

Tadeusz STAROŃ

ZASIĘG ZRUSZENIA GÓROTWORU NAD EKSPLOATOWANYM POKŁADEM  
Z ZAWAŁEM STROPU W KOPALNI "BOGDANKA"

**Streszczenie.** W artykule omówiono dotychczasowe badania zasięgu strefy zruszenia w warunkach kopalń Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW) i Rejonu Łęczyckiego kop. Rud Żelaza. Przytoczono wstępne badania GIG - Oddział Terenowy w Lublinie zruszenia górotworu nad eksploatowaną ścianą w pokł. 382 w KWK "Bogdanka" - Lubelskiego Zagłębia Węglowego (LZW), przeprowadzone w latach 1984-1985.

Szczegółowo omówiono i udokumentowano badania własne dotyczące zasięgu strefy zruszenia naruszonego górotworu w tej kopalni LZW nad eksploatowanym pokł. 382, przy zastosowaniu wierceń rdzeniowych.

Niezależnie od podziemnych badań, stosując model sprężystolepki (Standard) oraz średnie stałe materiałowe dla górotworu w LZW, przy wykorzystaniu wzorów H. Gila, W. Kraja [7, 8] i stanów granicznych wyznaczonych z hipotezy de Saint-Venanta i zmodyfikowanego warunku Coulomba-Mohra, określono teoretycznie zasięg zniszczenia nadległego górotworu po upływie znacznego czasu (4 lata) od dokonanej eksploatacji. Otrzymane z obliczeń dane zasięgu strefy zruszenia porównano z danymi uzyskanymi z wierceń rdzeniowych kilku otworów wykonanych w 1987 r. Zasięg zruszenia górotworu określono na ok. 7 - krotną grubość eksploatowanego pokładu.

W zakończeniu artykułu podano uwagi końcowe, które można wykorzystać dla celów ruchowych i dalszych badań.

## 1. WSTĘP

Wybranie określonej objętości pokładu powoduje naruszenie pierwotnej równowagi górotworu, następstwem czego są przemieszczenia warstw w kierunku wyrobiska, które w miarę upływu czasu obejmują swym zasięgiem coraz wyższe warstwy górotworu i w końcowej fazie ujawniają się na powierzchni w formie niecki osiadania.

Zjawisko przemieszczania się skał stropowych otaczających wybierany pokład jest zagadnieniem, które nie zostało dotąd ostatecznie poznane i w dalszym ciągu jest przedmiotem zainteresowania nauki i praktyki górniczej, szczególnie w Lubelskim Zagłębiu Węglowym (LZW).

Sposoby badania zachowania się naruszonego górotworu są różne, jak np. z wykonanych uprzednio wyrobisk górniczych (kamiennych), pod którymi przechodziła eksploatacja pokładu (S. Ropski) [13], wiercenie otworów z wyżej leżących wyrobisk do zrobów [14] (określano zasięg zruszenia i rozwarstwienia górotworu). Bywają stosowane także metody geodezyjne, gdzie prowadzone są pomiary obniżek poszczególnych warstw stropowych, w otworach badawczych wywierconych w stropie wyrobiska, a tym samym stopnia zruszenia górotworu.



W niniejszym artykule przedstawiono wyniki obserwacji i pomiary strefy zruszenia górotworu w kopalni "Bogdanka", które następnie skonfrontowano z obliczeniami teoretycznymi.

## 2. OBSERWACJE I POMIARY ZASIĘGU ZRUSZENIA GÓROTWORU NAD POKŁADEM 382 EKSPLOATOWANYM Z ZAWAŁEM W KOPALNI "BOGDANKA"

### 2.1. Uzasadnienie potrzeby badań zasięgu strefy zruszenia

W Kopalni Pilotująco-Wydobywczej "Bogdanka" bilansowe pokłady węgla występują w postaci dwóch wiązek oddzielonych od siebie warstwą skał płonnych o miąższości 40-60 m. Są to głównie skały iłowcowo-mułowcowe, piaskowce drobnoziarniste oraz łupki węglowe.

Pokłady wiązki I (górnjej): 375/1, 375/2, 376, 377/1, 378, 379, 380 występują na głębokości 749,5 - 880,0 m. Natomiast pokłady wiązki II (dolnej): 382, 385/1, 385/2, 384, 387, 389, 391 i 394 występują na głębokości 839,7 - 1086,0 m.

Omówione [rozd. 1] wyniki obserwacji i pomiarów strefy zruszenia górotworu, powstającej wskutek eksploatacji pokładów systemem ścianowym na zawał, dotyczą GZW i nie mogą być wprost adaptowane w kopalni "Bogdanka" ze względu na odmienne warunki górniczo-geologiczne wynikające przede wszystkim ze znacznej głębokości zalegania pokładów przeznaczonych do eksploatacji i małej wytrzymałości skał, a także ich plastyczności.

W związku z powyższym zaszła konieczność przeprowadzenia serii badań podziemnych w kopalni "Bogdanka", które pozwolą określić zasięg strefy zruszenia nad pokładem 382. Rozeznanie tego zagadnienia ma szczególne znaczenie w sytuacji, kiedy pokładem 382 podbieramy najbliższej leżącego, przeznaczony do eksploatacji, pokład 380. Na podstawie bowiem wyznaczonego zasięgu strefy zruszenia będzie można dokonać oceny wpływu wybierania pokładu 382 na pokład 380.

### 2.2. Dotychczasowe obserwacje i badania zruszenia górotworu

Pierwsze badania w zakresie zachowania się górotworu nad pokładem 382 w kopalni "Bogdanka", wybieranym systemem ścianowym z zawałem stropu, przeprowadzone zostały przez GIG (Oddział Terenowy Lublin) [4].

Eksploatowany pokład ma grubość użyteczną średnio 2,5 - 3,0 m. W ścianie zastosowano obudowę FAZOS-17/37-Oz o podporności roboczej  $1310 \text{ kN/m}^2$ . Średni dobowy postęp ściany wynosił 1,0 - 1,2 m. Wraz z postępem frontu eksploatacyjnego następował opad stropu o grubości 0,2 - 0,4 m.

Obiekt badań doświadczalnych prowadzonych w 1985 r. stanowił specjalnie zaprojektowany i wykonany nad pokładem 382 układ wyrobisk badawczych [rys. 2]. Obejmował on:

- pochylnię badawczą 1 drążoną po wzniosie  $15^{\circ}$ , wykonaną w obudowie otwartej V-29/7 na odcinku 30 - 100 m.

- chodnik badawczy 1 wykonany w obudowie zamkniętej V-29/7,
- chodnik badawczy 2 wykonany w obudowie zamkniętej V-29/7, zlokalizowany w odległości 20 m nad eksploatowanym pokładem, a 33 m od chodnika ściannowego 1,
- pochylnię badawczą 2 w obudowie V-29/7 zamkniętej, drążoną jako wyrobisko poziome, usytuowaną w odległości 30 m nad wybieranym pokładem, a w odległości 42 m od chodnika ściannowego 1 w kierunku środka ściany,
- chodnik badawczy 3 o długości 25 m, wykonany na odcinku 16 - 25 m w obudowie otwartej V-29/7.

Opierając się na przeprowadzonych badaniach można podać następujące informacje odnośnie do zachowania się skał stropowych w sąsiedztwie frontu ściany: stropowe warstwy skalne leżące nad czołem ściany ulegały osiadananiu. Wartości zaobserwowanych osiadań były następujące:

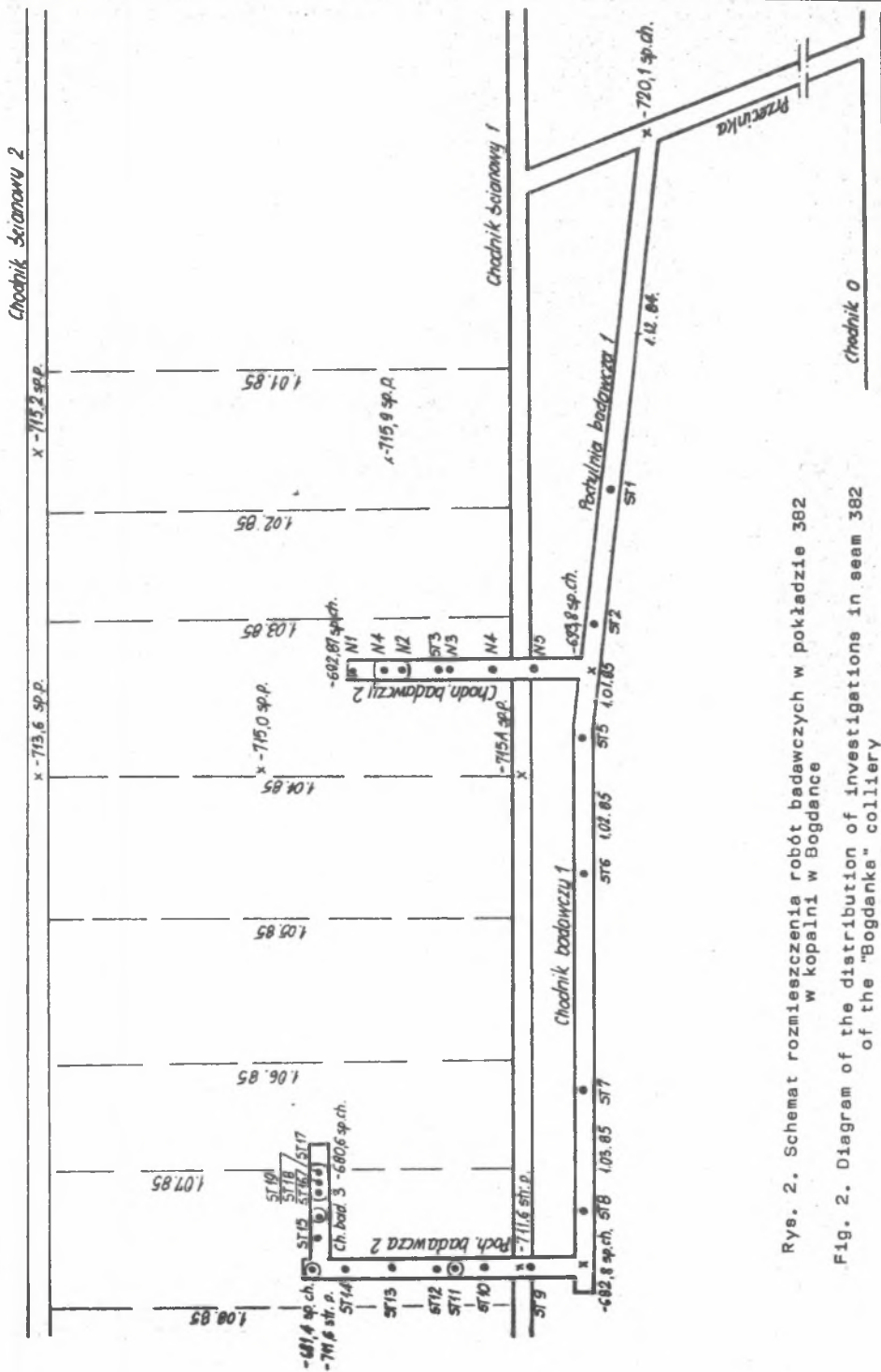
- 160 mm w odległości 15 m nad pokładem, 13 m za krawędzią boczną ściany,
- 80 mm w odległości 43 m nad pokładem, 13 m za krawędzią boczną ściany,
- 330 mm w odległości 15 m nad pokładem, 42 m za krawędzią boczną ściany,
- 180 mm w odległości 43 m nad pokładem, 42 m za krawędzią boczną ściany.

W przypadku partii górotworu zalegającego nad środkowym odcinkiem ściany, osiadanie o dużej intensywności występowało w odległości 5 - 15 m przed frontem eksploatacji, przy czym najbliższe czoła osiadały ściany w warstwach skalnych położonych na wysokości 38 - 44 m od pokładu. Przeprowadzone badania pozwoliły ustalić, że osiadanie górotworu znajdującego się w mniejszej odległości (w granicach odległości 20 - 30 m). Wartości tych osiadań wynosiły odpowiednio: 150 mm i 80 mm nad krawędzią boczną ściany oraz 204 mm i 130 mm - 15 m za krawędzią boczną ściany w stronę jej środka.

Obok pomiarów uginania warstw skalnych zalegających nad eksploatowanym pokładem obserwowano także ich rozwarstwianie. Stwierdzono, że:

- w odległości 15 m przed czołem ściany, a 42 m za krawędzią boczną ściany w stronę jej środka rozwarstwienie występowało w skałach leżących na wysokości 16 - 38 m nad pokładem,
- w odległości 60 m przed czołem ściany, a 13 m za jej krawędzią boczną rozwarstwienie notowano w skałach leżących na wysokości 14 - 31 m od wybieranego pokładu.

Badania prowadzone podczas eksploatacji pokładu 382 w kopalni "Bogdan-ka" obejmowały również pomiar i obserwację deformacji wyrobisk.



Rys. 2. Schemat rozmieszczenia robót badawczych w pokładzie 382 w kopalni w Bogdanke

Fig. 2. Diagram of the distribution of investigations in seam 382 of the "Bogdanke" colliery

Na ich podstawie uzyskano następujące informacje: w odległości 20 m nad eksploatowanym pokładem strop wyrobisk osiadał o wielkości:

- 123 mm nad krawędzią boczną ściany, nad czołem ściany,
- 321 mm nad krawędzią boczną ściany, w odległości 10 m za czołem ściany,
- 1021 mm nad krawędzią boczną ściany, w odległości 150 m za jej czołem,
- 220 mm w odległości 14 m za krawędzią boczną ściany w stronę jej środka, nad czołem ściany,
- 420 mm w odległości 14 m za krawędzią boczną ściany, 10 m za czołem ściany,
- 2533 mm w odległości 14 m za krawędzią boczną ściany, 150 m za jej czołem.

Porównując wartość osiadania stropu wyrobisk z wartością osiadania górotworu w odległości 20 m nad wybieranym pokładem można stwierdzić, że:

1) osiadanie stropu wyrobisk jest większe o ok. 154% nad czołem ściany, a ok. 153% w odległości 10 m za czołem ściany i o ok. 125% w odległości 150 m za czołem ściany, w przypadku pomiaru osiadania nad krawędzią boczną ściany,

2) osiadanie stropu wyrobisk jest większe o ok. 169% nad czołem ściany, o ok. 110% w odległości 10 m za czołem ściany i o ok. 124% w odległości 14 m za krawędzią boczną ściany w stronę jej środka.

30 m nad wybieranym pokładem osiadanie stropu wyrobisk osiągnęło wartość:

- 285 mm nad krawędzią boczną ściany, nad czołem ściany,
- 440 mm nad krawędzią boczną ściany a w odległości 10 m za jej czołem,
- 480 mm w odległości 16 m za krawędzią boczną w stronę środka ściany, nad czołem ściany,
- 690 mm w odległości 16 m za krawędzią boczną ściany w stronę jej środka, 10 m za czołem ściany,
- 633 mm w odległości 42 m za krawędzią boczną ściany w stronę jej środka, nad czołem ściany,
- 1073 mm w odległości 42 m za krawędzią boczną ściany, 10 m za jej czołem.

W odległości 30 m nad pokładem 382 zanotowano natomiast następujące wartości osiadania górotworu:

- 150 mm nad krawędzią boczną ściany, nad czołem ściany,
- 270 mm nad krawędzią boczną ściany, 10 m za jej czołem,
- 240 mm w odległości 16 m za krawędzią boczną ściany w stronę jej środka, nad czołem ściany,
- 421 mm w odległości 16 m za krawędzią boczną ściany, 10 m za jej czołem.

Zjawisko zmniejszenia szerokości wyrobisk rozpoczęło się w odległości 25 m przed czołem ściany, natomiast za czołem ściany w odległości 100 m. Wykonane pomiary wykazały, że szerokość wyrobisk zmniejszyła się do wartości 0,9 - 1,4 m, co stanowiło 30% początkowej szerokości.



Wypiętrzenie spęgu wyrobisk było 4 razy większe niż osiadanie górotworu i 2 razy większe niż osiadanie stropu tych wyrobisk. Badania w zakresie zachowania się górotworu i określenia strefy zniszczenia nad ścianą badawczą kopalni "Bogdanka", prowadzone w 1985 r., zostały przerwane wskutek postępującego procesu zaciśnięcia wyrobisk badawczych [4].

Kontynuację badań podziemnych w kopalni "Bogdanka" z 1985 r. stanowią badania prowadzone obecnie a dotyczące wyznaczenia zasięgu strefy zawału pełnego i wysokiego (strefa zniszczenia) tworzących się w wyniku eksploatacji pokładu 382.

### 3. BADANIA PODZIEMNE Z ZAKRESU WYZNACZENIA ZASIĘGU STREFY ZRUSZENIA GÓROTWORU NAD POKŁADEM 382

#### 3.1. Lokalizacja i metodyka badań

Badania zasięgu strefy zruszenia w polu ściany badawczej w kopalni Bogdanka opierają się na analizie rdzeni uzyskanych z wierceń pionowych w skałach tworzących zawał. W zrekonolidowanych zrobach tej ściany, w celach badawczych, wykonano trzy przecinki łączące chodnik ścianowy 1 z chodnikiem ścianowym 2 (rys. 3) oraz chodnik 3, równoległy do chodników ścianowych 1 i 2, położony między nimi, w odległości 20 m od chodnika ścianowego 1.

Chodnik 3 wykonano od przecinki 2 do przecinki 1, a następnie kontynuowano od przecinki 2 w kierunku wybiegu ściany.

Badania skoncentrowane zostały w przecinkach łączących chodniki ścianowe 1 i 2.

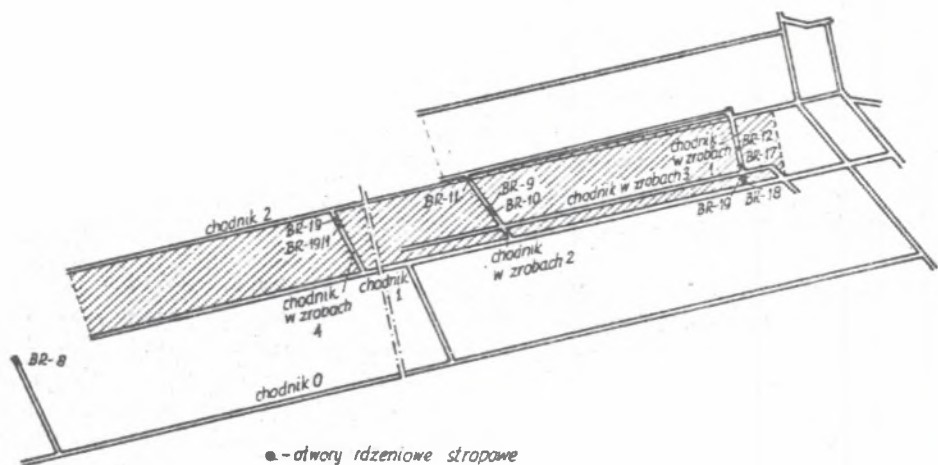
Przecinka 1 (chodnik w zrobach 1), (rys. 3), wykonana została w III kwartale 1985 r. w odległości ok. 50 m od początku wybiegu ściany badawczej w zrobach o ok. 2,5 - letnim okresie rekonsolidacji. Chodnik obudowano łukami podatnymi V-29/8 i V-36/8 przeważnie otwartymi od strony spęgu. Wysokość wyrobiska po wykonaniu wynosiła 3,6 - 3,9 m. W jego stropie odwiercono w 1985 r. następujące otwory rdzeniowe: BR-12 długości 30,6 m, BR-17 długości 10 m, BR-18 długości 12 m, BR-19 długości 12,4 m, z przeznaczeniem m.in. do badań wytrzymałościowych skał leżących w strefie zawału. Badania "in situ" penetrometrem otworowym wykonane zostały przez GIG (Oddział Terenowy Lublin), a ich wyniki zamieszczono w dokumentacji GIG z października 1986 r. [5]. Profile geologiczne wymienionych otworów i ich charakterystykę przedstawiono na (rys. 4).

Przecinka 2 (chodnik w zrobach 2 (rys. 3)) wykonana została na przełomie 1985 i 1986 r. w odległości ok. 440 m od początku wybiegu ściany, w zrobach o ok. 1,6 - letnim okresie rekonsolidacji. Wyrobisko obudowano łukami podatnymi V-36/8 o zamkniętym spęgu. Wysokość wyrobiska po jego wydrążeniu wynosiła 4,1 - 4,5 m. W celach badawczych latem 1986 r. odwiercono w stropie tego wyrobiska następujące otwory: BR-9 55 m od chod-

nika ścianowego 1) o długości 20 m, BR-10 (45 m od chodnika ścianowego 1) o długości 20,2 m, BR-11 (na skrzyżowaniu z chodnikiem ścianowym 2) o długości 23 m. Wszystkie otwory miały średnicę 90 mm.

Przecinka 4 (chodnik w zrobach 4, rys. 3) wydrążona została w trzecim kwartale 1986 roku w odległości ok. 1240 m od początku wybiegu ściany, w zrobach o ok. 5 miesięcznym okresie rekonsolidacji. Wyrobisko wykonano w obudowie specjalnej V-36/8, a jego wysokość po wydrążeniu wynosiła 4,0 - 4,4 m. W celach badawczych w stropie tego wyrobiska odwiercono dwa otwory: BR-19 (40 m od chodnika ścianowego 2) o średnicy 90 mm i długości 28,4 m oraz BR-19/1 (50 m od chodnika ścianowego 2) o średnicy 90 mm i długości ok. 36 m.

Dla celów porównawczych w stropie pokładu 382 odwiercono otwór BR-8 o długości 20,6 m, usytuowany na końcu przecinki wykonanej od chodnika ścianowego "0", znajdującego się w odległości ok. 1935 m od początku wybiegu ściany badawczej (rys. 3).

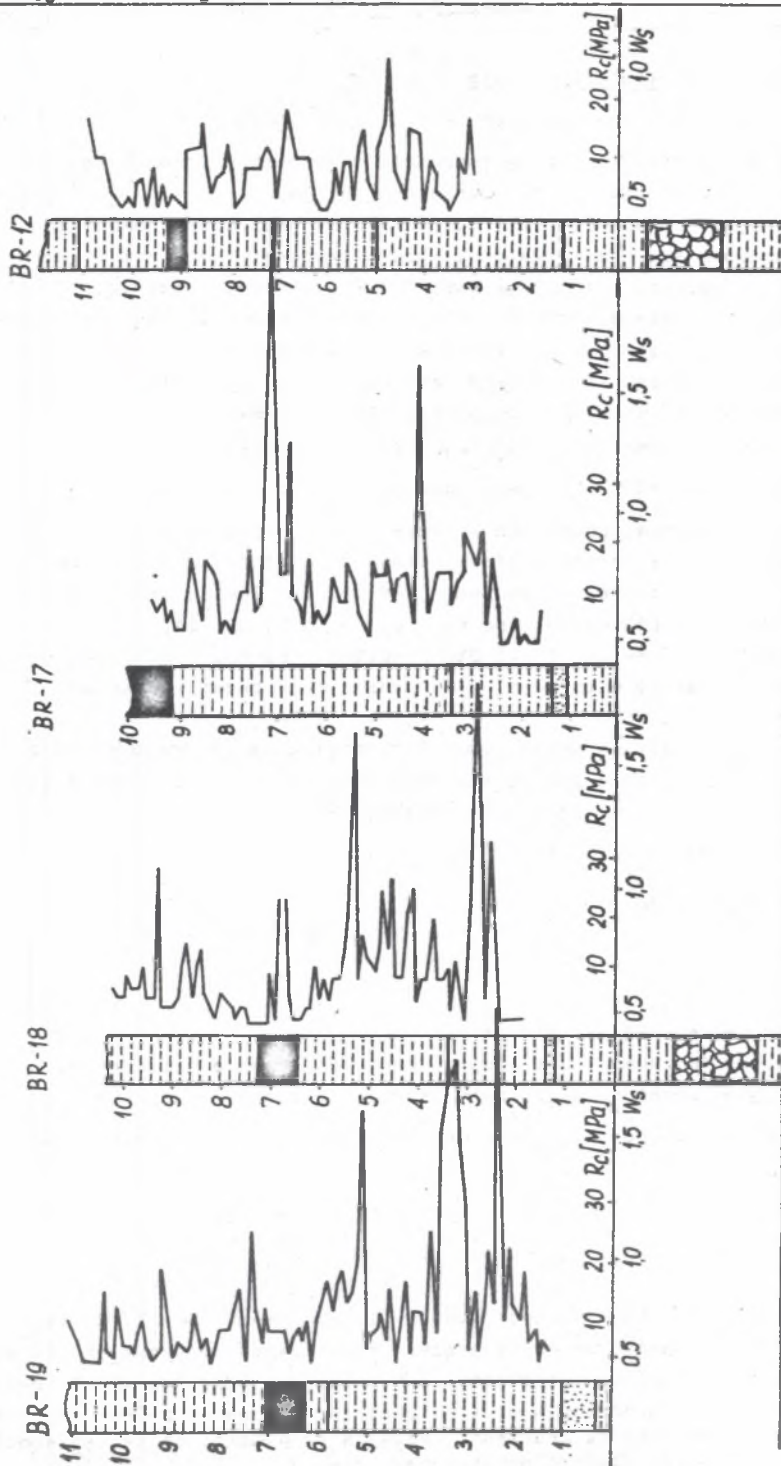


Rys. 3. Rejon badań w zrobach ściany badawczej w kopalni K-1

Fig. 3. Region of investigations in the goafs of an investigated longwall in colliery K-1

Wszystkie otwory badawcze wiercone były wiertnicą WDP-02, rdzeniówką o średnicy 90 mm i długości 2 m. Przeciętne postępy wiercenia wynosiły 2,0 - 3,0 m na zmianę.





Rys. 4. Profile logarytmiczne otworów rdzeniowych i ich charakterystyka

Fig. 4. Logarithmic (?) profiles of bore-holes and their characteristics

### 3.2. Wyniki badań strefy zruszenia

#### 3.2.1. Strefa zawału chaotycznego

Przykładowe profile przodków chodników drążonych w zrobach (chodniki w zrobach 1, 2, 4 - rys. 3) przedstawiono na rys. 5.

W przekroju tych wyrobisk występuje warstwa gruzowiska zawałowego w postaci sprasowanego rumowiska skalnego, o grubości 1,3 - 2,0 m. Warstwa ta zalega na wypiętrzoną na wysokość 0,6 - 1,4 m spęgu pokładu 382. Powyżej warstwy rumowiska skalnego zalegają skały mniej lub bardziej spękanne, lecz utrzymujące poziomy kierunek uwarstwienia. Gruzowisko zawałowe tworzy zwykle iłowiec szary i słabo zwięzły z nieregularnie rozmieszczonymi i sprasowanymi kawałkami mułowca o wielkości kilkudziesięciu centymetrów. Czasami pojawia się w nim piaskowiec i węgiel.

#### 3.2.2. Analiza rdzeni z otworów stropowych

Uzyskane z otworów badawczych rdzenie zostały sprofilowane litologicznie i geotechnicznie, a także sfotografowane. Fotografie i profile litologiczne rdzeni z otworów badawczych BR-9, BR-10, BR-11, BR-19, BR-19/1, BR-8 przedstawiono odpowiednio na rys. 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12.

W otworach BR-9, BR-10, BR-11 GIG (Oddział Terenowy Lublin) wykonał badania penetrometrem otworowym [5]. Wyniki tych badań w otworach BR-9 obrazuje rys. 13.

Na podstawie rdzeni z wyżej wymienionych otworów dokonano próby określenia wskaźnika jakości masywu skalnego RQD (według D.V. Deere'a [11]) stosowanego przy badaniu rdzeni wiertniczych.

Wskaźnik RQD oblicza się z zależności:

$$RQD = \frac{L_p}{L_t} \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie:

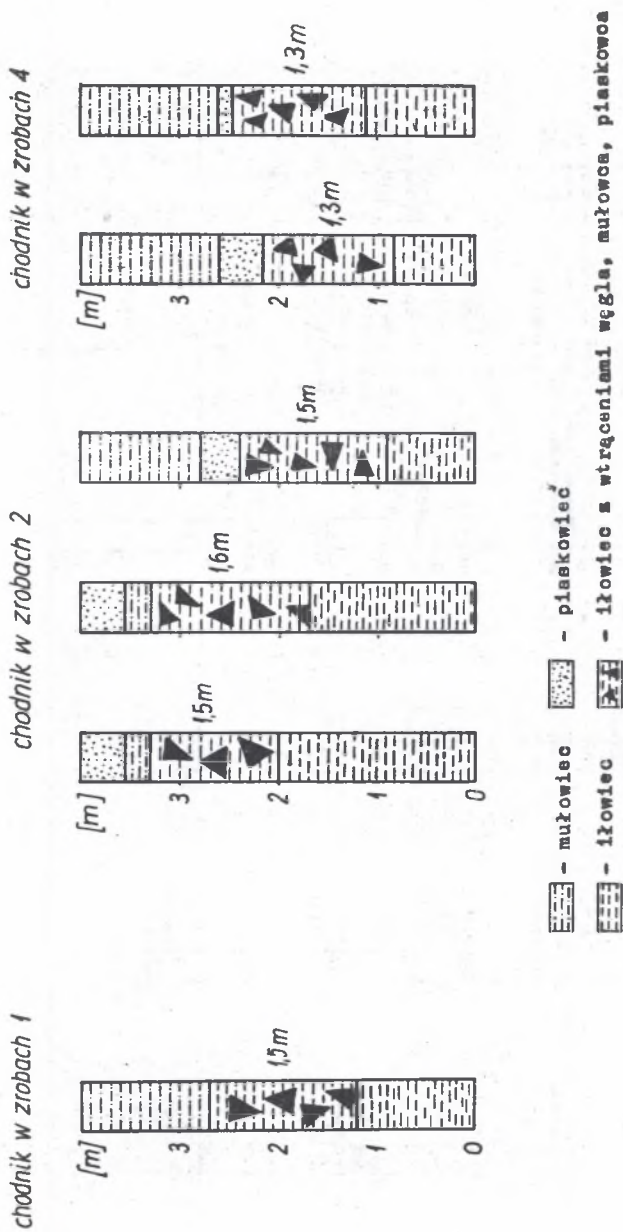
$L_t$  - całkowita długość rdzenia, w metrach,

$L_p$  - całkowita, sumaryczna długość odcinków rdzenia posiadających długość przekraczającą dwie średnice rdzenia, w metrach.

Wskaźnik RQD dla rdzeni z otworów BR-9, BR-10, BR-8 przyjmował wartości:

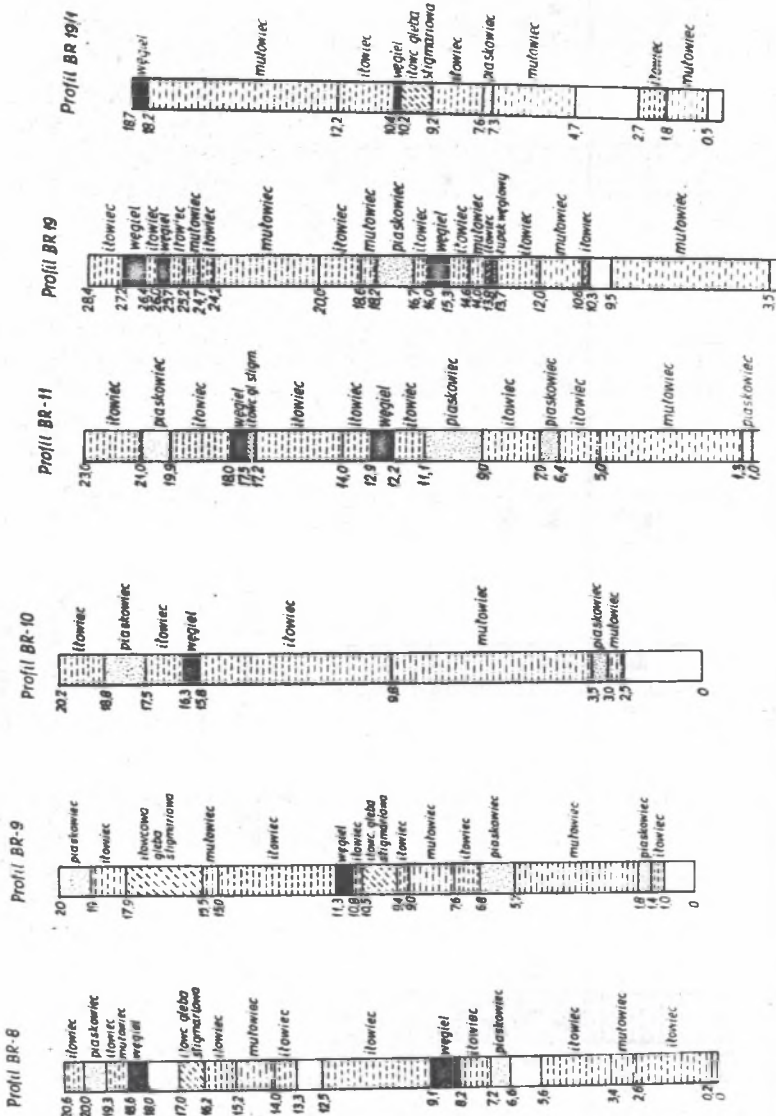
- BR-9, RQD = 4%
  - BR-10, RQD = 3%
  - BR-8, RQD = 35%.
- (2)

Analiza rdzeni z odwierconych otworów (BR-9, BR-10, BR-11, BR-19, BR-19/1, BR-8) prowadzi do następujących spostrzeżeń dotyczących zasięgu strefy zruszenia skał nad eksploатовanym pokładem 382. Otwór BR-9 (rys. 7) o długości 20 m, odwiercony w stropie chodnika w zrobach 2 (rys. 3), nie wykazuje wyraźnej granicy zruszenia. Pozwala to sądzić, że zasięg strefy zruszenia przekracza długość odwierconego otworu.



Rys. 5. Przykładowe profile przodków chodników wykonywanych w zrobach

Fig. 5. Exemplary profiles of coal-faces in headings driven in abandoned workings



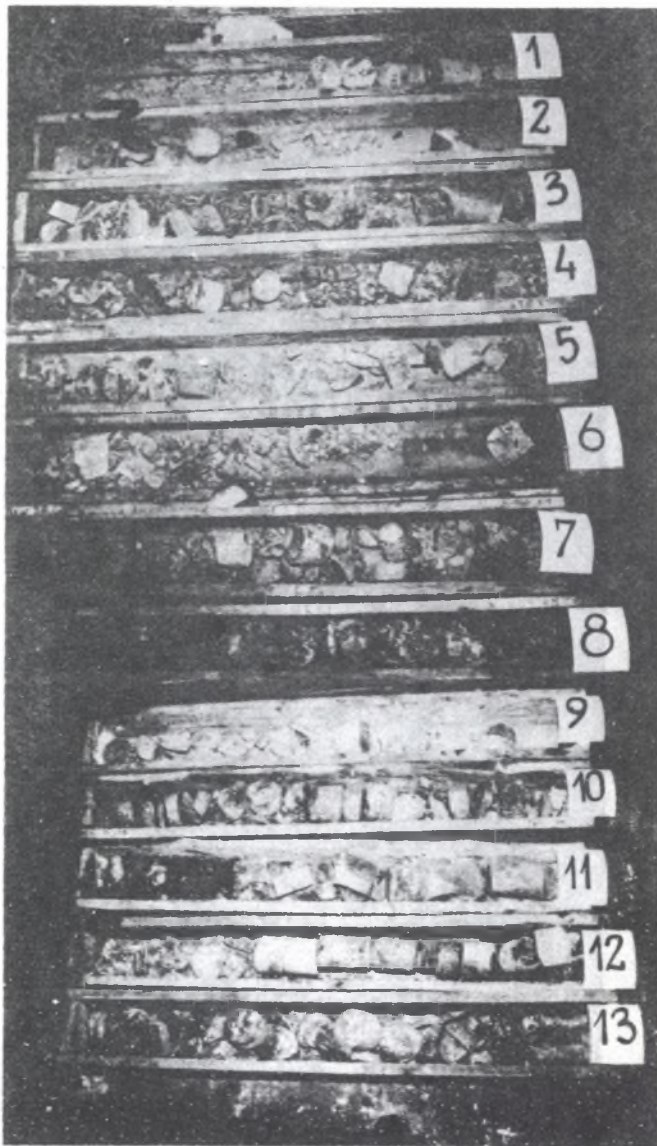
Rys. 6. Profile lotologiczne rdzeni z utworów BR-8, BR-9, BR-10, BR-11, BR-19, BR-19/1  
 Fig. 6. Lotological profiles of the cores of bore-holes BR-8, BR-9, BR-10, BR-11, BR-11, BR-11, BR-19 and BR-19/1



Rys. 7. Fotografia rdzenia z otworu BR-9

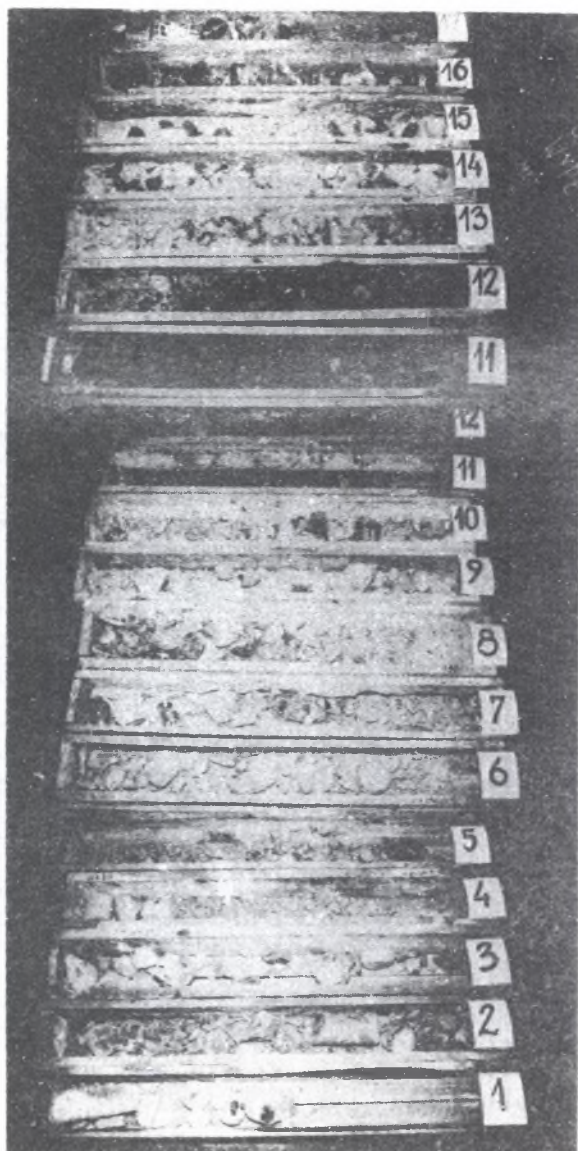
Fig. 7. Photography of the core of bore-hole BR-9





Rys. 8. Fotografia rdzenia z otworu BR-10  
Fig. 8. Photography of the core of bore-hole BR-10

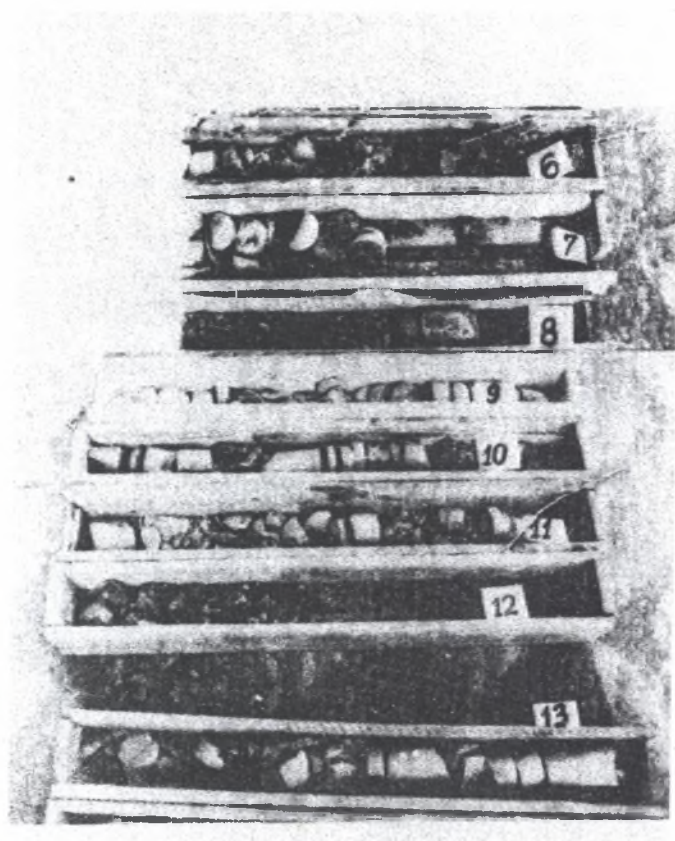




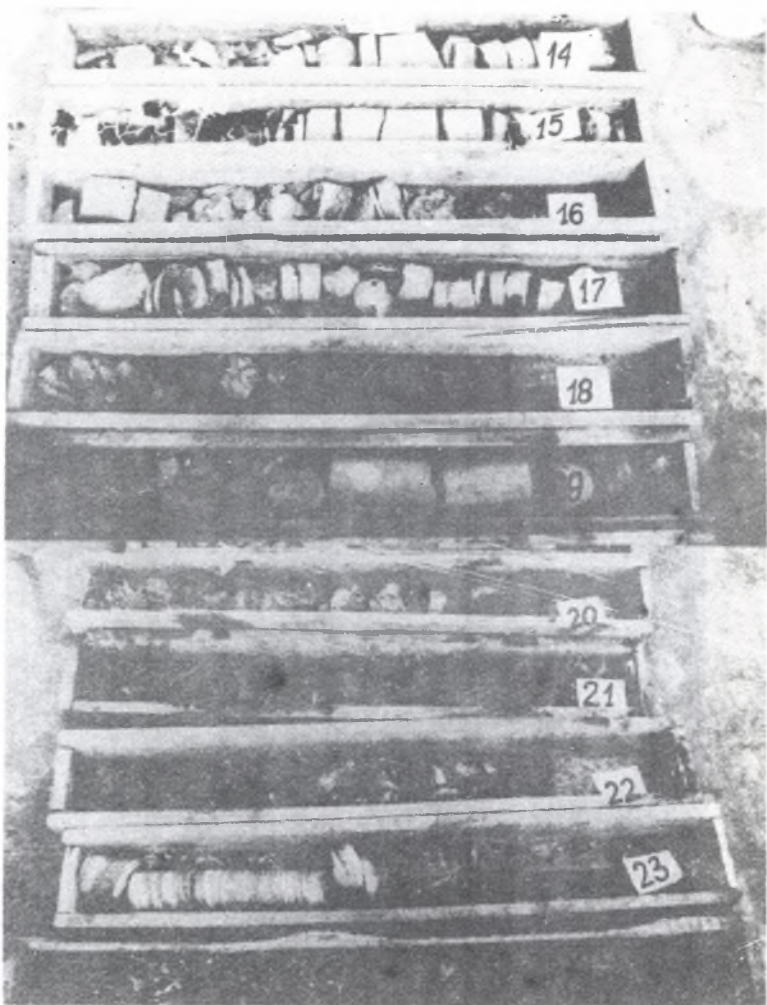
Rys. 9 a). Fotografia rdzenia z otworu BR-11  
Fig. 9 a). Photography of the core of bore-hole BR-11



Rys. 9 b). Fotografia rdzenia z otworu BR-11  
Fig. 9 b). Photography of the core of bore-hole BR-11

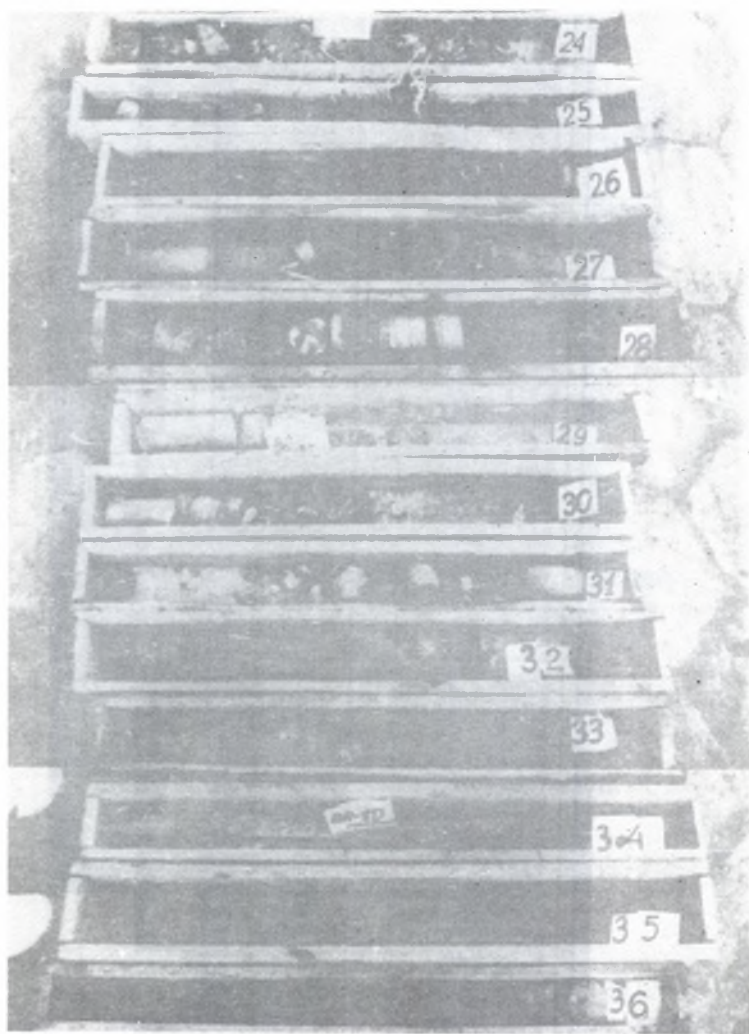


Rys. 10 a). Fotografia rdzenia z otworu BR-19  
Fig. 10 a). Photography of the core of bore-hole BR-19

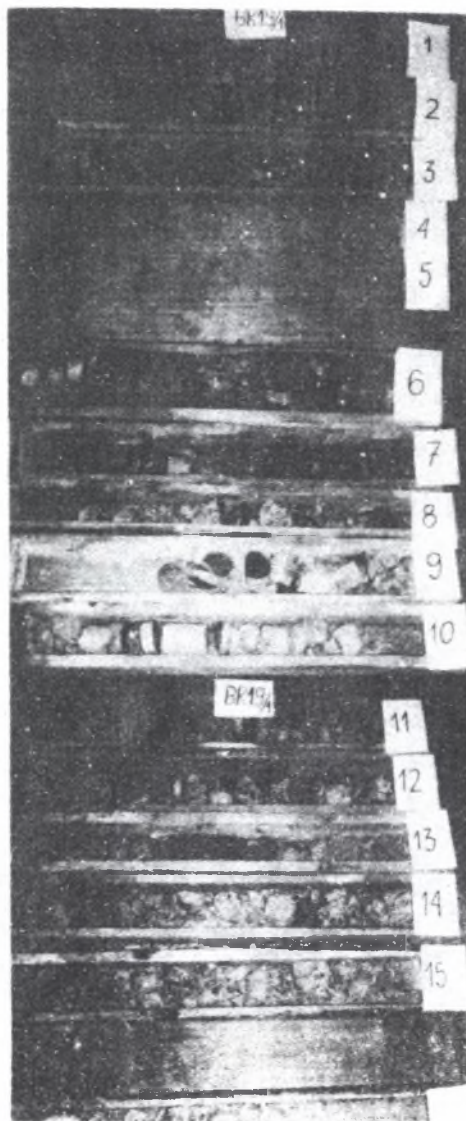


Rys. 10 b). Fotografia rdzenia z otworu BR-19  
Fig. 10 b). Photography of the core of bore-hole BR-19





Rys. 10 c). Fotografia rdzenia z otworu BR-19  
Fig. 10 c). Photography of the core of bore-hole BR-19

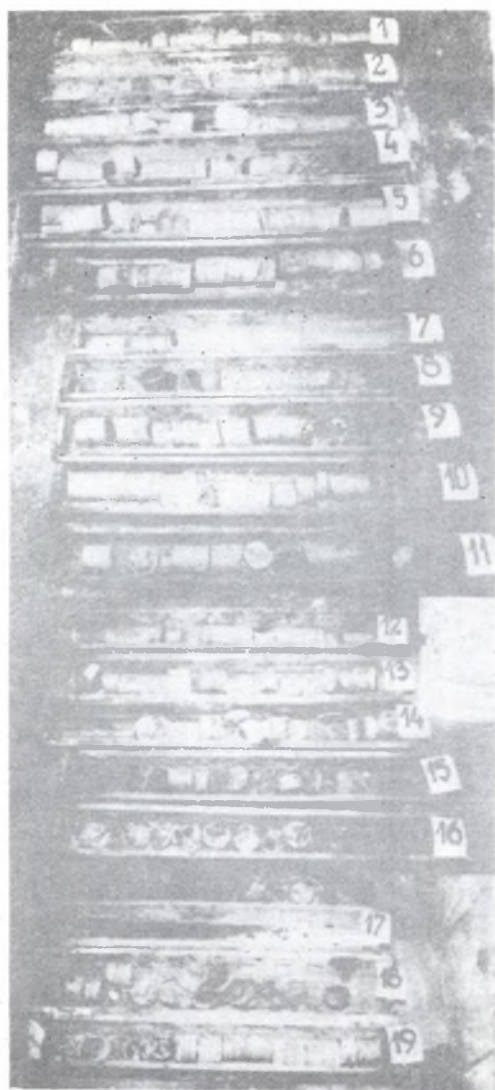


Ryc. 11 a). Fotografia rdzenia z otworu BR-19/1  
Fig. 11 a). Photography of the core of bore-hole BR-19/1

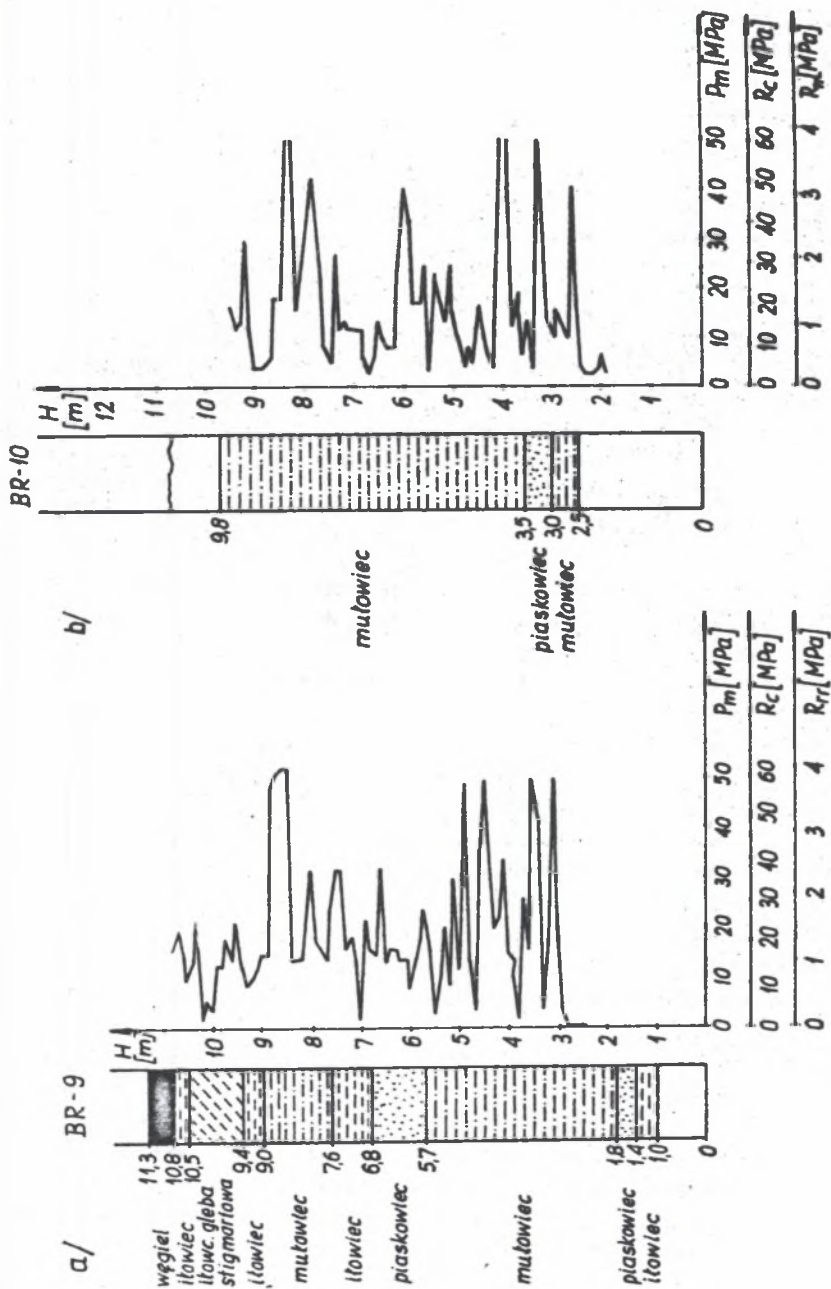




Rys. 11 b). Fotografia rdzenia z otworu BR-19/1  
Fig. 11 b). Photography of the core of bore-hole BR-19/1



Rys. 12. Fotografia rdzenia z otworu BR-8  
Fig. 12. Photography of the core of bore-hole BR-8



rys. 13. Profile litologiczne otworów rdzeniowych i ich charakterystyka:  
 a) rdzeń otworu BR-9, b) rdzeń otworu BR-10

Fig. 13. Litological profiles of bore-holes and their characteristics:  
 a) core of bore-hole BR-9, b) core of bore-hole BR-10

Przeprowadzone w tym otworze badania penetrometrem otworowym (rys. 13) wskazują na dużą szczelinowatość górotworu w zakresie długości otworu 3 - 10 m. Świadczyły to o zruszeniu skał w tym przedziale.

Podobne wnioski nasuwają się w następstwie analizy rdzenia z otworu BR-10 (rys. 8) odwierconego w stropie chodnika w zrobach 2 (rys. 3) na długość 20,2 m. W zakresie tej długości nie można jednoznacznie określić zasięgu strefy zruszenia, natomiast opierając się na badaniach penetrometrycznych (rys. 13) w tym otworze stwierdza się w przedziale długości otworu 2 - 10 m, rozwarstwienie skał.

Kolejny otwór BR-11 (rys. 9) o długości 23 m pozwala zaobserwować na długości ok. 21 m (skrzynka nr 22 na rys. 9) wyraźną granicę między pokruszonym rdzeniem a rdzeniem utrzymanym w większych kawałkach. Badania penetrometryczne w tym otworze wykazują duże rozwarstwienie skał na odcinku o długości otworu 5 - 11 m. Zaznaczyć należy, że otwór ten nie był wykonany w zrobach, lecz na skrzyżowaniu chodnika w zrobach 2 z chodnikiem 2 ściany badawczej. Omawiany otwór znajdował się w strefie wpływów frontu eksploatacyjnego ściany 1.

Na podstawie analizy rdzenia z otworu BR-19 (rys. 10), odwierconego w chodniku na zrobach 4 (rys. 3) o długości 28,4 m, można zauważyć do długości ok. 14 m (skrzynka nr 18 na (rys. 10)) kawałki rdzenia dobrze zachowane. Profil litologiczny wskazuje, że jest to przeważnie mułowiec szary, zwięzły oraz łłowiec szary, średniozwięzły.

Natomiast powyżej wysokości ok. 14 m, gdzie występują m.in. łłowce szare słabozwięzłe oraz węgiel, uzyskany rdzeń jest bardzo pokruszony.

W stropie chodnika w zrobach 4 (rys. 3) wykonany był również otwór BR-19/1 (rys. 11) o długości ok. 36 m. Opierając się na obserwacji rdzenia z tego otworu nie można określić zasięgu strefy zruszenia. Daje się natomiast zaobserwować na długości ok. 23 m rdzeń charakteryzujący się mniejszym rozkruszeniem w porównaniu z pozostałymi jego odcinkami.

W nienaruszonym stropie chodnika badawczego, drażonego od chodnika 0 w kierunku chodnika 1 (rys. 3), odwiercono otwór BR-8 (rys. 12) o długości 20,6 m. Rdzeń z tego otworu nie wykazuje znacznego rozdrobnienia, co zachodzi w przypadku rdzeni z otworów: BR-9, BR-10, BR-11, BR-19, BR-19/1.

Przeprowadzona powyżej analiza rdzeni z wykonanych otworów nie pozwala na jednoznaczne określenie zasięgu strefy zruszenia górotworu. Trudność ta związana jest z długim okresem oddziaływania zrobów na skały wyżej leżące. Skały te, a są to przeważnie mułowce, łłowce wraz z wkładkami węgla, charakteryzują się małą zwięzłością i wytrzymałością. Fakt ten sprawia, że ustalenie strefy spękań górotworu nad ewentualnie przyjętym zasięgiem strefy zruszenia jest również trudne i zależne od warunków lokalnych.

Ogólnie można stwierdzić, że średni zasięg strefy zruszenia górotworu nad eksploatowanym pokładem 382 waha się w granicach od 18 - 22 m, co w odniesieniu do wysokości wyeksploatowanej ściany ( $h = 3$  m) stanowi 6-7 - krotną jej wysokość.

Zasięg strefy spękań w warunkach w kopalni "Bogdanka" jest znacznie większy od zasięgu strefy zruszenia. Dokładne ustalenie zasięgu strefy zruszenia i strefy spękań górotworu wymaga dalszych badań, szczególnie w warunkach "in situ".

#### 4. ZASIĘG ZRUSZENIA GÓRÓTWORU W ŚWIETLE ROZWAŻAŃ TEORETYCZNYCH

##### 4.1. Równania naprężeń w górotworze o modelu sprężysto-lepkim typu Standard

Standardowy model sprężysto-lepki (typu Zenera (rys. 14)) jest układem szeregowego połączenia modelu Hooke'a (sprężyna  $G_1$ ) i modelu Vogla-Kelwina (tj. równoległego połączenia sprężyny  $G_2$  i perforowanego tłoczka poruszającego się w cieczy lepkiej o współczynniku lepkości  $\eta$ ). Równanie stanu modelu Standard ma postać:

$$T + n \cdot \dot{T} = 2 \cdot G \cdot E + 2 \eta \dot{E} \quad (3)$$

gdzie:

$T, \dot{T}$  - odpowiednio tensory dewiatora stanu naprężenia i dewiatora prędkości zmiany stanu naprężenia,

$E, \dot{E}$  - odpowiednio tensory dewiatora stanu odkształcenia i dewiatora prędkości zmiany stanu odkształcenia,

$G$  - moduł odkształcenia postaciowego,

$\eta$  - współczynnik lepkości.

Zagadnienie stanu naprężenia i odkształcenia w stropie pokładu w sąsiedztwie czynnego wyrobiska ścianowego przesuującego się ze stałą prędkością rozważali H. Gil i W. Kraj w pracy [8], a dla zatrzymanego wyrobiska ścianowego w pracy [9]. Rozważania przeprowadzono przy założeniu, że górotwór zalegający nad eksploatowanym poziomym pokładem jest jednorodny, izotropowy, nieściśliwy, o równaniu stanu (3). Jest to więc górotwór o modelu Standard. Analizę zagadnienia przeprowadzono w płaszczyźnie pionowej, usytuowanej w połowie ściany prostopadle do frontu eksploatacji, wprowadzając układ współrzędnych prostokątnych  $(x, z)$  o początku  $(0, 0)$  w stropie wyrobiska ścianowego w chwili rozpoczęcia eksploatacji (tj. dla  $t = 0$ ) oraz osi  $x$  skierowanej poziomo w stronę przemieszczenia się eksploatacji i osi  $z$  skierowanej pionowo do góry (rys. 15).

Warunki brzegowe określone zostały w postaci przemieszczeń:

- dla przemieszczenia poziomego

$$u(x, 0, t) = 0 \quad \text{dla } -\infty \leq x \leq \infty$$

- dla przemieszczenia pionowego przed zatrzymaniem eksploatacji (tj. dla  $0 \leq t \leq T$ )

$$w(x, o, t) = w_o \left[ 1 - e^{-\frac{\beta}{v}(vt-x)} \right] \cdot [H(x) - H(x - vT)] \quad (4)$$

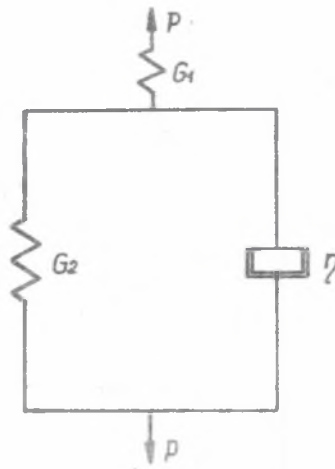
- dla przemieszczenia pionowego po zatrzymaniu eksploatacji (tj. dla  $t > T$ )

$$w(x, o, t) = w_o \left[ 1 - e^{-\frac{\beta}{v}(vt-x)} \right] \cdot [H(x) - H(x - vT)]$$

Postać warunków brzegowych odpowiada założeniu, że górotwór w stropie pokładu po przejściu frontu eksploatacji doznaje wyłącznie przemieszczeń pionowych, przy czym ich prędkość jest proporcjonalna do różnicy między przemieszczeniem końcowym i przemieszczeniem w danej chwili (a zatem linia załamania stropu jest związana z funkcją schodkową Heaviside'a  $H(x)$ ).

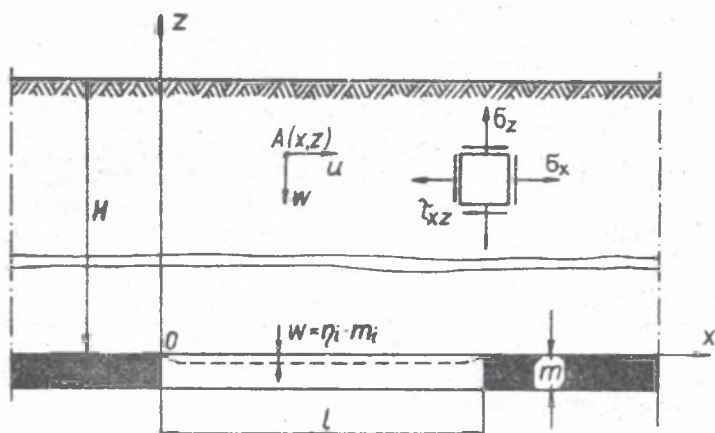
Wykorzystując zaproponowaną w pracy H. Gila [8] funkcję naprężeń  $F(x, z, t)$  i stosując przekształcenia Fouriera H. Gil i W. Kraj [8, 9] podali ogólne wzory dla przemieszczeń układu, a przy dodatkowym założeniu, że pomiędzy parametrami równania stanu (3) zachodzi związek:

$$\beta = \frac{G}{\eta} = \frac{1}{n}$$



Rys. 14. Schemat modelu Zenera (model Standard)  
Fig. 14. Diagram of Zener's model (Standard model)





Rys. 15. Schemat eksploatacji poziomego pokładu z zawalem stropu  
Fig. 15. Diagram of the mining of a horizontal seam with caving

Autorzy ci otrzymali następujące wyrażenia dla składowych stanu naprężenia:  $\sigma_x(x, z, t)$ ,  $\sigma_z(x, z, t)$  i  $\tau_{xz}(x, z, t)$ .

przy  $0 \leq t \leq T$

$$\begin{aligned} \sigma_x(x, z, t) - \sigma_x(x, z, 0) = \frac{2Gw_0}{\pi} \left\{ (1 - e^{-\beta t}) \left[ \frac{2xz^2}{(x^2 + z^2)z} - \frac{x}{x^2 + z^2} \right] + \right. \\ \left. - \frac{\beta}{v} \frac{z^2}{z^2 + (vt - x)^2} - \frac{\beta}{v} \frac{z^2 e^{-\beta t}}{x^2 + z^2} + \right. \\ \left. + \frac{\beta}{v} \operatorname{Re} \left[ \left(1 - \frac{\beta}{v} z i\right) e^{-\frac{\beta}{v} [(vt-x)+iz]} E_1 \left\{ -\frac{\beta}{v} [(vt-x) + iz] \right\} \right] + \right. \\ \left. \frac{\beta}{v} e^{-\beta t} \operatorname{Re} \left[ \left(1 + \frac{\beta}{v} z i\right) e^{\frac{\beta}{v} (x+iz)} E_1 \left\{ \frac{\beta}{v} (x + iz) \right\} \right] \right\} \end{aligned} \quad (6)$$

przy  $0 \leq t \leq T$

$$\sigma_z(x, z, t) - \sigma_z(x, z, 0) = \frac{2Gw_0}{\pi} \left\{ \frac{\beta}{v} \frac{z^2}{z^2 + (vt-x)^2} - \frac{\beta}{v} \frac{z^2 e^{-\beta t}}{x^2 + z^2} + \right.$$

$$\begin{aligned}
 & - (1 - e^{-\beta t}) \left[ \frac{x}{x^2 + z^2} + \frac{2xz^2}{(x^2 + z^2)^2} \right] + \\
 & + \frac{\beta}{v} \operatorname{Re} \left[ \left(1 + \frac{\beta}{v} z\right) e^{-\frac{\beta}{v} [(vt-x)+iz]} E_1 \left\{ -\frac{\beta}{v} [(vt-x) + iz] \right\} \right] + \\
 & - \frac{\beta}{v} e^{-\beta t} \operatorname{Re} \left[ \left(1 + \frac{\beta}{v} z\right) e^{\frac{\beta}{v}(x+iz)} E_1 \left\{ \frac{\beta}{v}(x + iz) \right\} \right]
 \end{aligned} \tag{7}$$

przy  $0 \leq t \leq T$

$$\begin{aligned}
 \tau_{xz}(x, z, t) - \tau_{xz}(x, z, 0) &= \frac{2Gw_0 \beta z}{\pi v} \left\{ \frac{vt - x}{z^2 + (vt - x)^2} + \frac{x e^{-\beta t}}{x^2 + z^2} + \right. \\
 & - \frac{v}{\beta} (1 - e^{-\beta t}) \frac{x^2 - z^2}{(x^2 + z^2)^2} + \frac{\beta}{v} \operatorname{Re} \left[ e^{-\frac{\beta}{v} [(vt-x)+iz]} E_1 \left\{ -\frac{\beta}{v} [(vt-x)+iz] \right\} \right] + \\
 & \left. - \frac{\beta}{v} e^{-\beta t} \operatorname{Re} \left[ e^{\frac{\beta}{v}(x+iz)} E_1 \left\{ \frac{\beta}{v}(x + iz) \right\} \right] \right\}
 \end{aligned} \tag{8}$$

We wzorach (6-8)  $\sigma_x(x, z, 0)$ ,  $\sigma_z(x, z, 0)$  i  $\sigma_{xz}(x, z, 0)$  są składowymi tensora naprężeń w chwili rozpoczęcia eksploatacji (dla  $t = 0$ ), a funkcja  $E_1(z)$  jest funkcją wykładniczą całkową zmiennej zespolonej daną wzorem

$$E_1(z) = \int_z^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du \quad (|\arg z| < \pi) \tag{9}$$

Pozostałe oznaczenia we wzorach (6-8) są następujące:

$w_0$  - końcowe obniżenie stropu pokładu, w metrach,

$G$  - moduł odkształcenia postaciowego górotworu, w MPa,

$v$  - szybkość przesuwania się frontu eksploatacji, w m.s<sup>-1</sup>,

$t$  - czas liczony od chwili rozpoczęcia eksploatacji, w latach,

$T$  - czas od chwili zatrzymania eksploatacji, w latach,

$\beta = \frac{G}{\eta} = \frac{1}{n}$  - współczynnik proporcjonalności w równaniu osiadania stropu pokładu.

W zastosowaniach praktycznych wartość  $w_0$  określa się w zależności od grubości eksploatowanego pokładu i sposobu likwidacji przestrzeni wyeksploatowanej (zawał, podsadzka), a wartości  $\beta$  na podstawie pomiarów w kopalniach.

Przy obliczaniu  $\sigma_x(x,z,t)$ ,  $\sigma_z(x,z,t)$ ,  $\tau_{xz}(x,z,t)$ , wartości początkowe  $\sigma_x(x,z,0)$ ,  $\sigma_z(x,z,0)$  i  $\tau_{xz}(x,z,0)$  należy przyjąć z rozwiązań hydrostatycznych górotworu nienaruszonego. Przyjmując ciśnienie pionowe równe ciężarowi skały leżącej powyżej jednostkowego przekroju otrzymamy:

$$\sigma_x(z,0) = \sigma_y(z,0) = \sigma_z(z,0) \quad (10)$$

$$\sigma_z(z,0) = -\gamma \cdot H \quad (11)$$

gdzie:

$H$  - głębokość stropu eksploatowanego pokładu, m,

$\gamma$  - ciężar objętościowy górotworu,  $\text{kN/m}^3$

Naprężenia styczne  $\tau_{xz}(z,0)$  są równe zeru.

#### 4.2. Zastosowane hipotezy wyłączeniowe

Znane są liczne hipotezy o wyłączeniu stanu granicznego materiału. Najbardziej adekwatnymi do wyznaczania strefy zniszczenia skał stropowych górotworu nad eksploatacją zawałową pokładu jest: hipoteza największego wydłużenia właściwego podana przez de Saint-Venanta oraz hipoteza podana przez Coulomba w postaci zmodyfikowanego warunku granicznego.

Hipoteza de Saint-Venanta dla płaskiego stanu naprężenia wyrażona jest w następujący sposób po odpowiednich przekształceniach [15] :

$$F_1 = \sigma_{zred} = \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_z) (1 - \nu) + (1 + \nu) \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_z}{2}\right)^2 + \tau_{xz}^2} = \begin{cases} -\nu R_c \\ R_r \end{cases} \quad (12)$$

Jeżeli obliczona wzorem (12) wartość  $\sigma_{zred}$  jest bezwzględnie niższa od wartości  $|\nu R_c|$  względnie  $R_r$ , wówczas przy rozpatrywanym stanie naprężenia materiał znajduje się w fazie sprężystej, jeżeli  $\sigma_{zred} = |\nu R_c|$ , wówczas materiał jest na granicy sprężystej i zniszczenia. Natomiast jeżeli  $\sigma_{zred} > |\nu R_c|$ , to materiał znajduje się w fazie zniszczenia.

Z równania (12) dla każdej chwili  $t$  można na drodze numerycznej otrzymać zasięg strefy zniszczenia nad eksploatowanym pokładem.

Z uwagi na różny charakter zachowania się skał w górotworze zastosowanie hipotezy wyłączeniowej nie zawsze adekwatnie opisuje rzeczywiste cechy mechanicznego zachowania skał górotworu.

Przyjmuje się więc uogólniony warunek zniszczenia w postaci zmodyfikowanego warunku Coulomba-Mohra. Warunek ten w przypadku płaskiego stanu odkształcenia dla obszaru ściskania możemy przedstawić w postaci [10, 12]

$$F_2 = \sqrt{\frac{1}{4}(\sigma_x - \sigma_z)^2 + \tau_{xz}^2} + \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_z) \sin \varphi - \cos \varphi = 0 \quad (13)$$

W obszarze rozciągania dla hipotezy największego naprężenia rozciągającego zależnością

$$F_3 = \sqrt{\frac{1}{4}(\sigma_x - \sigma_z)^2 + \tau_{xz}^2} + \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_z) = R_r \quad (14)$$

Funkcja  $F_2$  i  $F_3$  spełnia warunki  $F_2 = 0$  i  $F_3 = R_r$  w fazie zniszczenia plastycznego, natomiast  $F_2 < 0$  i  $F_3 < R_r$  w obszarze odkształceń sprężystych lub lepko-sprężystych.

#### 4.3. Numeryczne wyznaczenie zasięgu strefy zniszczenia górotworu nad eksploatowanym pokładem 382

##### 4.3.1. Opis danych do obliczeń numerycznych zasięgu strefy zniszczenia

Do obliczenia numerycznego zasięgu strefy zniszczenia, tworzącej się nad eksploatowanym pokładem 382 z zawałem stropu, użyto zmodyfikowany program dla EMC opracowany przez W. Kraja w Instytucie Mechaniki Górotworu PAN w Krakowie. W obliczeniach uwzględniono hydrostatyczne naprężenia początkowe (wzory 10 i 11). Wartości  $\sigma_z$ ,  $\sigma_x$ ,  $\tau_{xz}$  są podane w MPa. Zasięg strefy zniszczenia nad czynnym frontem ścianowym eksploatowanego pokładu 382 wyznaczono z hipotezy największego odkształcenia podłużnego - de Saint-Venanta (12) oraz z uogólnionego warunku zniszczenia Coulomba-Mohra w obszarze ściskania (13).

Wartości naprężeń niszczących skały górotworu (strefa zniszczenia) dla przyjętych hipotez wyteżeniowych obliczono przy następujących danych:

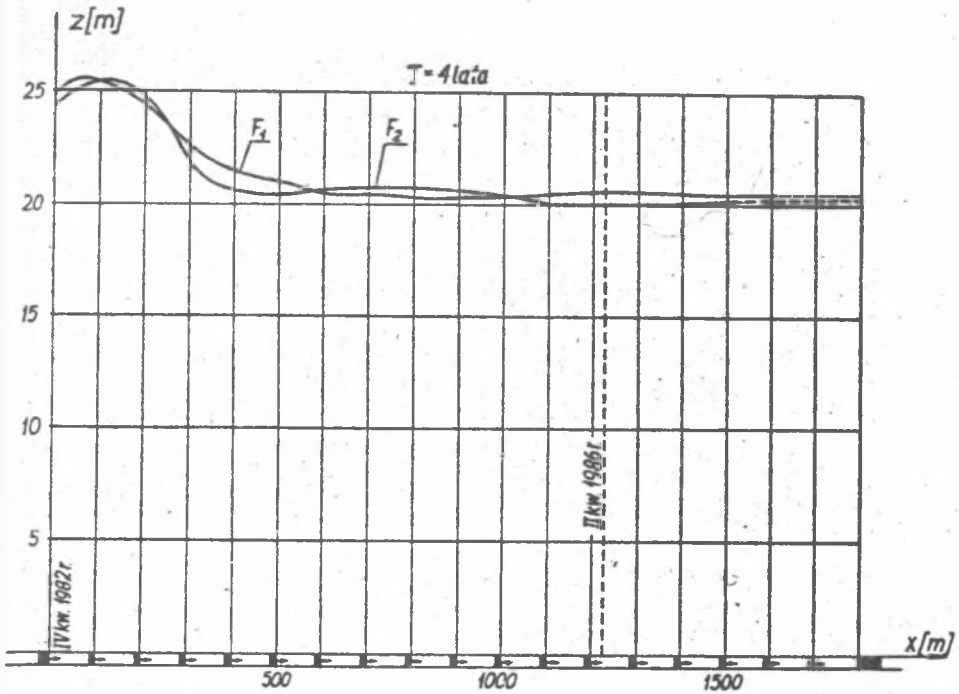
- moduł sprężystości postaciowej  $G = 2576$  MPa,
- osiadanie końcowe stropu  $w_0 = 0,45$  m,  $w_0$  uwarunkowane jest ściśliwością gruzowiska zawałowego ( $\bar{\eta}$ ) i grubości pokładu ( $g$ ) i wyznaczane ze wzoru

$$w_0 = \bar{\eta} \cdot g = 3 \cdot 0,7 = 2,10 \text{ m} \quad (15)$$

- współczynnik związany z prędkością osiadania stropu  $\beta = 2,5$  1/rok,
- średnia prędkość postępu frontu ścianowego  $v = 300$  m/rok,
- głębokość eksploatacji pokładu węgla  $H = 916$  m,
- kąt tarcia wewnętrzznego  $\varphi = 0,609$  rad,

- współczynnik kohezji  $c = 6,2 \text{ MPa}$ ,
- czas, po którym wyznaczamy naprężenia  $T = 4 \text{ lata}$ ,
- pozioma współrzędna punktu, w którym wyznaczamy naprężenia  $x = 1525 \text{ m}$ ,
- pionowa współrzędna punktu  $0 \leq z \leq 28 \text{ m}$ .

Wyznaczone zasięgi strefy zniszczenia nad eksploatowanym pokładem 382 w kopalni K-1 dla hipotezy de Saint-Venanta oraz dla zmodyfikowanego warunku Coulomba-Mohra zobrazowano graficznie na wykresie przedstawionym na rys. 16.



Rys. 16. Zasięg strefy zniszczenia skał górotworu nad eksploatowanym pokładem 382 w kop. "Bogdanka" w zależności od wybiegu frontu eksploatacji:  $F_1$  - dla hipotezy maksymalnego naprężenia stycznego,  $F_2$  - dla zmodyfikowanego warunku Coulomba-Mohra

Fig. 16. Range of the zone of destruction of the rock mass above the mined seam 382 in the "Bogdanka" colliery in relation to the coasting of the working front:  $F_1$  - concerning the hypothesis of maximum tangential stresses  $F_2$  - concerning Mohr's modified of the condition of Coulomb

#### 4.3.2. Analiza otrzymanych wyników

Z dokonanych obliczeń numerycznych zasięgu strefy zniszczenia górotworu i sporządzonego wykresu wynika, że pierwsze zniszczenie skał w sąsiedztwie rozpoczętej eksploatacji przebiega na wyższej wysokości, niż kolejne

niszczenie górotworu wraz z postępem eksploatacji. Związane to jest z dużą koncentracją naprężeń oraz oddziaływaniem krawędzi pozostawionego pokładu na skały nadległe.

Z analizy wykresu wynika, że po przekroczeniu wybiegu frontu eksploatacji w odległości  $x = 500$  m, utworzona strefa zniszczenia górotworu nie ulega większym zmianom. Wyznaczona strefa zniszczenia według obu hipotez, dla omawianego wybiegu wynosi ok. 21 m, co w odniesieniu do grubości eksploатовanego pokładu ( $g = 3$  m) stanowi 7-krotną jego grubość.

Na zasięg tworzenia się strefy zniszczenia mają znaczny wpływ stałe materiałowe. W związku z tym w dalszych rozważaniach związanych z określeniem strefy zniszczenia istotny jest problem określenia właściwych parametrów materiałowych, co powinno znaleźć odzwierciedlenie zarówno w badaniach laboratoryjnych, jak i w kopalniach.

## 5. UWAGI KOŃCOWE

Przeprowadzona analiza rdzeni z otworów odwierconych w stropie wyrobisk 1, 2 i 4 w kopalni "Bogdanka", jak również rozważania teoretyczne pozwoliły na sformułowanie poniższych uwag.

Uzyskane rdzenie z otworów BR-9, BR-10, BR-11, BR-19, BR-19/1 charakteryzują się znacznym rozkruszeniem na całej długości otworów. Powoduje to niemożliwość jednoznacznego określenia zasięgu strefy zniszczenia górotworu.

Wnikliwa analiza rdzeni z wykonanych odwiertów oraz profili litologicznych skał nadległych pozwala jedynie na przybliżone określenie zasięgu strefy zniszczenia w zakresie 18 - 22 m.

Przeprowadzona analiza teoretyczna zasięgu strefy zniszczenia, w warunkach górotworu spełniającego własności modelu sprężysto-lepkiego typu Standard dla hipotezy maksymalnego wydłużenia de Saint-Venante oraz dla zmodyfikowanego warunku Coulomba-Mohra wykazała, że zasięg strefy zniszczenia jest zmienny. Przy wybiegu frontu eksploatacji do 300 m zniszczenie skał zachodzi na wysokości większej od 25 m. Natomiast przy dalszym postępie eksploatacji zniszczenie górotworu przebiega na niższej wysokości.

Wyznaczona strefa zniszczenia górotworu wg obu hipotez po przekroczeniu wybiegu frontu eksploatacji w odległości  $x = 500$  m wynosi ok. 20 - 21 m.

Przeprowadzone rozważania teoretyczne pozwalające określić zasięg strefy zniszczenia wykazały zbieżność wyników uzyskanych z obliczeń teoretycznych z wynikami uzyskanymi z badań wiertniczych.

Przyjęte do obliczeń teoretycznych stałe materiałowe są uśrednione i są charakterystyczne tylko dla pewnych, lokalnych warunków panujących w kopalni.

Przy dalszym rozwijaniu w praktyce modelu sprężysto-lepkiego należałoby uściślić wartości właściwych parametrów materiałowych oraz uwzględnić anizotropię i wariowalność ośrodka.



Z porównania wyników w zakresie określenia zasięgu strefy zniszczenia górotworu uzyskanych w kopalni "Bogdanka" z wynikami bezpośrednich obserwacji 47 ścian zawalowych w 4 kopalniach GZW [13, 14] wynika ich rozbieżność. W GZW zasięg strefy zniszczenia stanowił 5-6 krotną grubość wyeksploatowanych pokładów, podczas gdy w LZW przekracza 7-krotną grubość wybieranego pokładu. Różnica ta wynika szczególnie z dużej głębokości w LZW (916 m), niskich parametrów własności mechanicznych skał oraz z dużej ich wilgotności.

Wraz z rozwojem eksploatacji badania z tego zakresu należałoby kontynuować przy zastosowaniu np. metody elektrooporowej bądź przez porównywanie własności mechanicznych skał przed i po dokonanej eksploatacji, co jest możliwe w przypadku wykonania wyrobisk badawczych powyżej wybieranego pokładu na różnych nad nim wysokościach. Może to być jeden chodnik wykonywany z odpowiednio dużym wzniosem.

## LITERATURA

- [1] Biliński A.: Metoda przewidywania ruchów górotworu w polach eksploatacji ścianowej. "Przegląd Górniczy" 1972, nr 3, s. 31-35.
- [2] Gil H., Staroń T.: Deformacja naruszonego górotworu według modelu sprężysto-lepko-plastycznego. "Przegląd Górniczy" 1985, nr 3, s. 81.
- [3] Chudek M., Stefański L.: Obciążenia i naprężenia występujące w górotworze w otoczeniu wyrobisk ścianowych, resztek pokładów i filarów oporowych w kopalniach podziemnych. Zesz. Nauk. Polít. Śląskiej, z. 136, Gliwice 1985.
- [4] Dokumentacja GIG (Oddział Terenowy Lublin): Ocena zachowania się górotworu nad ścianą badawczą w kopalni K-1 w oparciu o badania z 1985r Lublin, październik 1986.
- [5] Dokumentacja GIG (Oddział Terenowy Lublin): Wyniki badań zachowania się stropu i spęgu oraz chodników przyścianowych w kopalni K-1 w zależności od warunków górniczo-geologicznych, Lublin, październik 1987.
- [6] Gajoch K., Piechota S.: Charakterystyka zruśnienia iłołupkowego stropu na podstawie badań w kopalni Łęczycza. "Przegląd Górniczy" 1973, nr 26, s. 146-152.
- [7] Gil H., Kraj W.: The distribution of displacements and stresses around a longwall working. "Archiwum Górnictwa" 1972, t. XVII, z. 3, s. 249-264.
- [8] Gil H., Kraj W.: Rozkład przemieszczeń i naprężeń w górotworze w przypadku zatrzymania czynnego frontu eksploatacji. "Archiwum Górnictwa" 1974, t. XIX, z. 1, s. 7.
- [9] Golecki J., Józkiwicz S., Ropski S.: Wpływ wybierania pokładu na stan przemieszczenia skał stropowych. "Przegląd Górniczy" 1968, s. 360-364.
- [10] Izbicki R.J., Mróz Z.: Metody nośności granicznej w mechanice gruntów i skał. Polska Akademia Nauk, Instytut Podstawowych Problemów Techniki, PWN, Warszawa-Poznań 1976.
- [11] Kidybiński A.: Podstawy geotechniki kopalnianej. Wyd. Śląsk, Katowice 1982.
- [12] Mróz Z., Staroń T.: Deformacja górotworu i osiadanie powierzchni dla Ośrodka sprężysto-plastycznego. "Ochrona Terenów Górniczych" - 1977, 41, s. 3.

- [13] Ropski S.: Stan pełnego i wysokiego zawału oraz strefy osiadania stropu za ścianą na podstawie pomiarów w kopalni Wesoła (Lenin).
- [14] Staroń T.: Studium nad zagadnieniem podbierania pokładów z zawałem stropu w świetle badań podziemnych i rozważań teoretycznych. Prace GIG. Komunikat nr 646, Katowice 1975.
- [15] Staroń T.: Wyznaczenie niezbędnej odległości między pokładem podbieranym w warunkach eksploatacji zawałowej. Prace GIG. Komunikat nr 701, Katowice 1979.
- [16] Staroń T.: Wpływ eksploatacji zawałowej na górotwór zalegająca powyżej eksploatowanego pokładu. Wyd. Ucz. Polit. Lubelskiej 1984, z. 139.
- [17] Staroń T.: Deformacja naruszonego górotworu opisana modelem ośrodka sprężysto-lepko-plastycznego. "Archiwum Górnictwa" 1985, t. 30, z. 1, s. 129-148.
- [18] Ślęzański Z., Smieszek A.: Eksploatacja z zawałem stropu w kopalni rudy żelaza. "Rudy i Metale Nieżelazne" 1976, nr 3, s. 72-76.
- [19] Znański J.: Przemieszczenie górotworu w otoczeniu przodku ścianowego. "Przegląd Górniczy" 1958, nr 11, s. 612-623.
- [20] Znański J.: Podziemna eksploatacja pokładów węgla. Wyd. Śląsk. Katowice 1974.
- [21] Takuski S. i in.: Zastosowanie systemów z zawałem stropu w rejonie łączyskim. Opracowanie AGH Kraków 1972 (niepublikowane)

#### ЗОНЫ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНОГО МАССИВА НАД ЭКСПЛУАТИРУЕМЫМ ПЛАСТАМ ПРОВОДИМЫЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОЛОНКО

#### Р е з ю м е

В работе обсуждаются проводимые до сих пор исследования зоны разрушения в условиях каменугольных шахт Горнослезского угольного бассейна (ГУБ) и в условиях шахт железной руды Ленчицкого района.

Представлены вступительные исследования Главного горного института - отдел в Люблине по разрушению горного массива над эксплуатируемой лавой в пласте 382 шахты "Богданка" Люблинского угольного бассейна (ЛУБ), проведенные в 1984-85 гг.

Подробно обсуждены и подтверждены документами собственные исследования относящиеся к радиусу зоны разрушения нарушенного горного массива в шахте ЛУБ над эксплуатируемым пластом 382, проводимые с применением колонкового бурения.

Применяя упруголипкую модель (Стандарт), а также средние материальные постоянные для горного массива в ЛУБ, с учетом формул Гиля и Края [7, 8], а также граничного состояния определенного из Сант-Венанта и модифицированного условия Колумба-Мура, независимо от подземных исследований определен теоретический диапазон разрушения вышележащего горного массива по истечении значительного отрезка времени (4 года) после закончения эксплуатации. Полученные расчетные данные о радиусе зоны разрушения сравнивались с данными в результате колонкового бурения нескольких скважин, выполненного в 1987 г.

Диапазон разрушения горного массива определен как 7-кратная толщина эксплуатируемого пласта.

В заключении представлены конечные высказывания и предложения, которые могут быть использованы для дальнейших исследований.

#### THE RANGE OF THE ZONE OF ROCK-MASS ABOVE THE COAL SEAM WITH COVING OF THE "BOGDANKA" COLLIERY

#### S u m m a r y

The paper deals with investigations concerning the range of the zone rock-mass loosening in collieries of the Upper Silesian coal region as well as in iron mines of the district of Łęczysca.

Preliminary results of investigations carried out in 1984-1985 by the Lublin branch of the Institute of Mining, concerning the loosening of the rock-mass above the coal face in seam No. 382 of the "Bogdanka" - colliery, situated in the Coal basin of Lublin.

Detailed considerations have been devoted to the author's own investigations concerning the range of the zone of loosened rock mass in the coal seam No. 382 of the aforesaid colliery. These investigations had been carried out making use of core drilling,

Apart from underground investigations, in which the standard elasticity model as well as average material constants were applied together with H. Gil's and W. Kraj's formulae [7, 8] and the boundary states determined basing on Saint Venant's hypothesis and the modified Coulomb-Mohr condition, the range of destruction of the overlaying rock mass was theoretically determined four years after the commencement of mining activities. The calculated data of the range of the zone of rock-mass loosening were compared with data obtained in the course of cora drilling of several bore-holes in 1987. The range of rock-mass loosening was determined for an approximately seven-fold thickness of the worked seam.

At the end of the paper there are final remarks, which may be utilized in further investigations and for the purpose of actual mining activities.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Mirosław Chudek