

Mirosław SHUDEK, Witalij IWASZCZENKO

BADANIA MODELOWE NAD WPŁYWEM GŁĘBOKOŚCI NA ODKSZTAŁCANIE SKAŁ  
I NAPRĘŻENIA W OTOCZENIU WYROBIŚK ŚCIANOWYCH

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono wyniki kilkuletnich badań modelowych nad wpływem głębokości eksploatacji na wielkość i przebieg stanów deformacyjno-naprężeniowych w otoczeniu prowadzonej eksploatacji pokładu. Podano graficznie wpływ głębokości na: przebieg osiadania stropu zasadniczego, wielkość i przebieg ciśnienia eksploatacyjnego, wyślinkanie spągu oraz wpływ na szerokość przestrzony wyeksploatowanej, przy której uzyskiwano pierwszy zawał.

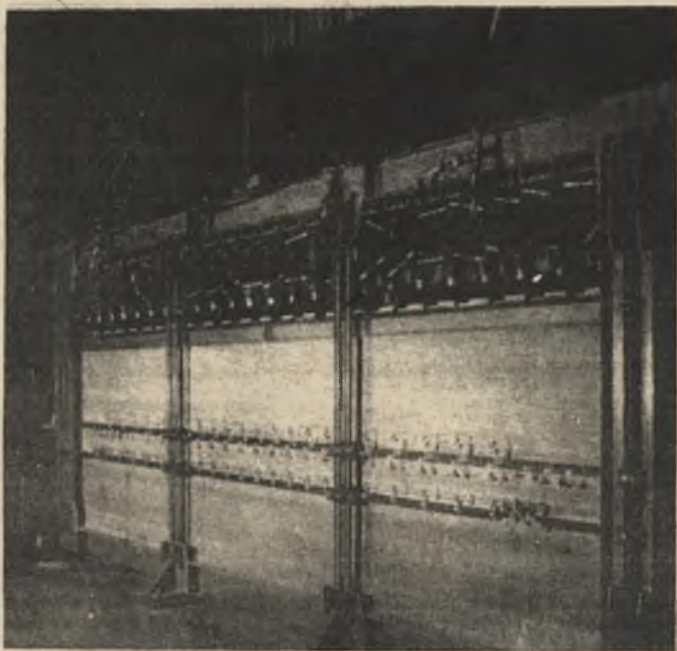
1. Przedmiot, zakres badań i sposób prowadzenia pomiarów

Stan deformacyjno-naprężeniowy w otoczeniu wyrobisk wybierkowych (ścianowych) zależy od wielu czynników. Z podstawowych wymienić należy: głębokość, na której rozpatruje się to zjawisko, własności fizykomechaniczne i reologiczne, skał w nadkładzie, sposób kierowania stropem, prędkość postępu frontu eksploatacyjnego, grubość eksploatowanego pokładu (warstwy), podporność obudowy i szerokość przedziału roboczego oraz czas.

Lp	Profil	Rodzaj skały	Miąższość w-wy naturala (m) model	
1		łupek płaszczysty	12,0	0,40
2		piaskowiec	1,5	0,05
3		łupek twardy	1,5	0,05
4		piaskowiec	6,0	0,20
5		łupek twardy	3,0	0,10
6		węgiel	1,5	0,05
7		łupek twardy	1,5	0,05
8		łupek płaszczysty	3,0	0,10
9		piaskowiec	3,0	0,10
10		łupek płaszczysty	12,0	0,40

Rys. 1. Profil litologiczny

Do badań modelowych wyznaczono typowy profil geologiczny dla Zagłębia Górnośląskiego i Donieckiego (rys. 1), a badania prowadzono w Instytucie Projektowania, Budowy Kopalń i Ochrony Powierzchni Politechniki Śląskiej, w stoisku badawczym pokazanym na rys. 2. Badaniami objęto głębokość do 600 m i eksploatację pokładu o grubości 1,5 m, eksploatowanego z prędkością postępu frontu eksploatacyjnego 3,6 m/dobę na zawał z hydrauliczną obudową zmechanizowaną. Dla uchwycenia wpływu głębokości na przebieg i wielkość odkształceń górotworu i naprężeń w otoczeniu wyrobiska ścianowego w badaniach zmieniano tylko głębokość eksploatacji, przy zachowaniu wszystkich zasad podobieństwa modelowego.



Rys. 2. Stoisko badawcze

Składnikami modelu tworzącego górotwór (rys. 1) były: szkło wodne sodowe, pył żużla żelazochromowego "chromalit", piasek kwarcowy, woda, mika. Skład ilościowy mieszanin ekwiwalentnych, własności materiałów ekwiwalentnych oraz skał w naturze podają tablice 1,2,3. Parametry zastosowanej modelowej, zmechanizowanej obudowy podano w tablicy 4. Schemat rozmieszczenia i umieszczenia ozujników pomiarowych w modelu podaje (rys. 3).

Tablica 1

Rodzaj skały	Charakterystyka skał w naturze					
	m	$R_o$	$R_r$	$R_g$	E	$\nu$
		$N/m^2$	$n/m^2$	$N/m^2$	$N/m^2$	-
Łupek piaszczysty	12	$441 \cdot 10^5$	$49 \cdot 10^5$	$98 \cdot 10^5$	$(235 \div 353) \cdot 10^8$	$0,2 \div 0,25$
Piaskowiec	1,5	$785 \cdot 10^5$	$882 \cdot 10^5$	$157 \cdot 10^5$	$(147 \div 392) \cdot 10^8$	$0,2 \div 0,25$
Łupek ilasty	1,5	$294 \cdot 10^5$	$343 \cdot 10^5$	$685 \cdot 10^5$	$(147 \div 294) \cdot 10^8$	$0,2 \div 0,25$
Piaskowiec	6	$785 \cdot 10^5$	$882 \cdot 10^5$	$157 \cdot 10^5$	$(147 \div 392) \cdot 10^8$	$0,2 \div 0,25$
Łupek ilasty	3	$294 \cdot 10^5$	$343 \cdot 10^5$	$685 \cdot 10^5$	$(147 \div 294) \cdot 10^8$	$0,2 \div 0,25$
Węgiel	1,5	$147 \cdot 10^5$	$167 \cdot 10^5$	$294 \cdot 10^5$	$(118 \div 195) \cdot 10^8$	$0,2 \div 0,3$
Łupek ilasty	1,5	$294 \cdot 10^5$	$343 \cdot 10^5$	$685 \cdot 10^5$	$(147 \div 294) \cdot 10^8$	$0,2 \div 0,25$
Łupek piaszczysty	3	$441 \cdot 10^5$	$49 \cdot 10^5$	$98 \cdot 10^5$	$(235 \div 353) \cdot 10^8$	$0,2 \div 0,25$
Piaskowiec	3	$785 \cdot 10^5$	$882 \cdot 10^5$	$157 \cdot 10^5$	$(147 \div 392) \cdot 10^8$	$0,2 \div 0,25$
Łupek piaszczysty	12	$441 \cdot 10^5$	$49 \cdot 10^5$	$98 \cdot 10^5$	$(235 \div 353) \cdot 10^8$	$0,2 \div 0,25$

Tablica 2

Rodzaj skały	Charakterystyka skał w modelu					
	m	$R_o$	$R_r$	$R_g$	E	$\nu$
		$N/m^2$	$N/m^2$	$N/m^2$	$N/m^2$	-
Łupek piaszczysty	0,40	$10,3 \cdot 10^5$	$1,14 \cdot 10^5$	$2,28 \cdot 10^5$	$(550 \div 825) \cdot 10^6$	$0,2 \div 0,25$
Piaskowiec	0,05	$18,2 \cdot 10^5$	$2,06 \cdot 10^5$	$3,66 \cdot 10^5$	$(343 \div 915) \cdot 10^6$	$0,2 \div 0,25$
Łupek ilasty	0,05	$6,86 \cdot 10^5$	$0,805 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^5$	$(343 \div 685) \cdot 10^6$	$0,2 \div 0,25$
Piaskowiec	0,20	$18,2 \cdot 10^5$	$2,06 \cdot 10^5$	$3,66 \cdot 10^5$	$(343 \div 915) \cdot 10^6$	$0,2 \div 0,25$
Łupek ilasty	0,10	$6,86 \cdot 10^5$	$0,805 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^5$	$(343 \div 685) \cdot 10^6$	$0,2 \div 0,25$
Węgiel	0,05	$3,43 \cdot 10^5$	$0,392 \cdot 10^5$	$0,685 \cdot 10^5$	$(275 \div 456) \cdot 10^6$	$0,2 \div 0,3$
Łupek ilasty	0,05	$6,85 \cdot 10^5$	$0,805 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^5$	$(343 \div 685) \cdot 10^6$	$0,2 \div 0,25$
Łupek piaszczysty	0,10	$10,3 \cdot 10^5$	$1,14 \cdot 10^5$	$2,28 \cdot 10^5$	$(550 \div 825) \cdot 10^6$	$0,2 \div 0,25$
Piaskowiec	0,10	$18,2 \cdot 10^5$	$2,06 \cdot 10^5$	$3,66 \cdot 10^5$	$(343 \div 915) \cdot 10^6$	$0,2 \div 0,25$
Łupek piaszczysty	0,40	$10,3 \cdot 10^5$	$1,14 \cdot 10^5$	$2,28 \cdot 10^5$	$(550 \div 825) \cdot 10^6$	$0,2 \div 0,25$

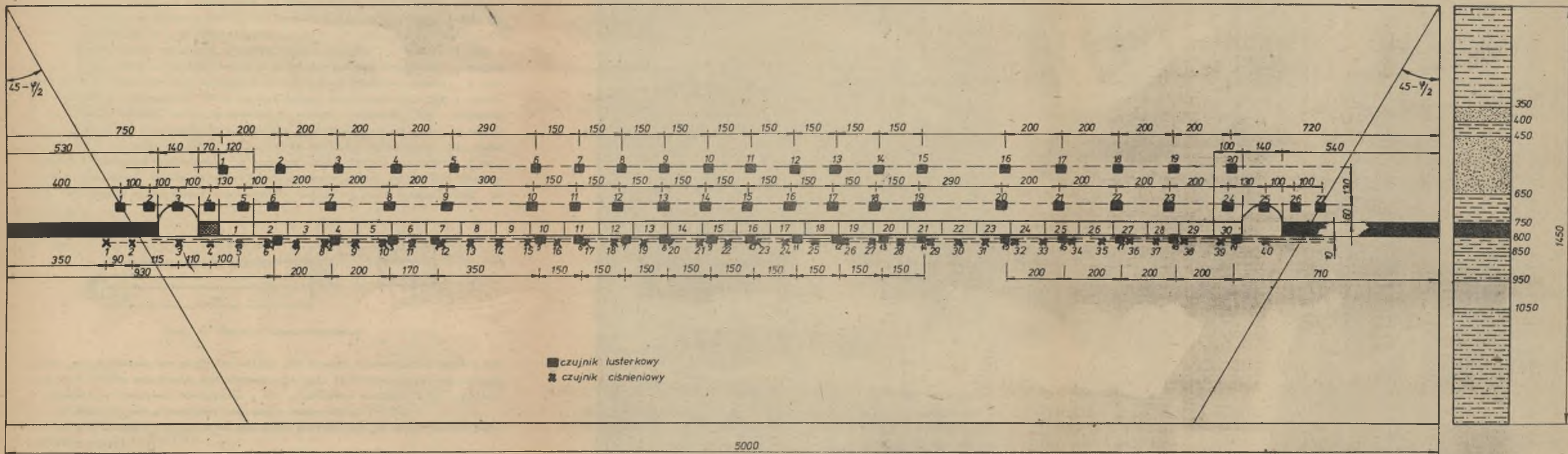
Tablica 3

Rodzaj skały	Procenty wagowe składników mieszania ekwiwalentnych			
	szkło wodne	chromalit	piasek	woda
Lupek piaszczysty	6,4	6,5	84,1	3
Piaskowiec	9,7	6,5	80,8	3
Lupek ilasty	4,3	6,5	86,2	3
Piaskowiec	9,7	6,5	80,8	3
Lupek ilasty	4,3	6,5	86,2	3
Węgiel	1,7	6,5	88,8	3
Lupek ilasty	4,3	6,5	86,2	3
Lupek piaszczysty	6,4	6,5	84,1	3
Piaskowiec	9,7	6,5	80,8	3
Lupek piaszczysty	6,4	6,5	84,1	3

Tablica 4

Dane techniczne	Jednostka	Wielkość
Liczba sekcji	szt.	3
Liczba stojaków w sekcji	szt.	2
Długość stropnicy	m	0,07
Długość spągownicy	m	0,09
Powierzchnia stropnicy	m <sup>2</sup>	0,014
Powierzchnia spągownicy	m <sup>2</sup>	0,018
Wysokość sekcji: min	mm	45
max	mm	55
Podporność robocza stojaka	N	16
Ciśnienie w układzie hydraulicznym	N/m <sup>2</sup>	11,10 <sup>4</sup>
Podporność obudowy	kN/m <sup>2</sup>	6,85
Obciążenia obudowy	N	96

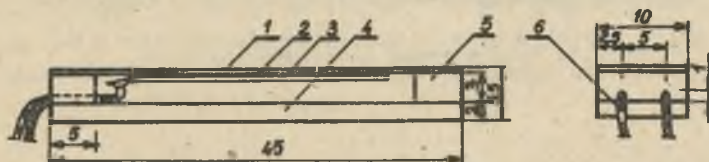
skala 1:10



Rys. 3. Rozmieszczenie czujników lusterkowych i ciśnieniowych  
o - lusterkowych x - ciśnieniowych

Czujniki ciśnieniowe zabudowywano w trakcie budowy modelu w 2 warstwie od spągu pokładu (rys. 3).

Rejestrację ciśnień dokonywano za pomocą czujników tensometrycznych (rys. 4). Czujnik składa się z dwóch płytek stalowych 1 i 4. Płytkę górną 1 wykonana jest z wysokogatunkowej stali sprężynującej (wg PN-61/H-84019). Między płytkami znajdują się dwie kostki dystansowe 5, wykonane z bakelitu. Płytki 1 i 4 z płytkami 5 połączone są klejem "Cjanopol". Płytkę górną 1 odkształca się pod wpływem zmiany obciążenia działającego prostopadle na jej powierzchnię. Po wewnętrznej stronie płytki 1 naklejono za pomocą kleju tensometrycznego 2-oporowy czujnik tensometryczny 3 o bazie 20 mm i oporze około 120Ω. Do tensometru 3 przyłutowano dwa izolowane przewody pomiarowe 6. Cały czujnik zatopiono w specjalnej koszulce gumowej w celu zabezpieczenia tensometru przed uszkodzeniami mechanicznymi, jak i niedopuszczenia do wpływu innych elementów na wyniki pomiarów. Tak wykonany czujnik może być wykorzystany do pomiaru naprężeń normalnych w stosunku do płytki 1 czujnika wewnątrz modelu. Siła normalna działająca na górną blaszkę 1 powoduje jej ugięcie, a zarazem odkształcenie tensometru i zmianę jego oporności, którą rejestruje elektryczny mostek pomiarowy. Mierzając wielkość zmiany oporu możemy rejestrować zmiany ciśnień działających na czujniki.



Rys. 4. Czujnik tensometryczny

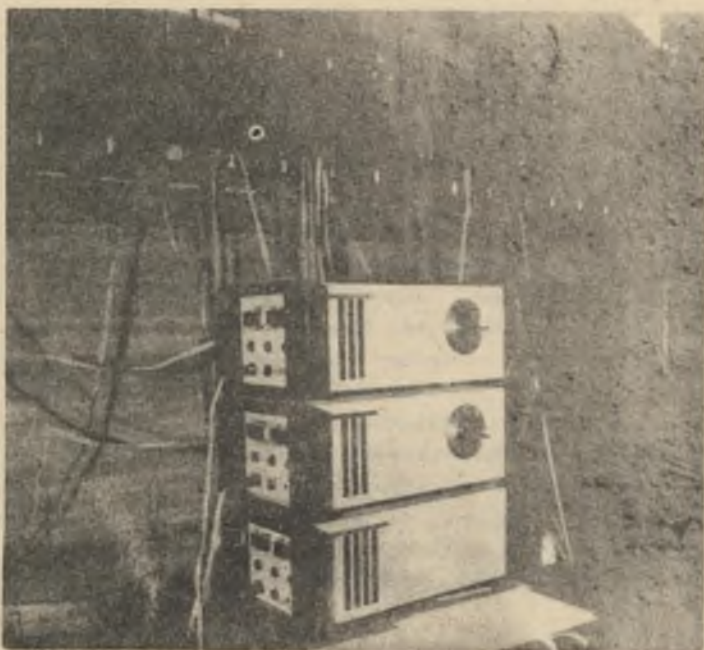
Przed przeprowadzeniem pomiarów należy zabudowane tensometry w modelu wycochować w celu ustalenia ich charakterystyki. Charakterystykę wykonujemy w układzie - przyrost obciążenia  $\Delta P$  a przyrost wskazań  $\Delta W$ , przyjmując za stan zerowy początkowe wskazania tensometru.

Przy przeprowadzaniu właściwych pomiarów przyjmujemy za stan zerowy początkowy odczyt.

Czujniki kompensacyjne zabudowano w próbkach z tego samego materiału ekwiwalentnego co model i znajdowały się one obok modelu.

Pozwoliło to uniknąć wpływu zmian temperatury wokół stoiska badawczego na wyniki pomiarów. Pomiary były wykonywane za pomocą aparatury firmy "Mikrotechna" TSA-63 i PS-63 (rys. 5).

Pomiarów przemieszczeń dokonywano za pomocą czujników lusterkowych (rys. 6).



Rys. 5. Automatyczna aparatura pomiarowa



Rys. 6. Ogólny wy-ląd ozujnika lusterkowego

Po wykonaniu modelu górotworu o profilu jak na rys. 1 powodowano jego sprężenie w celu uzyskania ciśnienia pionowego odpowiedniego dla głębokości  $H = 200 \text{ m}$ ,  $300 \text{ m}$ ,  $400 \text{ m}$ ,  $500 \text{ m}$  i  $600 \text{ m}$ . Po zakończeniu sprężenia modelu (dla danych głębokości) zabudowywano obudowy chodnikowe i ścianową oraz ustawiano ozujniki, lusterkowe tak, żeby skupione światło odbite od lusterek ozujnika padało na odpowiedni punkt ekranu, będący jego pozycją zerową, od której będzie ślędzony jego bieg. Postęę ścianą przyjęto zgodnie z przeciętną prędkością ścian zmechanizowanych równą  $3,6 \text{ m/dobę}$ , co odpowiada  $0,12 \text{ m/godz.}$  w modelu. Obudowa zmechanizowana prowadzona była w ślad za postępującym przodkiem ścianowym. Pomiary ciśnień i przemieszczeń prowadzone były przed każdym kolejnym zabioiem, wynoszącym  $0,12 \text{ mm}$ , a wykonywanym co 1 godzinę. Wyniki pomiarów ozujników ciśnieniowych rejestrowano w odpowiednich tablicach, zaś ozujników lusterkowych na ekranie. Dla sprawdzenia poprawności przygotowania mieszanin ekwiwalentnych dokonano badań wytrzymałościowych próbek z materiałów, z których wykonano poszczególne warstwy modelu.

Badania prowadzono dla: określenia gęstości przestrzennej, wytrzymałości na ściskanie, zginięcie i ścinanie.

Z analizy uzyskanych wyników stwierdzono stosunkowo duże zbliżenie do wartości zamieszczonych w tablicy 3.

Dla łupku ilastego maksymalne rozbieżności wynosiły od  $-12\%$  do  $+11,4\%$ , dla łupku piaszczystego od  $-14,5\%$  do  $+17,5\%$ , zaś dla piaskowca od  $-9\%$  do  $+23\%$ . Na tej podstawie można uznać, że modele zostały wykonane prawidłowo i z wystarczającą dokładnością oddane zostały własności naturalnego górotworu dla przyjętej skali modelowania.

## 2. Przebieg i wyniki badań

### 2.1. Model 1

Badania modelu pierwszego, zaprogramowanego na głębokość  $200 \text{ m}$ , prowadzono w dwóch powtarzających się cyklach modelowych z zastosowaniem obudowy zmechanizowanej o podporności roboczej równej  $6,86 \text{ kN/m}^2$  stropu, co odpowiada rzeczywistej podporności roboczej obudowy zmechanizowanej typu 1 MKM.

Grubość wybieranego pokładu wynosiła  $50 \text{ mm}$ , co w rzeczywistości odpowiada grubości  $1,5 \text{ m}$ . Eksploatację pokładu rozpoczęto od wykonania wcinki, w której zainstalowano obudowę. Wcinka we wszystkich modelach traktowana będzie jako zabiór, a pomiar wykonany w niej będzie pomiarem pierwszym. Z kolei prowadzono systematyczną wybierkę pokładu. Każdy zabiór był wybierany w trzech etapach, tzn. po wybraniu  $1/3$  zabioru przesuwno obudowę itd.

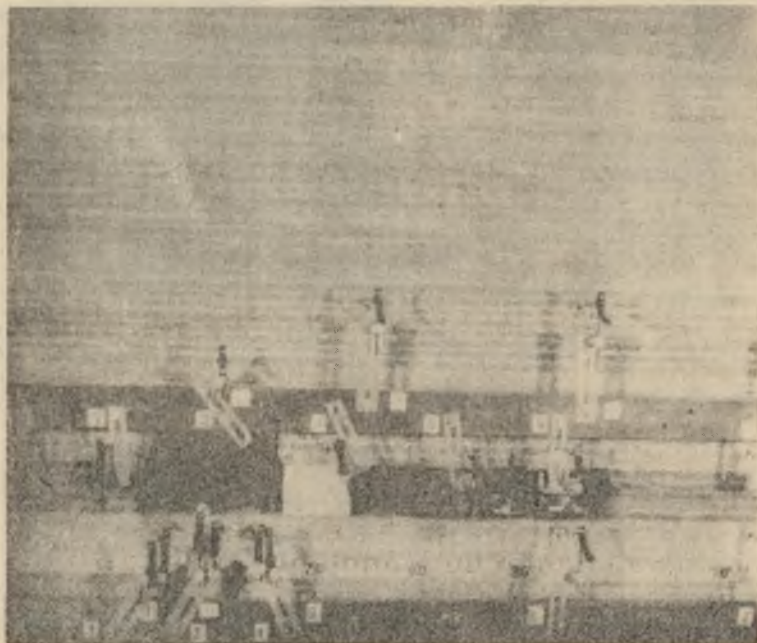
Te trzy etapy wybierania wykonywano co 1 godzinę. Pomiary zdejmowane były przed wybieraniem kolejnego zabioru. Wybierka stanowiąca jeden cykl pro-



wadzona była wzdłuż wybiegu około 1,6 m, tj. aż do ustabilizowania się fali ciśnień eksploatacyjnych.

W celu przedstawienia zebranego materiału pomiarowego w formie wykresów wartości średnich, w trakcie prowadzonych badań zauważono, że w prowadzonej wybijce można wyróżnić dwie fazy związane ze wzrostem ciśnienia i osiadania stropu.

**F a z a p i e r w s z a** - naruszenie stanu równowagi w otaczającym górotworze i zaciskani; wyrobiska z ohwilą wykonania woinki.



Rys. 7. Faza rozruchu śolany - wybrany drugi zabiór

**F a z a d r u g a** - powstanie zawału pełnego.

Po wykonaniu woinki i wybraniu drugiego zabioru nie obserwuje się zmian w stropie (rys. 7).

W trakcie dalszej eksploatacji obserwuje się systematyczne ugięcie stropu bezpośredniego i zasadniczego.

Pierwsze odspojenie warstwy stropu bezpośredniego następuje przy czwartym zabiorze - rys. 8 - na wysokość 7 warstw. Długość zawału wynosi około 38 cm. Przy piątym zabiorze zawałowi ulega strop bezpośredni na całej miąższości - rys. 9. Długość zawału wynosi około 42 cm, a strop bezpośredni



Rys. 8. Faza rozruchu ściany - zawał stropu - zabiór 4



Rys. 9. Faza rozruchu ściany - zawał stropu - zabiór 5

wykazuje tendencję łamania się blokami długości 10 cm. Dalesze wybieranie pokładu powoduje załamywanie się stropu bezpośredniego, zaś strop zasadniczy ulega ugięciu - rys. 10.



Rys. 10. Faza rozruchu ściany - zawał stropu - bezpośredniego - zabiór 8

Długość załamujących się bloków stropu bezpośredniego jest zmienna, dolne warstwy łamią się blokami około 10 cm, zaś górne - blokami długości około 20 cm.

W stropie zasadniczym zaczynają się tworzyć szczeliny pionowe na wysokość 8 warstw.

Przy zabiorze dziewiątym obserwuje się powiększenie zasięgu szczelin pionowych w stropie zasadniczym na wysokość około 20 warstw, co świadczy o tworzeniu się zawału stropu zasadniczego - rys. 11. Ugięcie stropu zasadniczego do momentu pełnego zawału jest pokazane na rys. 12.

Zawał całkowity stropu zasadniczego powstaje przy dziesiątym zabiorze. Od tego momentu wyróżnić można fazę drugą, kiedy powstaje regulowany zawał stropu zasadniczego.

Przy dalszej eksploatacji pokładu strop bezpośredni ulega systematycznemu zawałowi, zaś strop zasadniczy ulega zawałowi średnio około 35 cm - rys. 13.

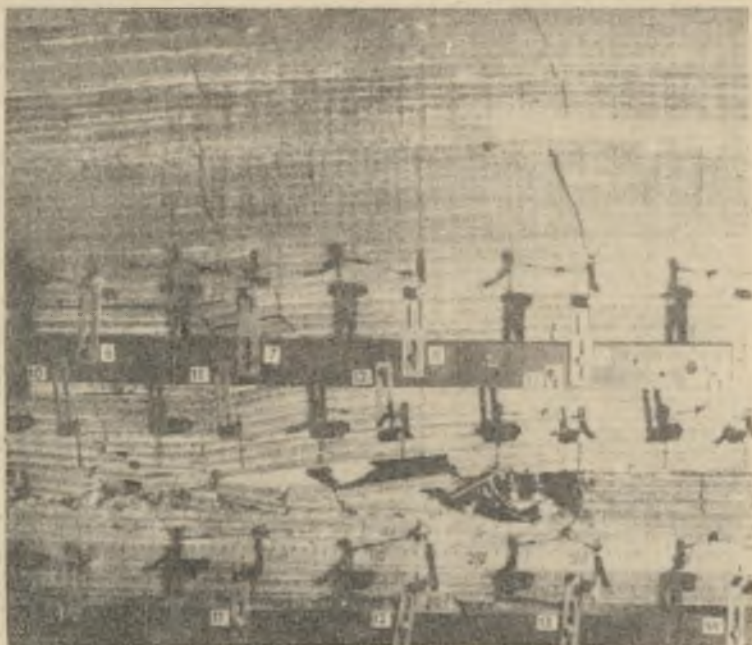


Rys. 11. Faza rozruchu ściany - zawał stropu bezpośredniego - zabiór 9

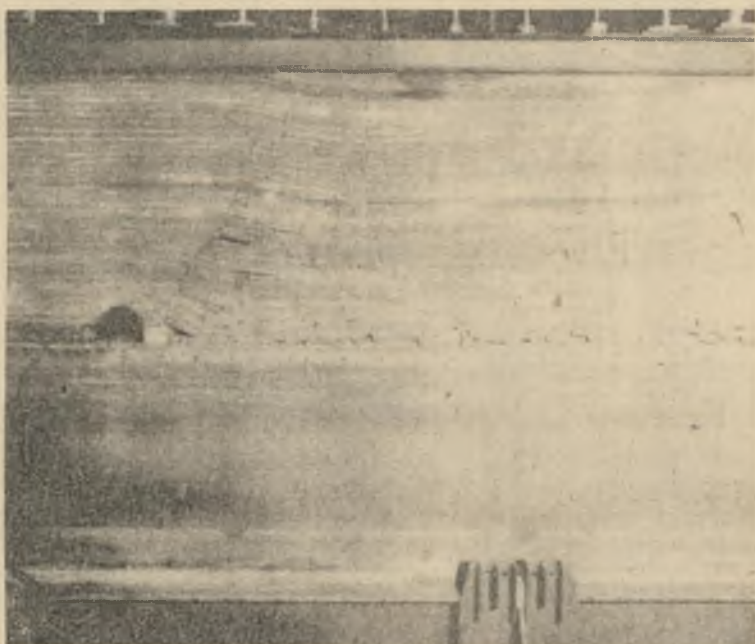


Rys. 12. Wykres osiadania stropu zasadniczego

Rys. 14 przedstawia model po zakończeniu badań. Z rysunku tego można odczytać kąt wpływu eksploatacji, który dla badanego modelu wynosi około  $70^{\circ}$ . Przebieg i wielkość ciśnienia eksploatacyjnego przedstawiono na rys. 37 dla wartości średnich dla kilku oszujników z obu cykli badawczych.



Rys. 13. Zawał polny - zbiór - 10



Rys. 14. Model po zakończeniu eksploatacji (badań)

Zjawisko wyciskania skał spągowych wystąpiło w miejscu wykonania pierwszych zaborów przed wystąpieniem pełnego zawału stropu. Wielkość tego zjawiska przy głębokości 200 m jest jednak trudna do śledzenia ze względu na małe wielkości przemieszczeń.

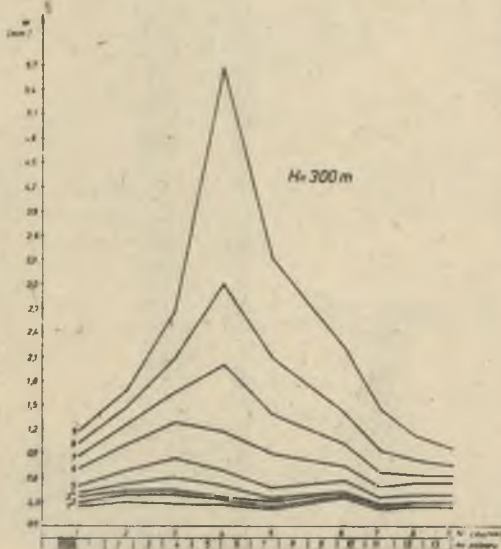
## 2.2. Model 2

Badanie modelu drugiego, zaprogramowanego na głębokość 300 m, prowadzono dla dwóch cykli badawczych.

Podczas badania modelu nie prowadzono dokumentacji fotograficznej. Opisu przebiegu zjawisk związanych z eksploatacją dokonano na podstawie notatek z dziennika modelu.

Po wykonaniu wołki i zabudowaniu obudowy zmechanizowanej prowadzono eksploatację pokładu.

Pierwsze trzy wyeksploatowane zaboru powodują, że strop bezpośredni zaczyna się rozwarstwiać. Pierwsze odpojenie stropu na wysokość 2 warstw nastąpiło po wybraniu czwartego zaboru. W wyższych warstwach tworzą się szczeliny poziome. Kolejne trzy warstwy odpajają się przy eksploatacji piątego zaboru, natomiast w pozostałych pięciu warstwach stropu bezpośredniego tworzy się szczelina pionowa w środku odsłoniętego stropu. Przy szóstym zaborze następuje widoczne rozspajanie się stropu zasadniczego i jego ugięcie, co widoczne jest na rys. 15. Zawał stropu bezpośredniego na całej miąższości zachodzi przy ósmym zaborze. W stropie zasadniczym tworzą się dalsze wyraźne rozwarstwienia poziome, jak i pionowe.



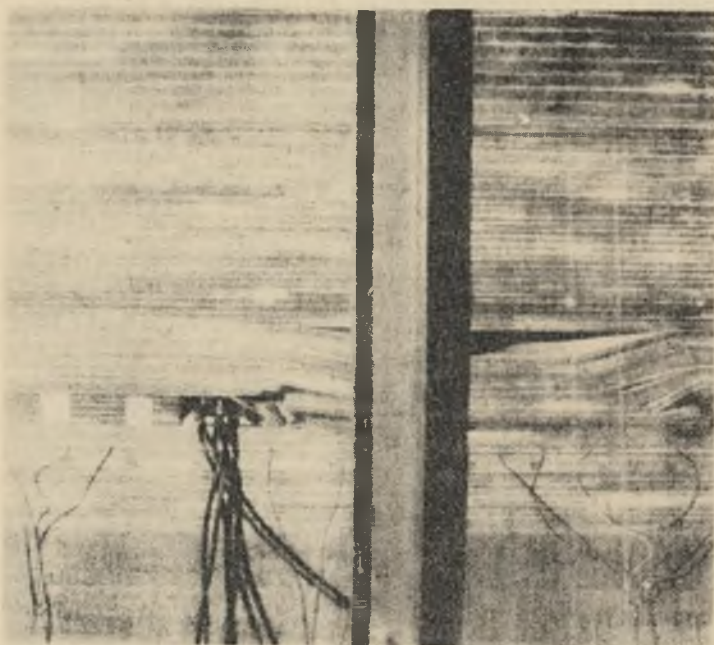
Rys. 15. Wykres osiadania stropu zasadniczego

Zawał stropu zasadniczego następuje przy dziesiątym zaborze. Strop bezpośredni wykazuje tendencję łamania się blokami około 15 cm. Przebieg i wielkość ciśnienia eksploatacyjnego podaje rys. 37. Zjawisko wyciskania skał spągowych występuje w miejscu pierwszych zabiorów przed wystąpieniem pełnego zawału stropu. Wartość jego jest taka sama jak dla modelu 1 i tak samo trudna do śledzenia, ze względu na małe wielkości przemieszczeń.

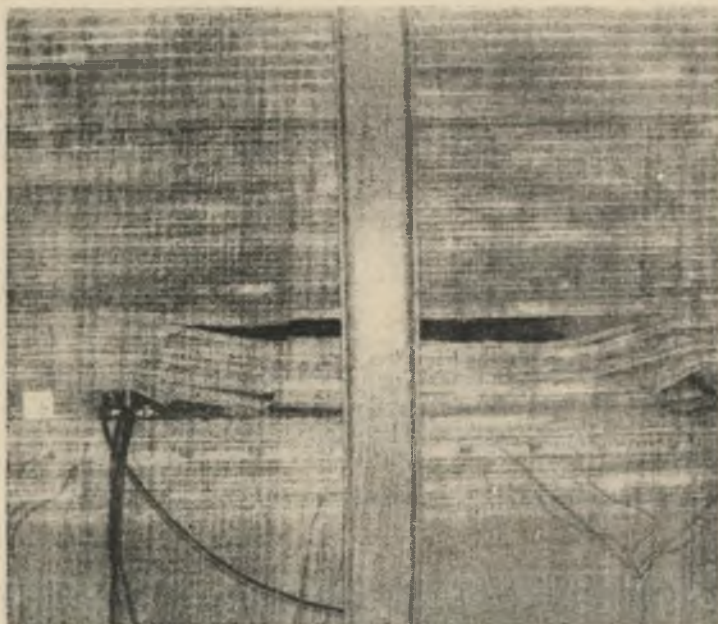
### 2.3. Model 3

Model trzeci programowany na głębokość 400 m badano również, jak poprzednie w dwóch powtarzających się cyklach badawczych. W fazie pierwszej - po wykonaniu wołki i wybraniu drugiego zaboru - nastąpiło lekkie ugięcie stropu bezpośredniego. W trzecim i ósmym zaborze dają się zauważyć powstające szczeliny poziome i pionowe, w trzech warstwach stropu bezpośredniego.

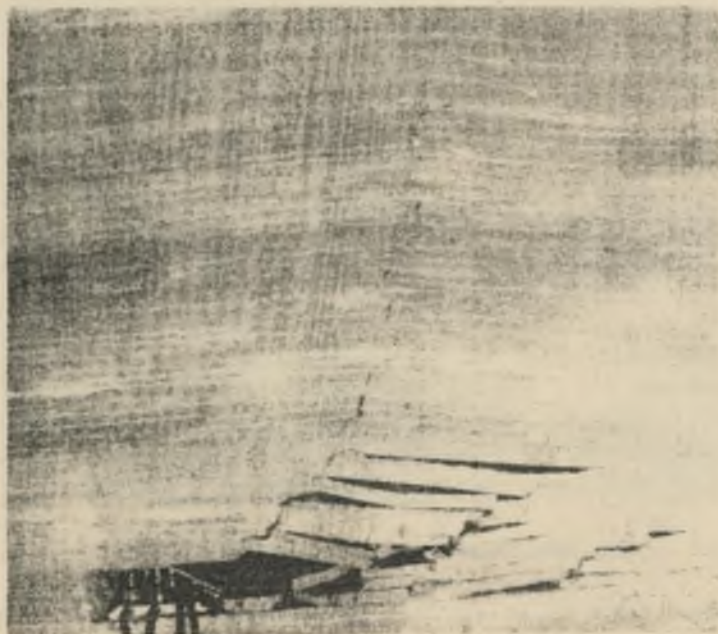
Zawał tychże warstw następuje po wybraniu piątego zaboru. Długość zawału wynosi około 43 cm. Przy piątym zaborze obserwuje się również dosyć znaczne ugięcie stropu zasadniczego, co widać na rys. 23. W kolejnym szóstym zaborze wydłuża się belka stropu bezpośredniego, lecz nie ulega zawałowi. Po wybraniu siódmego zaboru następuje zawał stropu bezpośredniego na całej grubości - rys. 16. Długość zawału wynosi około 53 cm, a strop la-



Rys. 16. Faza restrukcji ściany - zawał stropu bezpośredniego - zabiór 7

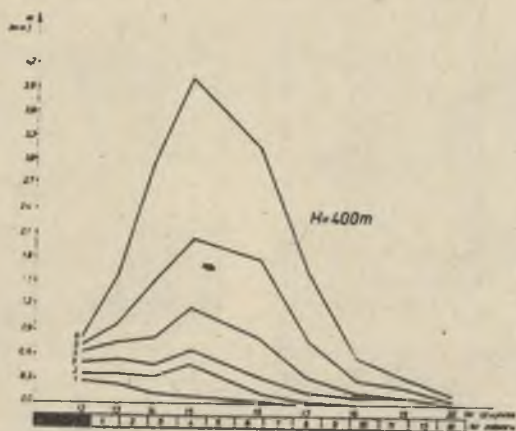


Rys. 17. Pasa rozruchu ściany - zawał stropu bezpośredniego - zabiór 8

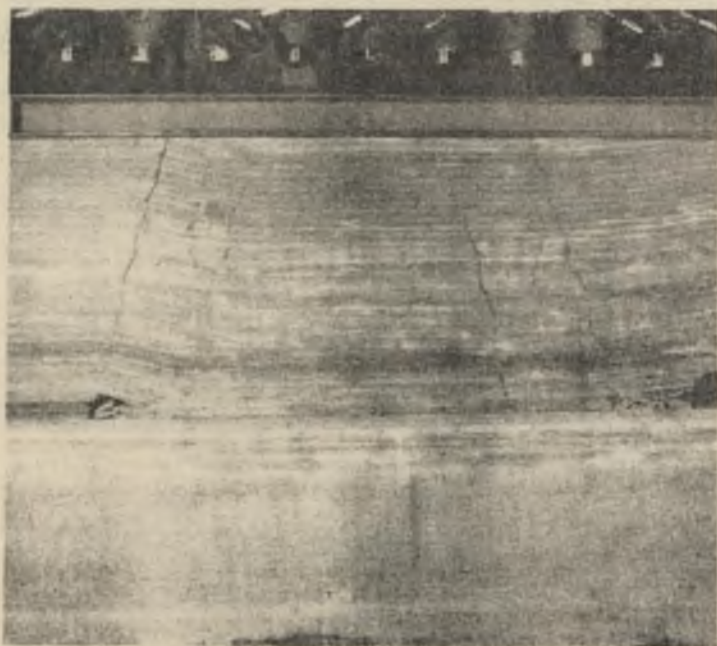


Rys. 18. Zawał belny - zabiór 9





Rys. 19. Wykres osiadania stropu zasadniczego



Rys. 20. Model po zakończeniu eksploatacji

mie się blekami długości około 15 cm. Od ósmego zaboru strop bezpośredni ulega zawałowi systematycznie blekami długości około 15 cm. Długość całkowita odsłoniętego stropu zasadniczego wynosi około 70 cm.

W stropie zasadniczym obserwuje się rozwarstwienie na wysokość 8 warstw - rys. 17.

Zawał pełny następuje po dziewiątym zaborze. Krok zawału stropu bezpośredniego wynosi średnio około 15 cm, a stropu zasadniczego około 30 cm - rys. 18.

Zawał zachodzi zawsze za obudową, z czego wynika, że obudowa posiada wystarczającą podporność by przeciwstawić się ciśnieniu eksploatacyjnemu, uniemożliwiając tym samym rozwarstwianie się skał stropu bezpośredniego nad obudową.

Osiadanie stropu zasadniczego pokazano na rys. 19.

Model po zakończeniu eksploatacji przedstawia rys. 20.

Kąt wpływu eksploatacji wynosi dla głębokości 400 m około  $70^{\circ}$ . Przebieg i wielkość ciśnienia eksploatacyjnego przedstawia rys. 37. Zjawisko wyciskania skał spągowych występuje w miejscu pierwszych zabiorów, przed wystąpieniem pełnego zawału stropu. Wartość jego, tak jak i w poprzednich modelach, jest trudna do śledzenia.

#### 2.4. Model 4

Model czwarty programowany był do głębokości 500 m, a eksploatację prowadzono w dwu powtarzających się cyklach.

Po rozpoczęciu eksploatacji pokładu pierwsze odspojenie stropu bezpośredniego następuje przy trzecim zaborze.

Zawałowi ulega 1 warstwa stropu bezpośredniego - rys. 21.

Od momentu tego obserwuje się również ugięcie stropu zasadniczego, co przedstawia rys. 26.

Przy piątym zaborze następuje zawalenie się stropu bezpośredniego na wysokość dziewięciu warstw.

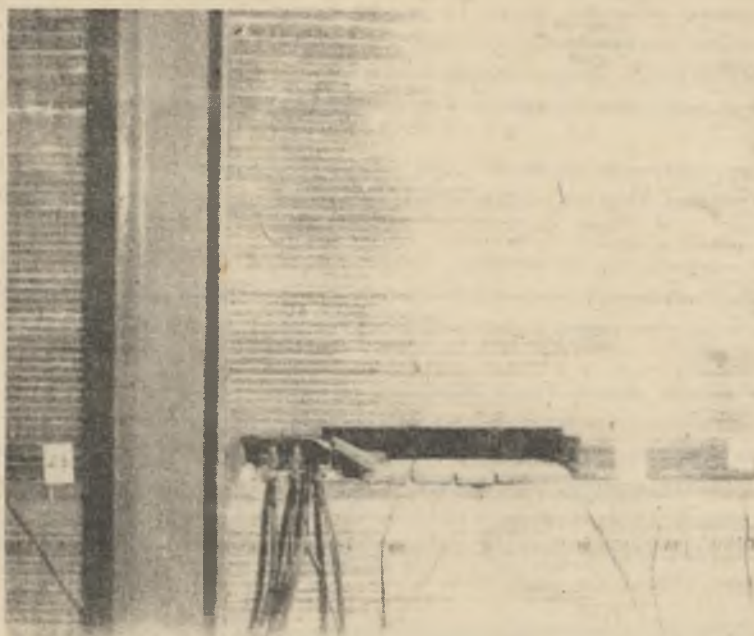
Długość zawału wynosi około 34 cm - rys. 22.

Wybranie szóste i siódme zaboru powoduje dalsze uginanie się stropu zasadniczego i powstanie w nim szczelin poziomych i pionowych.

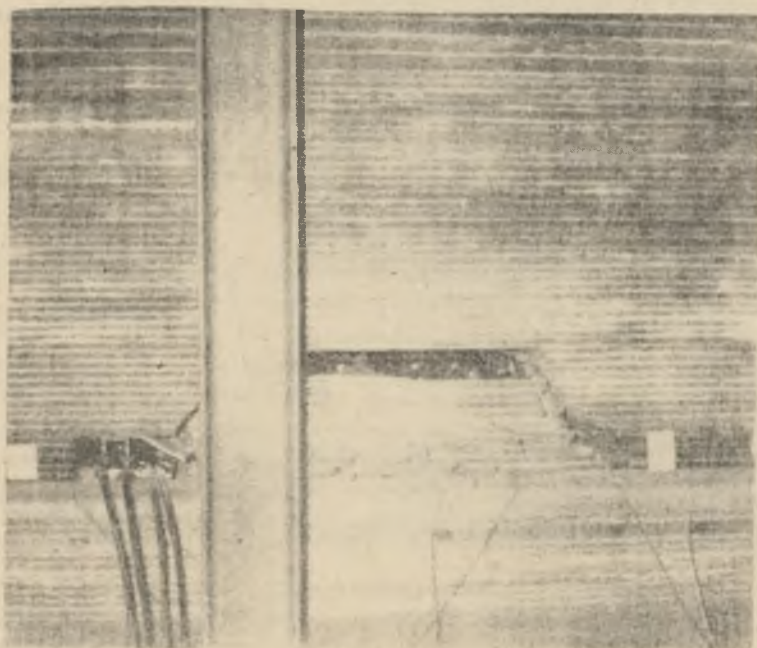
Strop bezpośredni ulega zawałowi blokami długości około 10 cm. Tworzenie się niepełnego zawału stropu zasadniczego następuje po wybraniu ósmego zaboru - rys. 23. Wysokość zawału wynosi 16 cm, zaś długość około 60 cm.

Warstwy stropu zasadniczego, które uległy zawałowi, tworzą belkę jednym końcem wspartą na zawale a drugi koniec jest nieodspojony od calizpy. W warstwach stropu zasadniczego, które nie uległy zawałowi, tworzą się szczeliny poziome i pionowe. Linia zawału skał stropowych przebiega za stropnicą obudowy.

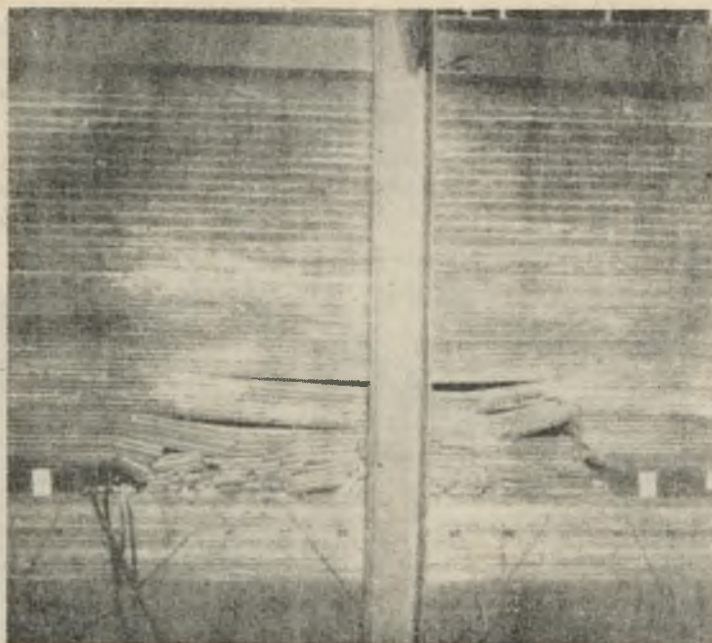
Zawał pełny następuje po wybraniu dziesiątego zaboru - rys. 24. Powstanie zawału pełnego spowodowało, że linia zawału wytworzyła się od strony ociosu pokładu, tzn. przed obudową - rys. 24, 25 w wyniku czego obudowa została zaciśnięta (zdeformowana).



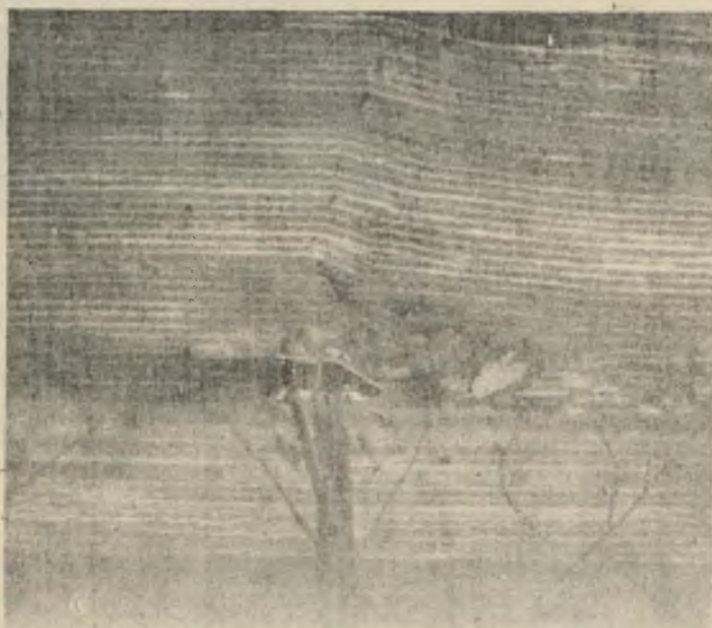
Rys. 21. Faza rozruchu ściany - zawał stropu bezpośredniego - zabiór 3



Rys. 22. Faza rozruchu ściany - zawał stropu bezpośredniego - zabiór 5



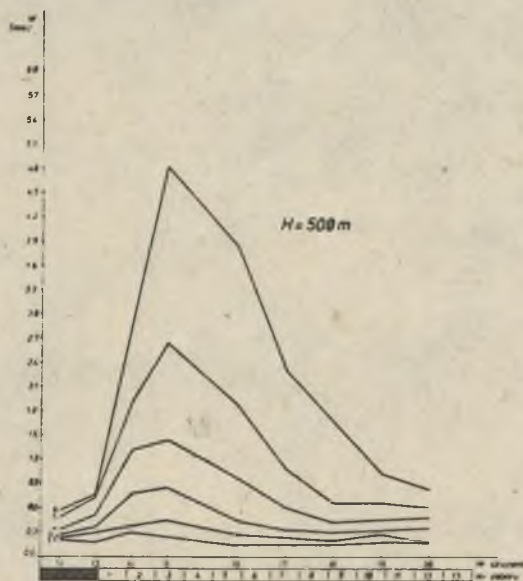
Rys. 23. Faza rozruchu ściany - zawał stropu bezpośredniego - zabiór 8



Rys. 24. Zawał pełny - zabiór 10



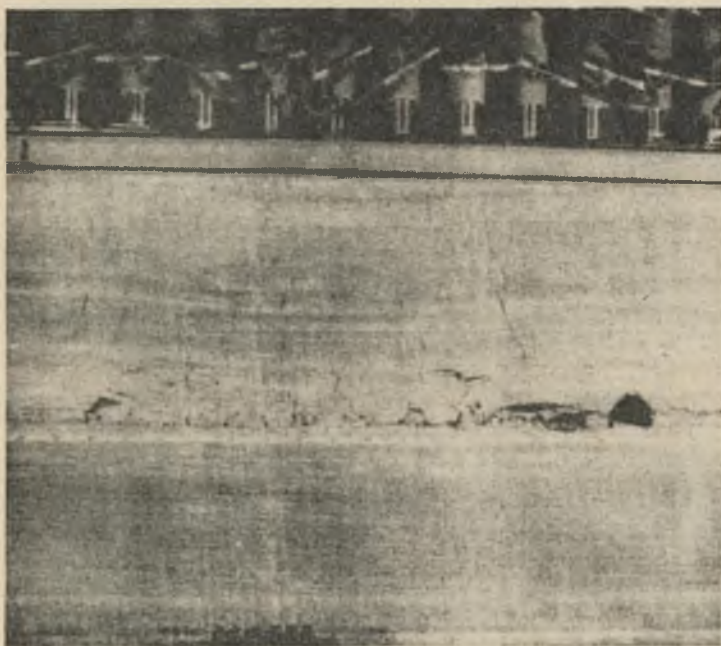
Rys. 25. Zawał pełny - zaciągnięta obudowa zmechanizowana - zabiór 11



Rys. 26. Wykres osiadania stropu zasadniczego  $H = 500$  m

Po przejściu 11nii zawału dalszy zawał był już prawidłowy. Sytuację zakończenia eksploatacji pokładu przedstawia rys. 27. Kąt wpływu eksploatacji wynosi  $65^{\circ}$ - $70^{\circ}$ .

Przebieg i wielkość ciśnienia eksploatacyjnego przedstawia rys. 37. Wyciskanie skał spągowych zaczyna wzrastać i osiąga maksymalną wartość około 1 mm. Zasięg maksymalnego wyciskania jest mały i analogiczny jak w poprzednich modelach.



Rys. 27. Model w końcowej fazie badań

## 2.5. Model 5

Model piąty programowany był na głębokość 600 m. Eksploatację prowadzono, jak i w poprzednich modelach, w dwóch cyklach badawczych. W modelu tym - już przy drugim zabiorze - występuje dość znaczne ugięcie stropu bezpośredniego i zasadniczego.

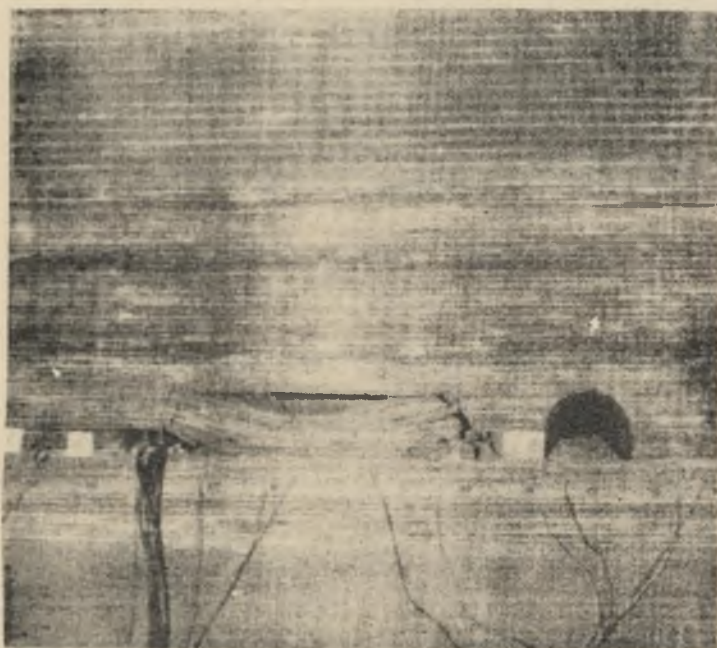
Ugięcie to nasila się przy trzecim zabiorze. Odspojeniu ulegają dwie warstwy na długości około 23 cm - rys. 28.

Przy czwartym zabiorze widoczne stają się szczeliny pionowe w stropie bezpośrednim.

Po wybraniu piątego zabioru następuje zawał stropu bezpośredniego na wysokości sześciu warstw i długości około 44 cm. Powstałe szczeliny pionowe sięgają piątej warstwy stropu zasadniczego - rys. 29.



Rys. 28. Faza rozruchu ściany - zawał stropu bezpośredniego - zabiór 3



Rys. 29. Faza rozruchu ściany - zabiór 5

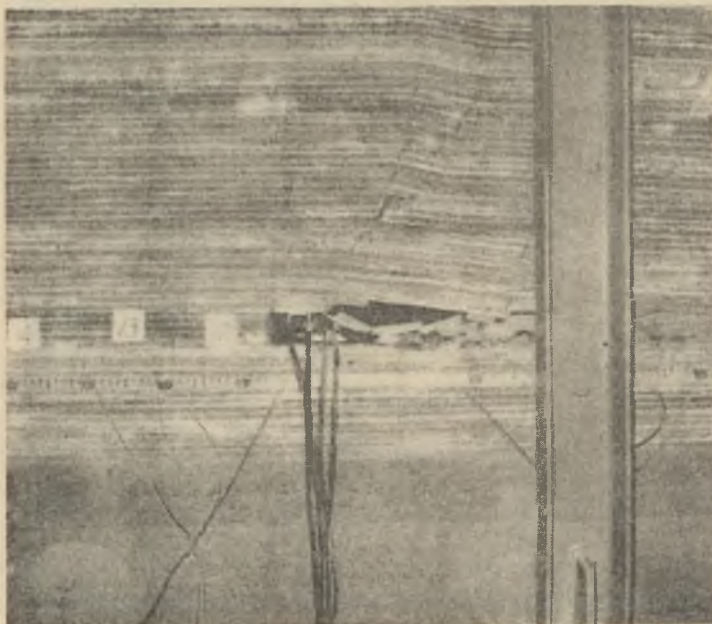


Rys. 30. Faza rozruchu ściany - zabiór 8

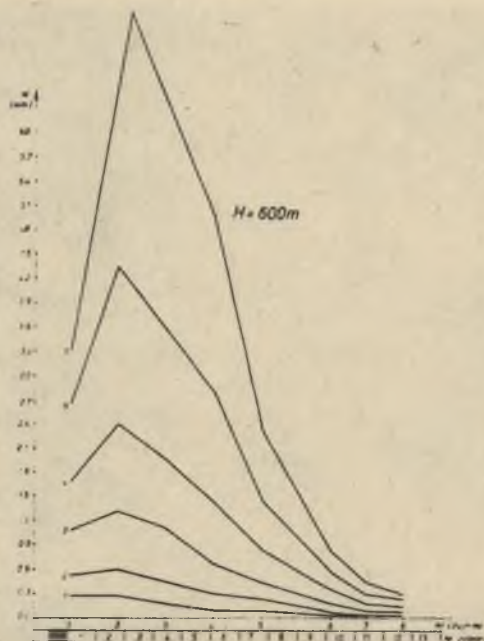


Rys. 31. Faza rozruchu ściany - zabiór 8





Rys. 32. Zawał pełny - zabiór 11



Rys. 33. Wykres osiadania stropu zasadniczego

Wybranie szóstego zabioru powoduje zawał trzech dalszych warstw stropu bezpośredniego i powiększenie się zasięgu szczelin poziomych i pionowych. Strop wykazuje tendencję do łamania się blokami długości około 15 cm - rys. 30.

Eksploatacja zabioru ósmego zapoczątkowała załamywanie się stropu zasadniczego - rys. 31. Strop bezpośredni zawał się regularnie na wysokości 9 warstw. Trzy kolejne warstwy tworzą belkę jednym końcem wspartą na zawale, a drugi koniec jest nieodspojony. Linia zawału znajduje się nad obudową. Pełny zawał wytwarza się przy zabiorze dziesiątym.

Linia zawału przebiega przed obudową, lecz zaciśnięcie obudowy nie następuje. Po wybraniu zabioru jedenastego strop zasadniczy nie ulega ponownemu załamaniu. Zawał staje się regularny a krok jego wynosi średnio około 15 cm - rys. 32.

Osiadanie stropu zasadniczego do momentu pełnego zawału jest pokazane na rys. 33.

Przebieg fali ciśnienia eksploatacyjnego i wielkość współczynnika ciśnienia eksploatacyjnego przedstawia rys. 37. Kąt wpływu eksploatacji wynosi około  $65^{\circ}$ . Proces wyciskania skał spągowych staje się bardziej intensywny niż w modelu czwartym. Zjawisko to zachodzi w miejscu pierwazych zabiorów, a maksymalna wartość wyciskania ma wartość rzędu 1,5 mm i jest widoczna gołym okiem. Po przejściu fazy rozruchu i utworzeniu się pierwszego zawału proces jak gdyby osłabia się.

### 3. Analiza wyników badań

Przeprowadzone badania modelowe umożliwiły zaobserwowanie zjawisk zachodzących w górotworze w otoczeniu wyrobiska ścianowego, uzbrojonego w obudowę zmechanizowaną, w zależności od głębokości eksploatacji.

Uzyskano wyniki pomiarów pozwoliły zaobserwować pewne nowe zjawiska zachodzące w górotworze w czasie eksploatacji na różnej głębokości, przy stałej podporności obudowy.

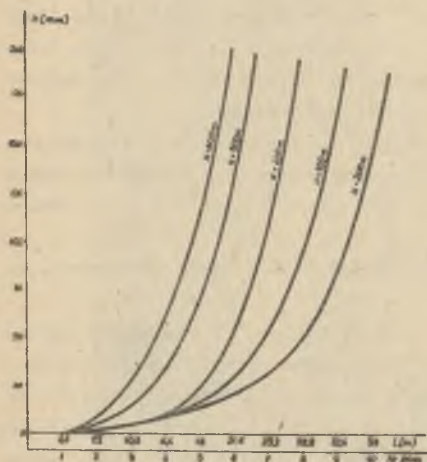
Śledząc przebieg badań modelowych zaobserwowano, że w prowadzonych wybiórkach, niezależnie od głębokości eksploatacji, wyróżnić można dwie fazy: fazę rozruchu i fazę normalnego biegu ściany [3] różniące się charakterem przebiegu zjawisk zachodzących w otaczającym górotworze.

Faza rozruchu charakteryzowała się narastaniem zaciskania wyrobiska oraz wzrostem ciśnień pionowych w warstwach stropu bezpośredniego i w układzie przed czołem ściany.

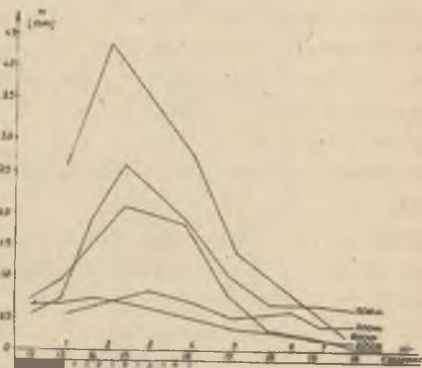
Zaznaczyć należy, że zjawiska te przebiegały z różnym nasileniem, zależnym od głębokości przy tej samej podporności obudowy zmechanizowanej.

Porównując osiadanie stropu zasadniczego dla poszczególnych głębokości w zależności od pomiaru, a tym samym od ilości wybranych zabiorów otrzymujemy wykres przedstawiony na rys. 34. Z wykresu tego wynika, że proces osiadania stropu zasadniczego gwałtownie wzrasta po osiągnięciu pewnej wiel-

kości powierzchni odsłoniętego stropu. Krzywe te są zbliżone dla pierwszych czterech pomiarów (zabiorów) modelu dla 200, 300 i 400 m, później osiadanie zwiększa się w zależności od głębokości.



Rys. 34. Wykres osiadania stropu zasadniczego



Rys. 35. Wykres osiadania stropu zasadniczego (pomiar 5)

Potwierdzeniem tego wykresu jest inna zależność, która przedstawia osiadanie stropu mierzone w tych samych punktach równo oddalonych od ozoła ściany przy różnych głębokościach (rys. 35). Z zależności tej widzimy, że dla piątego pomiaru (wybrany 5 zabiór = 60 cm) maksymalne osiadanie stropu jest różne dla różnych głębokości.

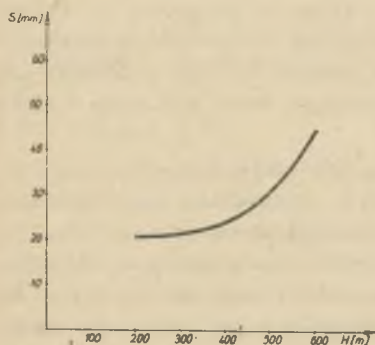
Dla małych głębokości 200 i 300 m osiadania są prawie równe, natomiast dla pozostałych głębokości są już różne.

Z powyższego wynika, że prędkość osiadania stropu zasadniczego jest zależna od głębokości, im większa głębokość eksploatacji - tym szybciej dochodzi do zawału.

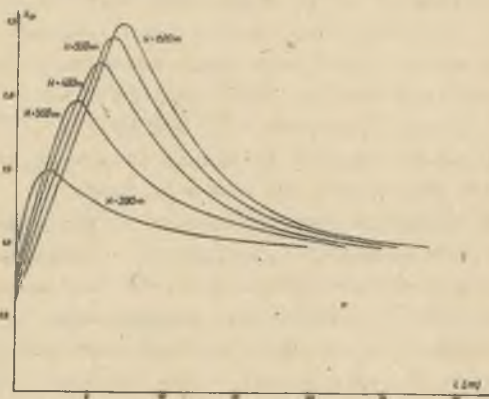
Przy większych głębokościach, gdy strop bezpośredni nie jest skłonny do zawału może dojść do sytuacji, kiedy linia zawału przebiega przed obudową, a obudowa może ulec zaciśnięciu. Przypadek ten wystąpił przy pierwszym pełnym zawale dla głębokości 500 i 600 m.

Z wyników pomiarów uzyskanych podczas badań wynika, że zawał stropu bezpośredniego jest uzależniony od głębokości eksploatacji (rys. 39). Przebieg jego był dla poszczególnych modeli bardzo podobny, z tym, że przy większych głębokościach w stropie bezpośrednim panowały większe naprężenia i na kontakcie stropniea - strop warstwy szybciej została niszczone struktura warstw, wobec czego niekiedy zawał następował zaraz po przesunięciu obudowy.

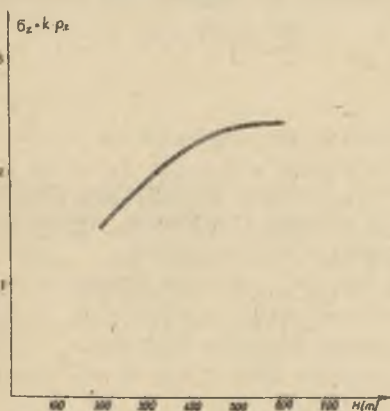
Jak wspomniano wyżej przebieg zawału stropu zasadniczego zależy od głębokości eksploatacji. Przy zwiększeniu głębokości szerokość przestrzeni wybranej, przy której następuje pierwszy zawał stropu zasadniczego, zmniejsza się (rys. 39). Wielkość ta zmienia się w granicach 40-25 m, przy zmianie głębokości od 200 do 600 m i stabilizuje się na głębokości około 600 m. Po uzyskaniu pierwszego pełnego zawału dalsze zawały przebiegały w sposób regulowany.



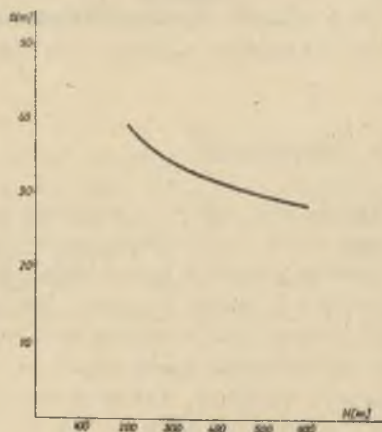
Rys. 36. Wykres wyciskania spągu



Rys. 37. Wykres współczynnika ciśnienia eksploatacyjnego przy różnych głębokościach



Rys. 38. Wykres maksymalnych wartości współczynnika eksploatacyjnego przy różnych głębokościach



Rys. 39. Wykres zależności szerokości przestrzeni wybranej przy której uzyskany był pierwszy pełny zawał stropu zasadniczego od głębokości eksploatacji

Zagadnienie wyciskania spągu jest również uzależnione od głębokości. Przeprowadzone pomiary tego zjawiska wykazały, że maksymalne wyciskanie skał spągowych występuje przed pierwszym pełnym zawałem w miejscu wykona-

nia wełki i pierwszych zabiorów. Przy głębokości 200, 300 i 400 m proces ten osiągał tę samą wielkość, natomiast przy głębokości 500 i 600 m wyciskanie zaczyna wzrastać i osiąga wartość rzędu 1,5 m dla głębokości 600 m - rys. 36. Zjawisko wyciskania skał spągowych słabnie w chwili utworzenia się pierwszego zawału. Spowodowane to jest zniszczeniem ciągłości warstw skał spągowych, które ulegają spękaniu.

Z przeprowadzonych badań i uzyskanych wyników można zauważyć, że wpływ głębokości na wielkość ciśnienia eksploatacyjnego jest bardzo znaczny. Falę ciśnienia eksploatacyjnego śledzono tylko w caliznie pokładu. Stosunek wielkości ciśnienia eksploatacyjnego  $\sigma_z$  do ciśnienia pionowego  $p_z$  przedstawiają rys. 37, 38 i jest to wykres współczynnika ciśnienia eksploatacyjnego. Z wykresu tego wynika, że jeżeli maksymalna wartość ciśnienia eksploatacyjnego do ciśnienia pionowego dla głębokości 200 m wynosiła 1,5, to dla głębokości 300 m wynosi około 2.

Ze wzrostem głębokości wartość ta rośnie asymptotycznie do pewnej wartości większej od 2,5 razy, co przedstawia rys. 37. Charakter fali ciśnienia eksploatacyjnego jest również zmienny w zależności od głębokości. Dla małych głębokości fala ta jest łagodna i bardziej płaska aniżeli dla głębokości większych. Różna też jest odległość wartości maksymalnej fali ciśnień od ozoła ścian - rys. 37, im większa głębokość, tym amplituda fali znajduje się głębiej w caliznie pokładu od ozoła.

Zagadnienie związane z falą ciśnienia eksploatacyjnego i współczynnika eksploatacji rozpatrywano tylko dla części pokładu. Części w przedziale roboczym i zawale nie rozpatrywano, gdyż czujniki po rozprężeniu skał stropowych wskazywały wartości sprzeczne.

#### 4. Podsumowanie

Zagadnienie wpływu głębokości eksploatacji na stan deformacyjno-naprężeniowy w otoczeniu wyrobisk ścianowych dla pełnego rozeznania zagadnienia wymaga dalszych badań modelowych, dołowych i teoretycznych.

Otrzymane wyniki z badań, ich graficzne ujęcie, może być wykorzystywane do prognozowania stanów deformacyjno-naprężeniowych w otoczeniu wyrobisk wybierkowych przez kopalnie Górnośląskiego Zagłębia Węglowego i Donieckiego zagłębia, które prowadzą eksploatację w górotworze zbliżonym do rozpatrywanego w pracy.

#### LITERATURA

- [1] Chudek M.: Mechanika górotworu. Skrypt centralny. Gliwice 1980, (w druku).
- [2] Chudek M.: Zachowywanie się skał stropowych nad wyrobiskiem ścianowym w świetle badań modelowych. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. Górniczo-węgl. z. 30, 1968.

- [3] Chudek M., Paoh A.: Obudowa czynnikiem regulacji ciśnień eksploatacyjnych. Przegląd Górniczy nr 1, 1974.
- [4] Kuźniecowa G.N.: Issledowanije projawlenij gornogo dawlenija pri primienienii miechanizirovannykh krieplej. Fondy WNIMI, Leningrad 1956.

Wpłynęło do Redakcji 23.9.80 r.

Recenzent

Prof. dr hab. inż. Zdzisław Kłeczek

МОДЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ГЛУБИНЫ НА ДЕФОРМАЦИЮ ПОРОД  
И НАПРЯЖЕНИЯ В ОКРУЖЕНИИ ВЪЕМОЧНЫХ СПЛОШНЫХ ВЫРАБОТОК

#### Резюме

В работе представлены результаты многолетних модельных исследований влияния глубины эксплуатации на величину и ход деформационно-напряженных состояний в окружении проводимой эксплуатации пласта. Подано графически влияние глубины на: ход осадки основной кровли, величину и ход эксплуатационного давления, вздутие почвы, а также влияние на ширину отработанного пространства, при котором получено первое обрушение.

MODEL STUDIES OF THE DEPTH EFFECT ON ROCK DEFORMATION AND TENSION  
IN THE LONG WALL HEADINGS

#### Summary

The paper presents the results of the model studies carried out over the years of the depth effect in mining on the magnitude and course of the deformation-tension states in the mining of the bed. A graphic representation of the depth effect on the following aspects is given: the course of basic roof settlement, the magnitude and the course of mining, floor heave, the effect on the width of the worked-out space in which the first roof fall had been obtained.