно-геологических условиях. Рассматриваются исследования с применением постоянного измерения регистрируемых электрических параметров пород, используя для этой цели первоначальную измерительную аппаратуру. Сделано выводы имеющие существенное значение для горной практики.

CONTROL OF THE PROCESS OF FORMING OF THE FIRST COMPLETE  
FALL OF THE ROFF EMPLOYING THE GEOELECTRIC METHOD

## S u m m a r y

This paper discussed the results of employing the geoelectric method to control the process of formation of the first complete fall of the roof. The authors presented the results of research carried out under the diverse mining and geological conditions. The attempts of incessant measurement of the recorded electric parameters of rocks utilizing the prototype measuring devices were discussed. The conclusions of crucial importance for the mining practice were formulated.