

MIROSŁAW CHUDEK, ZENON SZCZEPANIAK, KAZIMIERZ PODGÓRSKI

PRZEMIESZCZENIE GÓROTWORU I PRZEBIEG CIŚNIEŃ NA BUDOWĘ
SZYBU PRZY EKSPLOATACJI POKŁADÓW W FILARACH OCHRONNYCH

Streszczenie. W pracy podano sposób i przebieg badań modelowych w zakresie deformacji górotworu przy eksploatacji pokładów nachylonych pod kątem 45° w filarze ochronnym szybu. Przedstawiono kształtowanie się ciśnienia bocznego na obudowę szybu. Dokonano porównania wielkości otrzymanych z badań z wielkościami uzyskiwanymi w praktyce w podobnych warunkach. W zakończeniu podano wnioski końcowe.

1. Cel badań

Celem badań było ustalenie niektórych zjawisk zachodzących podczas wybierania pokładów w filarach ochronnych szybu, do których zalicza się deformacje górotworu i związane z nimi zmiany ciśnienia na obudowę szybu w otoczeniu "kostki przyszybowej". Ponieważ wszelkie zjawiska zachodzące w otoczeniu "kostki przyszybowej" nie są oderwane od dalszych wpływów eksploatacji, celowym było zwrócenie uwagi na zachowanie się górotworu w dalszej odległości od rury szybowej.

Dotychczasowe doświadczenia eksperymentalnych eksploatacji w szybowych filarach ochronnych w pokładach poziomych i słabo nachylonych dawały na ogół dobre wyniki jeśli chodzi o dalszą funkcjonalność szybów z ich przeznaczeniem. Inaczej przedstawia się sytuacja przy wybieraniu w szybowych filarach ochronnych pokładów silnie nachylonych.

Jak dotychczas w Polsce nie prowadzono eksploatacji pokładów silnie nachylonych w filarach szybowych, nie ma więc doświadczalnych danych co do sposobu i techniki wybierania pokładów. Rozwiązanie tego problemu pozwoliłoby na odzyskanie między innymi poważnej ilości bardzo cennego węgla koksującego uwiecznionego w pokładach silnie nachylonych w obszarze szybowych filarów ochronnych.

W pracy podjęto próbę wyjaśnienia niektórych zjawisk, mających wpływ na obudowę szybu przy wybieraniu w szybowych filarach ochronnych pokładów nachylonych pod kątem 45° . Obserwacje i dane uzyskane z badań posłużyły do ustalenia zmian ciśnienia na obudowę szybu, ustalenia stref (odcinków) obudowy najbardziej narażonych na niszczące działanie ciśnień i sił górotworu. Przeprowadzona zaś analiza tych danych pozwoliła na porównanie otrzymanych wyników z dotychczasowymi doświadczeniami w praktyce i wyciągnięcie końcowych wniosków.

2. Program badań

Zgodnie z celem badań, program badań obejmował:

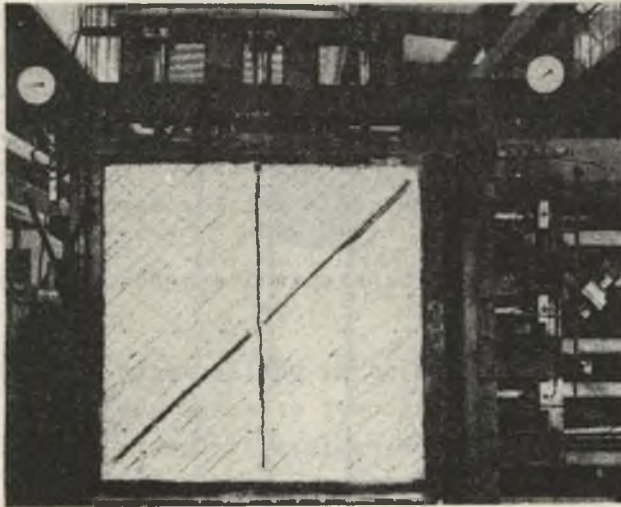
- 1) pomiar wielkości ciśnienia bocznego na obudowę szybu po wybraniu "kostki przyszybowej" i w odpowiednich odległościach zatrzymania się linii frontu eksploatacyjnego od szybu (faza: I, II, III, IV, V) przy eksploatacji pokładu "A" i "B",
- 2) pomiar wielkości ciśnienia w spągu pokładu "A" i w stropie pokładu "B" (w odległości 10 m od pokładów w skali naturalnej) po poszczególnych fazach eksploatacji pokładów w filarze ochronnym,
- 3) pomiar wielkości przesunięć poziomych i pionowych górotworu (w ramach całego modelu) po poszczególnych fazach eksploatacji pokładów w filarze.

3. Opis przyrządów i aparatury użytych do badań

3.1. Urządzenie główne do badania modelowego

Głównym elementem urządzenia była (wykonana w Katedrze Budownictwa Podziemnego Kopalń) stalowa rama zbudowana z ceownika połączona obrotowo z konstrukcją stalową.

Opólny widok tego urządzenia z ułożonym modelem przedstawia rys. 1. Obrotowe umocowanie do wspornika, pozwoliło na przechylenie ramy wraz z osprzętem o kąt bliski 45° co ułatwiało w dużym stopniu układanie warstw modelu górotworu.



Rys. 1. Ogólny widok aparatu przygotowanego do badań

Na lewej części rany zamontowano pompę olejową i układ zaworowy wraz z manometrem. Do tego układu zaworowego podłączone zostały trzy podnośniki olejowe umieszczone na górnej części rany, których zadaniem było wywieranie ciśnienia pionowego na model górotworu odpowiadającego w naszym przypadku w skali naturalnej głębokości 400 m.

Identyczny układ zamontowano z prawej strony rany również z trzema podnośnikami olejowymi za pomocą których wywierano ciśnienie boczne odpowiadające wyżej wymienionej głębokości. Tłoki podnośników wywierały ciśnienie na model w sposób "elastyczny", dzięki zastosowaniu odpowiednich płytek stalowych ułożonych na całej powierzchni działania ciśnienia tłoków.

Na płytki ułożono wałki, a na nie 6 równomiernie rozłożonych na całej powierzchni krótkie odcinki ceownika. Każdy tłok działał przegubowo na dwa takie ceowniki poprzez większych rozmiarów ceownik, dzięki dwom wałkom które przenosiły siłę podnośnika w środek ceowników mniejszych rozmiarów. Wyżej wymienione elementy za pomocą których uzyskiwano elastyczne działanie podnośników na model, były układane swobodnie bez dodatkowych umocowań i połączeń a więc w przypadku wywierania ciśnienia bocznego, elementy te utrzymywały się tylko dzięki

sile tarcia występującej między płytkami a warstwami modelu oraz między tłokami a większymi (rozmiarami) ceownikami. Ponieważ zachodziła konieczność utrzymania podczas badań stałego ciśnienia działającego na model (tak pionowego jak i bocznego) każdy z układów (lewy i prawy) zaopatrzono w amortyzator powietrzny połączony z odpowiednim układem zaworowym.

3.2. Przyrząd do pomiaru ciśnienia i sposób obciążania ciśnienia

Między warstwami imitującymi pokład węgla w modelu górotworu oraz w płaszczyźnie pionowej przechodzącej przez środek modelu (imitującej wycinek wyrobiska szybowego) wstawiono układ dźwigni mających służyć do pomiaru ciśnienia. Układ taki składał się z dwóch płaskich płytek (płaskowników).

Na końcu jednej z płytek (w odległości 1,5 cm) przyspawano wałeczki z drutu długości równej szerokości dźwigni i średnicy równej wysokości nakrętki nałożonej na nit wstawiony do nawierconego otworu w drugim końcu płytki. Nit nie wystawał poza nakrętkę lecz był nieco krótszy od jej wysokości. Do tak zbudowanej płytki, przykładając drugą płytkę gładką uzyskano równoległy układ dźwigni.

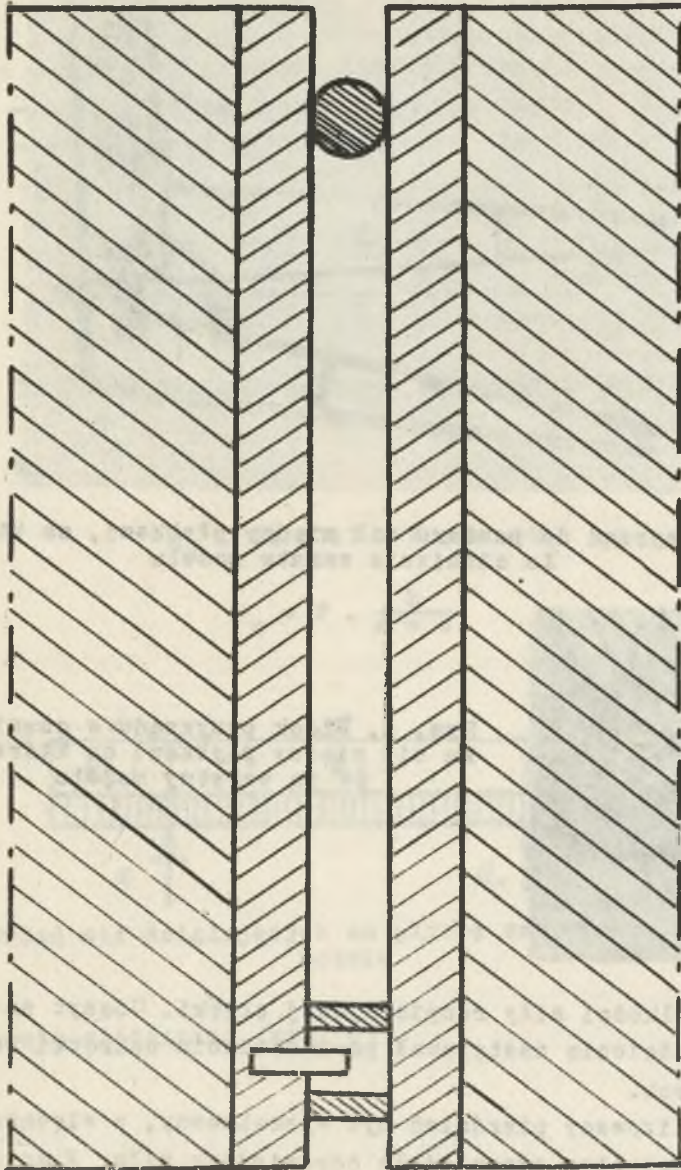
Pod wpływem ciśnienia warstw modelu, płytki te zostały ściśnięte, a tym samym nakrętka przestała być ruchomym elementem układu dźwigni.

Przeciwstawiając się odpowiednią siłą rozpierającą, działającemu na układ dźwigni ciśnieniu można spowodować, że nakrętka ponownie będzie elementem ruchomym w układzie. Taką siłą rozpierającą wywołano za pomocą "przyrządu do pomiaru ciśnień" uwidocznionego na rys. 3 i 4.

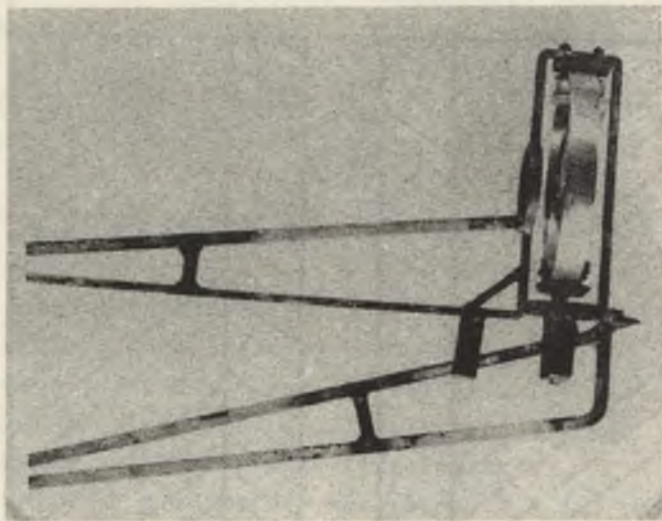
Przyrząd ten składał się z dwu dźwigni oraz sprężystego pierścienia stalowego i czujnika mierzącego wielkość ugięć pierścienia.

Czujnik i pierścień przymocowane były do dźwigni górnej.

Po wstawieniu krótszych ramion dźwigni między płytki ściśnięte ciśnieniem warstw modelu, zwierano dłuższe ramiona dźwigni przyrządu, co powodowało uginanie pierścienia proporcjonal-



Rys. 2. Płytki do pomiaru ciśnienia oddziaływania warstw modelu



Rys. 3. Przyrząd do pomiaru sił między płytkami, na które działa ciśnienie warstw modelu



Rys. 4. Widok przyrządu w czasie pomiaru sił między płytkami na które działają warstwy modelu

nie do wielkości siły rozpierającej płytki. Odczyt na czujniku ugięć pierścienia następował po uwolnieniu nakrętki od sił ściskających.

Znormalizowany pierścień był wyskalowany, a więc odpowiednim jego ugięciom odpowiadała odpowiednia siła F .

Ciśnienie warstw modelu górotworu działające na układ płytek, obliczono następująco:

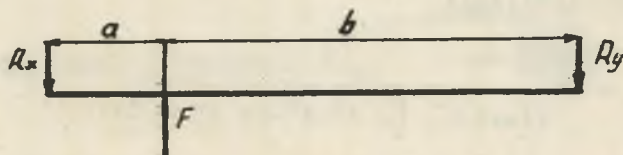
a) obliczenie siły rozpierającej układ dźwigni (płytek) (rys. 5)

D a n e:

$a = 6,8 \text{ cm}$ - długość krótszych ramion przyrządu

$b = 34 \text{ cm}$ - długość dłuższych ramion przyrządu

$F \text{ kG}$ - siła odpowiadająca ugięciom pierścienia

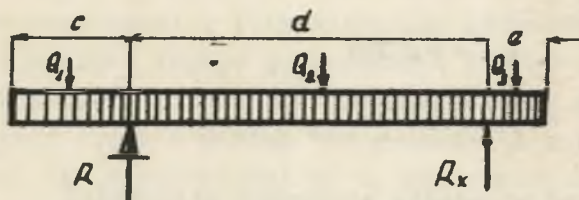


Rys. 5. Układ sił działających na dźwignie przyrządu

Szukane: R_x

$$R_x \cdot (a + b) - F \cdot b = 0$$

$$R_x = F \cdot \frac{b}{a + b} \quad (1)$$



Rys. 6. Układ sił działających na płytkę zabudowaną w warstwach modelu

b) obliczenie ciśnienia: (rys. 6)

D a n e:

$c = 1,5 \text{ cm}$

$d = 15,5 \text{ cm}$

$e = 0,5 \text{ cm}$

$A_1 = 3,5 \text{ cm}$ - szerokość płytek

$A_2 = 3,0 \text{ cm}$ - szerokość płytek

$Q_1 = p \cdot c \cdot A$

$$Q_2 = p \cdot d \cdot A$$

$$Q_3 = p \cdot e \cdot A$$

$$Q_1 \cdot \frac{c}{2} - Q_2 \frac{d}{2} + R_x \cdot d - Q_3 \cdot (d + \frac{e}{2}) = 0 \quad (2)$$

Wstawiając do równania (2) wartość R_x z równania (1) oraz Q_1, Q_2, Q_3 otrzymujemy:

$$p = F \frac{2b}{A(a+b) \cdot [-c^2 + d^2 + 2e(d + \frac{e}{2})]} \quad (3)$$

jeżeli:

$$k = \frac{2b}{A(a+b) [-c^2 + d^2 + 2e(d + \frac{e}{2})]} \quad (4)$$

$$\text{to: } p = k \cdot F \quad (5)$$

Po wstawieniu znanych wartości a, b, c, d, e i odpowiedniego A , otrzymujemy:

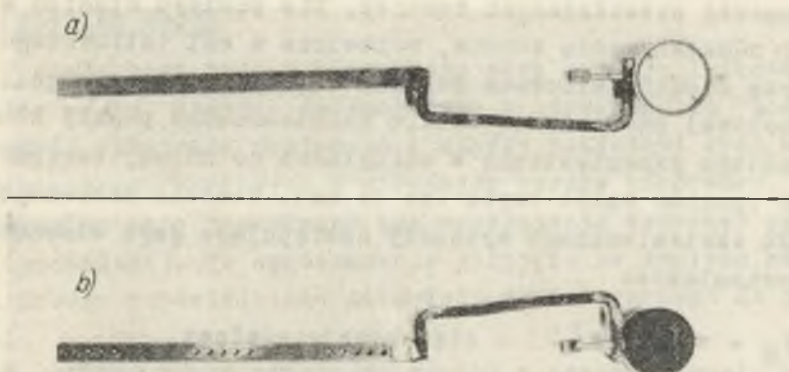
$$\text{dla } A_1 \quad k_1 = 0,0308$$

$$\text{dla } A_2 \quad k_2 = 0,0359$$

3. Przyrząd do mierzenia wielkości przesunięć

Pomiaru wielkości przesunięć górotworu dokonywano za pomocą przyrządu przedstawionego na rys. 7a i b. Składa się z listwy stalowej nawierconej otworkami dokładnie co 1 cm (rys. 7b) i oznajnika o dokładności odczytu 0,01 mm, połączonego z listwą za pomocą kabłąka.

Przemieszczenia górotworu mierzono przez przykładanie przyrządu do odpowiednich punktów modelu przy poziomej względnie pionowej osi odniesienia, które stanowiły listwy z punktami co 10 cm przymocowane na stałe wzdłuż górnej i lewej strony ramy urządzenia głównego.



Rys. 7. Urządzenie do pomiaru odkształceń warstw modelu
a - widok urządzenia z przodu, b - widok urządzenia z tyłu

Punkty (osie odniesienia i punkty wbudowane w model) stanowiły po prostu krótkie odcinki drutu odpowiednio zaostrome tak, aby dokładnie mogły wchodzić do otworów nawierconych w listwie pomiarowej i kostce czujnika.

4. Budowa modelu i dobór materiału ekwiwalentnego

Dla odwzorowania profilu litologicznego górotworu przyjęto, że - budują go warstwy łupków o grubości 4 i 5 m, zalegających naprzemian wśród których znajdują się dwa pokłady węgla - pokład "A" grubości 1,2 m - pokład "B" grubości 2 m, zalegający poniżej pokładu "A" w odległości 20 m. Kąt nachylenia warstw przyjęto 45° , a głębokość zalegania 400-530 m. Do odwzorowania tego profilu zbudowano model w skali 1:100 o wymiarach 130x130 cm

Do budowy warstwy modelu użyto materiału ekwiwalentnego o lepieszczu parafinowym o stosunku parafiny do talku: 1:7. Z tego materiału wykonano warstewki grubości 4 i 5 cm i szerokości 17,5 cm równej szerokości ramy.

Dla zwiększenia zdolności rozwarstwiania się i zmniejszenia spójności układanych warstw modelu, warstwy przesypanyo pyłem węglowym.

W celu zmniejszenia wpływu tarcia warstw budujących model o ramę, odizolowano je od ramy za pomocą dwóch cienkich pasów

folii gumowej przekładanych towotem. Dla pomiaru ciśnienia w szybie i oddziaływania warstw, wstawiono w osi imitowanego szybu oraz między imitowane pokłady węgla, układy dźwigni.

Na ozołowej powierzchni modelu rozmieszczono punkty służące do pomiaru przemieszczeń w odległości co 20 cm, zagęszczając sieć punktów wokół szybu (co 10 cm). Badania dobranego materiału ekwiwalentnego wykazały następujące jego własności fizykomechaniczne:

$$\gamma_M = 1,3 \text{ g/cm}^3 \quad - \text{ ciężar objętościowy}$$

$$R_{oM} = 2,6 \text{ kG/cm}^2 \quad - \text{ wytrzymałość na ściskanie}$$

$$R_{rM} = 0,21 \text{ kG/cm}^2 \quad - \text{ wytrzymałość na rozrywanie}$$

$$K_M = 0,22 \text{ kG/cm}^2 \quad - \text{ kohezja}$$

$$E = 4,4 \cdot 10^2 \text{ kG/cm}^2 \quad - \text{ moduł sprężystości}$$

Korzystając z wzorów warunkujących podobieństwo modelowe otrzymujemy dla warunków naturalnych następujące własności fizykomechaniczne skały:

$$\gamma_N = 2,5 \text{ g/cm}^3$$

$$R_{oN} = 500 \text{ kG/cm}^2$$

$$E_N = 8,46 \cdot 10^4 \text{ kG/cm}^2$$

$$k_N = 42 \text{ kG/cm}^2$$

$$\varphi_N = 58^{\circ}35'$$

Otrzymane wartości fizykomechaniczne w porównaniu z własnościami skał karbońskich dla Zagłębia Górnośląskiego według klasyfikacji skał prof. J. Kuhla, odpowiadają łupkom ilastopiaszczystym zaliczanych do skał ilastych (II grupa).

5. Przebieg badań

W zbudowanym modelu prowadzono eksploatację imitowanych pokładów węgla, mierząc jednocześnie w odpowiednich "momentach", wielkość ciśnienia poziomego i między pokładami oraz wielkość przemieszczeń poziomych i pionowych warstw górotworu.

Eksploatację prowadzono bez wypełnienia wybranej przestrzeni (podsadzki). To uproszczenie przyjęto ze względu na trudności doboru odpowiedniego materiału ekwiwalentnego do podsadzenia.

W związku z tym otrzymano wyniki w pewnym stopniu będą odbiegać od wyników w przypadku stosowania odpowiedniej podsadzki.

Przed badaniem ułożone warstwy modelu poddano ciśnieniu pionowemu $0,5 \text{ kg/cm}^2$, co odpowiadało ciśnieniu 15 kg/cm^2 na tłoki podnośników wywołanego pompą olejową i ciśnieniu bocznemu $0,16 \text{ kg/cm}^2$ (wskazanie na manometrze 5 kg/cm^2). Ciśnienie to utrzymywano przez cały okres przeprowadzanych badań.

Jak wynika z powyższego i opisu budowy modelu, ułożone warstwy imitowanego górotworu znajdować się będą w dwuosiowym stanie naprężeń, zaś w warunkach naturalnych skały znajdują się w trójosiowym stanie naprężeń.

Fakt ten miał wpływ na otrzymywane podczas badań wyniki.

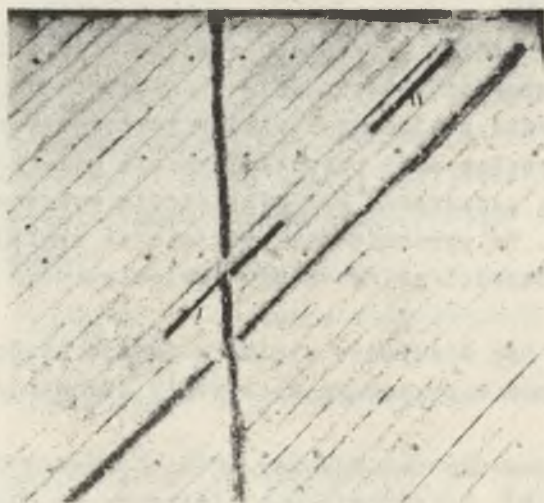
Następnie zmierzono wielkości ciśnień oraz dokonano pomiary współrzędnych Z i L tj. odległości od odpowiednich stałych punktów zabudowanych na ramie.

Eksploatację prowadzono najpierw w pokładzie "A" (górnym), a następnie w pokładzie "B" (dolnym). Eksploatację każdego z pokładów prowadzono kolejno po upadzie ku prawej, później po wzniosie do lewej granicy kostki przyszybowej.

Faza I obejmowała wybranie kostki przyszybowej o wymiarach $30 \times 17,5 \text{ cm}$.

Kostka przedzieliła więc imitowany pokład na część górną i dolną (rys. 8). Faza II objęła eksploatację połowy górnej części pokładu (licząc od góry, rys. 8).

Faza III stanowiła eksploatację pozostałości górnej części pokładu (rys. 9).



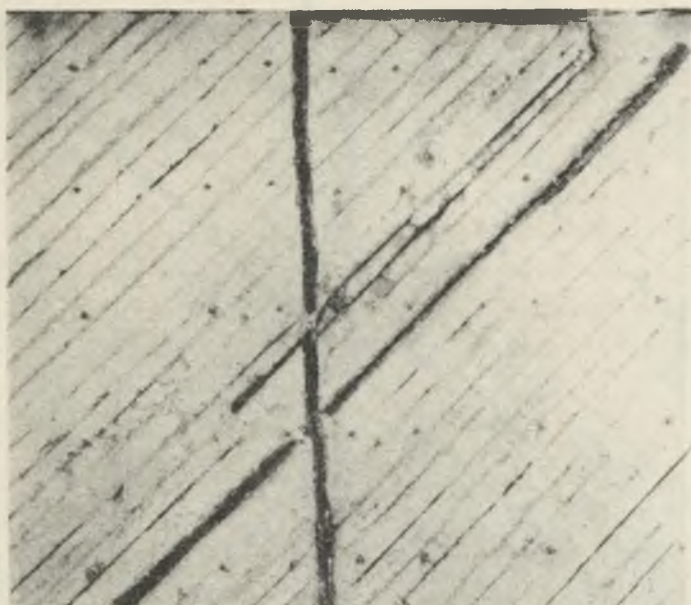
Rys. 8. Zachowanie się skał po wybraniu pokładu A
faza I i powyżej - faza II

Faza IV objęła połowę dolnej części pokładu, licząc od dołu (rys. 9). Faza V stanowiła pozostałość dolnej części pokładu (rys. 10). Fazy I-V pokładu "B", to odpowiedniki faz pokładu "A" (rys. 11 faza I, rys. 12 faza II, rys. 13 faza II, rys. 14 faza IV-V).

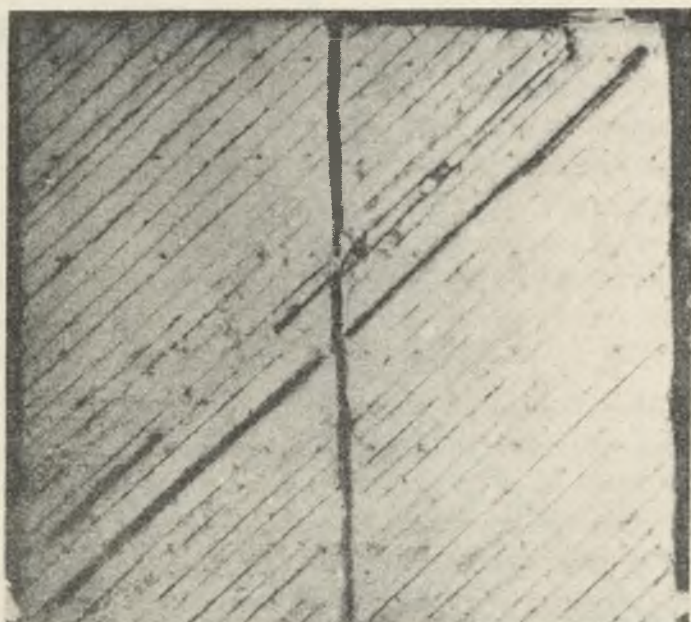
Po każdej fazie eksploatacji dokonano jeden pomiar (i po pewnym czasie następny) wielkości ciśnień i przemieszczeń warstw. Przebieg badań dla pokładu "A" i "B" był identyczny z tym, że dla pokładu "B" po fazie V (tj. po całkowitym ukończeniu eksploatacji w filarze) przeprowadzono po stosunkowo długim czasie (Δt) pomiar 6.

6. Opracowanie wyników badań

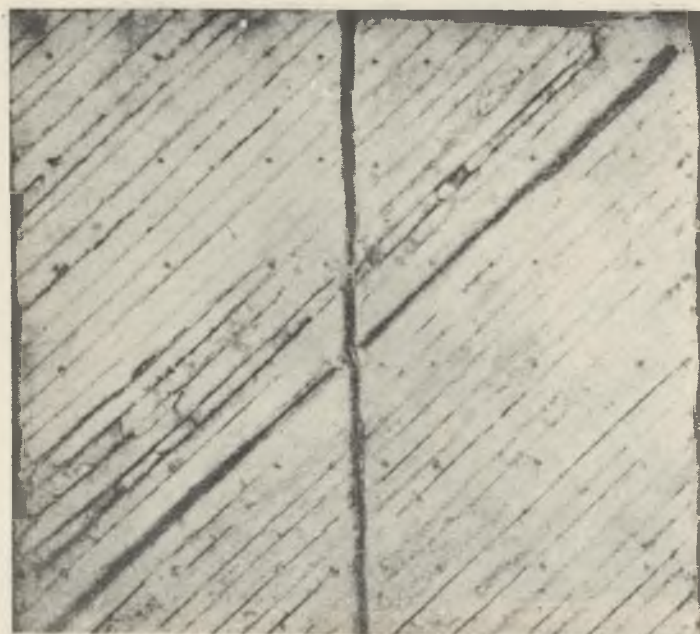
Otrzymane wyniki z pomiarów (1-6) przemieszczeń pionowych i poziomych warstw w modelu bezpośrednio nad wyrobiskiem ścianowym oraz na różnych odległościach od wyrobiska, posłużyły do sporządzenia i opracowania tabel (których nie podano ze względu na objętość pracy) a następnie wykresów. W tablicach dotyczących przemieszczeń pionowych punktów ujęto:



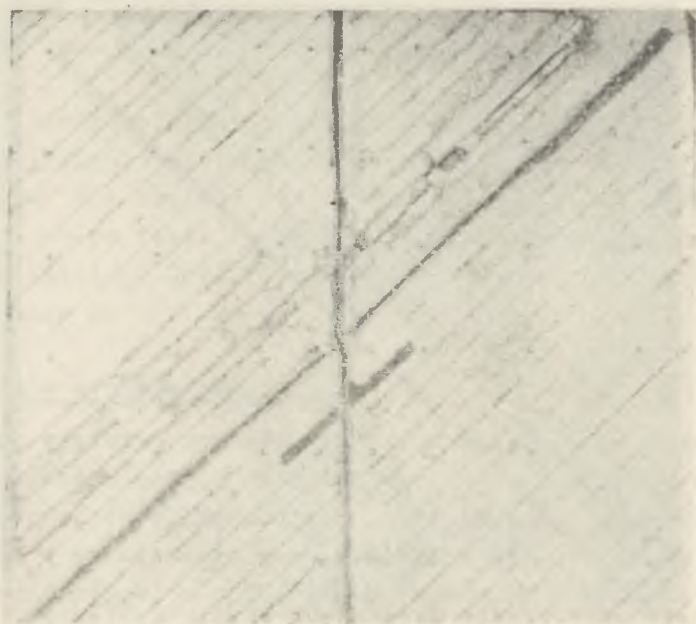
Rys. 9. Zachowanie się skał po wybraniu pozostałości górnej części pokładu



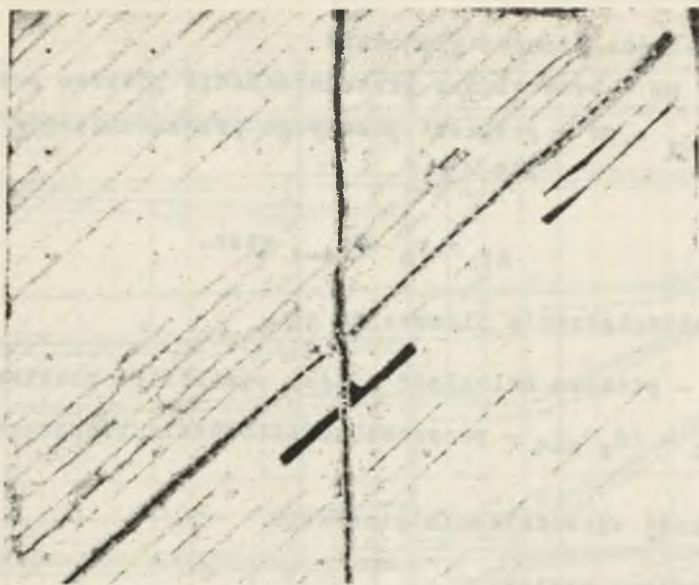
Rys. 10. Zachowanie się warstw w czasie wybrania dolnej części pokładu



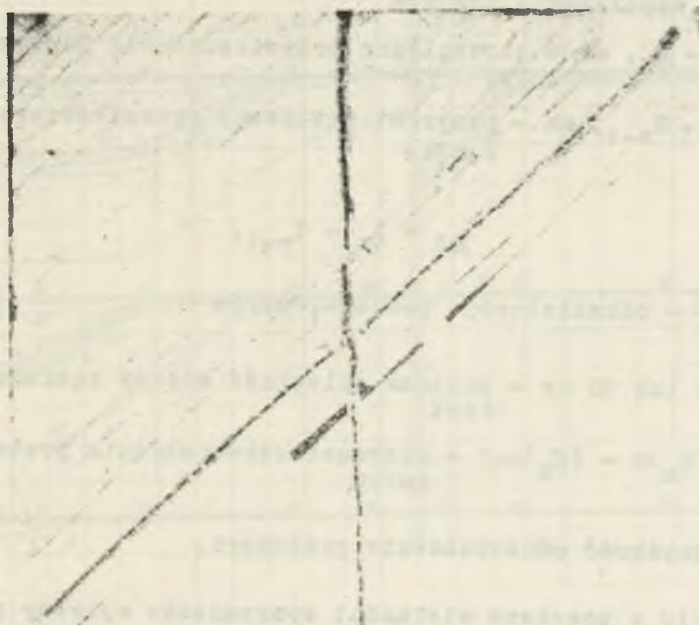
Rys. 11. Zachowanie się warstw po wybraniu całego pokładu



Rys. 12. Zachowanie się warstw po wybraniu w całości pierwszego pokładu i kostki przyszybowej w drugim pokładzie - faza I



Rys. 13. Osiadanie warstw w czasie wybierania drugiego pokładu w górnej partii - faza II



Rys. 14. Osiadanie warstw w końcowym etapie wybierania pokładu w górnej partii

Z_{mm} - współrzędna pionowa głębokość

$W = Z_n - Z_1$ mm - bezwzględne przemieszczenie pionowe punktu

$\Delta W = W_n - W_{n-1}$ - mm - przyrost pionowego przemieszczenia po czasie

$$\Delta t = t_n - t_{n-1} \text{ godz.}$$

$\varepsilon_z = \frac{\Delta W}{l_1}$ - odkształcenie pionowe mm/cm

$l_1 = 20$ cm - pionowa odległość między sąsiednimi punktami

$\Delta \varepsilon_z = (\varepsilon_z)_n - (\varepsilon_z)_{n-1}$ - przyrost odkształcenia pionowego mm/cm,

$\frac{\Delta \varepsilon_z}{\Delta t}$ - prędkość odkształcenia pionowego

n - nr kolejnego pomiaru.

a) W tabelach przemieszczeń poziomych punktów ujęto wielkości:

L , mm - współrzędna pozioma

$U = L_n - L_1$, mm - bezwzględne przemieszczenie poziome punktu,

$\Delta U = U_n - U_{n-1}$, mm - przyrost poziomego przemieszczenia po czasie

$$\Delta t = t_n - t_{n-1},$$

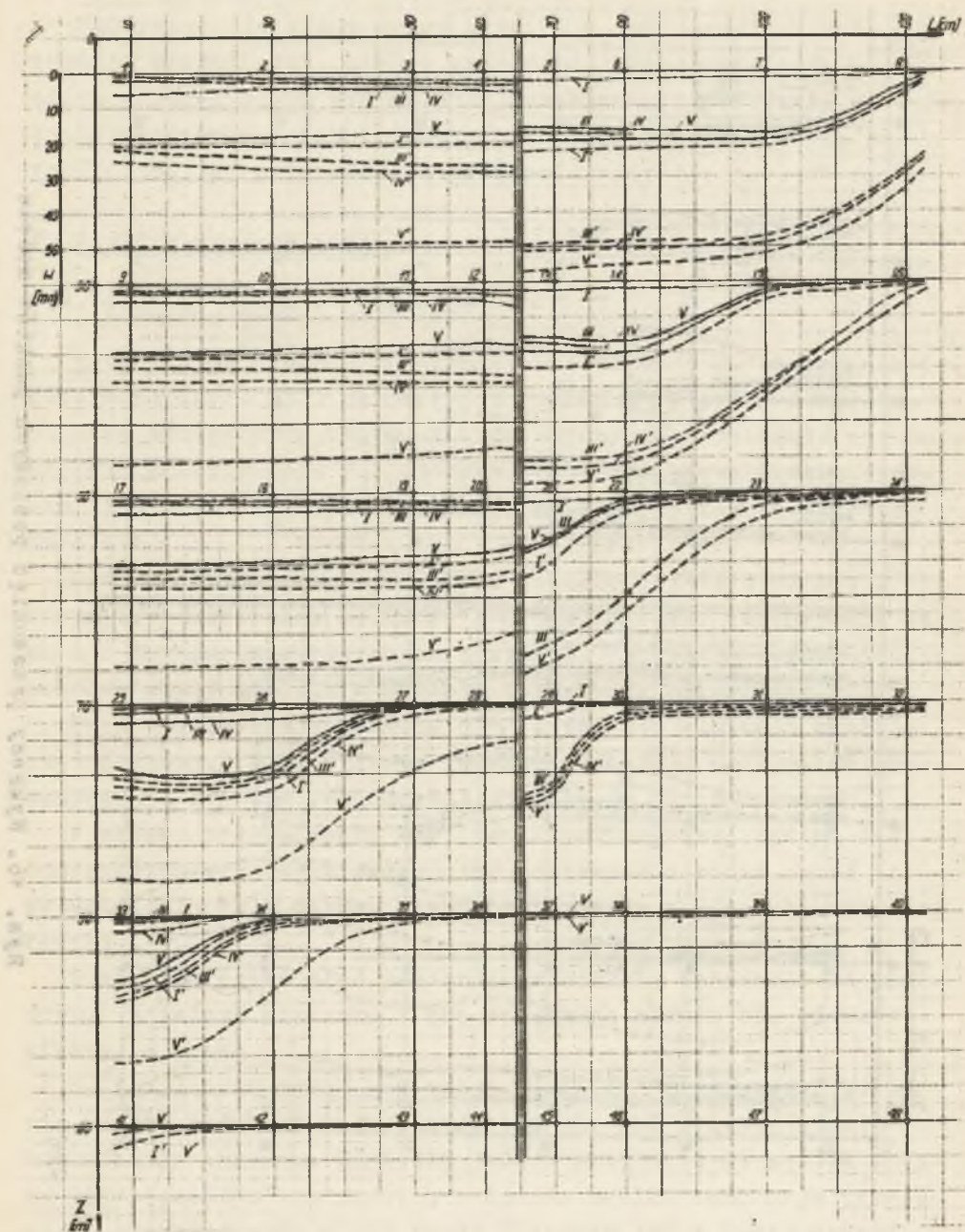
$\varepsilon_x = \frac{\Delta U}{l_2}$ - odkształcenie poziome, mm/cm

$l_2 = 20$ lub 10 cm - pozioma odległość między sąsiednimi punktami

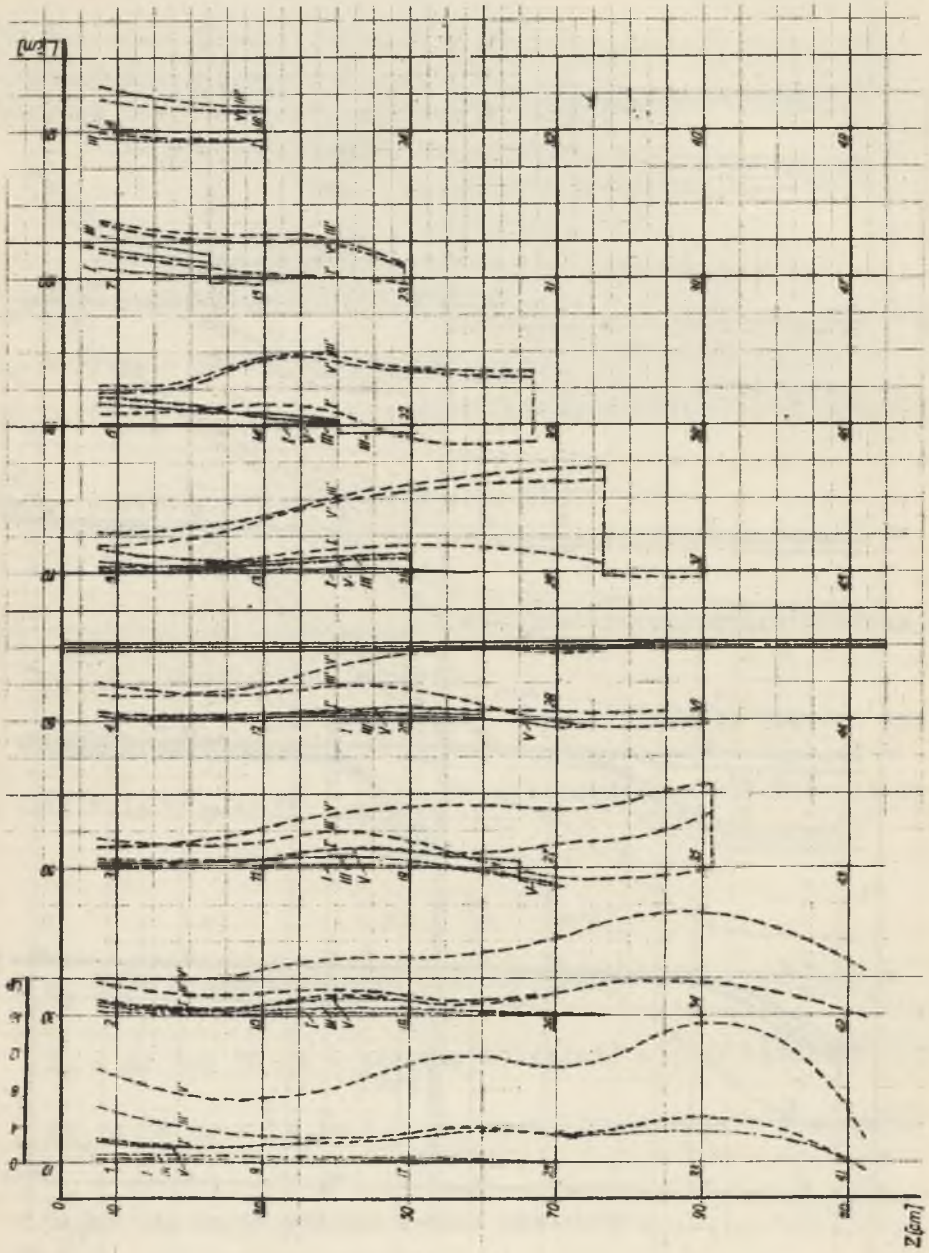
$\Delta \varepsilon_x = (\varepsilon_x)_n - (\varepsilon_x)_{n-1}$ - przyrost odkształcenia poziomego w mm/cm

$\frac{\Delta \varepsilon_x}{\Delta t}$ - prędkość odkształcenia poziomego.

W oparciu o powyższe wielkości sporządzono wykresy przesunięć pionowych punktów (rys. 15) i wykresy przesunięć poziomych punktów (rys. 16).



Rys. 15. Wykresy przesunięć pionowych punktów modelu



Rys. 16. Wykresy przesunięć poziomych punktów modelu

Zmierzone wielkości zmian ciśnień w spągu pokładu "A", w stropie pokładu "B", między pokładami, zmian ciśnienia bocznego na obudowę szybu pod wpływem eksploatacji w filarze posłużyły do opracowania tabel (których w pracy nie podaje się ze względu na jej objętość), a następnie wykresów rys. 17 i 18.

7. Analiza wyników badań

7.1. Analiza wyników przesunięć

Rozpatrując wykresy przesunięć poziomych i pionowych warstw górotworu (rys. 15 i 16) w całym modelu i na całej długości odcinka imitowanego szybu, w widoczny sposób obserwuje się największe przesunięcia tak pionowe jak i poziome z chwilą dojścia linii frontu eksploatacyjnego do granicy kostki przyszybowej.

Ogólnie wpływ eksploatacji na poziome przemieszczenie górotworu był zauważalny na całej długości odcinka imitowanego szybu tj. do spągów wybieranych pokładów. Maksymalne przesunięcia poziome miały miejsce w stropie pokładu do odległości 30 cm.

Przy eksploatacji pokładu "B" (dolnego) wielkość przesunięć poziomych była większa (pokład grubszy). Maksymalne przesunięcia w stropie pokładu "B" sięgały do 30 cm (zasięg).

W obydwu przypadkach, wybieranie przyszybowej kostki nie spowodowało wyraźnych przesunięć poziomych i można uznać iż przesunięcia te z obydwu stron następowały w kierunku wybranej kostki.

Z wykresu przesunięć poziomych wynikałaby tendencja do przesunięć w jednym kierunku w obu częściach modelu tj. od lewej strony na prawą.

Należy jednak wziąć pod uwagę fakt, iż "elastyczne" podparcie warstw modelu z prawej strony mogło być przyczyną zniekształcenia wykresu. Gdybyśmy jednak przyjęli, że pomimo wpływu "elastycznego" podparcia, istniała ogólna tendencja przesuwania się górotworu w tym samym kierunku jak w lewej części modelu (w prawo), doszukać się można przyczyny w dużym kącie upadu warstw.

Przy eksploatacji górnych części pokładów, przesunięcia poziome w całym modelu były zgodne i następowały w kierunku z lewa na prawo (faza II, II', III, III'), jedynie na odcinku około 20 cm warstw stropowych w lewej części modelu przesunięcia nastąpiły w kierunku przeciwnym.

Był to niewątpliwie wpływ dużego kąta nachylenia warstw, który spowodował na tym odcinku ślizganie się warstw zgodnie z upadem.

O wiele prościej i zgodnie z przewidywaniami nastąpiły przesunięcia poziome po fazie V i V', tzn. w obu częściach modelu w kierunku do szybu.

Zmiany przesunięć spowodowały więc wychylenia osi szybowej w kierunku frontu eksploatacji, przy eksploatacji w górnej części pokładu w prawo, a przy eksploatacji w dolnej części pokładu w lewo (w mniejszym stopniu). Z tego powodu oś szybu nie wróciła całkowicie do pierwotnego położenia. W momencie dochodzenia linii frontu eksploatacyjnego do prawej (również i lewej) granicy kostki, wystąpiły znaczne siły ścinające (przebiegająca linii krzywych zwłaszcza fazy III i III'), których wartości maksymalne przypadają w miejscu przecięcia się pokładu z szybem (głębokość Z = 56 i 80 cm).

Jeśli chodzi o pionowe przemieszczenie punktów po wybraniu kostki przyszybowej – pomiary wykazały, że jej wpływ na przemieszczenia pionowe był nie duży. Największe ugięcia (nie wielkiej wartości) miały miejsce bezpośrednio nad kostką przyszybową. Ogólnie biorąc w całym modelu po każdej fazie eksploatacji osiadania warstw nad wybraną częścią pokładu były podobne.

Największe osiadanie miało miejsce nad wybraną częścią pokładu, które w sposób gwałtowny malało w warstwach nad wspornikiem (nie wybraną częścią pokładu, wybieraną w fazach III i III' V i V' – rys. 14, 14, 17, 19).

Biorąc pod uwagę odpowiadające tym przesunięciom przemieszczenia pionowe warstw w miarę zwiększania wysokości nad wybraną przestrzenią w całym badanym profilu, wyraźnego malenia wielkości osiadania nie zauważono, za to wyraźnie zaznaczał się zasięg wpływu deformacji. Po fazie III i III' (po dojściu

frontu eksploatacji do prawej granicy kostki), sumaryczne wielkości osiadań wyrównywały się nad całym wybranym pokładem w prawej części modelu. Zjawisko to zachodziło również w części lewej po fazie V i V', osiągając sumaryczne wartości osiadania warstw nadległych "równe" przesunięciom w części prawej. Skok przesunięć pionowych następował między fazami: II a III, II' a III' w prawej części modelu i między fazami IV a V, IV' a V' w części lewej tj. po wybraniu wsporników pokładów w wymienionych fazach (rys. 9, 11, 14, 17, 19).

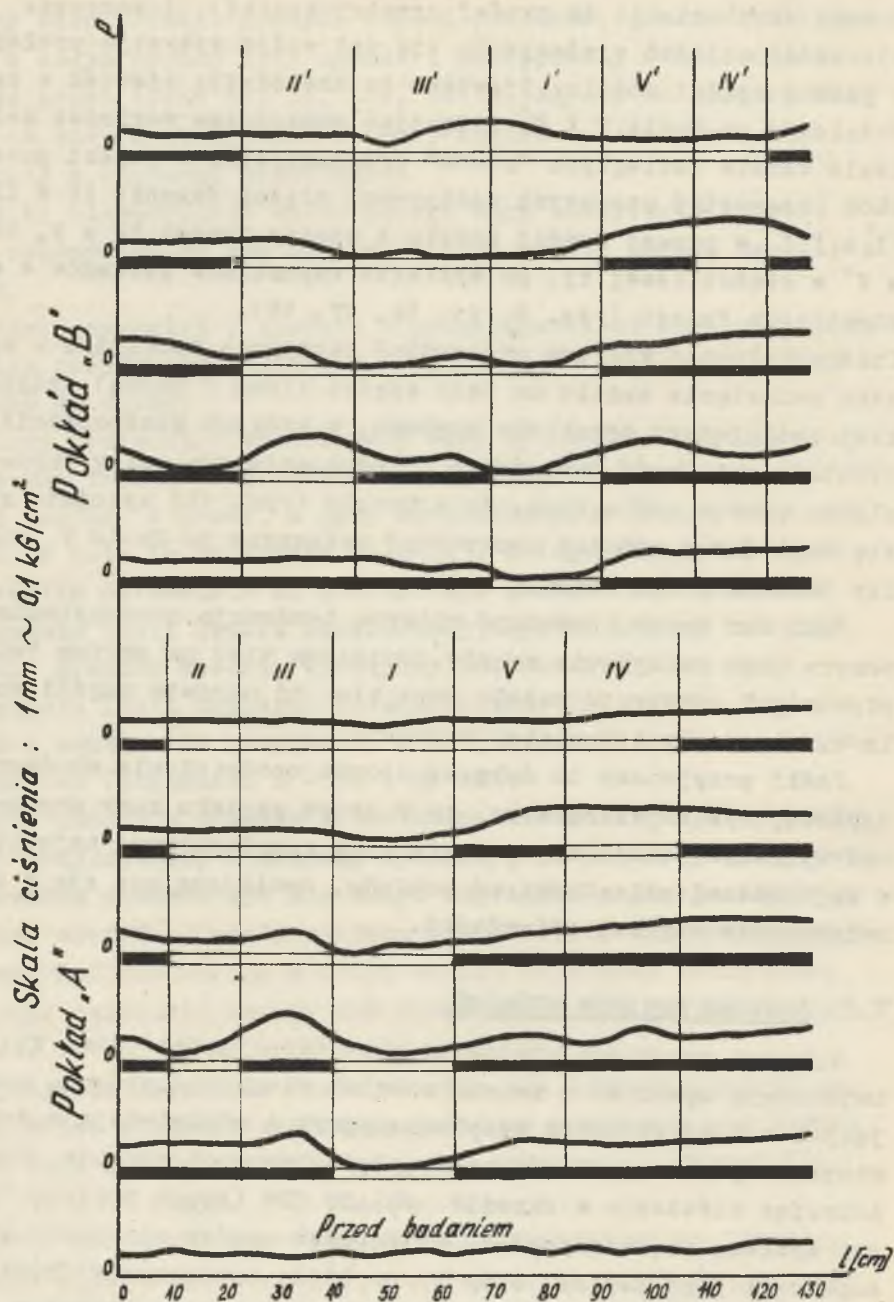
Zniekształcenie wykresu przesunięć pionowych nastąpiło w wyniku przecięcia modelu na dwie części (lewą i prawą), płytami imitującymi wyrobisko szybowe, w których płaszczyźnie istniała możliwość swobodnego przesunięcia się całego kompleksu warstw nadległych. Na wykresie (rys. 15) wyraźnie rzuca się fakt dużej różnicy przesunięć zwłaszcza po fazie V między jedną a drugą częścią modelu.

Fakt ten można tłumaczyć większą tendencją przechylania się warstw (kąt nachylenia warstw zmniejsza się) na skutek "elastycznego" podparcia modelu oraz tym, iż obydwie części modelu nie tworzyły jednolitej całości.

Jeśli przyjmiemy iż dobrany sposób upodatkowania obudowy szybowej był najwłaściwszy, to w całym odcinku rury szybowej nad wybranym pokładem, wystąpią siły rozciągające; największe w najbliższej odległości od pokładu, zmniejszające się w miarę zwiększania się tej odległości.

7.2. Analiza wyników ciśnień

Wykresy przebiegu ciśnienia eksploatacyjnego (rys. 17) potwierdzają zgodność z teorią ciśnień eksploatacyjnych, panujących nad wyrobiskiem eksploatacyjnym i odpowiadają w dużym stopniu wynikom pomiarów przesunięć pionowych punktów. Rozpatrując ciśnienie w stropie pokładu "B" (spągu pokładu "A"), nad wybraną częścią pokładu występował spadek ciśnienia aż do zupełnego jego zaniku, a za to na linii zatrzymania frontu eksploatacyjnego ciśnienie wzrastało, osiągając normalny stan naprężeń w dalszej odległości.



Rys. 17. Wykresy przebiegu ciśnienia pod wpływem eksploatacji pokładu pierwszego i drugiego

Z wykresu ciśnień można wnioskować, iż w wypadku nie updatnienia obudowy w pobliżu przecięcia się pokładu z szybem wystąpiłyby niszczące siły ściskające, które w wyższych horyzontach szybu przybrałyby wartości ujemne (rozciąganie).

To samo dotyczyłoby odcinka rury przyszybowej poniżej wybieranego pokładu. Potwierdzeniem tego wniosku może być zauważalne, (choć niedużej wartości) wyciskanie spągu.

O ile wykres przebiegu ciśnienia eksploatacyjnego nie wymagał bliższej analizy, to analiza przebiegu ciśnienia bocznego na obudowę szybu (rys. 18) jest bardziej skomplikowana i wymaga większej wnikliwości.

Z wykresu wynika iż po wybraniu kostki przyszybowej nastąpił w jej strefie (długości równej ok. długości rzutu bocznego wybranej kostki na szyb) spadek ciśnienia nawet do zera a zwiększone z tego powodu ciśnienie przejmowały dalsze partie górotworu i obudowa szybu w otoczeniu kostki przyszybowej.

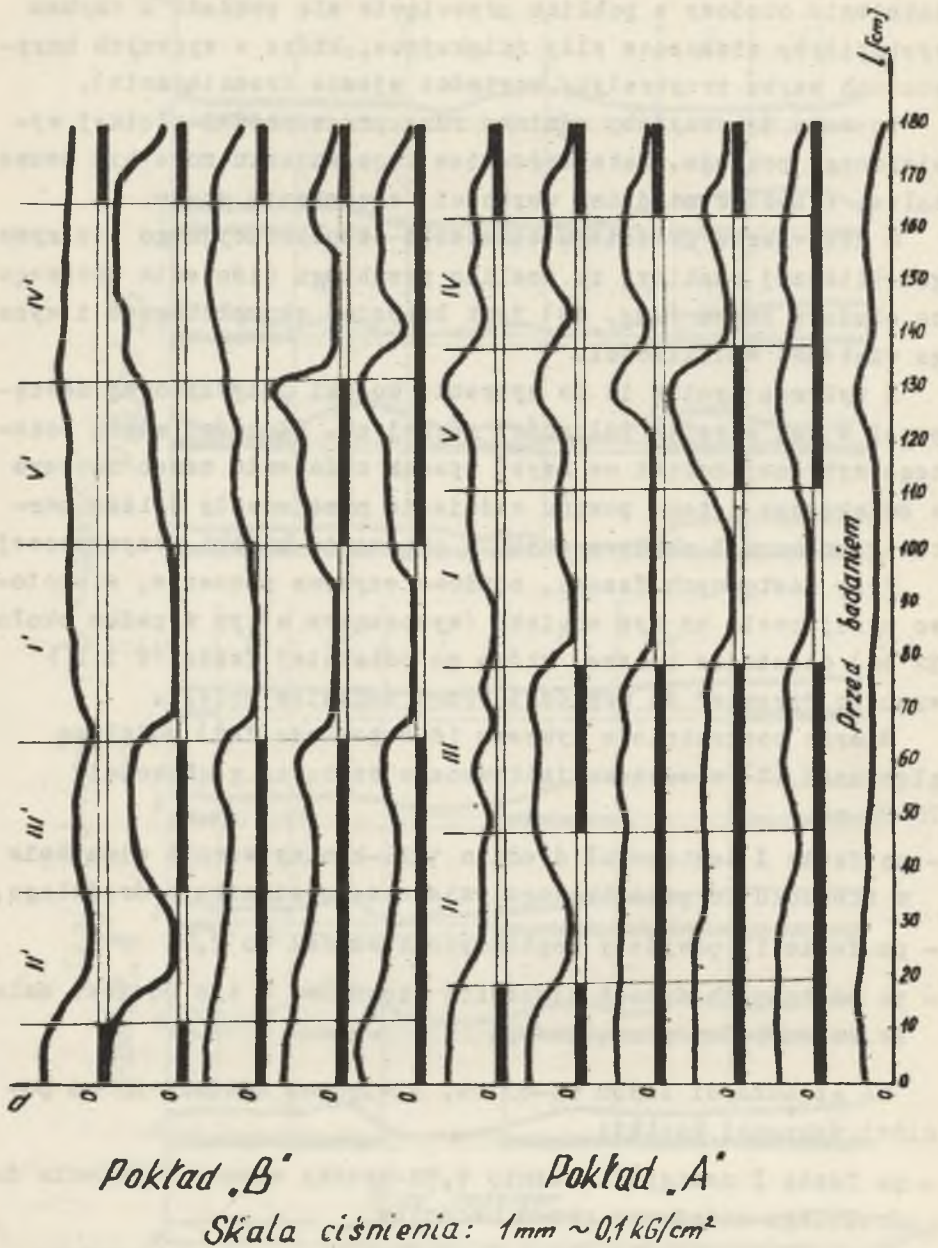
Przy następnych fazach, obudowa szybowa ponownie, stopniowo przejmowała na tym odcinku (wynoszącym w tym wypadku około 22 cm) ciśnienie boczne, które po ostatniej fazie (V i V') wracało "prawie" do wartości przed badaniem modelu.

Biorąc konkretnie z wykresu (dla pokładu "A") modelową głębokość (Z) w odcinku imitowanego szybu na głębokości 20-30 cm.

- po fazie I następował średnio 1,26-krotny wzrost ciśnienia w stosunku do początkowego zmierzonego ciśnienia średniego,
- po fazie II powyższy współczynnik wzrósł do 2,0,
- po następnych fazach ciśnienie stopniowo w tym odcinku malało do wartości początkowej,

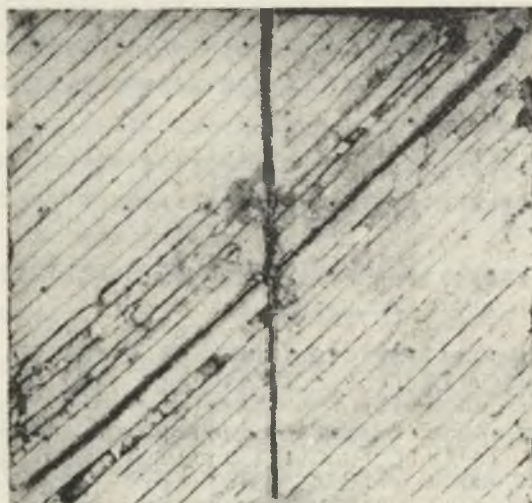
Na głębokości szybu 63-83 cm, a więc na odcinku 20 cm poniżej wybranej kostki:

- po fazie I nastąpił średnio 1,18-krotny wzrost ciśnienia do średniego ciśnienia przed badaniem,
- po fazie II i III średnie ciśnienie boczne w tym odcinku nieco spadło,



Rys. 18. Wykres przebiegu ciśnienia boaznego na obudowę szybu

- ponownie wzrosło po fazie IV - 1,70-krotnie w stosunku do stanu początkowego (podobnej wielkości) ciśnienie wystąpiło po tej fazie niżej tj. od głębokości 83 cm.



Rys. 19. Zachowanie się warstw po wybraniu pokładu pierwszego i drugiego

Po fazie V można uznać, iż rozkład i wielkości ciśnienia bocznego był podobny do stanu przed badaniem. O wiele bardziej nierównomierny rozkład ciśnienia nastąpił przy wybraniu pokładu "B". Widać tu wyraźny, ponowny wpływ eksploatacji górnego pokładu "A".

Ciśnienie na omawianym już odcinku szybu na głębokości 20-40 cm powiększonym do głębokości 50 cm, osiągnęło po fazie II' wartość zbliżoną do poprzedniej tzn. po fazie II.

Poza tym powyżej "kostki przyszybowej" po fazach III':IV i V ciśnienie utrzymywało się w granicach (lub poniżej) ciśnienia przed badaniem z wyjątkiem odcinka na głębokości 56-80 cm (faza V'). Wystąpił tu jego wzrost po spadku ciśnienia na rurę szybową w odcinku poniżej kostki przyszybowej. Ogólnie, rozkład i wielkość ciśnień poniżej wybranej kostki miały podobny przebieg jak w przypadku pokładu "A".

Można przypuszczać, że podane tutaj wartości zmian ciśnienia bocznego z powodu wspomnianego podziału modelu na dwie części, odbiegają poważnie od zmian jakie zachodziłyby w przypadku modelu pozbawionego tej wady. Niemniej jednak wskazują one, że przy eksploatacji pokładów stromych, wpływy eksploatacji na zmiany ciśnienia bocznego na obudowę szybu, będą o wiele większe, aniżeli przy pokładach poziomych.

Przy tym należy się liczyć ze znacznie zwiększonymi ciśnieniami tak nad miejscem przecięcia się szybu z pokładem jak i pod nim.

Wpływ eksploatacji będzie tym większy im bliżej znajdował się będzie front eksploatacyjny.

Z drugiej strony należy się liczyć ze wzrostem ciśnienia bocznego na obudowę szybu w partiach skał mocnych i sztywnych zalegających wśród skał słabszych, bowiem na omawianym wyżej odcinku 20-40 cm w miejscu gdzie po każdej fazie eksploatacji istniały zwiększone ciśnienia (na głębokości ok. 30-40 cm) w modelu znajdowała się mooniejsza, od pozostałych warstw budujących model.

8. Porównanie wyników badań z niektórymi przykładami prowadzonej eksploatacji w filarach ochronnych szybu

Dla porównania wyników badań modelowych, wzięto pod uwagę głównie dwa przykłady eksploatacji pokładów węgla w filarach szybowych z dotychczasowej praktyki. Ponadto rozpatrzono kilka innych przykładów dla których analiza wyników badań wykryła zjawiska odpowiadające w przybliżeniu jednemu lub drugiemu z przykładów.

Przykład I

Kopalnia "H" prowadziła eksperymentalną eksploatację pokładu węgla w filarze ochronnym szybu "S".

Pokład 405 zalegał na głębokości 350 m o nachyleniu 6° i grubości 6,5 m. W nakładzie zalegały łupki piaszczysto-ilaste i piaskowce. Badania zostały przeprowadzone podczas wybierania dolnej warstwy pokładu grubości 3 m systemem ścianowym poprzecz-

nym z podsadzką hydrauliczną. W miejscu przecięcia się rury szybowej z pokładem, upodatniono obudowę szybu za pomocą drewnianych stosów.

Po upodatnieniu obudowy szybu, przystąpiono do wybierania "kostki przyszybowej" o wymiarach 30x46 m, na ośią grubość pokładu kolejnymi warstwami.

Zaobserwowano zjawiska:

1. W chwili rozpoczęcia eksploatacji pokładu 405 w obrębie filaru ochronnego szybu, na skutek wcześniejszej eksploatacji tego pokładu poza granicami filaru uformowała się na powierzchni niecka w odległości 170 m od szybu, na południowy zachód.
2. W miarę postępu frontu eksploatacyjnego w głąb filaru ochronnego stwierdzono wyraźne przesunięcie się dna niecki za postępującą eksploatacją. Brzeg niecki osiadania na powierzchni przemieścił się wyraźnie przez rejon wylotu szybu gdy front wybierania zajął położenie 70 m od szybu.
3. Wpływ przemieszczającej się niecki w górotworze uwidocznił się w intensywniejszym osiadaniu punktów w szybie.
4. Osiadanie i odkształcenia pionowe w rurze szybowej a zwłaszcza w jej dolnym odcinku do wysokości około 50 m nad pokładem nastąpiły już wcześniej tj. po wybraniu kostki przyszybowej. Pou wpływem wybrania kostki nastąpiło również nieznaczne wypiętrzenie spagu.
Odkształcenia pionowe w szybie (rozciągania) pod wpływem wybierania kostki osiągnęły największe wartości plus 2 mm na metr w obudowie oraz plus 1 mm/m w górotworze za obudową. Przy zbliżaniu się frontu eksploatacji do szybu na odległość mniejszą niż 50 m, w szybie zaczęły występować większe osiadania i naprężenia rozciągające, sięgające do wysokości 75 m, a potem do 125 m nad pokładem. Rosły również wypiętrzenia spagu.
5. Punkty ustabilizowane w górotworze i obudowie szybu wykazywały wyraźne różnice w osiadaniu. Przy czym osiadanie górotworu było intensywniejsze niż obudowy. Zjawisko to obser-

wowano do głębokości 50 m od powierzchni. Powyżej tej głębokości do wylotu szybu nie miało ono miejsca.

6. Wyniki obserwacji nie wykazały niewątpliwych poziomych przesunięć osi i obudowy szybu w kierunku eksploatowanej przestrzeni (mieszczą się one w zasadzie w granicach błędów pomiarowych).

Z całą pewnością stwierdzono tylko przesunięcie szybu u zrębu (40 mm). Na poz. 167 m stwierdzono prawidłowe formowanie się w górotworze wyraźnej nieoki osiadania z którą związane były niewielkie odkształcenia poziome rury szybowej.

Przykład II

W filarze ochronnym szybu "J" w Zagłębiu Dolnośląskim eksploatowano pokład zalegający na głębokości 520 m, o nachyleniu 20° i grubości 1,9 m. Górotwór budowały utwory karbonu produktywnego (łupki piaszczyste, zlepieńce) o charakterze plastycznym. Eksploatację prowadzono 4 ścianami z zastosowaniem podsadzki pneumatycznej prowadzonymi po rozciągłości w kierunku do granic filaru ochronnego od pasa o szerokości 30 m wybranego po wzniosie.

W przykładzie II w porównaniu z przykładem I stwierdzono:

1. Wystąpienie większego osiadania górotworu, co było powodem wpływu eksploatacji poprzedniej i zastosowanej podsadzki pneumatycznej.
2. Powyżej strefy rozciągania, wystąpiła strefa niegroźnych naprężeń ściskających, które po ukończeniu eksploatacji objęły całą rurę szybową.
3. Nastąpiło wyraźne wychylenie się osi szybu (0,52 m) w wyniku wpływu poprzedniej eksploatacji.

W miarę rozwoju eksploatacji oś szybu wykazywała tendencję powrotu do pierwotnego położenia.

Powyższe zjawiska stwierdzono również podczas przeprowadzonych badań modelowych z tym, że długość strefy zagrożonej szybu przy dużych nachyleniach warstw budujących górotwór, wydaje się być stosunkowo o wiele większa i większy będzie odcinek zagrożenia poniżej punktu przecięcia się szybu z pokładem.

Nie można porównać wpływu oisnienia bocznego, ponieważ w dotychczasowej praktyce nie prowadzono eksploatacji pokładów w filarze ochronnym szybu o tak dużym nachyleniu warstw, jak w przypadku badań tzn. 45° , a w analizowanych przypadkach w podanych przykładach nie był rozpatrywany w ogóle wpływ oisnienia bocznego na uszkodzenia obudowy szybu. Przy eksploatacji po wzniosie lub upadzie odpowiedniemu przesunięciu frontu eksploatacji, odpowiadać będzie duża różnica zmiany wysokości (duży kąt nachylenia).

Ponieważ osiadanie warstw zależne jest od głębokości, w nadległych warstwach górotworu będą duże różnice osiadań, które w rezultacie będą mieć duży wpływ na wielkość i zasięg odkształceń.

9. Wnioski końcowe

Z analizy wyników badań modelowych można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Strefa wpływów eksploatacji pokładów o dużych kątach nachylenia w filarach szybowych na obudowę szybu, będzie o wiele większa niż przy poziomym zaleganiu pokładu w tych samych warunkach geologiczno-górnicznych i będzie wynikiem "sumowania się" przesunięć pionowych i poziomych górotworu.

2. W strefie tych wpływów wyróżnić można odcinki rury szybowej nad i pod miejscem przecięcia się wybieranego pokładu z szybem, w których następuje działanie szkodliwych sił niszczących obudowę. Długość poszczególnych odcinków zależna będzie w dużym stopniu od kąta nachylenia pokładu.

3. Oprócz sił pionowych (rozciągających), których wielkość zależna będzie od różnic osiadania górotworu i obudowy, duże znaczenie będą mieć zmiany oisnienia bocznego na obudowę szybu (przenieszczenie się warstw względem siebie, deformacje poziome górotworu, odległość frontu eksploatacji od szybu).

4. Duże znaczenie mieć będzie wielkość wychylenia osi szybowej z pionowego położenia (początkowego), wynikająca z różnic osiadania górotworu i jego przesunięć poziomych względem obudowy szybu.

5. Wybranie kostki przyszybowej nie powoduje w początkowej fazie naruszenia spoiwości skał stropowych, lecz tylko ich łagodne ugięcie. Znaczenie mieć będą wymiary kostki i jej usytuowanie w stosunku do środka szybu. Z chwilą zetknięcia się frontu eksploatacyjnego z granicą kostki przyszybowej, następuje gwałtowny wzrost deformacji górotworu.

6. Wybranie kostki przyszybowej powoduje znaczne zwiększenie się ciśnienia bocznego na obudowę szybu na jej krótkich odcinkach powyżej i poniżej kostki.

7. Dla zmniejszenia wpływu zjawisk wymienionych w punktach 1-6 wskazane jest:

- eksploatację pokładów w filarze szybowym i poza nim prowadzić czysto (bez pozostawiania wysp) z zastosowaniem szczelnej podsadzki hydraulicznej,
- eksploatację w filarze szybowym prowadzić dwuskrzydłowo w taki sposób i przy takim ułożeniu linii frontu eksploatacji w stosunku do osi szybu, aby nie powodować zbyt dużych szkodliwych przesunięć poziomych i wychylenia osi szybu od pionu,
- odpowiednio zsynchronizować eksploatację pokładu w filarze z wybieraniem kostki przyszybowej i eksploatacją pokładów poza filarem,
- w miejscu przecięcia się pokładu z obudową szybu, wykonać odpowiednie upodatnienie obudowy i urządzeń szybowych,

8. Dla ściślejszego rozeznania wpływu eksploatacji pokładów o dużym kącie nachylenia (w filarze ochronnym) na obudowę szybu, należałoby przeprowadzić jeszcze szereg badań dla różnych kątów nachylenia warstw i różnych profilów geologicznych górotworu.

ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД И ХОД ДАВЛЕНИЙ
НА КРЕПЬ ГОРНОГО СТВОЛА ПРИ РАЗРАБОТКЕ
ПЛАСТОВ В ОХРАННЫХ ЦЕЛИКАХ В СВЕТЕ
ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Р е з ю м е

В работе представлено способ и ход модельных исследований по деформации горных пород при разработке пластов, наклоненных под углом 45° в охранных целиках горного ствола. Представлено конфигурацию бокового давления на крепь горного ствола. Приведено сравнения величин, полученных в процессе исследований, с величинами, получаемыми на практике в похожих условиях. В заключение приводятся конечные выводы.

DISPLACEMENT OF OROGENESIS AND THE COURSE
OF PRESSURES ON THE SHAFT LINING IN THE COAL
PILLAR BEDS EXPLOITATION - AS REFLECTED BY
LABORATORY INVESTIGATIONS

S u m m a r y

In the paper a way and course of model investigations concerning orogenesis deformation in bed exploited under 45° angle in the shaft coal pillar have been given. Further, the shaping of lateral pressure on the shaft lining has been presented. The quantities obtained by means of investigations had been compared with those obtained in working practice under similar conditions. The final conclusions were given at the end of the paper.