GÓRNICTWO z. 31

ALFRED BILIŃSKI

P.3351/68

# PRZEJAWY CIŚNIENIA GÓROTWORU W POLACH EKSPLOATACJI ŚCIANOWEJ W POKŁADACH WĘGLA

POLITECHNIKA ŚLĄSKA
ZESZYT NAUKOWY Nr 221 – GLIWICE 1968

SPIS TREŚCI


Str.

1. Wstęp . . . . . 3

2. Dotychczasowe poglądy na kształtowanie się przejawów ciśnienia górotworu przy eksploatacji ścianowej . . . . . 5

2. 1. Krótki przegląd bardziej rozpowszechnionych poglądów zagranicznych . . . . . 5

2. 2. Poglądy polskie ujmujące przejawy ciśnienia górotworu występujące przy eksploatacji . . . . . 15

2. 2. 1. Poglądy oparte na badaniach teoretycznych . . 15

2. 2. 2. Teoria reakcji podłoża . . . . . 18

2. 3. Przydatność dotychczasowych teorii ciśnienia górotworu dla praktyki ruchowej kopalń . . . . . 21

3. Cel pracy, założenia i definicje oraz sformułowanie problemu . 23

3. 1. Cel pracy . . . . . 23

3. 2. Założenia i definicje . . . . . 24

3. 3. Sformułowanie problemu pracy . . . . . 27

4. Badania przejawów ciśnienia górotworu w polach ścianowych przeprowadzone w polskich kopalniach węgla . . . . . 28

4. 1. Charakterystyka przeprowadzonych akcji badawczych . 28

4. 2. Zakres i metoda badań . . . . . 32

4. 3. Sposób opracowania materiału pomiarowego . . . . 41

4. 4. Ważniejsze wyniki dotyczące ruchów stropu i spągu w banych polach . . . . . 46

4. 5. Odkształcenia i reakcje podłoża występujące w polach eksploatacji ścianowej . . . . . 72

4. 5. 1. Pola ścianowe z pasami podsadzki . . . . 73

4. 5. 2. Pola ścianowe z zawałem stropu . . . . . 79

4. 5. 3. Pola ścianowe z podsadzką hydrauliczną . . . 82

4. 5. 4. Ciśnienie na pokład przed frontem ściany . . . 84

4. 6. Przejawy ciśnienia górotworu w ścianach . . . . 88

4. 6. 1. Ściany z pasami podsadzkowymi . . . . . 89

4. 6. 2. Ściany zawałowe . . . . . 95

4. 6. 3. Ściany z podsadzką hydrauliczną . . . . . 99

5. Podsumowanie i wnioski . . . . . 104

6. Literatura . . . . . 113

P. 3351 | 68

POLITECHNIKA ŚLĄSKA

ZESZYTY NAUKOWE

Nr 221

ALFRED BILIŃSKI

# PRZEJAWY CIŚNIENIA GÓROTWORU W POLACH EKSPLOATACJI ŚCIANOWEJ W POKŁADACH WĘGLA

PRACA HABILITACYJNA Nr 75

Data otwarcia przewodu habilitacyjnego 6. IV. 1968 r.

GLIWICE 1968

REDAKTOR NACZELNY ZESZYTÓW NAUKOWYCH
POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

*Fryderyk Staub*

REDAKTOR DZIAŁU

*Jerzy Nawrocki*

SEKRETARZ REDAKCJI

*Tadeusz Matula*

P.J. 28/68

Dział Nauki — Sekcja Wydawnictw Naukowych — Politechniki Śląskiej
Gliwice, ul. Konarskiego 23

Nakł. 100+160 Ark. wyd. 6 Ark. druk. 7,8 Papier offsetowy kl. III, 70x100, 80 g
Oddano do druku 2. 5. 1968 Podpis. do druku 7. 6. 1968 Druk ukończ. w czerwcu 1968
Zam 932 24-4 1968 K-23 Cena zł 8,—

Skład, fotokopie, druk i oprawę
wykonano w Zakładzie Graficznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach

# 1. WSTĘP

Problematyka związana z ciśnieniem górotworu i jego przejawami, a w szczególności z wpływem eksploatacji górniczej na te zjawiska, zawsze budziła szerokie zainteresowanie wśród specjalistów górniczych.

Zainteresowanie to przejawiało się zarówno poprzez liczne prace teoretyczne jak też poprzez badania empiryczne prowadzone bezpośrednio w środowisku górniczym, w wyrobiskach podziemnych. Jednakże możliwości przeprowadzenia odpowiednich badań empirycznych w polskich kopalniach węgla były w przeszłości bardzo ograniczone. Ograniczenia te wynikały przede wszystkim z braku odpowiednich środków materialnych co uniemożliwiało uzyskanie obiektywnego i wystarczająco reprezentatywnego materiału pomiarowego. Dopiero po II wojnie światowej, dzięki upaństwowieniu przemysłu oraz dzięki stworzeniu przez państwo odpowiedniego zaplecza naukowo-badawczego dla potrzeb górnictwa stało się możliwe podjęcie szerokich dołowych badań przejawów ciśnienia górotworu w wyrobiskach górniczych kopalń węgla. W Polsce badania takie podjęte zostały pod kierunkiem M. BORECKIEGO w Głównym Instytucie Górnictwa w roku 1952. Godnym podkreślenia jest fakt, że pierwsze wyniki i wynikające z nich hipotezy naukowe opublikowano już w roku 1955.

Z drugiej jednak strony z całym naciskiem należy zwrócić uwagę i podkreślić dążenia polskich uczonych do stworzenia rozwiązań teoretycznych opisujących przebieg, charakter i natężenie zjawisk mechanicznych zachodzących w górotworze naruszonym eksploatacją górniczą. Rozwiązania te określają z możliwie dużym przybliżeniem zagadnienie przejawów ciśnienia górotworu. W tej dziedzinie szczególne zasługi położyli W. BUDRYK i A. SAŁUSTOWICZ twórcy teorii fali ciśnienia. Teoria ta przyczyniła się w dużej mierze do właściwego rozwoju sys-

stemów eksploatacji w polskim górnictwie węglowym, w szczególnie trudnych warunkach, a mianowicie w pokładach tąpiących.

Prowadzone od ponad 15 lat, przy współudziale lub pod kierunkiem autora badania przejawów ciśnienia górotworu w polskich kopalniach węgla kamiennego, dostarczyły już bogatego materiału pomiarowego. Wyniki uzyskane z jego analizy i opracowania pozwalają na formułowanie pierwszych wniosków i hipotez o przebiegu zjawisk mechanicznych, określanych ogólnie przejawami ciśnienia górotworu, występujących szczególnie w rejonach eksploatacji ścianowej.

W tym miejscu należy stwierdzić, że przyczyną wszelkich zjawisk mechanicznych zachodzących w górotworze, w otoczeniu i w samym wyrobisku górniczym, jest jego ciśnienie pierwotne oraz powstające w wyniku eksploatacji zmiany stanu naprężeń. Natomiast w dalszym ciągu niniejszej pracy jako przejawy ciśnienia górotworu określać się będzie tylko skutki zmiany stanu naprężeń w górotworze i to wyłącznie te skutki które uzewnętrzniają się w sposób bezpośredni lub pośredni w wyrobisku górniczym. Przykładowo można wskazać, że w zrozumieniu przedstawionej definicji przejawami ciśnienia górotworu będą między innymi ruchy stropu i spągu w kierunku wybranej przestrzeni wyrobiska lub wielkości reakcji podłoża (calizny pokładu, ociosów chodnika itp.) spowodowane zmianami obciążenia czynnego pochodzącego od górotworu. Dalsze i bardziej szczegółowe uściślenie przedstawionego założenia i wynikających stąd konsekwencji znajduje się w rozdziale 3 niniejszej pracy. Równocześnie można stwierdzić, że w przedstawionym ujęciu wszystkie omawiane przejawy są z punktu widzenia techniki prowadzenia eksploatacji i utrzymania wyrobisk, szkodliwymi skutkami ciśnienia górotworu. W tej sytuacji poznanie ich wielkości i charakteru, jak również praw rządzących ich przebiegiem ma niewątpliwie doniosłe znaczenia praktyczne w zakresie optymalizacji sposobów i warunków utrzymania wyrobisk górniczych w polach eksploatacji ścianowej.

## 2. DOTYCHCZASOWE POGLĄDY NA KSZTAŁTOWANIE SIĘ PRZEJAWÓW CIŚNIENIA GÓROTWORU PRZY EKSPLOATACJI ŚCIANOWEJ

### 2.1. Krótki przegląd bardziej rozpowszechnionych poglądów zagranicznych

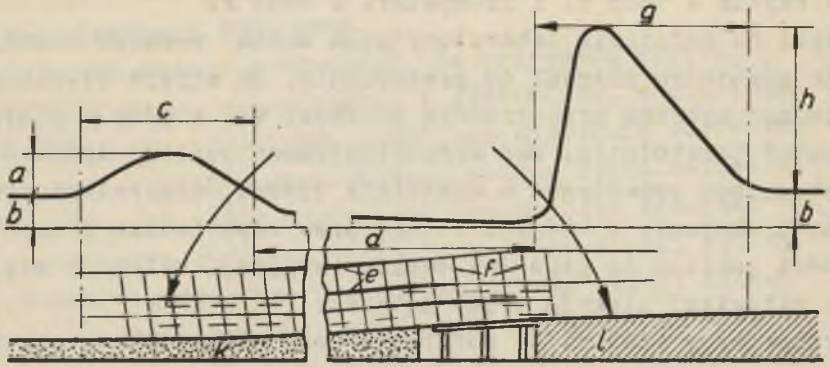
Próby ogólniejszego ujęcia prawideł rządzących przejawami ciśnienia górotworu pojawiły się w literaturze techniczno-górniczej w ostatnim ćwierćwieczu ubiegłego stulecia. Były to prace Fayola z 1885 r. i Trompetera z 1899 r.

Fayol na podstawie laboratoryjnych badań pewnego rodzaju modelu górotworu doszedł do przekonania, że strefa osiadania warstw nad wybraną przestrzenią przenosi się w górę i przybiera postać paraboloidu. Nad wyeksploatowaną pustką wytwarza się stopniowo przestrzeń w kształcie dzwonu, wypełniona rozluzowanymi skałami, z których dolne, przy odpowiednim stosunku grubości pokładu do grubości warstwy skalnej, załamują się, górne natomiast ulegają tylko ugięciu.

Trompeter w 1899 r. na podstawie obserwacji dołowych stworzył teorię, według której główną przyczyną przesunięć skał górotworu, otaczających wybraną przestrzeń są siły rozprężenia się skał. Siły te są wywołane ciśnieniem, wynikającym z głębokości zalegania i ciężaru właściwego górotworu. Znajdują się one w równowadze, o ile każdy punkt w górotworze otoczony jest skałami, znajdującymi się pod takim samym ciśnieniem i posiadającymi takie same wewnętrzne siły rozprężania. W przypadku powstania pustego miejsca w górotworze na przykład wskutek wykonania wyrobiska, siły rozprężania wyzwalają się nie napotykając na opór i powodują przesuwanie skał ze wszystkich stron do wyrobiska, dążąc do jego zaciśnięcia.

Rozwój poglądów na kształtowanie się przejawów ciśnienia górotworu doprowadził do powstania teorii sklepienia. Została ona oparta częściowo na idei Fayola oraz na badaniach Eckardta opublikowanych w 1913 r. Teorię tę rozwinęli w swoich pracach Haack i Gillitzer w 1928 r. a w latach po II wojnie światowej Spruth [1, 2]. Teoria sklepienia (rys. 1) zakłada, że w przy-

padku prowadzenia przodku ścianowego, normalny nacisk skał nadległych zostaje przyjęty przez sklepienie ciśnień, które tworzy się nad wyrobiskiem. Nie powstaje przy tym pustka o charakterze sklepienia, lecz tworzy się część górotworu znacznie odciążona od ciśnienia nadłoża określania jako jądro sklepienia. Wewnątrz tej odprężonej strefy, określonej też nazwą strefy Trompetera, skały są często silnie rozkruszone. W jądrze sklepienia tworzą się przez odspajanie i rozsłajanie po-

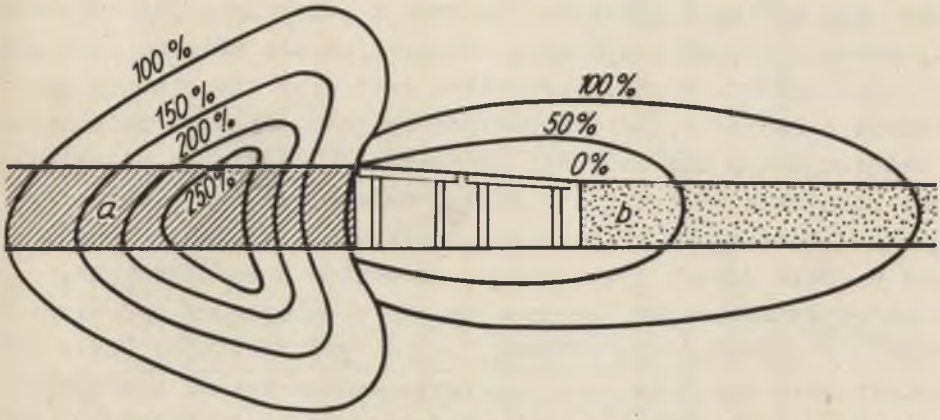



Rys. 1. Teoria sklepienia (wg Haaka i Sprutha) - a - ciśnienie wspornikowe za ścianą; b - ciśnienie pierwotne skał nadległych; c - strefa ciśnienia wspornikowego za ścianą; d - jądro sklepienia odciążone od ciśnienia skał nadległych (strefa Trompetera); e - pustki Webera; f - szczeliny eksploatacyjne; g - strefa wyprzedzającego ciśnienia wspornikowego; h - wyprzedzające ciśnienie wspornikowe; k - podsadzka; l - węgiel

szczególnych warstw wydłużone pustki o niewielkiej wysokości, Są to tak zwane pustki Webera. Ciężar rozkruszonego jądra sklepienia jest przejmowany przez obudowę ściany. Główną część dodatkowego nacisku, pochodzącego od skał nadległych, przejmuje calizna pokładu przed frontem ściany i podsadzka za ścianą oraz calizna pozostająca przy chodnikach przyścianowych. Odcinki podłoża, na które oddziaływuje ciśnienie dodatkowe można traktować jako podstawy sklepienia ciśnień. Niezbyt duża wartość dodatkowego nacisku w strefie za ścianą w stosunku do stref w caliźnie, jest skompensowana przez wielokrotnie większe przemieszczenia stropu osiadającego nad zrobami.

Teoria sklepienia rozpowszechniła się szeroko szczególnie w Niemczech i Wielkiej Brytanii. Również niektóre poglądy francuskie są do niej bardzo zbliżone.

Wielu zwolenników znalazła również teoria płyt (rys. 2), oparta głównie na badaniach Stöckego, Hermanna i Udlufta z




Rys. 2. Teoria płyt: rozkład ciśnień w otoczeniu ociosu ściany (wg Kegela i Fritzscha) - wielkość ciśnienia wyrażono w % pierwotnego ciśnienia skał nadległych: a - węgiel; b - podsadzka

1934 r. a rozwinięta przez Kegela [3]. Jest ona wyprowadzona w oparciu o zasady statyki płyt i rozpatruje warstwy skalne nad wyrobiskiem ścianowym jako wszechstronnie naprężoną płytę, która ulega zginaniu pod działaniem częściowo swojego ciężaru własnego, a częściowo pod naciskiem wyżej leżących warstw. Przez to powstaje nacisk wspornikowy w miejscach zamocowania na ociosie węglowym i na brzegach ściany, który uzewnętrznia się jako nacisk dodatkowy. Teoria płyt wyróżnia więc również strefę wyprzedzającego ciśnienia dodatkowego, natomiast nie przyjmuje istnienia strefy ciśnienia dodatkowego za ścianą. Ponadto według niej ciśnienie dodatkowe w zrobach powoli wzrasta do normalnego ciśnienia skał nadległych.

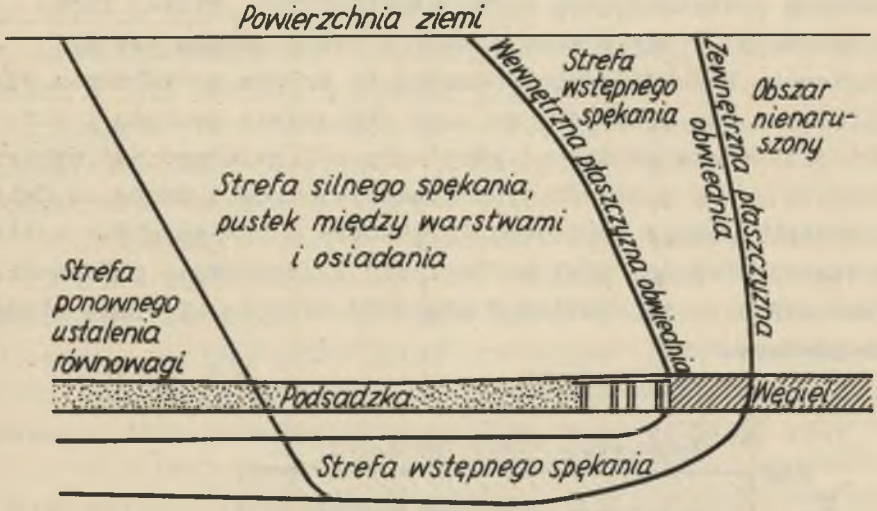
Zjawiska załamywania się skał w formie sklepienia tłumaczy się według tej teorii tak, że gdy rozpoczyna się ścianę w jakimś pokładzie, którego strop jest gęsto uławicony i mało wy-

trzymały, wówczas w początkowej fazie wybiegu warstwy łamią się i odprężają jedne po drugich. Krawędź każdej kolejnej warstwy wyższej wystaje nieco poza krawędź warstwy niższej, tak że powstaje sklepienie pozorne. Stanowi ono przejście do ugięcia się stropu.

Gdy wybrana przestrzeń osiągnie odpowiednią szerokość, wówczas cały nadległy górotwór, łącznie z popękanymi już warstwami, kładzie się na podsadzce. Rozpoczyna się wówczas zjawisko dynamicznego osiadania. Niemożliwe jest przy tym ponowne powstanie sklepienia ciśnień nad postępującym frontem ścianowym. W związku z tym nie istnieje koncentracja ciśnienia odpowiadająca podstawie sklepienia ciśnień. Warstwy skalne ulegają wyłącznie naprężeniom zginającym. Zwiększone ciśnienie występujące w czole ściany i w ociosach chodników przyścianowych, można wytłumaczyć jedynie tym, że strop zalegający nad wyrobiskiem i przestrzenią wybraną, osiada jak obciążona płyta i wywiera przy tym dodatkowe ciśnienie wzdłuż frontu i bocznych krawędzi calizny wokół ściany. Deformujący się nadległy górotwór układa się w formę rozległej nieoki, sięgającej powierzchni ziemi.

W 1947 r. ogłoszona została teoria wstępnego spękania (rys. 3) przez H. Labassa [4, 5, 6, 7]. Wychodzi ona podobnie jak teoria sklepienia z założenia, że większa część normalnego ciśnienia skał nadległych, które nie może już być przenoszone przez wybrany węgiel rozkłada się w formie ciśnienia dodatkowego na caliznę węglową i na podsadzone zroby. Ciśnienie dodatkowe prowadzi do wstępnego spękania skał wokół wyrobiska ścianowego, szczególnie w stropie wewnątrz pewnej określonej strefy, na której granicy, określonej wklęsłą w stosunku do wyrobiska płaszczyzną graniczną, tak zwaną wewnętrzną płaszczyzną obwiednią, rozpoczyna się uginanie i osiadanie stropu, Ta teoria uwzględnia także powstawanie pustek między warstwami przez ich rozsłajanie się. Osiadanie obejmuje kolejno cały górotwór aż do powierzchni ziemi. Równowaga i w związku z tym normalne ciśnienie skał nadległych w zrobach za ścianą powstaje dopiero wówczas, gdy cały górotwór osiądzie, przy czym osiadanie w podsadzce w pewnym określonym miejscu osiąga wartość maksymalną

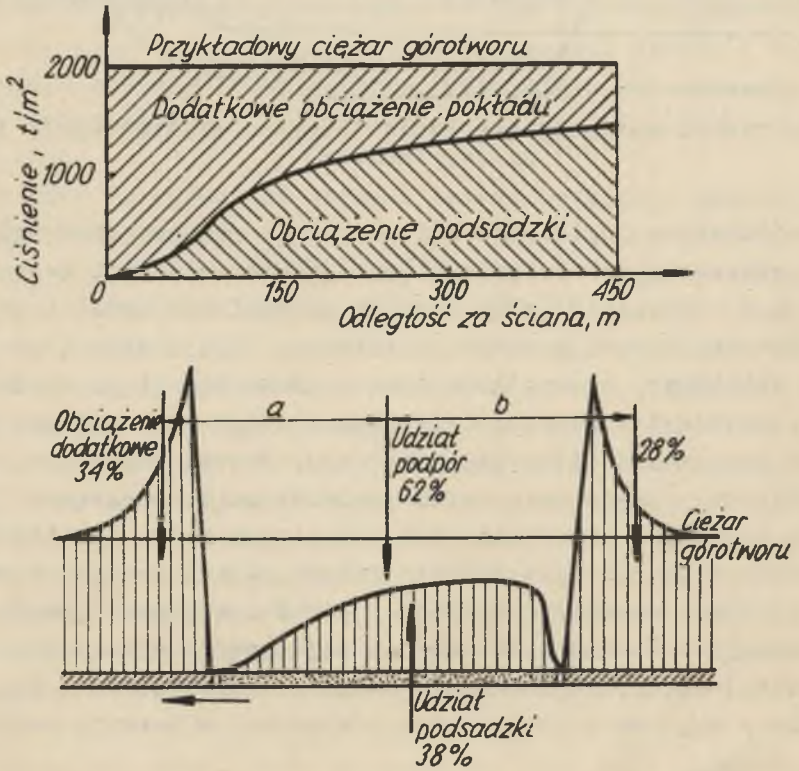
i przez to występowanie dodatkowego ciśnienia w zrobach może być wytłumaczone.




Rys. 3. Teoria wstępnego spękania: Rozkład ciśnień wokół ściany (wg Labassa)

Przedstawione poglądy na kształtowanie się przejawów ciśnienia górotworu oparte były głównie na rozważaniach teoretycznych, a w niewielkim tylko stopniu na wynikach badań i pomiarów dołowych. Rozwój techniki górniczej, jaki nastąpił po II wojnie światowej, szczególnie rozwój mechanizacji procesów produkcji, stworzył konieczność dokładniejszego poznania praw rządzących przejawami ciśnienia górotworu. Przede wszystkim stało się konieczne opracowanie metod przewidywania charakteru i nasilenia przejawów ciśnienia oraz ograniczania ich szkodliwości. Rozpoczęto więc szerokie badania dołowe mające na celu rozwiązanie problemu uzyskania właściwej jakości stropu w przodkach eksploatacyjnych oraz problemu jak najlepszego utrzymania chodników eksploatacyjnych. Badania takie przeprowadzono w dużym zakresie w krajach o rozwiniętym górnictwie w Europie zachodniej.

Na podstawie wyników badań prowadzonych od 1952 do 1956 w kopalni Neumühl w Niemczech Zachodnich O. Jacobi w 1960 r. opublikował teorię plastycznej nieokowatej pokrywy [8, 9]. Rozpatruje ona warstwy zalegające nad wybieranym pokładem jako pokrywę o własnościach pseudoplastycznych, której ruchy umożliwione są przez spękanie skał i która układa się za przodkiem na podsadzce wprowadzonej do zrobów po wybraniu węgla. Zakłada ona przy tym, że suma obciążenia pokładu i podsadzki jest równa ciężarowi górotworu zalegającego nad wybierką (rys. 4). Gdy z pośród tych trzech wielkości znane są dwie, a mianowicie ciężar górotworu (głębokość x powierzchnia wybierki x ciężar właściwy skał nadległych) i obciążenie podsadzki, wówczas można z nich obliczyć wielkość trzecią, to jest obciążenie pokładu.




Rys. 4. Rozkład naprężeń według teorii plastycznej pokrywy

Dla utrzymania równowagi musi występować podparcie, na obszarze za frontem ściany, większe niż ciśnienie skał nadległych. Z narastającego charakteru krzywej ciśnienia należy jednak wnioskować, że leży ono w dużej odległości od ściany, prawdopodobnie na krawędzi pokładu pozostawionego z tyłu. Między obustronnymi podporami utworzonymi przez calizną, pokładu przed ścianą i przy obcince ścianowej górotwór osiada powoli i ciągle. Właściwy model ideowy dla osiadania górotworu, to jest dla wielkoprzestrzennego ruchu w zależności od czasu, stanowi "pseudoplastyczna nieckowata pokrywa", która spoczywa na krawędziach wybierki i zgniata powoli podsadzkę znajdującą się między nimi.

Wielkość pseudoplastycznej nieckowatej pokrywy zależy od głębokości i wielkości wybranego pola. Nieckowata pokrywa jest początkowo podtrzymywana przez otaczające krawędzie pokładu i osiada powoli na podsadzce, która zostaje coraz bardziej obciążona, przy czym obciążenia podpór na krawędziach pokładu odpowiednio maleją. Prędkość przejmowania obciążenia przez podsadzkę zależy od prędkości osiadania, a w związku z tym od sztywności ("pseudo-wiskozy") górotworu i od jakości podsadzki. Sztywny górotwór układa się powoli na podsadzce i obciąża krawędzie pokładu silniej niż górotwór giętki względnie rozluzowany przez kilkakrotnie wybranie pokładów. Przy wielkich wyeksploatowanych powierzchniach zgnieciona już podsadzka może tworzyć podporę pseudoplastycznej nieckowatej pokrywy. Odcinki pokładu obciążone przez nacisk w miejscu podparcia są szersze przy sztywnym górotworze już przy giętkim, przy którym jednak występują większe naciski szczytowe. Przez wyciskanie węgla lub skał otaczających do przestrzeni wyrobiska naciski te zostają obniżone.

Dla wyjaśnienia przebiegu osiadania w czasie oraz narastania ciśnienia musiał według Jacobiego zostać wprowadzony w miejsce teorii sklepienia inny model myślowy, gdyż jakkolwiek teoria sklepienia traktuje nieco o rozkładzie naprężeń w górotworze, nie mówi jednak nic o przebiegu w czasie osiadania i narastania ciśnienia w podsadzce. Pomiary w kopalni Neumühl ujęły przebieg osiadania w czasie oraz wzrost nacisku, nato-

miast nie ujęły stanu napięcia w stropie. Do tego przystosowane jest wyobrażenie "pseudoplastycznej nieckowatej pokrywy", która spoczywa na brzegach pokładu otaczających podsadzone pole i osiada powoli na podsadzce. Z pomocą warunku równowagi jest wówczas możliwe określenie związku między ciśnieniem na podsadzkę i na pokład. Można określić część ciężaru nadległego górotworu, której nie przejmuje podsadzka i która musi być podtrzymywana przez obrzeże wybierki. Rozkład obciążenia na pokład przed wybierką można wyprowadzić z pomiarów w otworach wiertniczych. Można przy tym w przybliżeniu określić także nacisk dodatkowy na pokład.

Dodatkowy ciężar, który ma podtrzymać pokład przed wybierką, jest zależny od wielkości wybranej płaszczyzny pokładu, głębokości, prędkości osiadania stropu i jakości podsadzki. Wielkość szczytu nacisku, leżącego przed czołem wybierki, zależy ponadto od własności wytrzymałościowych pokładu i skał otaczających. Osiągała ona w kopalni Neumühl 3, 5 do 7-krotną wielkość ciśnienia skał nadległych.

Teoria plastycznej nieckowatej pokrywy, jakkolwiek ujmująca w sposób wnikliwy ogólny przebieg kształtowania się przejawów ciśnienia górotworu nie podaje konkretnych formuł obliczeniowych, umożliwiających przewidywanie w praktyce ruchowej, mogących wystąpić deformacji wyrobisk względnie warunków od jakich zależy poprawne utrzymanie tych wyrobisk.

Konkretnym wykorzystaniem rezultatów badań dołowych do takich właśnie celów zajęli się przede wszystkim Francuzi. Ich wysiłki nie były skierowane na zbudowanie nowej teorii ciśnienia górotworu, ale zmierzały do opracowania empirycznych formuł, Ich wykorzystanie miało pozwolić praktykowi, pracującemu w ruchu kopalnianym, na określenie wielkości deformacji wyrobisk jakich w danych warunkach może się spodziewać, względnie miało wskazać odpowiednie środki przeciwdziałania niekorzystnym przejawom ciśnienia górotworu.

W wielu kopalniach w większych francuskich zagłębiach węglowych prowadzono przez szereg lat liczne pomiary deformacji chodników przyścianowych występujących wskutek wybierania

ścian przez nie obsługiwanych. Badania rozpoczęto w 1952 r. Kierował nimi B. Schwartz na zlecenie CERCHAR [10, 11, 12, 13, 14]. Stwierdzono, że odkształcenia pionowe stropu i spągu tych chodników w zależności od odległości od frontu ściany przebiegają według krzywych mających kształt zbliżony do litery S (rys. 5). Krzywe te można rozdzielić na dwie gałęzie, połączone punktem przegięcia. Pierwsza gałąź obrazuje ruchy przed frontem zbliżającej się ściany, druga gałąź ruchy za frontem oddalającej się ściany. Dla przedstawienia obu tych gałęzi przyjęto krzywe logarytmiczne, które według badaczy francuskich dały im wystarczające przybliżenie do rzeczywistego przebiegu procesu zaciskania chodników. Stwierdzono ponadto, że można wyodrębnić krzywą podstawową f (d) ważną dla wszystkich wyrobisk chodnikowych, nie zależną ani od sposobu prowadzenia przodka, ani od charakteru górotworu. Krzywa ta nie zależy również od czynnika czasu, o ile nie występuje długotrwałe zatrzymanie przodka ścianowego.

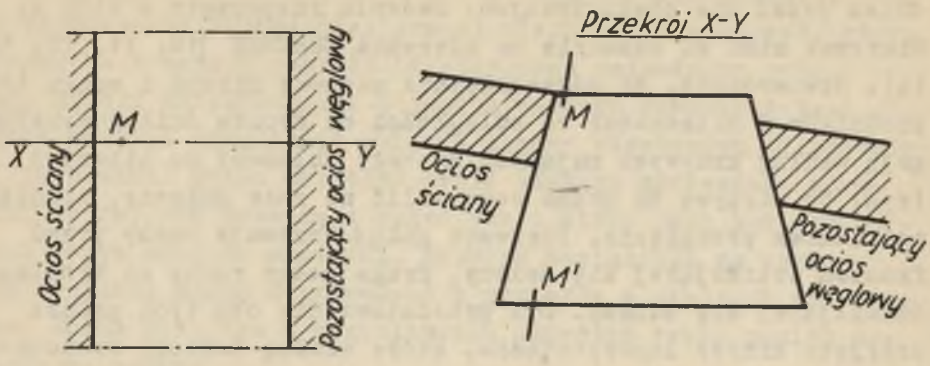
Zaciskanie chodnika w dowolnej odległości od czoła ściany według Schwartza można określić:

$$c_{d_1}^{d_2} = q\,W\left[f(d_2) - f(d_1)\right]$$

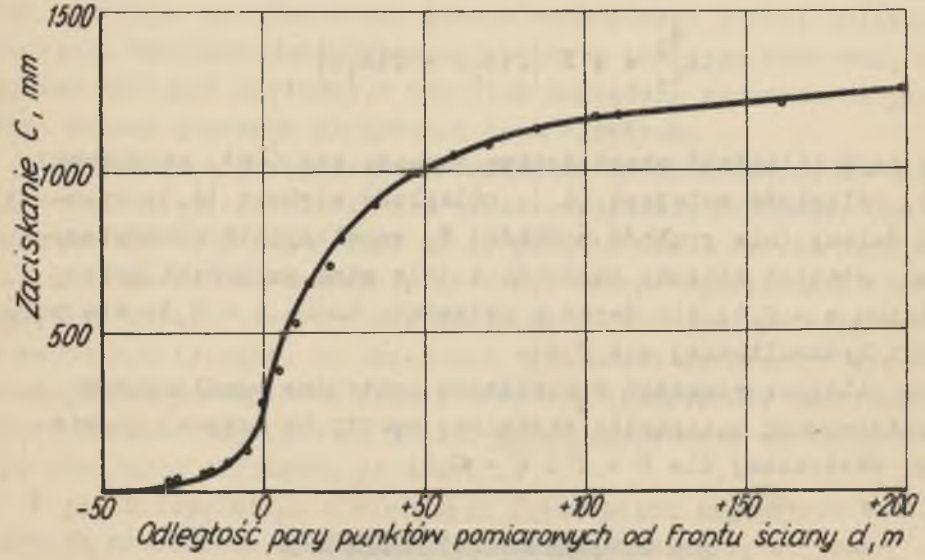
przy czym odległość przed ścianą oznacza się (-d), za ścianą (+d), odległość mniejszą ($d_1$), odległość większą ($d_2$), wysokość ściany (nie grubość pokładu) W, współczynnik charakteryzujący stopień ochrony chodnika q (dla pasa podsadzki przy chodniku q = 0,6; dla ścian z podsadzką suchą q = 0,5; dla podsadzki hydraulicznej q = 0,3).

Do dalszych rozważań wprowadzono kontrolny współczynnik przewidywanego zaciskania chodnika, oparty na krzywej podstawowej obliczonej dla W = 1 i q = 0,6;

$$R = \frac{\text{zaciskanie zaobserwowane}}{\text{zaciskanie teoretyczne}}$$




Typowe stanowisko pomiarowe




Rys. 5. Szkic stanowiska dla pomiaru deformacji chodników, stosowanego we Francji oraz typowy przebieg zaciskania chodnika

Współczynnik ten powinien być wyznaczony dla odcinka chodnika nie mniejszego jak około 30 m i nie powinien zawierać wielkości zaciskania obliczonej dla (d) bliskiego 0, gdyż tam przebieg krzywej podstawowej f(d) określono mało dokładnie. Na jej rzeczywisty przebieg na tym odcinku może wpływać zwięzłość pokładu, sztywność stropu, rodzaj spągu.

Przy pomocy obliczania współczynnika R dla poszczególnych badanych chodników określono wstępnie oddziaływanie szeregu czynników na ich utrzymanie. Ustalono na przykład, że zaciskanie chodnika założonego pod zrobami już wybranego pokładu jest przeciętnie 10% mniejsze w przypadku kolejności wybierania z góry w dół. Jeśli natomiast nad założonym chodnikiem były wybrane pokłady w kierunku z dołu do góry, to zaciskanie chodnika może się zmniejszyć nawet do zera. Pasy calizny lub pasy podsadzkowe pozostawione nad chodnikiem mogą zwiększyć jego zaciskanie w sposób bardzo znaczny, do 60% grubości jaką posiadają te pasy w czasie założenia badanego chodnika. Filary ochronne pozostawione przy chodnikach zasadniczo zmniejszają ich zaciskanie lecz przy przekroczeniu wytrzymałości węgla mogą występować gwałtowne zwiększenia deformacji o charakterze nagłym.

Badania francuskie prowadzone są nadal w kierunku dalszego dokładniejszego poznania procesu zaciskania chodników oraz w kierunku opracowania założeń dla właściwej konstrukcji obudowy chodników. Metoda badawcza prowadząca do określania empirycznych zależności, będących bezpośrednio pomocą dla rozwiązywania szeregu praktycznych zagadnień w kopalniach, wydaje się być w świetle rezultatów uzyskanych przez Francuzów, jak najbardziej celowa w zakresie rozwiązywania zagadnień przejawów ciśnienia górotworu.

## 2.2. Poglądy polskie ujmujące przejawy ciśnienia górotworu występujące przy eksploatacji

### 2.2.1. Poglądy oparte na badaniach teoretycznych

W polskim górnictwie prace teoretyczne nad zagadnieniem ciśnienia górotworu mają swoją wieloletnią tradycję. Dla wytłuma-

ozenia zjawisk ciśnienia przy eksploataoji pokładu stosowano najczęściej teorię fali ciśnienia.

Została ona podana poraz pierwszy w 1933 r. przez W. BUDRYKA [15] jako rozwiązanie zagadnienia ugięcia stropu i ciśnienia eksploataoyjnego, występujących w wybieranym pokładzie pod wpływem nacisku stropu bezpośredniego w przypadku eksploataoji bez podsadzki. Rozwiązanie było oparte na teorii ugięcia belek na sprężystym podłożu. Założono przy tym, że strop pokładu opierając się na nim tworzy płytę wspornikową, podlegającą zgięciu walcowemu oraz że pokład stanowi podłoże sprężyste.

Teoria fali ciśnienia została rozszerzona w latach powojennych. Mianowicie w 1950 r. A. SAŁUSTOWICZ [16] podał rozwiązanie zagadnienia ugięcia stropu i ciśnienia eksploatacyjnego, występujących przy wybieraniu pokładu z podsadzką hydrauliczną. Rozwiązanie to opierało się również na teorii ugięcia belek na sprężystym podłożu. Założono przy tym, że warstwa stropowa rozciąga się w nieskończoność i jest obciążona ciężarem nadkładu, spoczywając w jednej części na pokładzie, a w drugiej na podsadzce. Przyjęto przy tym, że nie tylko pokład ale i podsadzka mają cechy podłoża sprężystego.

Teoretyczne krzywe ugięcia stropu i ciśnienia wyprowadzone według teorii fali ciśnienia były krzywymi falistymi. Materiały doświadczalne, zbierane podczas pomiarów dołowych tak w Polsce, jak i za granicą nie potwierdziły jednak takiego charakteru przebiegu. Krzywe ugięcia stropu obserwowane w praktyce zdążają w sposób aperiodyczny od wartości równej zero do maksymalnej, końcowej wartości ugięcia. Różnica między krzywymi teoretycznymi a rzeczywistymi pochodziła według A. SAŁUSTOWICZA stąd, że w teorii ugięcia belek na sprężystym podłożu nie uwzględnia się tarcia stropu o pokład, lecz zakłada się jedynie reakcję normalną do pokładu. Uważał on, że do rzeczywistej krzywej aperiodycznej można dobrać krzywą teoretyczną, mającą przebieg falisty, oddającą dosyć dokładnie rzeczywiste wielkości obniżenia stropu. Dla opisania rzeczywistej linii ugięcia stropu można zastosować równania przybliżone, które przedstawiają się następująco:

nad podsadzką ($x \geq 0$):

$$w = w_2 + w_1 (1 - e^{-n_1 x}) \qquad (2.2.1.1)$$

nad pokładem ($x \leq 0$):

$$w = w_2 \cdot e^{n_2 x} \qquad (2.2.1.2)$$

gdzie:

$w$ - wielkość osiadania stropu,
$w_2$ - przemieszczenie stropu na krawędzi pokładu,
$w_1$ - przemieszczenie stropu nad zrobami w nieskończonej odległości od czoła ściany,
$x$ - odległość od czoła ściany,
$n_1$, $n_2$ - współczynniki.

Równania określające rozkład naprężeń w sposób przybliżony mają postać:

w podsadzce ($x \geq 0$):

$$\sigma_p = p (1 - e^{-n_1 x}) \qquad (2.2.1.3)$$

w pokładzie ($x \leq 0$):

$$\sigma = p (1 + \frac{c}{k} \cdot e^{n_2 x}) \qquad (2.2.1.4)$$

gdzie: (c) i (k) są współczynnikami oporu właściwego pokładu i zrobów.

W ostatnich latach A. SAŁUSTOWICZ [17] przystąpił do badań teoretycznych górotworu uwzględniających, że przyjęcie górotworu jako ośrodka sprężystego nie zawsze jest wystarczające.

Założył on, że stan odkształcenia pokładu w caliźnie przed czołem ściany jest zależny od prędkości przemieszczania się frontu. Przy postępie niewielkim odkształcenia są duże, przy postępie dużym zaś małe. Przyjął więc, że górotwór odpowiada ośrodkowi Kelvina. W ośrodku tym praca ciśnienia zużywa się częściowo na pokonanie oporów lepkości przy wywoływaniu deformacji, a częściowo gromadzi się w ośrodku w postaci potencjalnej energii sprężystej. Całkowite naprężenie składa się z naprężenia statycznego (sprężystego) i dynamicznego. O wytrzymałości materiału decyduje tylko naprężenie statyczne (sprężyste).

Naprężenie całkowite jest niezależne od prędkości wybierania. Natomiast składowe tego naprężenia to znaczy naprężenie dynamiczne i naprężenie statyczne zależą od tej prędkości. Przy szybkiej eksploatacji naprężenia dynamiczne są duże, ale naprężenia statyczne są niewielkie. Wskutek tego ocios ściany jest wówczas niespękany. Przy powolnej eksploatacji naprężenia statyczne rosną, przekraczając wytrzymałość pokładu nie tylko na ociosie, ale aż do pewnej odległości w głąb calizny przed ścianą. Maksimum naprężeń przenosi się wtedy w głąb pokładu. Powstaje strefa odprężona, ale zmniejsza się skłonność do tąpań.

Inny kierunek badań reprezentuje J. ZNAŃSKI [23], który przebieg zjawisk w górotworze naruszonym eksploatacją, a w szczególności w samym pokładzie węgla traktuje w sposób dynamiczny. Prace te w pierwszym rzędzie rozszerzają zasób wiedzy teoretycznej i praktycznej w dziedzinie badań nad przyczynami i mechanizmem zjawiska tąpań.

### 2.2.2. Teoria reakcji podłoża

W 1953 r. został ogłoszony poraz pierwszy przez M. BORECKIEGO [18, 19] pogląd o kształtowaniu się przejawów ciśnienia górotworu podczas wybierania ścian, jako wyniku reakcji podłoża na siły wyzwalane w górotworze przez jego naruszenie eksploatacją. Jako podłoże traktowana jest caliza pokładu, obudowa rzodka i chodników oraz materiał wypełniający zroby. Podłoże przeciwstawia się ruchowi mas skalnych poszczególnych warstw górotworu, będących pod działaniem energii potencjalnej wyzwo-

lonej wybieraniem pokładu o określonej grubości. Obserwowane i mierzone wartości ciśnienia górotworu obrazują wielkość reakcji poszczególnych elementów podłoża. Zachodzi przy tym zależność pomiędzy energią wyzwalaną w górotworze i pracą zgniatania podłoża.

Układ strukturalny górotworu, a w szczególności grubość i sztywność poszczególnych warstw, stanowi o charakterze narastania oddziaływania. Wynika to z istnienia poszczególnych warstw o określonej zdolności pseudo-uginania się dla danego profilu górotworu. Wielkość ta wyraża się zależnością uwzględniającą charakter strukturalny warstwy (jej szczelinowatość, łupność), wytrzymałość na zginanie, moduł sprężystości, grubość warstwy oraz wysokość jej zalegania nad wybieranym pokładem.

Warstwy górotworu odkształcają się już na znacznych odległościach przed zbliżającym się frontem ściany. W obszarze wyrobiska ścianowego nasilenie osiadania warstw stropowych osiąga swoje maksimum, przy czym największemu odkształceniu ulegają warstwy stropu zawałowego, które w miarę usuwania obudowy przechodzą w stan chaotycznego zawału. Za ścianą ze względu na napotykany szybki wzrost podporności rumowiska zawałowego czy podsadzki ruch ten ulega pewnemu zwolnieniu. Jest on wynikiem odkształcenia się pierwszej serii warstw stropu trwałego. W okresie obniżania się następnych warstw stropowych ruch przebiega już znacznie wolniej i połączony jest z okresami pewnej stabilizacji.

Konfrontacja przebiegu ciśnienia na podłoże z profilem geologicznym górotworu doprowadza do wniosku o zasadniczym związku między układem warstw skalnych w górotworze a kształtowaniem się za czołem ściany nacisku górotworu naruszonego oraz przebiegiem jego ruchów. W przypadku zalegania nad wybieranym pokładem grubej serii kruchych warstw, nie stwarzających warunków dla wydzielania się warstwy charakterystycznej, wzrost ciśnienia może mieć charakter równomierny i ciągły.

Szybkość posuwu frontu wybierania oraz rodzaj obudowy wyrobiska ścianowego nie ma zasadniczego wpływu na kształtowanie się krzywej ciśnienia za wyrobiskiem ścianowym. Decydującymi

czynnikami są tu profil górotworu i rodzaj zapełnienia wybranych pustek. Strefa stabilizacji ciśnienia może przedłużać się na znaczną odległość, zależną w dużej mierze od głębokości eksploatacji i charakteru warstw nadkładowych. Wydaje się niewątpliwie istnienie pewnego minimum czasu odpowiadającego danemu profilowi geologicznemu górotworu, niezbędnego dla obniżenia się warstw i potrzebnego dla pokonania oporów wytwarzających się wzdłuż płaszczyzn spękania warstw oraz dla ściśnięcia podsadzki, zawału czy ewentualnych resztek niewybranej calizny względnie filarów przychodnikowych.

Obudowa wyrobiska ścianowego stanowi element podłoża, obok calizny węglowej, zawaliska bądź podsadzki, przejmujący na siebie nacisk odkształcających się warstw górotworu. Mianowicie podłoże złożone z trzech wyszczególnionych różnych elementów, pełni rolę czynnika hamującego i regulującego ruch naruszonych warstw górotworu. Obudowa wyrobiska ścianowego powinna przeciwstawiać się jedynie ruchom warstw zalegających bezpośrednio nad pokładem, nazywanych stropem zawałowym albo bezpośrednim, nie dopuszczając do ich rozsłojenia i rozluźnienia. Natomiast nie powinna przeciwstawiać się ruchom warstw stropu trwałego, zasadniczego. Zadanie to wypełnia zawalisko bądź podsadzka oraz calizna węglowa. Z tych względów podstawową własnością obudowy powinna być podatność, umożliwiająca jej współpracę z warstwami stropu trwałego przy równoczesnym wywieraniu określonego stałego nacisku, wystarczającego do utrzymania warstw bezpośrednich w stanie przywarcia do tegoż stropu.

Teoria M. BORECKIEGO [20, 21, 22, 29] przewiduje potrzebę empirycznego wyznaczania zależności, którym podlega kształtowanie się przejawów ciśnienia górotworu w ośrodkach o różnych własnościach górniczo-technicznych. Zbadanie tych zależności pozwoli na przewidywanie dla danych warunków charakteru i nasilenia przejawów ciśnienia górotworu względnie umożliwi zastosowanie właściwych środków dla ograniczenia ich szkodliwości.

## 2.3. Przydatność dotychczasowych teorii ciśnienia górotworu dla praktyki ruchowej kopalń

Omówione, bardziej rozpowszechnione poglądy na kształtowanie się przejawów ciśnienia górotworu nie zaspakajają jeszcze potrzeb wynikających z praktyki górniczej. Nie ujmują one naogół całokształtu zagadnienia. Większość wzmiankowanych teorii rozpatruje zjawiska dotyczące jednego wyidealizowanego przekroju przez ścianę i to przez ścianę podsadzkową, nie precyzując czy chodzi tu o przekrój przez środek pola ścianowego, czy o przekrój przez chodniki. Wiadomo tymczasem z obserwacji dołowych, że przejawy ciśnienia kształtują się inaczej w samym przodku ścianowym, a inaczej w chodniku założonym przy caliźnie, czy w chodniku przechodzącym w obustronne otoczenie zrobów. Istnieją nawet różnice w zachowaniu się w tym samym chodniku punktów znajdujących się przy ociosie od strony calizny w stosunku do punktów przy ociosie po stronie zrobów.

W związku z tym próby teoretycznych rozwiązań zakładające generalne uproszczenie zagadnienia do formy jakiegoś typowego przebiegu nie dają górnikowi większego praktycznego pożytku. Tym zresztą można tłumaczyć fakty, że pomimo istnienia już wielu teorii, przeciętny praktyk górniczy posługuje się dotychczas własnym doświadczeniem w sprawach przewidywania czy przeciwdziałania skutkom ciśnienia górotworu.

Oprócz daleko idącej generalizacji i co za tym idzie upraszczania zagadnienia, większość teorii nie daje konkretnych, ruchowo przydatnych, sposobów obliczeniowych, dotyczących tak wielkości ciśnień jak przede wszystkim ważnych dla praktyka, wielkości deformacji. Nawet stanowiąca wyjątek pod tym względem polska teoria fali ciśnienia posługuje się bardzo skomplikowanymi formułami obliczeniowymi, a określenie szeregu potrzebnych do wyznaczenia parametrów obliczeniowych przekracza możliwości przeciętnego praktyka.

Te niedostatki poglądów teoretycznych mają swoje główne źródło w tym, że dla bardziej szczegółowego ujęcia zagadnienia potrzebny jest bogaty materiał obserwacyjny z konkretnych pól eksploatacyjnych. Zebranie takiego materiału jest możliwe tyl-

ko drogą żmudnych, długotrwałych i kosztownych badań na różnych kopalniach. Prowadzenie takich badań jest w warunkach górnictwa kapitalistycznego raczej niemożliwe, pomimo posiadania przez nie bardzo dobrej aparatury pomiarowej. Świadczą o tym rezultaty przede wszystkim zachodnio-niemieckie. Po wielu wysiłkach połączonych nawet z utworzeniem specjalnego towarzystwa badawczego, dokonano obserwacji w kilku zaledwie ścianach w jednym tylko pokładzie w kopalni Neumuhl. Otrzymane wyniki nie wystarczyły na szersze i bardziej obiektywne ujęcie zagadnienia, a powtórzenie czy rozszerzenie pomiarów nie leżało w interesie prywatnych przedsiębiorców.

Nieco lepiej przedstawia się sprawa w upaństwowionym górnictwie francuskim, gdzie zakres badań dołowych jest znacznie szerszy. Jednak i tu dążenie do natychmiastowego uzyskania korzyści finansowych z prowadzonych badań doprowadziło do pewnego ich wynaturzenia. Pomiary ograniczono mianowicie głównie do chodników zakładanych przy caliźnie i to do obserwacji tylko jednego ociosu. Uzyskany w ten sposób materiał doświadczalny w bardzo małym stopniu może nadawać się do bardziej szerokiego przedstawienia kształtowania się przejawów ciśnienia górotworu w polach ścianowych. Uwidacznia się to zresztą w dotychczasowych ujęciach francuskich.

Tymczasem w wyniku szybkiego rozwoju techniki eksploatacji w ostatnich latach, powstało szereg problemów wiążących się bezpośrednio z przejawami ciśnienia górotworu. Jest to na przykład problem właściwego utrzymania chodników dla ścian o długich wybiegach. Utrzymania pozwalającego na wykorzystanie chodnika podczas ruchu ściany na tysiącu lub więcej metrach wybiegu, bez konieczności wykonywania przebierki czy przebudowy. Dla rozwiązania tego problemu konieczne jest, tak poznanie choćby pobieżne praw rządzących zaciskaniem chodników, jak i ustalenie właściwych parametrów konstrukcyjnych dla obudowy chodnikowej. Innym problemem jest zagadnienie prędkości posuwania się frontu ścianowego. Dotychczasowe poglądy teoretyczne wykazują między sobą duże sprzeczności. Wydaje się jednak konieczne z punk-

tu widzenia rozwoju kierunków mechanizacji wydobycia ze ścian, określenie rzeczywistego wpływu postępu ściany na przejawy ciśnienia górotworu. Poza wymienionymi istnieje jeszcze wielka liczba innych problemów dotyczących obudowy przodków, skrzyżowań ścianowych, wpływu wybierki na pola sąsiednie, przemieszczenia się wpływów eksploatacji w górotworze itp. wchodzących w zakres przejawów ciśnienia górotworu, a jak dotąd słabo rozeznanych.

Taki stan rzeczy wskazuje na pilną potrzebę ustalenia rzeczywistych zależności jakim podlega kształtowanie się przejawów ciśnienia górotworu powstających w wyniku przeprowadzonej eksploatacji. Jak wykazały dotychczasowe przykłady, prawidłowe teoretyczne rozwiązanie tych zagadnień jest niezmiernie skomplikowane, a bez uwzględnienia rezultatów badań dołowych wręcz niemożliwe. Najszybszą drogą do uzyskania wyników przydatnych dla praktyki jest ustalenie poszczególnych zależności empirycznych, których zbiór umożliwi przeprowadzenie ujęcia kompleksowego. Dla tego celu potrzebne jest posiadanie obfitego materiału doświadczalnego z badań i obserwacji dołowych.

Z omówionych poglądów, polska teoria reakcji podłoża M. BORECKIEGO nastawiona jest na takie kompleksowe ujęcia zjawisk ciśnienia górotworu w polach eksploatacji ścianowej. Przewiduje ona stopniowe określenie związków empirycznych drogą analizy materiałów z badań dołowych. Wieloletnie pomiary prowadzone w polskich kopalniach węgla kamiennego pozwalają już na sprecyzowanie pewnej części tych związków.

## 3. CEL PRACY, ZAŁOŻENIA I DEFINICJE ORAZ SFORMUŁOWANIE PROBLEMU

### 3.1. Cel pracy

Celem niniejszej pracy było przeprowadzenie analizy uzyskanych rezultatów badań przejawów ciśnienia górotworu w polach eksploatacji ścianowej w pokładach węgla kamiennego w niektórych kopalniach Zagłębia Górnośląskiego. Badania takie objęły

swym zasięgiem kilkanaście pól eksploatacji ścianowej zlokalizowanych w zróżnicowanych warunkach geologiczno-górniczych i techniczno-organizacyjnych. Szczególnym wyróżnikiem poszczególnych akcji pomiarowych był sposób kierowania stropem (zawał, pasy podsadzki suchej, podsadzka hydrauliczna) w ścianach zlokalizowanych w obrębie badanego pola eksploatacyjnego.

Przeprowadzona analiza miała dać odpowiedź na następujące zasadnicze problemy:

- czy obserwowane zjawiska przebiegają w jakiś regularny sposób i czy można mówić o ich typowości,
- jaka jest dyspersja poszczególnych pojedynczych pomiarów i czy w oparciu o znane metody rachunku statystycznego, upoważnia ona do określania wartości średnich oraz wyciągania na tej podstawie dalszych wniosków,
- czy istnieją i jeżeli tak to jakie możliwości opisu zaobserwowanych zjawisk, na podstawie wartości średnich, przy pomocy uogólnionych empirycznych zależności analitycznych.

Realizacja założonego celu pracy wymaga przyjęcia pewnych założeń wyjściowych oraz zdefiniowania niektórych pojęć, które w dalszym ciągu będą analizowane lub interpretowane.

### 3.2. Założenia i definicja

Opierając się na stwierdzeniach wynikających z rozdziałów 1 oraz 3.1 niniejszej pracy, przy analizie wyników badań, ustalaniu zależności empirycznych i formułowaniu wniosków wykorzystywane będą następujące założenia i pojęcia:

Przejawy ciśnienia górotworu - są to skutki zmiany stanu naprężeń w górotworze i to wyłącznie te skutki, które uzewnętrzniają się w sposób bezpośredni lub pośredni w wyrobisku górniczym. Przejawami tymi mogą być: zaciskanie wyrobiska, ruchy stropu lub spągu w kierunku wybranej przestrzeni wyrobiska, a także wielkości reakcji podłoża (calizny pokładu, ociosów chodnika, obudowy) spowodowane zmianami obciążenia czynnego pochodzącego od górotworu.

Zaciskanie wyrobiska - jest to wzajemne względne zbliżanie się (ruch) płaszczyzny stropu i spągu wyrobiska narastające w czasie.

Osiadanie stropu - jest to bezwzględna wartość pionowego przemieszczania się płaszczyzny stropu w kierunku do wybranej przestrzeni wyrobiska następująca w czasie.

Wypiętrzanie spągu - jest to bezwzględna wartość pionowego przemieszczania się płaszczyzny spągu w kierunku do wybranej przestrzeni wyrobiska następująca w czasie.

Zależność przejawów ciśnienia górotworu od czasu - czynnik czasu ma decydujący wpływ na charakter przebiegu przejawów ciśnienia górotworu. W analizowanym przypadku parametr ten determinowany jest postępem przodków ścianowych w określonej jednostce czasu (doba). Jak stwierdzono na podstawie uzyskanego materiału pomiarowego, dla poszczególnych typów pól ścianowych postęp frontu ścianowego w jednostce czasu można w przybliżeniu uznać za stały. W tej sytuacji, wystarczającym dla potrzeb niniejszej pracy, będzie odwzorowywanie analizowanych przejawów ciśnienia górotworu jako funkcji odległości od czoła ściany.

Odległość od czoła ściany - jest to odległość każdorazowo analizowanego przekroju wyrobiska od czoła ściany. Niezależnie od tego czy przekrój ten znajduje się przed frontem, czy za frontem ściany zmienna ta ma zawsze wartość dodatnią.

Elementy podłoża - jako elementy podłoża występować mogą calizna pokładu, przychodnikowe pasy podsadzkowe, zroby poeksploatacyjne oraz obudowa wyrobisk. Są to te wszystkie elementy, które w sposób bezpośredni swym oddziaływaniem (podpornością) reagują na zmiany obciążenia czynnego pochodzącego ze strony górotworu.

Charakterystyka podpornościowa elementu podłoża - w zależności od warunków prowadzenia badań i potrzeb analizy charakte-

rystykę podpornościową elementu podłoża określa się w dwojaki sposób:

- jako zależność pomiędzy obciążeniem czynny ze strony górotworu działającym na miernik siły (dynamometr) usytuowany w płaszczyźnie kontaktu stropu wyrobiska z elementem podłoża, a wielkością odkształcenia właściwego elementu podłoża. Wartość tą określa się w przeliczeniu na jednostkę powierzchni elementu podłoża,
- charakterystykę podpornościową podłoża określa się też jako funkoję odległości od czoła ściany.

W przedstawionym ujęciu, z pewnym uproszczeniem, można utożsamiać charakterystykę podpornościową elementu podłoża z ciśnieniem pionowym działającym na ten element, przy uwzględnieniu charakterystyki wytrzymałościowej rozpatrywanego elementu.

Otoczenie wyrobiska - jest to środowisko w którym założone zostało wyrobisko górnicze. W otoczeniu tym wyróżnia się: calizną pokładu, warstwy skał zalegających bezpośrednio nad pokładem (bez uwzględniania stropu fałszywego) oraz pod pokładem, a także zroby poeksploatacyjne oraz ociosy chodników przyścianowych zarówno naturalne jak i sztuczne. Ocios naturalny jest utworzony z pokładu węgla lub pokładu węgla i skał otaczających w przypadku chodników z przybierką stropu lub spągu. Ocios sztuczny utworzony jest z zrobów poeksploatacyjnych zabezpieczonych od strony chodnika pasem podsadzkowym.

Zwięzłość węgla w pokładzie i skał otaczających - jest to parametr pozwalający na określenie własności wytrzymałościowych "in situ" węgla oraz skał stropowych i spągowych.

Spośród wielu istniejących parametrów tego typu, w chwili obecnej możliwym do przyjęcia i najbardziej uzasadnionym jest współczynnik zwięzłości skał określony na podstawie metody Protodiakonowa.

Typowe przekroje przez wyrobisko górnicze - dla ujednolicenia przebiegu analizy oraz uproszczenia ostatecznych wyni-

ków oraz ustalanych zależności w polu ścianowym wyróżniono pięć typowych przekrojów:

- przekrój przez środek pojedynczego pola ścianowego,
- przekrój przez chodnik przyścianowy przy ociosie naturalnym zarówno przed jak i za frontem ściany (jednostronne otoczenie zrobów za frontem ściany),
- przekrój przez chodnik przyścianowy przy ociosie naturalnym przed frontem ściany i sztucznym za frontem ściany (jednostronne otoczenie zrobów za frontem ściany),
- przekrój przez chodnik przyścianowy przy ociosie naturalnym przed frontem ściany i sztucznym za frontem ściany (jednostronne otoczenie zrobów przed frontem ściany),
- przekrój przez chodnik przyścianowy przy ociosie sztucznym przed i za frontem ściany (dwustronne otoczenie zrobów).

W oparciu o przedstawione powyżej założenia i definicje przeprowadzona zostanie część analityczna pracy zmierzająca do uogólnienia uzyskanych rezultatów badań.

### 3.3. Sformułowanie problemu pracy

Wykorzystując dotychczasowe ustalenia, w dalszym ciągu zmierzać się będzie do stwierdzenia i udowodnienia, że najistotniejszymi przejawami ciśnienia górotworu w polach eksploatacji ścianowej jest zaciskanie (konwergencja) wyrobisk górniczych w wyodrębnionych przekrojach typowych. Na zaciskanie to składa się osiadanie stropu i wypiętrzanie spągu.

Zjawiska te przebiegają w sposób regularny (w założonym przedziale ufności) i w pierwszym rzędzie zależą od odległości od czoła ściany. Konwergencję przed frontem ściany można opisać krzywą typu ekspotencjalnego, a za frontem ściany krzywą typu hiperbolicznego. Na przebieg tych krzywych oddziaływują równocześnie parametry górnicze środowiska oraz techniczne prowadzenia ściany wśród których wyróżnić należy: wysokość ściany zwięzłość węgla w pokładzie oraz zwięzłość skał zalegających w otoczeniu wyrobiska.

Ponadto przebieg konwergencji zależy od reakcji podporności ciowych podłoża, węgla w pokładzie przed frontem ściany oraz reakcji podporności owych ociosów naturalnych i sztucznych chodników przyścianowych, a także tych reakcji w zrobach poeksploatacyjnych. A zatem ujęcie to uwzględnia sposób kierowania stropem w polach eksploatacji ścianowej. Zależności te przedstawić można obecnie wyłącznie w sposób jakościowy umożliwiający przyjęcie odpowiednich współczynników empirycznych dla ustalenia ostatecznej formuły równań opisujących przebieg zaciskania wyrobisk w polach eksploatacji ścianowej.

Przedstawione w dalszym ciągu pracy wywody mają wykazać zasadność sformułowanych stwierdzeń oraz podać konkretne, uogólnione empiryczne zależności analityczne umożliwiające z wystarczającą dla praktyki górniczej dokładnością określanie szkodliwych skutków ciśnienia górotworu naruszonego eksploatacją górniczą. Takie sformułowanie problemu stwarza możliwość wykorzystania ustalonych zależności dla prawidłowej eksploatacji a w szczególność utrzymania chodników w polach ścianowych.

## 4. BADANIA PRZEJAWÓW CIŚNIENIA GÓROTWORU W POLACH ŚCIANOWYCH PRZEPROWADZONE W POLSKICH KOPALNIACH WĘGLA

### 4.1. Charakterystyka przeprowadzonych akcji badawczych

Jak już wspomniano dołowe badania przejawów ciśnienia górotworu w polskich kopalniach węgla zostały podjęte przez Główny Instytut Górnictwa w 1952 r. pod kierunkiem M. BORECKIEGO. Są one prowadzone do chwili obecnej, jakkolwiek na przestrzeni lat ich zakres i tematyka ulegały pewnym zmianom. Badania przejawów ciśnienia górotworu w polach ścianowych rozpoczęto na szerszą skalę w 1954 r. Objęto nimi w okresie 3 letnim pole składające się z pięciu ścian z pasami podsadzki z kamienia uzyskiwanego ze ślepych chodników, w pokładzie 413 w kopalni Miechowice. Następnym obiektem były dwa pola ścianowe, zawałowe w pokładzie 504 również w kopalni Miechowice. W jednym i drugim polu obserwowano po 4 ściany przez około 4 lata, począ-

wszy od 1955 r. Ponadto badano ściany w pokładzie 501, z trudnorabującym się stropem, wybierane na zawał, także w kopalni Miechowice. Pomiary trwały przez 2 lata w 1959 i 1960 roku.

Po wstępnym opracowaniu wyników badań ze ścian prowadzonych bez podsadzki wykonano badania kontrolne w dwóch ścianach zawałowych w pokładzie 504 w latach 1961 i 1962 oraz w czterech ścianach z pasami podsadzki ze ślepych chodników w pokładzie 510 w latach 1964 do 1966 również w kopalni Miechowice.

Oprócz wspomnianych akoji pomiarowych prowadzonych na szeroką skalę, wykonano badania porównawcze o mniejszym zakresie w ścianach wybieranych z podsadzką hydrauliczną. Były to badania z roku 1960 w pokładzie 504, z 1960/61 w pokładzie 510, z lat 1963 do 1964 w pokładzie 509 w kopalni Miechowice oraz badania z roku 1959 w pokładzie 510 z kopalni Sosnowiec.

Przeprowadzono również badania w dwóch polach ścianowych wybieranych w warunkach nietypowych. Jednym było pole ścianowe w pokładzie 414 z podsadzką hydrauliczną w kopalni Radzionków, założone w filarze ochronnym. Obserwowano tam 4 ściany w latach 1956 i 1957. Drugie pole znajdowało się w kopalni Knurów, gdzie w 1963 r. prowadzona była ściana zawałowa o postępie ponad 4,5 m/dobę w pokładzie 353.

Akcję badawczą w pokładzie 413 w kopalni Miechowice oznaczono jako M413. Wybierany pokład miał grubość średnią 2,15 m, wahającą się w granicach $\pm$10% i zwięzłość, wyrażoną przy pomocy współczynnika urabialności, f = około 1,5. Upad wynosił 0 do 4°. Przeciętna głębokość eksploatacji wynosiła około 530 m. W stropie pokładu występowała nieregularna warstwa łupku o średniej grubości 0,5 m. Powyżej zalegała 12-metrowa warstwa niezbyt zwięzłego piaskowca. Długość ścian wynosiła przeciętnie 110 m, zaś postęp frontu był rzędu 1,3 m/dobę. Obudowa była drewniana.

Badania przeprowadzone w dwóch polach ścianowych w pokładzie 504 w kopalni Miechowice oraz badania kontrolne w następnym polu w tym pokładzie zostały oznaczone jako akcja badawcza M504. Pokład 504 miał grubość średnią 2,6 m, wahająca się w granicach $\pm$ 20% i zwięzłość, wyrażoną przy pomocy współczynnika urabialności, f = 1,8. Upad nie przekraczał 5°.

Głębokość eksploatacji wynosiła około 700 m. W stropie występowała warstwa łupku o grubości około 5 m, ponad nią piaskowiec grubości również około 5 m. 20 m nad pokładem 504 były zroby pokładu 503. Długość ściany wynosiła około 60 m, postęp dobowy był rzędu 0,8 m/dobę. Obudowa była stalowa, długimi stropnicami i stojakami G37.

Badania w pokładzie 501 w kopalni Miechowicie oznaczono jako akcję M501. Grubość pokładu wynosiła przeciętnie 3,3 m z czego wybierano górną warstwę o średniej grubości 2,5 m. Głębokość eksploatacji wynosiła 660 m. Warstwa dolna pokładu zanieczyszczona przerostami pozostawała. Spąg ścian stanowiła warstwa miękkiego przerostu, grubości około 0,3 m. Prędkość przesuwania się frontu eksploatacyjnego wynosiła średnio 0,6 m/dobę. Węgiel w pokładzie był średnio zwięzły, o współczynniku f równym około 1,5. W stropie zalegała warstwa piaskowca, grubości około 7 m. Powyżej znajdował się łupek. Upad ścian był niewielki i wynosił około $3^{\circ}$. Ściany miały długość po około 75 m. Obudowa była stalowa, długimi stropnicami i stojakami G-37. Po wyrabowaniu obudowy strop załamywał się, najczęściej bez zestrzeliwania, w formie dużych bloków o długości przekraczającej niekiedy 3 m, o grubości 1 do 2 m i szerokości około 2 m.

Podczas akcji pomiarowej oznaczonej jako M510 obserwowano pole w pokładzie 510 w partii C w kopalni Miechowice w ścianach prowadzonych z pasami podsadzki, układanymi w odstępach 20 do 30 m prostopadle do frontu ścian. Grubość pokładu 510 wynosiła przeciętnie 4,4 m. Wybierana była górna warstwa o grubości 1,9 m. Głębokość eksploatacji wynosiła około 800 m. Prędkość przesuwania się frontu eksploatacyjnego wynosiła średnio 1,5 m/dobę. Węgiel w pokładzie był średnio zwięzły, o współczynniku f równym około 1,5. W stropie zalegały naprzemian niezbyt grube warstwy piaskowca i łupku piaszczystego do wysokości około 11 m nad pokładem. Powyżej występowały warstwy łupku ilastego i piaskowca. Upad pokładu w badanym polu był zmienny i średnio wynosił $17^{\circ}$. Długości ścian wahały się od 150 do 170 m. Obudowa była stalowa

w trójkąt ze stropnicami członowymi długości 1,2 m i stojakami STT Valent. Urabiano pokład kombajnem bębnowym o zabiorze 0,6 m.

Akcja badawcza M504 H obejmowała pole w pokładzie 504 w kopalni Miechowice. Składało się ono z pary ścian z podsadzką hydrauliczną o przeciętnej długości około 60 m. Eksploatacja była prowadzona po wzniosie, na głębokości 660 m. Urabialność pokładu wynosiła f = 1,8. Pokład był wybierany na całą grubość Wysokość ścian wynosiła 2,7 m. Strop był łupkowy, spąg twardy. Upad $10^{o}$.

Pole w pokładzie 510 w kopalni Miechowice obserwowane podczas akcji M510 H wybierano po wzniosie, pojedynczymi ścianami z podsadzką hydrauliczną o długości około 80 m. Eksploatowano dolną warstwę pokładu o grubości 2,3 m. Głębokość eksploatacji wynosiła około 600 m. Urabialność pokładu f = 1,5. W stropie zalegał węgiel, wyżej łupek. Spąg był bardzo twardy. Upad $10^{o}$.

W pokładzie 509 w kopalni Miechowice obserwowano dwa pola. W jednym z nich, w oddziale 2 czynne były dwie ściany z podsadzką hydrualiczną, objęte akcją pomiarową M509 H, których średnia długość wynosiła ponad 100 m. Były one eksploatowane po wzniosie, przy nachyleniu około $13^{o}$, na głębokości około 700 m. Wybierano górną warstwę pokładu o grubości 2,7 m. Urabialność pokładu f = 1,6. W stropie znajdowały się warstwy łupku ilastego i piaszczystego, przechodzącego w piaskowiec. Spąg stanowiła dolna warstwa pokładu 509.

W drugim polu w pokładzie 509 w kopalni Miechowice, obserwowanym w ramach akcji badawczej M 509 J, czynne były także dwie ściany z podsadzką hydrualiczną o długościach rzędu 100 m, wybierane po wzniosie przy nachyleniu $12^{o}$, na głębokości 700 m. Wybierano tam pokład na całą grubość wynoszącą około 3,8 m.

Pole w pokładzie 510 w kopalni Sosnowiec objęte akcją badawczą S510 składało się z trzech ścian z podsadzką hydrauliczną o długościach 60 do 70 m. Głębokość eksploatacji była niewielka, około 150 m. Upad $9^{o}$. Ściany prowadzono w dolnej, pierwszej warstwie pokładu 510 o grubości 3,5 m. W stropie zalegała warstwa węgla około 4,5 m grubości, nad nią łupek. Spąg był łupkowy.

Akcja badawcza R414 H przeprowadzona została w polu ścianowym znajdującym się w pokładzie 414 w obrębie filara pod zakładem przeróbczym kopalni Nowy Dwór. Całkowita grubość pokładu wynosiła około 4 m. Wybierano dolną warstwę, grubości około 2,3 m, ścianami z podsadzką hydrauliczną i obudową drewnianą. Prędkość przemieszczania się frontu eksploatacji wynosiła średnio 0,5 m/dobę. Pokład był mało zwięzły około f = 1,3, zalegał na głębokości około 400 m i miał upad około $8^{o}$. W stropie zalegał łupek ilasty, poprzedzielany pokładami węgla. W spągu znajdował się miękki łupek. Powyżej pokładu 414, aż do powierzchni oraz poniżej niego, nie były poprzednio prowadzone roboty eksploatacyjne.

Akcja pomiarowa w ścianie o dużym postępie dobowym wykonana w kopalni Knurów oznaczona została Kn353. Grubość pokładu wynosiła średnio 1 m. Eksploatację prowadzono z zawałem stropu na głębokości średnio 320 m. Prędkość przemieszczania się frontu eksploatacji wynosiła w październiku 1963 średnio 4,5 m/dobę, a w listopadzie została zmniejszona do 0,9 m/dobę. Pokład był łatwo urabialny. Współczynnik f wynosił dla węgla około 1,1. Nad pokładem zalegały warstwy średnio zwięzłego łupku piaszczystego grubości 15 m. W spągu występował łupek ilasty. Upad pokładu wynosił około $20^{o}$. Długość ściany wynosiła 170 m. Pokład urabiano kombajnem bębnowym o zbiorze 0,6. Obudowa stalowa stropnicami członowymi 1,2 m długości i stojakami G-37 w trójkąt.

### 4.2. Zakres i metoda badań

Podstawowym założeniem prowadzonych badań było zebranie możliwie licznego materiału pomiarowego z zakresu przejawów ciśnienia górotworu w polach eksploatacji ścianowej.

Przedmiotem głównego zainteresowania były zatem:

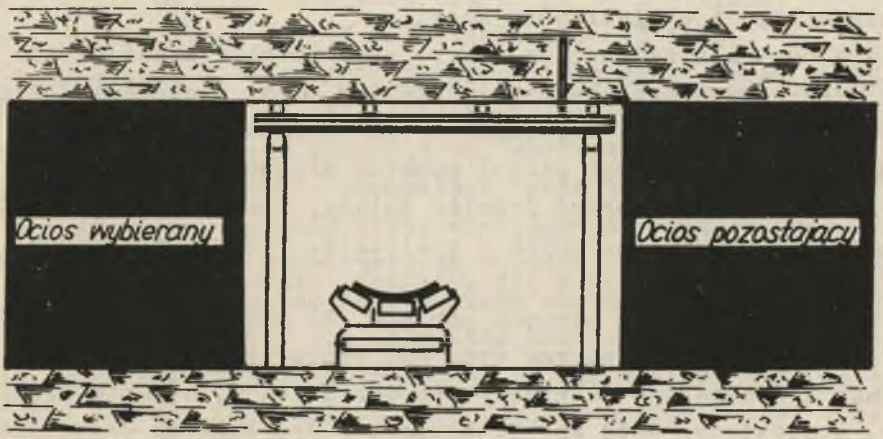
a) badania osiadania stropu i wypiętrzania spągu w chodnikach przyścianowych
b) badania osiadania stropu, wypiętrzania spągu i wielkości reakcji podporności pokładu przed frontem ściany w otoczeniu chodników przyścianowych;

c) badania osiadania stropu, wypiętrzania spągu i wielkości reakcji podpornościowych elementów podłoża za frontem ściany w bezpośrednim sąsiedztwie chodników przyścianowych, w pasach podsadzkowych, podsadzce, w pozostającej caliźnie węglowej;

d) badania osiadania stropu, wypiętrzania spągu i wielkości reakcji podpornościowych w zrobach za ścianą, w pasach podsadzkowych, podsadzce i zawale.

Oprócz tego w miarę możności prowadzono obserwacje powstawania pęknięć w stropie za ścianą i jego załamywania się oraz związku tych zjawisk z istniejącymi systemami łupności, jak również, gdy było to możliwe, obserwowano osiadanie wyższych warstw stropowych. Ponadto badano szczegółowo zaciskanie wyrobiska i obciążenie obudowy w samych przodkach ścianowych, co stanowiło przyczynek do innego, bardzo szerokiego programu badań, realizowanego przez GIG, a dotyczącego zagadnienia obudowy przodków ścianowych [25, 26].

W chodnikach przyścianowych prowadzono okresowe niwelacje punktów, stabilizowanych w stropie i spągu wyrobiska (rys. 6). Wiercono w tym celu otwory i wbijano w nie kołki drewniane, długości 0,5 m, zaopatrzone w wystający gwóźdź. Punkty starano




Rys. 6. Usytuowanie punktów niwelacyjnych w chodniku podścianowym

się zakładać, o ile możności, jak najdalej przed zbliżającym się czołem ściany. Umieszczono je zwykle w niewielkiej odległości od ociosu węglowego, pozostającego za frontem wybieranej ściany. W ten sposób znajdowały się one początkowo w obustronnym otoczeniu calizny, a następnie przechodziły w jednostronne otoczenie zrobów, aby wreszcie po wybraniu sąsiadującej ściany przejść w obustronne otoczenie zrobów. Niwelacje wykonywano głównie metodą geometryczną, a w trudniejszych warunkach dołowych, metodą trygonometryczną.

Wyniki dokonywanych pomiarów miały dostarczyć danych o zakresie i nasileniu wpływów eksploatacji ścianowej na chodnik.

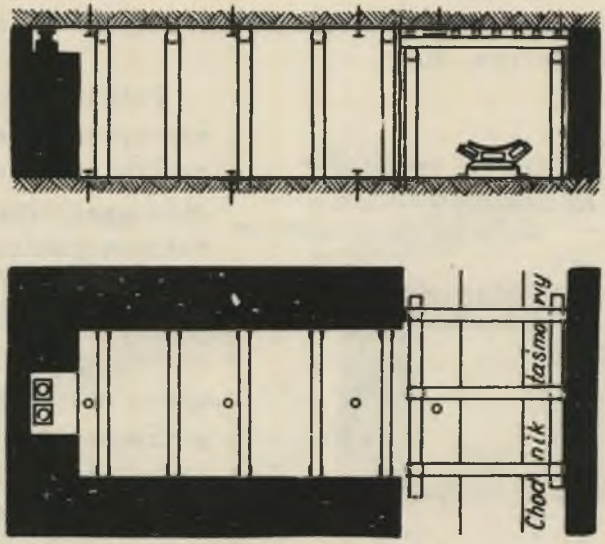
Ruchy stropu i spągu oraz reakcje podporności owe występujące przed frontem ściany w sąsiedztwie chodników przyścianowych obserwowano w specjalnych chodnikach badawczych. Ich szerokość wynosiła 1,5–2,0 m, długość od 4 do nawet 30 m. Drążono je z chodników przyścianowych, w przybliżeniu prostopadle do nich. Chodniki badawcze starano się zakładać w możliwie największych odległościach przed czołem zbliżającej się ściany.

W stropie i spągu tych chodników stabilizowano punkty, przy pomocy kołków drewnianych, wbijanych w wywiercone otwory. Przykładowe rozmieszczenie punktów przedstawiono na rys. 7. Punkty te okresowo niwelowano, uzyskując tą drogą dane o osiadaniu stropu i wypiętrzaniu spągu.

W chodnikach badawczych obserwowano również zmniejszanie się wysokości wyrobiska czyli przebieg jego zaciskania. Wielkość tego zaciskania określano drogą okresowego wykonywania pomiarów między danymi parami punktów stropowo-spągowych.

Reakcje pokładu przed frontem ściany, mierzono przy pomocy dynamometrów, umieszczanych w pokładzie. W czole chodników badawczych, względnie w ich ociosach, drążone specjalne, niewielkie wnęki pod stropem pokładu. We wnękach tych ustawiono dynamometry mechaniczne typu RBS względnie elektryczne Maihak i rozpierano je między stropem pokładu, a samym pokładem, stanowiącym spód wnęki. Rozparcie dynamometru pozwalało na uzyskanie jego ścisłego kontaktu ze skałami otaczającymi. Sposób ustawienia dynamometrów ilustruje także rys. 7.

Opisany sposób przeprowadzania pomiarów dynamometrycznych miał na celu uzyskanie danych jakościowych, dotyczących kształtowania się wielkości reakcji pokładu na obciążenie pochodzące

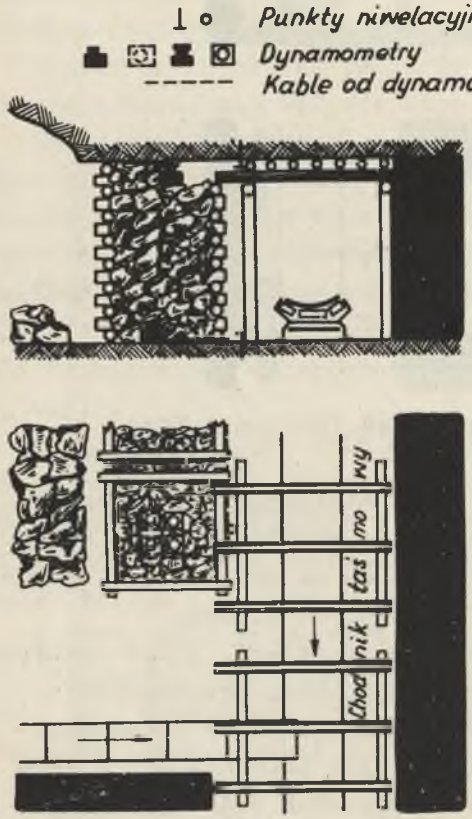



Rys. 7. Szkic chodnika badawczego przed frontem ściany

od nadległych warstw górotworu, przed zbliżającym się frontem ściany. Sposób przeprowadzania pomiarów ruchów stropu i spągu miał z kolei na celu uzyskanie danych co do nasilenia, charakteru i zasięgu tych ruchów w caliźnie przed ścianą.

Ruchy stropu i spągu oraz wielkości nacisków, jakie występują za frontem ściany w sąsiedztwie chodników, przyścianowych badano na stanowiskach pomiarowych, zakładanych w przychodnikowych pasach podsadzki. Stanowisko takie składało się z jednej lub kilku par punktów stropowo-spągowych oraz jednego lub kilku dynamometrów, umieszczonych w pasie podsadzkowym. Dynamometry typu RBS ustawiono na rumowisku skalnym, tworzącym wnętrze pasa i rozpierano dla uzyskania kontaktu ze stropem pokładu. Dynamometry Maihak ustawiono na spągu i nad nimi układano pas podsadzkowy. Dynamometry zakładano każdorazowo w czasie wykonywania danego odcinka pasa podsadzkowego. Przy dynamometrach stabilizowano, w możliwie najbliższym sąsiedztwie,

jedną lub kilka par punktów, dla mierzenia zaciskania pasa podsadzkowego oraz dla obserwacji ruchów stropu i spągu. Sposób wykonywania pomiarów zaciskania oraz ruchów stropu i spągu był analogiczny jak w przypadkach omówionych poprzednio. Przykładowy widok stanowiska pomiarowego w przychodnikowym pasie podsadzki pokazano na rys. 8.

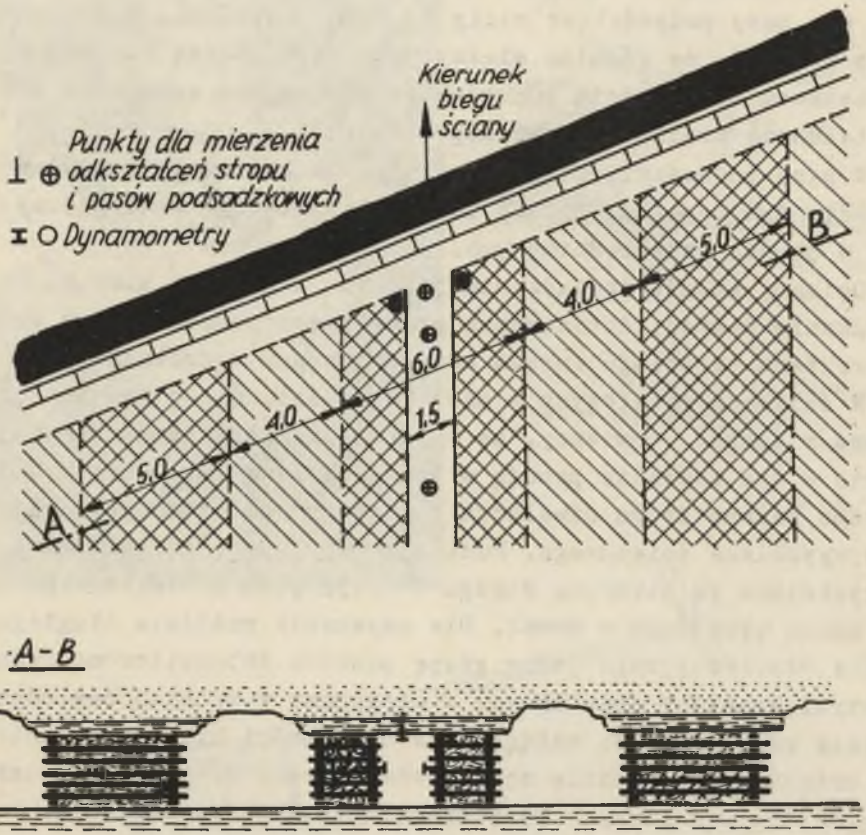



Rys. 8. Szkic stanowiska pomiarowego w przychodnikowym pasie podsadzki

Przedstawiony sposób wykonywania pomiarów dynamometrycznych miał na celu uzyskanie danych, dotyczących reakcji podporności owych wywieranych przez przychodnikowe pasy podsadzkowe. Pomiary zaciskania były potrzebne dla określenia charakterystyki podporności owej tych pasów. Natomiast pomiary ruchów stropu i spągu prowadzono dla uzyskania danych o przebiegu tych zjawisk za oddalającym się frontem ściany.

Badania osiadania stropu, wypiętrzania spągu, odkształceń i wielkości reakcji w zrobach za ścianą w pełnym zakresie można było przeprowadzić w ścianach z pasami podsadzki z kamienia uzyskanego ze ślepych chodników. Dokonywano tam obserwacji w specjalnych chodnikach badawczych. Rozdzielano mianowicie na dwie części jeden z pasów, układając te części w niewielkiej odległości od siebie. W ten sposób powstawał wąski chodnik, dobrze utrzymujący się za ścianą. Przykładowy szkic takiego chod-

nika przedstawiono na rys. 9. Odległość chodników badawczych od chodników przyścianowych wynosiła 30 do 40 m. Długość chodników badawczych osiągała ponad 200 m. Dobre warunki dla wykonywania pomiarów istniały przy tym do odległości około 100 m za ścianą.




Rys. 9. Szkic chodnika badawczego w zrobach

W chodnikach badawczych dla mierzenia ruchów stropu i spągu zakładano pary punktów, przy pomocy kołków, wbijanych w wywiercone otwory. Punkty te okresowo niwelowano. Oprócz tego co 6 do 8 m postępu frontu ściany zakładano stanowiska dla mierzenia zaciskania w formie par punktów stropowo-spągowych. Od tych punk-

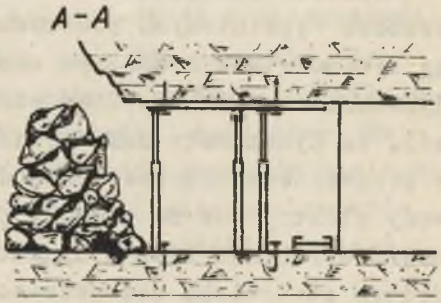
tów wykonywano następnie okresowo domiary pionowe. Dla mierzenia odkształceń bocznych pasów podsadzkowych umieszczano w nich, po obu stronach chodnika badawczego, wystające na zewnątrz kołki metalowe. Główki tych kołków znajdowały się w jednym poziomie naprzeciw siebie w linii prostopadłej do osi chodnika. Odległość pmiędzy główkani mierzono okresowo. Ponieważ oba pasy podsadzkowe miały tę samą szerokość, więc można było przyjąć, że różnica między kolejno mierzoną wielkością a początkową odległością punktów, przedstawiała całkowite odkształcenie boczne pojedynczego pasa.

W pasy podsadzki, otaczające chodnik badawczy, wstawiano ponadto dynamometry. Sposób ich zakładania był analogiczny jak w pasach przychodnikowych.

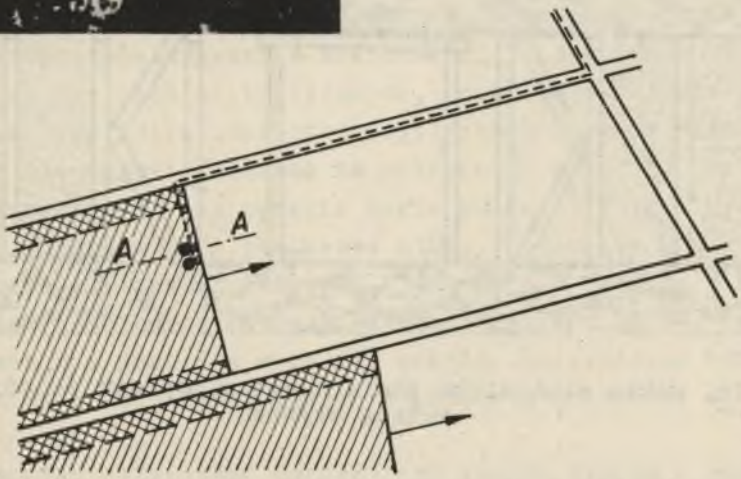
Opisany sposób prowadzenia pomiarów w zrobach miał na celu uzyskanie danych, dotyczących pracy pasów podsadzkowych oraz charakteru przebiegu ruchów stropu i spągu w zrobach.

W ścianach zawałowych w zrobach za ścianą badania przeprowadzono w sposób odmienny, ze względu na specyficzne warunki, jakie w tym zakresie panują w ścianach zawałowych. Osiadanie stropu badano drogą niwelacji punktów stabilizowanych w stropie wyrobiska ścianowego. Punkty te zakładano grupami po kilka, natychmiast po otwarciu stropu w nowym polu i obserwowano je aż do czasu przejścia w zawał. Dla uzyskania możliwie długiego odcinka obserwacyjnego jedną grupę punktów zabezpieczono dwoma pustymi kasztami drewnianymi i utrzymano w zrobach bez odpadnięcia ze stropu, do osiągnięcia odległości kilkunastu metrów od ociosu. Wypiętrzanie spągu badano przez niwelowanie punktów spągowych, zakładanych bezpośrednio po jego odsłonięciu.

Reakcje występujące w zrobach mierzono przy pomocy dynamometrów o zdalnym odczycie. Użyto do tego celu dynamometry Maihak. Stanowiska pomiarowe zakładano w ten sposób, że dynamometr układano na spągu w wyrobisku ścianowym, w polu przeznaczonym do wyrabowania. Obsypywano go z boków pyłem kamiennym oraz gruzem skalnym, a wyprowadzone przewody w wyrobisku ścianowym przysypywano pyłem kamiennym i przykrywano deskami. Następnie rabowano obudowę, a rumowisko skalne spadało i przykry-




Oznaczenia:
⊥ ° Punkty niwelacyjne
▬ • Dynamometry
---- Kable od dynamometrów

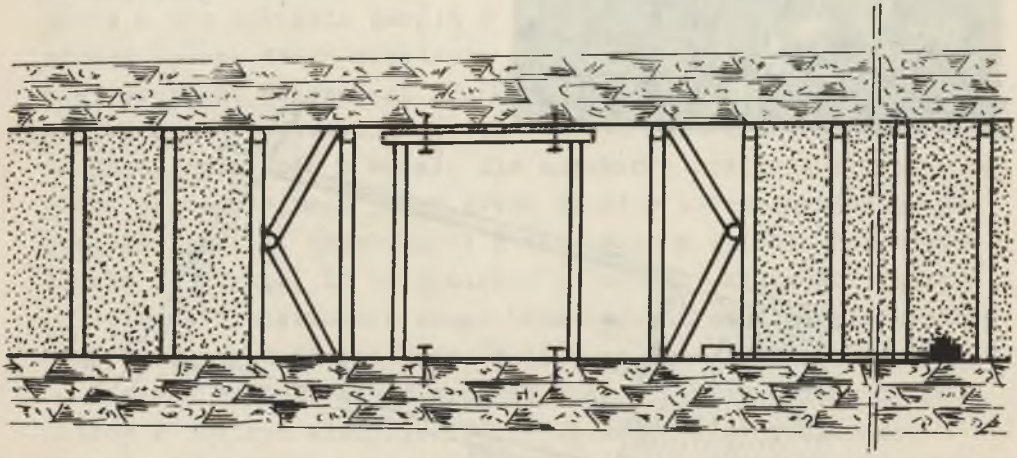



Rys. 10. Szkic stanowisk pomiarowych w zrobach ściany zawałowej

wało dynamometr i przewody, Wskazania dynamometru odczytywano okresowo. Badania, prowadzone na niektórych stanowiskach, trwały przez okres kilku lat. Na rys. 10 przedstawiono wygląd takich stanowisk pomiarowych.

Naciski występujące za frontem oddalającej się ściany w zrobach wypełnionych podsadzką hydrauliczną mierzono przy pomocy dynamometrów o zdalnym odczycie. Użyto do tego celu także dynamometrów Maihak. Stanowiska pomiarowe zakładano w ten sposób, że dynamometr umieszczano na spągu w wyrobisku ścianowym w przestrzeni przeznaczonej do podsadzania, wyprowadzając przewody elektryczne na chodnik przyścianowy. Następnie odpowiednią część wyrobiska wraz z dynamometrem podsadzano. Zazwyczaj w jednym stanowisku umieszczano obok siebie dwa dynamometry. Wskazania dynamometrów odczytywano okresowo.

Na rys. 11 pokazano przykładowy szkic takiego stanowiska badawczego.



Rys. 11. Szkic stanowiska pomiarowego w zrobach ściany z podsadzką płynną

Rezultaty badań miały dostarczyć materiału pomiarowego dotyczącego pracy podsadzki oraz charakteru przebiegu ruchów stropu i spągu w zrobach.

Podczas przeprowadzonych akcji pomiarowych założono i obserwowano około 400 par punktów stropowo-spągowych oraz około 150 stanowisk dla pomiarów dynamometrycznych. Z tych badań uzyskano około 30 tys. pojedynczych obserwacji dotyczących ruchów stropów i spągów badanych pokładów oraz około 10 tys. wyników dotyczących kształtowania się w reakcji i charakterystyk podpornościowych podłoża. Należy przy tym zauważyć, że podczas przeprowadzonych badań przeciętnie tylko z 60% założonych stanowisk uzyskiwano odpowiedni materiał pomiarowy. Na pozostałych 40% stanowisk właściwe wykonanie pomiarów stało się niemożliwe głównie z przyczyn ruchowych (zniszczenie punktów pomiarowych, uszkodzenie dynamometru, zawał wyrobiska itp.).

### 4.3. Sposób opracowania materiału pomiarowego

Przeprowadzone pomiary dostarczyły licznych danych, dotyczących kształtowania się przejawów ciśnienia górotworu w rejonach eksploatacji ścianowej. Uzyskane wyniki wykorzystano dla określenia zależności niektórych przejawów ciśnienia górotworu przede wszystkim od odległości od czoła ściany. W tym celu poszczególne wielkości ruchów i reakcji podpornościowych zestawiono z odpowiednimi odległościami od frontu ściany. Zestawienia te przedstawiono tabelarycznie. Równocześnie w tablicach określano wartości średnich arytmetycznych, odchyleń standartowych oraz wskaźników zmienności poszczególnych przejawów ciśnienia górotworu dla odpowiadających im odległości przed lub za frontem ściany. Przykładowo zestawienia takie pokazano w tablicy 1 dla osiadania stropu (akcja pomiarowa M501), w tablicy 2 dla zaciskania wyrobiska (akcja pomiarowa M510) oraz w tablicy 3 dla reakcji podpornościowych pokładu (akcja pomiarowa M504). Przy opracowywaniu i analizie wyników, podobne zestawienia wykonano dla wszystkich akcji pomiarowych i badanych przejawów ciśnienia górotworu.

W przypadku zależności dotyczących ruchów stropu i spągu uporządkowano materiał pomiarowy tabelarycznie dla kilku grup badań. Wyodrębniono mianowicie dane dotyczące ruchów górotworu w chodnikach, w przychodnikowych pasach podsadzkowych oraz w

zrobach. W poszczególnych grupach zestawiono odpowiednie wartości osiadania stropu, zaciskania wyrobiska względnie wypiętrzania siągu dla szeregu odległości od czoła ściany, przed i za jej frontem.

Ocenę wiarygodności zbiorów zmierzonych wartości przejawów ciśnienia górotworu przeprowadzono, opierając się o zasady rachunku statystycznego dotyczące oceny wiarygodności prób małych. Szczególnie dotyczyło to oceny wiarygodności średnich uzyskiwanych ze zbiorów zmierzonych wartości oraz porównywania poszczególnych średnich ze sobą, dla zbadania, czy różnica ich wartości ma charakter istotny, czy przypadkowy.

Średnie wartości przejawów ciśnienia górotworu, zamieszczone w kolumnach (M) w tablicach, zestawiono z odpowiadającymi im odległościami od czoła ściany (d) i zajęto się znalezieniem zależności funkcyjnych, opisujących z największym przybliżeniem związki pomiędzy tymi zbiorami. Zastosowano w tym celu metodę anamorfozy, polegającą na przedstawieniu badanej funkcji w formie linii prostej, w odpowiednim układzie współrzędnych. Można wówczas stwierdzić, czy punkty badanej krzywej tworzą w danym układzie rzeczywiście linię prostą, lub z jaką dokładnością spełniają założone równanie. W przypadku wystarczającej zgodności można łatwo i dokładnie wyznaczyć współczynniki liczbowe szukanej krzywej.

Przy doborze funkcji opisujących krzywe wynikowe uwzględniono w pierwszym rzędzie funkcje proponowane przez badaczy polskich i zagranicznych, omówiono już w niniejszej pracy. Mianowicie dla opisu ruchów stropu i spągu przed frontem zbliżającej się ściany aproksymowano funkcję $y = a\, e^{bx}$ przyjętą przez A. SAŁUSTOWICZA, której przebieg wydawał się najlepiej oddawać charakter zjawiska. Jako (y) występowały przy tym wartości osiadania stropu (w), wypiętrzania spągu (s) lub zaciskania wyrobiska (z), a jako (x) stale wartości odległości od czoła ściany (d) przed jej frontem. Przykłady przebiegu badanych zależności w układzie anamorfizującym przedstawiono na rys. 12, przy czym punkty odpowiadają średnim średnich arytmetycznych (M) z poszczególnych akcji pomiarowych.

Tablica 1

Osiadanie stropu w chodnikach przyścianowych przy caliźnie (M = średnia arytmetyczna, S = odchyłka standartowa, V = wskaźnik zmienności) (akcja pomiarowa M 501)

| Odległość czoła ściany (d) w mm | | Osiadanie stropu (w) w mm w punkcie nr | | | | | | | | | | M | S | V |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | V | VI | VII | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | | | |
| przed ścianą | 130 | 0 | 0 | 0 | - | - | - | - | - | - | - | 0 | - | - |
| | 30 | 12 | 8 | 12 | - | - | - | - | - | - | - | 11 | 2,5 | 22 |
| | 20 | 17 | 15 | 17 | - | - | - | - | - | - | - | 16 | 1,2 | 8 |
| | 15 | 20 | 23 | 25 | - | - | - | - | - | - | - | 23 | 2,6 | 11 |
| | 10 | 35 | 40 | 25 | - | - | - | - | - | - | - | 33 | 7,9 | 24 |
| | 5 | 70 | 70 | 48 | - | - | - | - | - | - | - | 63 | 13,1 | 21 |
| | 2 | 95 | 90 | - | - | - | - | - | - | - | - | 93 | 4,4 | 5 |
| za ścianą | 10 | - | - | | 225 | 245 | 275 | 225 | 265 | 250 | 270 | 250 | 20,0 | 8 |
| | 15 | - | - | - | 260 | 355 | 375 | 335 | 375 | 305 | 320 | 332 | 40,2 | 12 |
| | 20 | - | - | - | 295 | 415 | 430 | 445 | 470 | 365 | 365 | 399 | 57,5 | 14 |
| | 30 | - | - | - | 365 | 520 | 585 | 550 | 510 | 485 | 480 | 499 | 67,8 | 14 |
| | 45 | - | - | - | 460 | 675 | 670 | 625 | 610 | 625 | 675 | 619 | 73,5 | 12 |
| | 60 | - | - | - | 570 | 735 | 680 | 700 | - | - | - | 680 | 63,6 | 9 |
| | 70 | - | - | - | 605 | 745 | 765 | - | - | - | - | 705 | 89,7 | 13 |

Tablica 2

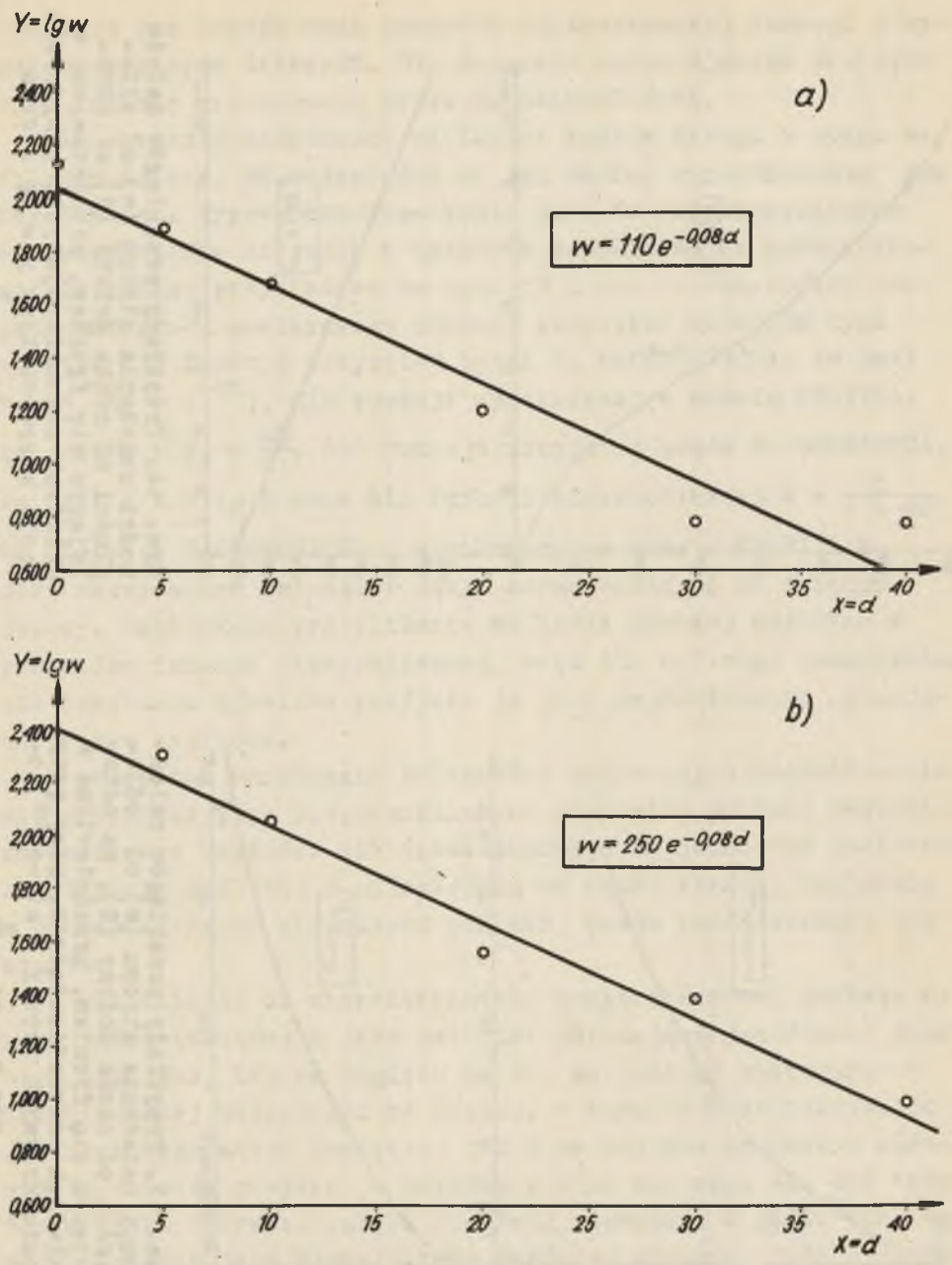
Zaciskanie wyrobiska w chodniku przyścianowym przy caliźnie w polu ścianowym z pasami podsadzki
(M = średnia arytmetyczna, S = odchyłka standartowa, V = wskaźnik zmienności)
(akcja pomiarowa M510)

| Odległość od czoła ściany (d) w m | | Zaciskanie wyrobiska (z) w mm w punkcie nr | | | | | | | | | M | S | V |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5a | 5b | 6 | 7 | | | |
| przed ścianą | 50 | 0 | 2 | 3 | 5 | 6 | 2 | 6 | 8 | 4 | 4 | 1,0 | 25 |
| | 40 | 2 | 3 | 4 | 7 | 9 | 4 | 7 | 11 | 5 | 6 | 1,0 | 17 |
| | 30 | 3 | 4 | - | 10 | 11 | 8 | 9 | - | 8 | 8 | 1,2 | 15 |
| | 15 | 7 | 30 | - | 35 | 35 | 18 | 20 | 21 | 42 | 26 | 4,3 | 16 |
| | 10 | 30 | 45 | - | 55 | 42 | 28 | 55 | 45 | - | 43 | 4,3 | 10 |
| za ścianą | 5 | - | 78 | 27 | 112 | 73 | 41 | 85 | 186 | - | 86 | 21,0 | 24 |
| | 0 | - | 195 | 72 | 170 | 125 | 89 | 250 | 197 | - | 156 | 15,5 | 9 |
| | 5 | - | 315 | 147 | 238 | 160 | 133 | 415 | 206 | - | 230 | 41,6 | 18 |
| | 10 | - | 375 | 242 | 260 | 225 | 151 | 453 | 224 | - | 276 | 41,6 | 15 |
| | 15 | - | 396 | 367 | 276 | 253 | 165 | 490 | 246 | - | 327 | 44,8 | 14 |
| | 30 | - | 436 | 455 | 360 | 495 | 217 | 556 | 314 | - | 405 | 46,7 | 12 |
| | 50 | 285 | 512 | 557 | 417 | 650 | 285 | - | 376 | - | 440 | 56,2 | 13 |
| | 70 | 293 | 607 | 660 | 525 | - | - | - | - | - | 521 | 94,6 | 18 |
| | 90 | 309 | 646 | 725 | - | - | - | - | - | - | 560 | 151,5 | 25 |

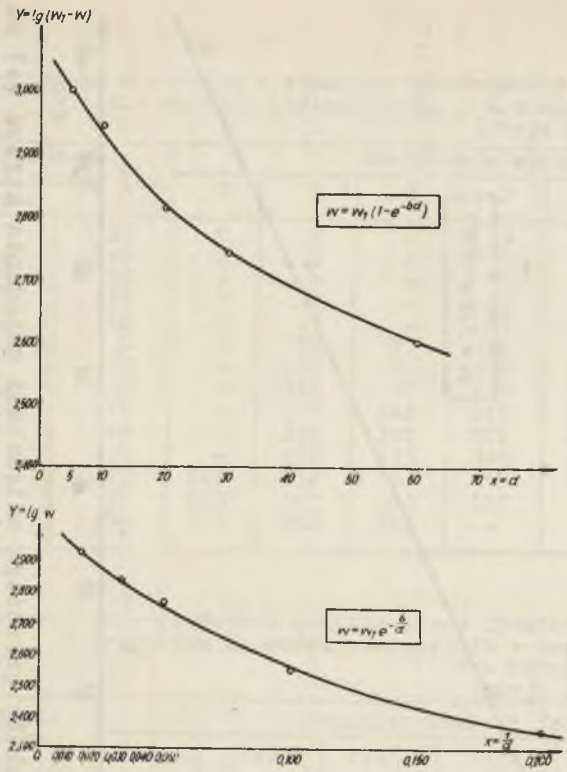
Tablica 3

Reakcje podpornościowe pokładu przed frontem ściany mierzone w caliźnie przy ociosie chodnika w przypadku łupności wiszącej (M = średnia arytmetyczna, S = odchyłka standartowa, V = wskaźnik zmienności)
(akcja pomiatowa M504)

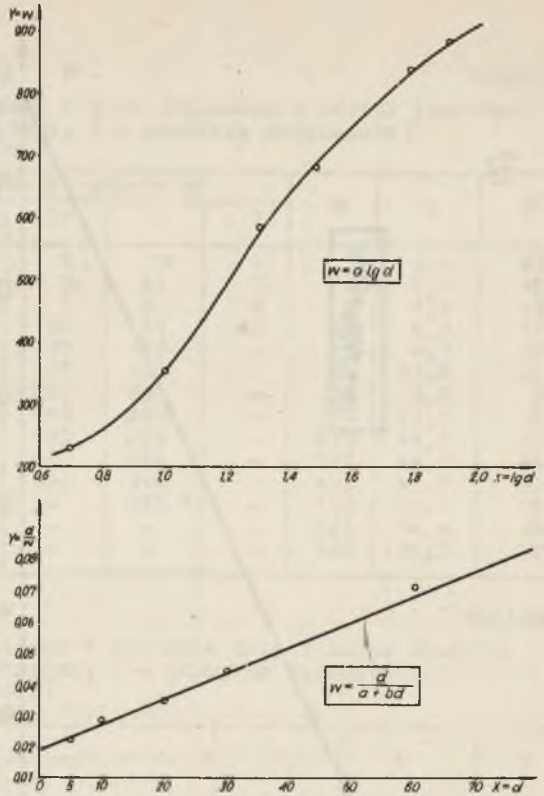
| Odległość od czoła ściany (d) w m | Przyrost reakcji (p) w kG/cm$^2$ | | | | | | | M | S | V |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | P.8 | P.9 | P.10 | P.15 | P.15a | P.16 | P.16a | | | |
| 40 | 7 | 5 | 7 | 9 | 6 | 3 | 2 | 6 | 2,4 | 40 |
| 30 | 7 | 6 | 11 | 22 | 11 | 5 | 4 | 9 | 6,1 | 68 |
| 15 | 11 | 10 | 17 | 26 | 27 | 11 | 12 | 16 | 7,1 | 44 |
| 10 | 16 | 13 | 18 | 27 | 40 | 17 | 19 | 21 | 9,0 | 23 |
| 5 | 16 | 16 | 17 | 38 | 64 | 24 | 29 | 29 | 16,9 | 58 |
| 2 | 54 | 56 | 56 | 72 | 83 | 35 | 50 | 57 | 16,3 | 29 |




Rys. 12. Przykłady przebiegu zależności osiadania stropu (w) od odległości od czoła ściany (d), przed zbliżającym się frontem, przedstawione w układach anamorfizujących, przy przyjęciu krzywej typu $y = ae^{bx}$




Rys. 13. Przykłady przebiegów zależności osiadania stropu (w) od odległości od czoła ściany (d), za oddalającym się frontem, przedstawione w układach anamorfizujących, przy przyjęciu krzywych typu $y = a(1-e^{-bx})$ oraz $y = ae^{-\frac{b}{x}}$




Rys. 14. Przykłady przebiegów zależności osiadania stropu (w) od odległości od czoła ściany (d) za oddalającym się frontem, przedstawione w układach anamorfizujących, przy przyjęciu krzywych typu $y = \lg x$ oraz $y = \frac{x}{a + bx}$

Wykazują one bardzo dużą zgodność aproksymowanej funkcji z wynikami pomiarów dołowych. Dla dalszego opisu zjawisk przyjęto więc funkcję proponowaną przez A. SAŁUSTOWICZA.

Dla opisania zależności wielkości ruchów stropu i spągu za frontem ściany, od odległości od jej czoła, aproksymowano szereg funkcji. Typowe rozmieszczenia punktów reprezentujących wyniki pomiarów dołowych w układach współrzędnych anamorfizujących podano przykładowo na rys. 13 i 14. We wszystkich grupach materiału pomiarowego zbadano charakter rozkładu tych punktów dla funkcji przyjętej przez A. SAŁUSTOWICZA, to jest $w = w_1 (1 - e^{-bd})$, dla funkcji wynikającej z modelu KELVINA, to jest $w = w_1 e^{\frac{-b}{d}}$, dla funkcji przyjętej przez B. SCHWARTZA, to jest $w = a \lg d$ oraz dla funkcji hiperbolicznej $w = \frac{d}{a + bd}$. We wzorach SAŁUSTOWICZA i wynikającym z modelu KELVINA $w_1$ jest maksymalnym osiadniem jakie można wystąpić za frotnem ściany. Największe przybliżenie do linii prostej uzyskano w przypadku funkcji hiperbolicznej, więc dla dalszego przestawienia przebiegu zjawiska przyjęto ją jako najdokładniej opisującą krzywe wynikowe.

W przypadku określania zależności dotyczących kształtowania się charakterystyk podporności elementów podłoża zestawiono zmierzone wartości sił (przeliczonych na jednostkę powierzchni elementu podłoża) z odległością od czoła ściany, względnie z odkształceniami właściwymi pokładu, pasów podsadzkowych lub zrobów.

W odniesieniu do charakterystyki podporności pokładu wyniki badań traktowano jako materiał obrazujący jakościowy przebieg zjawiska, tak ze względu na to, że pomiary wykonywano w niezbyt dużej odległości od ociosu, w warunkach zbliżonych do jednoosiowego stanu naprężenia, jak i ze względu na bardzo uproszczony sposób pomiaru, w związku z czym nie mogą one być traktowane jako charakterystyka rozkładu naprężeń. W głębi pokładu stan naprężenia jest niewątpliwie bardziej złożony, jednak ogólny przebieg zjawiska powinien być analogiczny. W związku z tym zależności zmian ciśnienia pionowego na pokład od odległości od

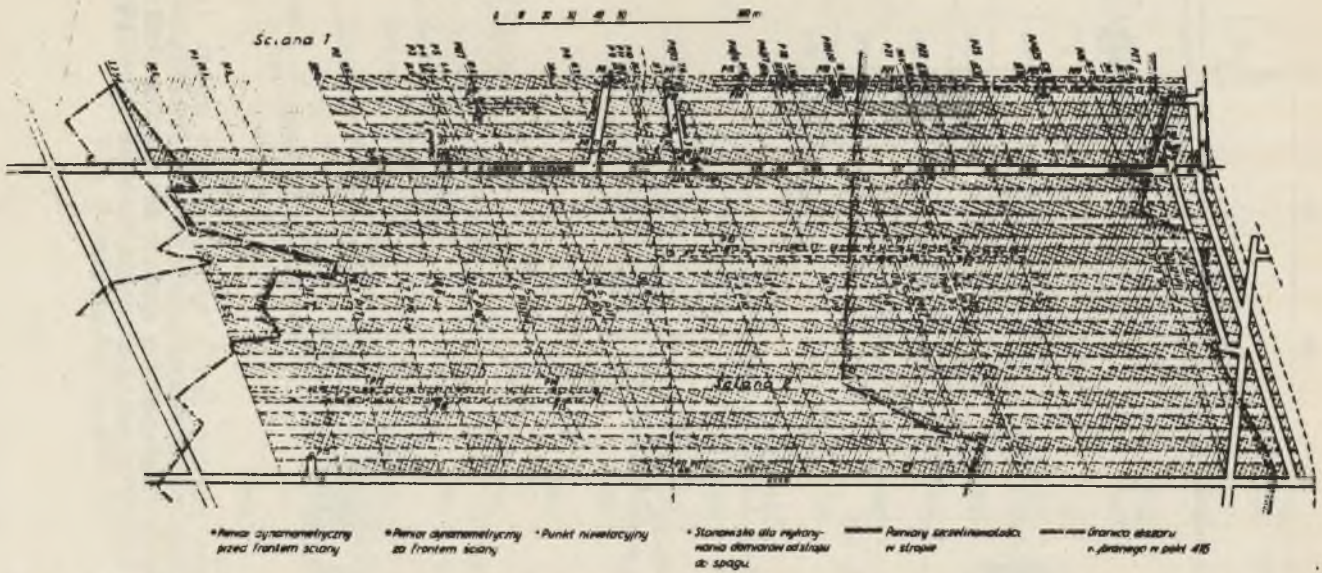
czoła ściany oraz charakterystyki podpornościowe pokładu ujmowania tylko w sposób graficzny, nie dobierając do tego celu odpowiadającego im typu funkcji.

W przypadku reakcji podpornościowych występujących w pasach podsadzkowych, względnie w zrobach, ich kształtowanie się w zależności od odległości od czoła ściany przedstawiono również tylko graficznie, natomiast charakterystyki podpornościowe pasów podsadzki czy zawału określano metodą anamofrozy. Dobrano przy tym typ funkcji $y = ax^b$, którą to funkcję dane pomiarowe spełniły z dużą dokładnością.

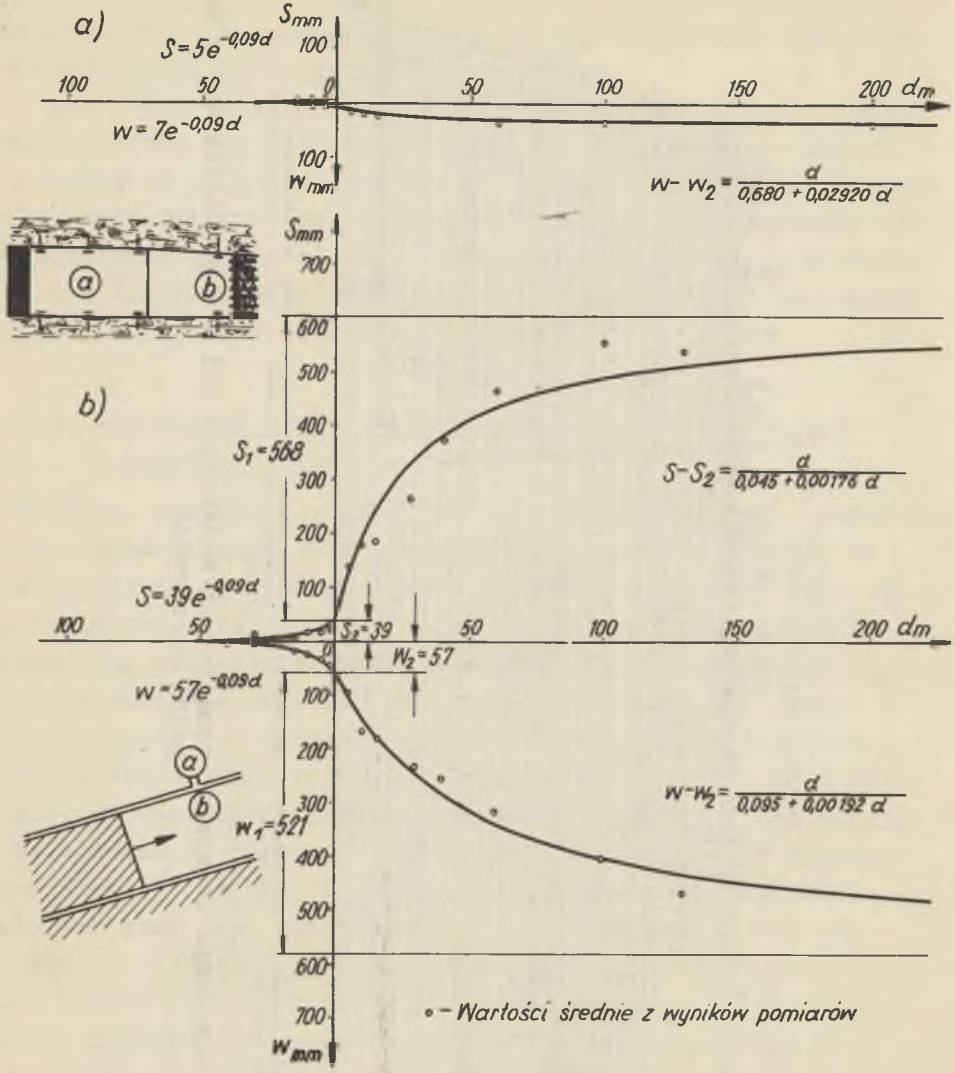
### 4.4. Ważniejsze wyniki dotyczące ruchów stropu i spągu w badanych polach

Materiał pomiarowy zebrany podczas akcji badawczych scharakteryzowanych w rozdz. 4.1 pozwolił na uzyskanie poglądu na prawa rządzące ruchami górotworu w polach ścianowych [27, 28]. Między innymi określono szereg równań opisujących osiadanie stropu oraz zaciskanie wyrobisk w chodnikach przyścianowych i w ich sąsiedztwie. Zbadano również, szczególnie w ścianach z pasami podsadzki z kamienia układanego ze ślepych chodników, przebieg osiadania w zrobach, w przekroju zbliżonym od środka ściany. We wszystkich przypadkach ruchy stropu i spągu tworzyły zależności od odległości od czoła ściany w formie krzywych o kształcie zbliżonym do spałaszczonej litery S w położeniu poziomym, przy czym punkt przegięcia krzywej znajdował się w pobliżu czcła ściany. Jak już wspomniano dla części krzywej przed ścianą dobrano funkcję $y = ae^{bx}$, dla części krzywej za ścianą, funkcję $y = \frac{x}{a + b}$, gdzie (x) jest odległością od czoła ściany oznaczaną jako (d), zaś (y) przedstawia każdorazowo zaciskanie wyrobiska (z), osiadanie stropu (w) lub wypiętrzanie spągu (s). Przykład rozmieszczenia stanowisk pomiarowych podczas jednej z akcji pomiarowych oraz przykłady przebiegów ruchów w różnych badanych polach ścianowych przedstawiono na rysunkach 15, 16, 17, 18 i 19.

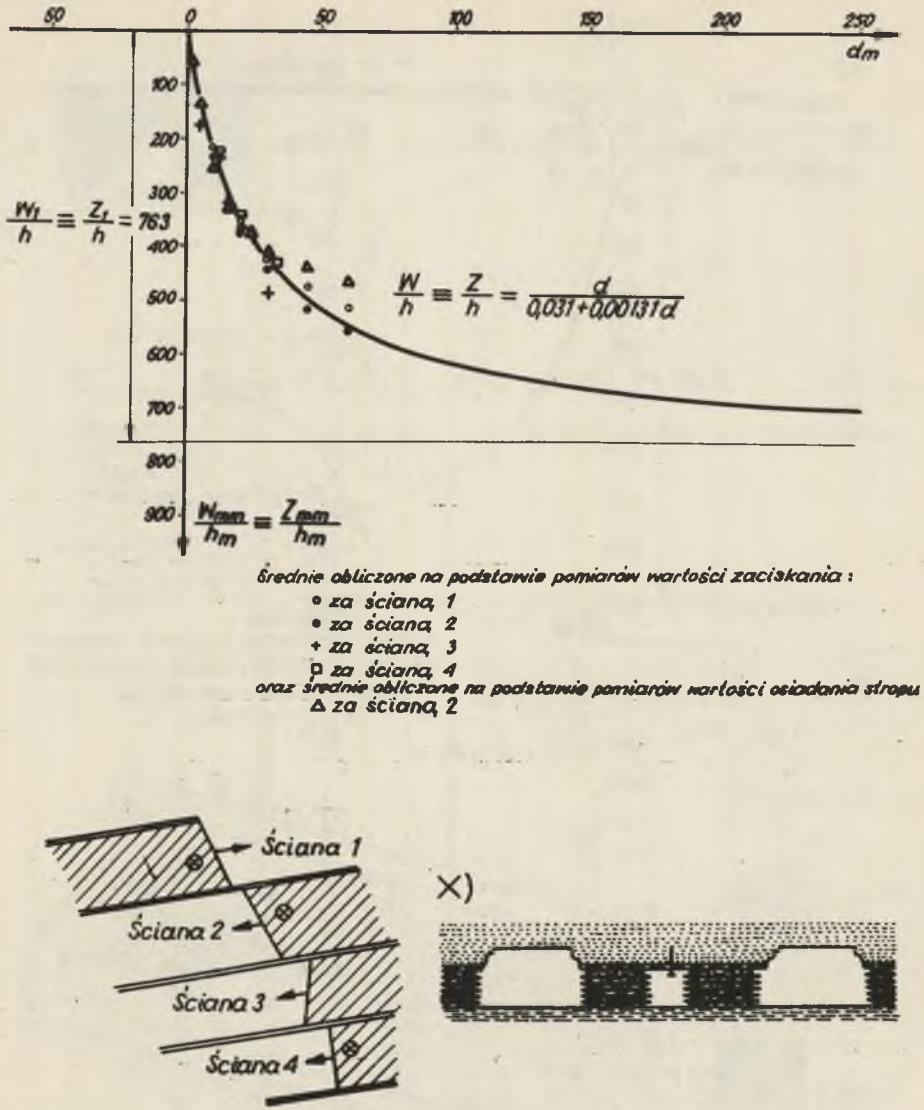
W wyniku opracowania materiałów pomiarowych, opierając się na krzywych opisujących przemieszczanie się stropu przed i za




**Rys. 15. Rozmieszczenie stanowisk pomiarowych w ścianach 1 i 2 w pokładzie 413 w kopalni Miechowice**



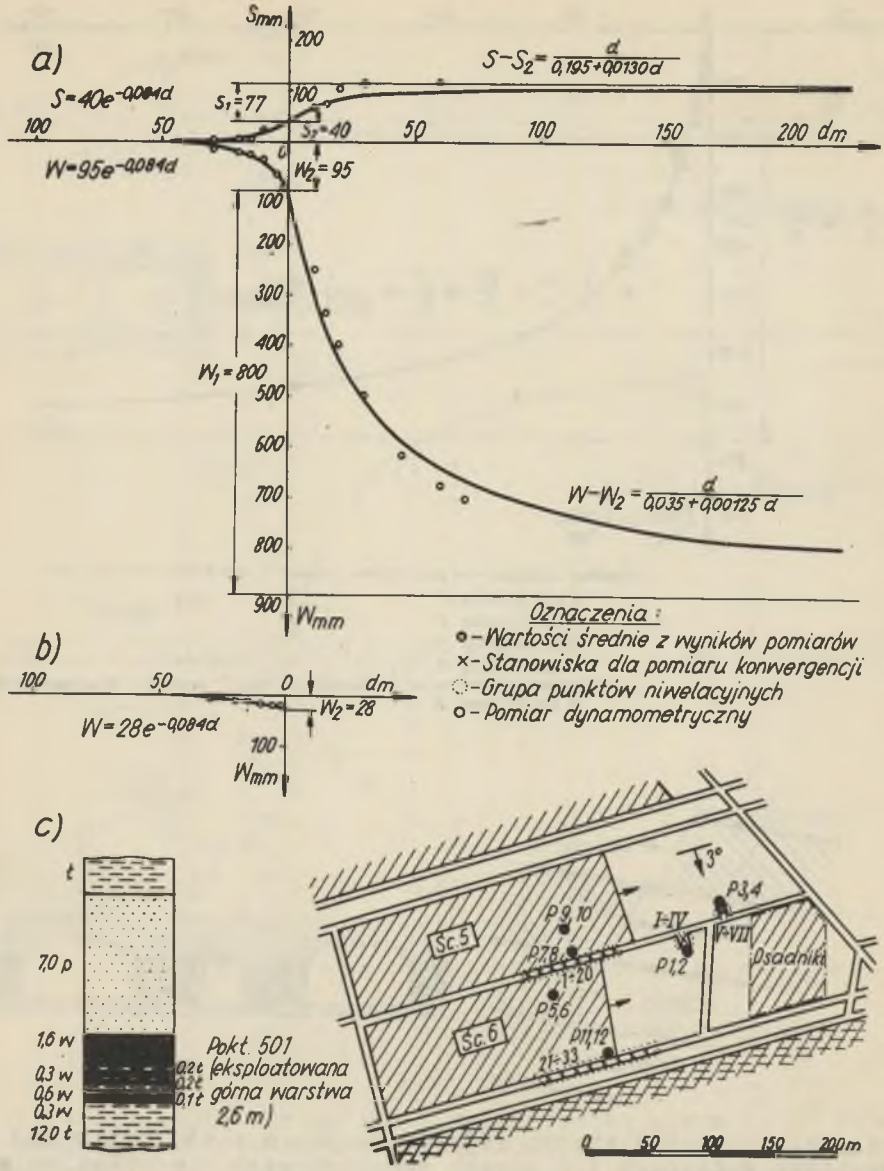

Rys. 16. Osiadanie stropu (w) i wypiętrzanie spągu (s) w ścianie zawałowej z łatworabującym się stropem (M504), w chodniku w obustronnym otoczeniu calizny przed ścianą, a posiadającym za ścianą jeden ocios z calizny pokładu oraz w caliźnie obok tego chodnika



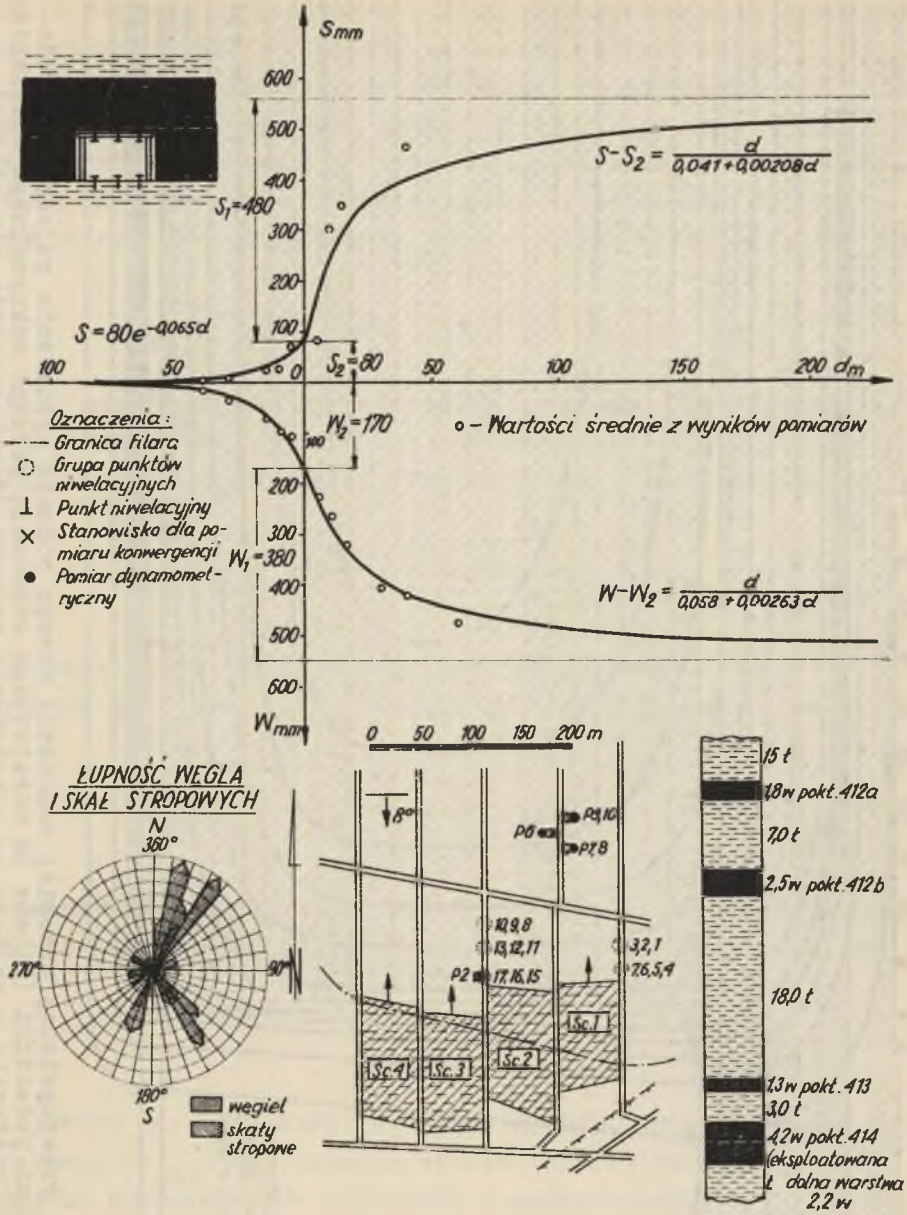




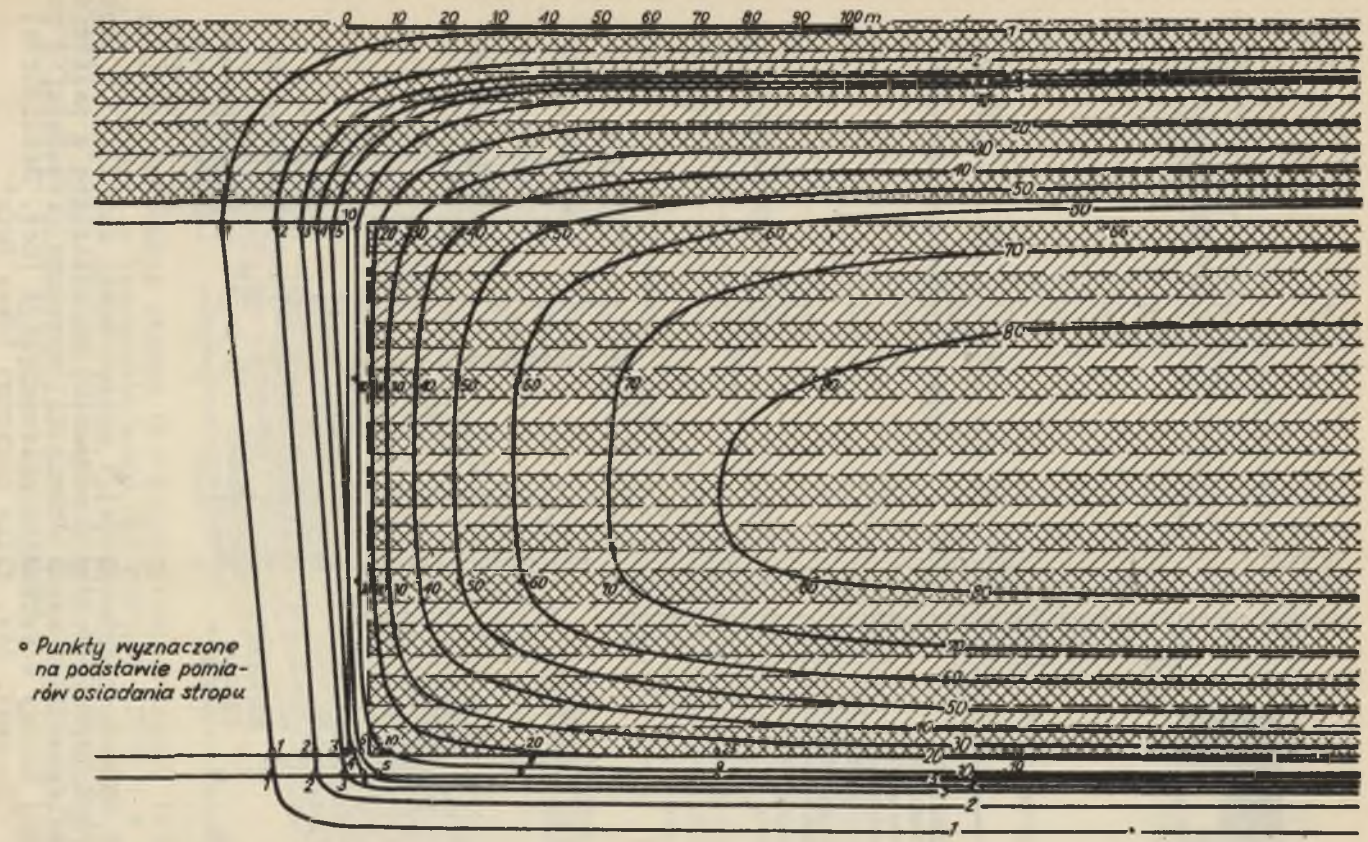
**Rys. 17. Osiadanie stropu (w) równoważne z zaciskaniem (z) w wyrobisku ścianowym 1 w pasach podsadzkowych w zrobach za ścianą, przeliczone w odniesieniu do 1 m wysokości wyrobiska (h) dla ścian 1, 2, 4. (M413)**




Rys. 18. Osiadanie stropu (w) i wypiętrzanie spągu (s) w ścianie zawałowej z trudnorabującym się stropem (M501): a – w chodniku w caliźnie przed ścianą, posiadającym za ścianą jeden ocios z calizny pokładu; b – w caliźnie obok tego chodnika; c – przekrój geologiczny oraz szkic sytuacyjny pola badawczego i stanowisk pomiarowych




Rys. 19. Osiadanie stropu (w) i wypiętrzanie spągu (s) w chodniku przyścianowym ściany z podsadzką hydrauliczną w zależności od odległości od czoła ściany (d) wywołane prowadzeniem pojedynczej ściany w pokładzie mało zwięzłym (kop. Radzionków, pokł. 414, filar ochronny "Nowy Dwór"




Rys. 20. Prawdopodobny przebieg osiadania stropu podczas wybierania pojedynczej ściany z pasami podsadzki (Liczby na warstwicach oznaczają procent maksymalnego osiadania, jakie nastąpiło w zrobach po zakończeniu procesu przemieszczania się stropu)

frontem ściany, wykreślono dla kilku przypadków warstwice obrazujące prawdopodob osiadanie stropu podczas wybierania pojedynczej ściany. Na rys. 20 przedstawiono osiadanie stropu dla ściany wybieranej z pasami podsadzki ze ślepych chodników. Liczby na warstwicach oznaczają wielkość osiadania wyrażoną w procentach maksymalnego osiadania, jakie teoretycznie mogłoby wystąpić w rejonie danej ściany. To osiadanie można określić jako:

$$w_{max} = w_1 + w_2 \qquad (4.4.1)$$

Przy tym ($w_1$) jest to maksymalne osiadanie jakie może wystąpić za frontem ściany, a ($w_2$) jest osiadaniem stropu na czole ściany. Osiadanie stropu za frontem ściany określono wzorem:

$$w - w_2 = \frac{d}{a_w + b_w d} \qquad (4.4.2)$$

($w_1$) można zatem obliczyć jako granicę wyrażenia (4.4.2) w przypadku gdy odległość (d) zdąża do nieskończoności, czyli:

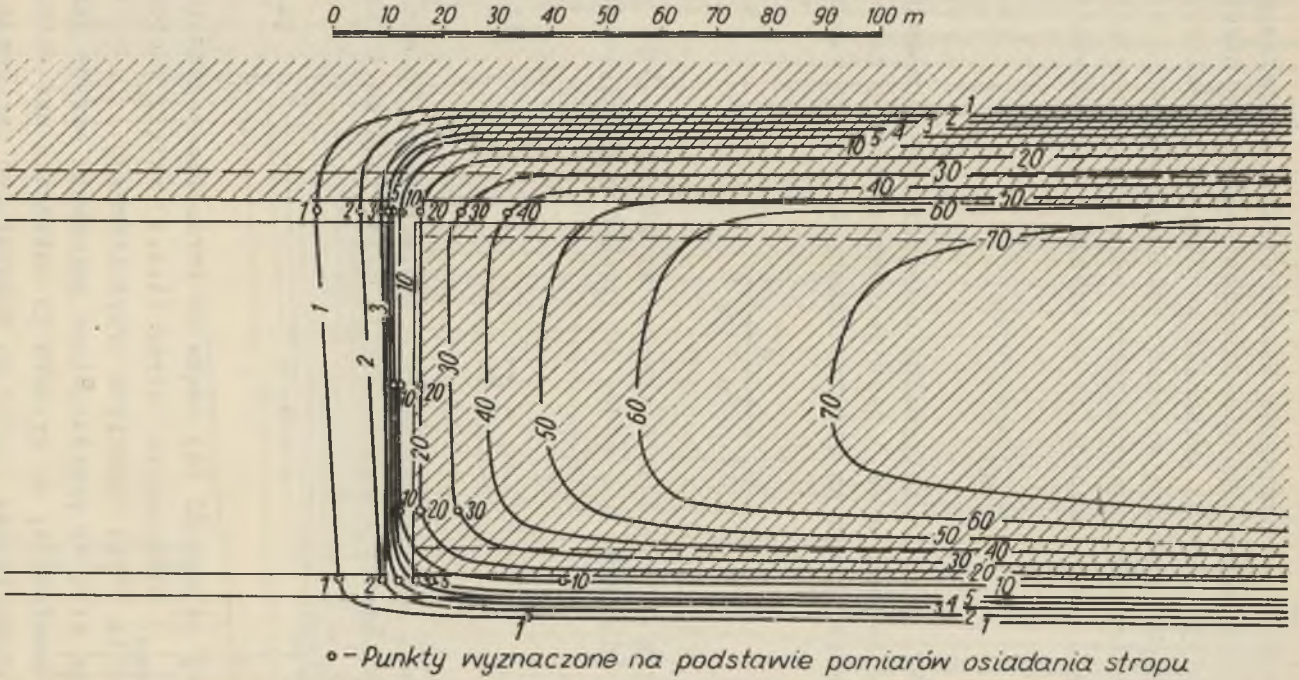
$$w_1 = \frac{1}{b_w} \qquad (4.4.3)$$

Wielkość ($w_2$) jest to osiadanie w czole ściany, będące granicą wyrażenia określającego osiadanie przed frontem ściany:

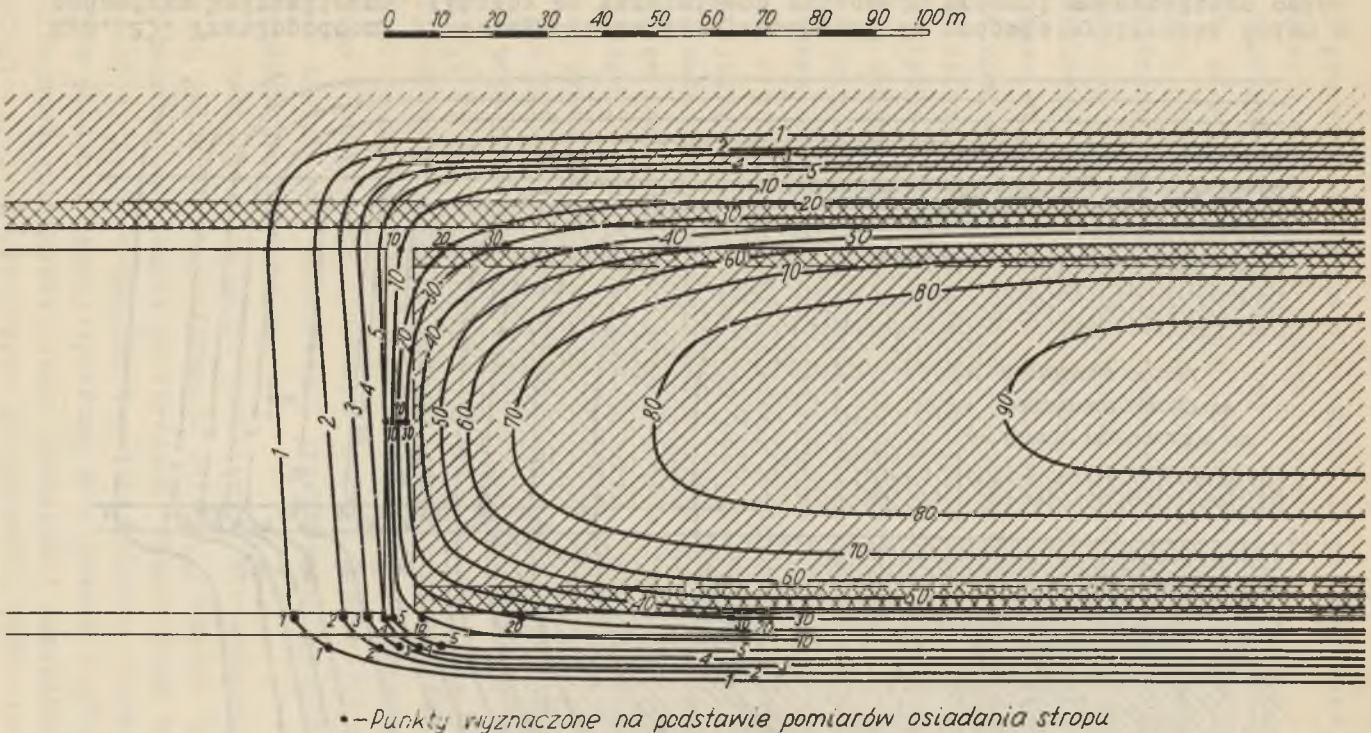
$$w = w_2 \, e^{bd} \qquad (4.4.4)$$

w przypadku gdy odległość (d) zdąża do zera. Dla osiadania maksymalnego ($w_{max}$) obliczonego wzorem (4.4.1) wzięto wartość ($w_2$) jako średnią z obu chodników przyścianowych.

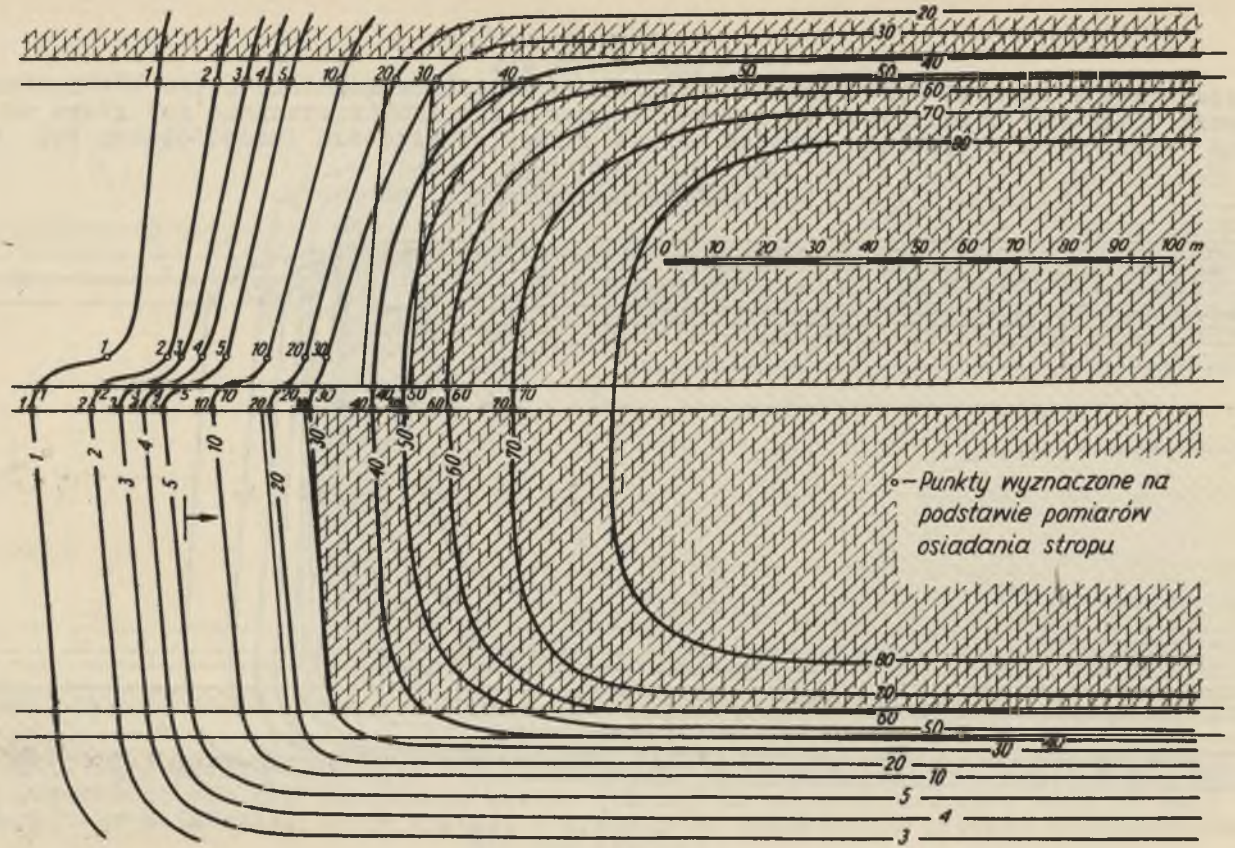
Na rysunkach 21 i 22 przedstawiono osiadanie warstw stropu nad ścianami zawałowymi, na rysunku 23 osiadanie nad ścianami z podsadzką hydrauliczną. Liczby na warstwicach oznaczają rów-




Rys. 21. Prawdopodobny przebieg osiadania stropu podczas wybierania pojedynczej ściany z łatworabującym się stropem na zawał. (Liczby na warstwicach oznaczają procent maksymalnego osiadania, jakie wystąpi w zrobach po zakończeniu procesu przemieszczania się stropu)




Rys. 22. Prawdopodobny przebieg osiadania stropu podczas wybierania pojedynczej ściany na zawał pod trudnorabującym się stropem. (Liczby na warstwicach oznaczają procent maksymalnego osiadania, jakie wystąpi w zrobach po zakończeniu procesu przemieszczania się stropu)




Rys. 23. Prawdopodobny przebieg osiadania stropu pokładu podczas wybierania ścian z podsadzką hydrauliczną. (Liczby na warstwicach oznaczają procent maksymalnego osiadania, jakie wystąpi w zrobach po zakończeniu procesu przemieszczenia się stropu)

nież procent osiadania w stosunku do maksymalnego teoretycznego osiadania możliwego w danych warunkach.

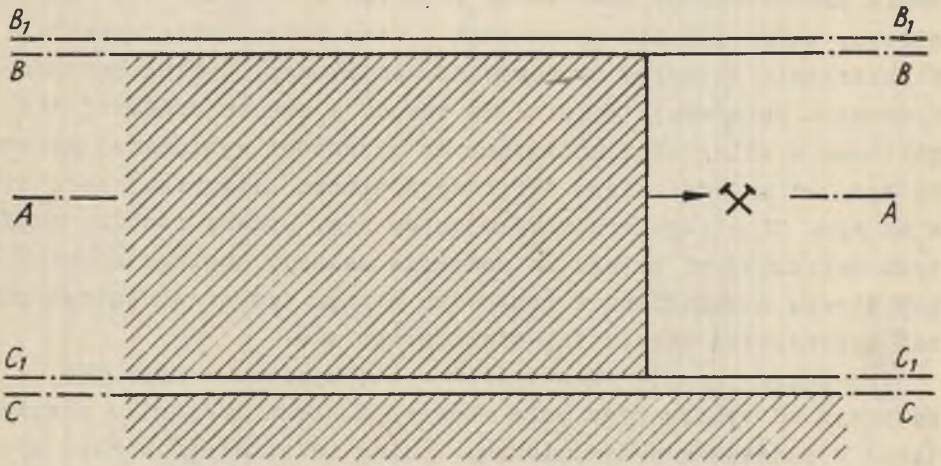
W przypadku ścian zawałowych, zwłaszcza w obszarze nad zrobami, przedstawiono domniemany przebieg deformacji tej warstwy stropu, która już nie przechodzi w stan chaotycznego zawału i bezpośrednio spoczywa na rumowisku zawałowym. Według przeprowadzonych obserwacji warstwa ta znajduje się najczęściej nad pokładem w odległości zbliżonej do wysokości wybieranej warstwy Na rys. 21 przedstawiono deformacje stropu łatworabującego się, a na rys. 22 stropu trudnorabującego się. Główna różnica między tymi deformacjami polega na znacznie dalszym zasięgu odkształceń stropu nad caliznę w przypadku stropu trudnorabującego się niż w przypadku stropu łatworabującego się.

Największy zasięg odkształceń występujących w kierunku na zewnątrz od wybieranego pola obserwuje się w przypadku eksploatacji z podsadzką hydrauliczną. Zasięg odkształceń stropu występujących nad caliznę jest tu kilkakrotnie większy niż przy eksploatacji zawałowej. Naturalnie wielkość osiadania maksymalnego jest znacznie mniejsza niż w przypadku wybierania bez podsadzki, niemniej jednak deformacje stropu nad czołem ściany są prawie takie same.

Dla dalszej analizy procesu deformacji warstw stropu i spągu w pojedynczym polu ścianowym wybrano pięć typowych przekrojów $B_1$, B, A, C, $C_1$, które pokazano na rys. 24. Przekroje $B_1$ i B dotyczyły chodnika założonego przy pozostającej caliźnie, przekroje natomiast C i $C_1$, chodnika przechodzącego za frontem ściany w obustronne otoczenie zrobów. Przekrój A był przekrojem przez środek pola ścianowego, przeprowadzonym równolegle do chodników przyścianowych.

Z poszczególnych akcji pomiarowych zestawniono, przy uwzględnieniu całokształtu deformacji stropu, równania opisujące ruchy górotworu w omawianych przekrojach. Zestawienia te podano w tablicach 4, 5, 6. W tablicy 4 podano ponadto charakterystykę warstw stropu i spągu, wyrażoną przy pomocy współczynników Protodiakonowa. Dla każdej akcji pomiarowej określany był profil geologiczny skał stropowych do wysokości kilkunastu metrów po-

nad pokładem, jak również określany był rodzaj skał spągowych. Przyjęte w tablicy 4 współczynniki miały na celu zobrazowanie




Rys. 24. Przekroje wzdłuż których określano ruchy stropu i spągu w pojedynczym polu ścianowym

średnich własności stropu i spągu występujących podczas danej akcji pomiarowej. W przypadku stropu łupkowego, łatworabującego się przyjęto wskaźnik $f_1 = 2$. W przypadku mocnego łupku piaszczystego, lub kruchego piaskowca średnio rabującego się, przyjęto wskaźnik $f_1 = 4 - 5$. Dla stropu piaskowcowego, trudnorabującego się przyjęto wskaźnik $f_1 = 6$. Podobnie dla spągu z łupku ilastego przyjęto wskaźnik $f_2 = 2$ dla spągu z średnio zwięzłego piaszczystego łupku wskaźnik $f_2 = 3$. Zwięzłości węgla przyjmowano zgodnie z wynikami przeprowadzonych badań dołowych, przy czym wartości wyznaczanych wskaźników zwięzłości węgla w pokładzie można było przyjąć za zbliżone do wskaźników Protodiakonowa.

Szczegółowe przeanalizowanie omawianych danych pozwoliło na poczynienie szeregu spostrzeżeń. Przede wszystkim zauważono, że najbardziej istotny wpływ na wielkość występujących ruchów, tak w przypadku osiadania stropu (w), jak i zaciskania wyrobiska (z), ma wysokość wybieranej ściany. Im wysokość ta jest większa, tym i ruchy są większe. Ponadto stwierdzono, że im strop

Tablica 4

Zestawienie współczynników równań opisujących ruchy górotworu występujące w chodniku przyścianowym założonym przy caliźnie, w przekroju B oraz wskaźniki zwięzłości pokładu, skał stropu i spągu dla przeprowadzonych akcji pomiarowych (Z - zawał, P - pasy podsadzkowe, PŁ - podsadzka płynna, w osiadanie stropu w mm, z - zaciskanie wyrobiska w mm, d - odległość od czoła ściany w m)

| Lp. | Oznaczenie akcji pomiarowej | Sposób kierowania stropem | Wysokość wybieranej ściany (h)w m | Zwięzłość pokładu f | Zwięzłość stropu $f_1$ | Zwięzłość spągu $f_2$ | Ruchy przed ścianą $w=w_2e^{bd}$; $z=z_2e^{bd}$ | | | Ruchy za ścianą $w-w_2=\frac{d}{a_w+b_wd}$ | | $z-z_2=\frac{d}{a_z+b_zd}$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | b | $w_2$ | $z_2$ | $a_w$ | $b_w$ | $a_z$ | $b_z$ |
| 1 | M413 | P | 2,15 | 1,5 | 5 | 3 | -0,080 | 60 | 108 | 0,047 | 0,00198 | 0,037 | 0,00094 |
| 2 | M510 | P | 1,90 | 1,5 | 4 | 1,5 | -0,084 | 50 | 152 | 0,069 | 0,00210 | 0,060 | 0,00175 |
| 3 | M504 | Z | 2,60 | 1,9 | 2 | 3 | -0,090 | 57 | 96 | 0,095 | 0,00192 | 0,030 | 0,00092 |
| 4 | M501 | Z | 2,50 | 1,5 | 6 | 1,5 | -0,084 | 95 | 135 | 0,035 | 0,00125 | 0,030 | 0,00115 |
| 5 | Kn353[x)] | Z | 1,00 | 1,1 | 3 | 2 | -0,054 | 100 | 105 | 0,315 | 0,00500 | 0,230 | 0,00420 |
| 6 | M504H | PŁ | 2,70 | 1,8 | 2 | 3 | -0,065 | - | 120 | - | - | 0,080 | 0,00350 |
| 7 | M509H | PŁ | 2,70 | 1,6 | 4 | 1,6 | -0,051 | - | 150 | - | - | 0,045 | 0,00325 |
| 8 | M510H | PŁ | 2,30 | 1,5 | 1,5 | 2 | - | - | - | - | - | 0,065 | 0,00410 |
| 9 | S510H | PŁ | 3,50 | 1,8 | 1,8 | 2 | - | - | - | - | - | 0,065 | 0,00275 |
| 10 | M509J | PŁ | 3,80 | 1,6 | 2 | 2 | -0,057 | - | 190 | - | - | - | - |
| 11 | R414H[xx)] | PŁ | 3,20 | 1,3 | 1,3 | 1,5 | -0,065 | 170 | 250 | 0,038 | 0,00263 | 0,024 | 0,00116 |

x) ściana o postępie dobowym średnio 4,5 m

xx) pole ścianowe w filarze ochronnym

Tablica 5

Zestawienia współczynników równań opisujących ruchy górotworu występujące w chodniku przyścianowym przechodzącym za ścianą w obustronne otoczenie zrobów, w przekroju C oraz równań opisujących ruchy górotworu w zrobach, w przekroju A, dla przeprowadzonych akcji pomiarowych (Z - zawał, P - pasy podsadzkowe, PŁ - podsadzka płynna, w - osiadanie stropu w mm, z - zaciskanie wyrobiska w mm, d - odległość od czoła ściany w m)

| Oznaczenie akcji pomiarowej | | Sposób kierowania stropem | Ruchy przed ścianą $w = w_2 e^{bd}$; $z = z_2 e^{bd}$ | | | Ruchy za ścianą $w-w_2 = \frac{d}{a_w + b_w d}$ | | $z-z_2 = \frac{d}{a_z + b_z d}$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | b | $w_2$ | $z_2$ | $a_w$ | $b_w$ | $a_z$ | $b_z$ |
| chodnik przy zrobach | M41J | P | -0,080 | 110 | - | 0,019 | 0,00081 | 0,0160 | 0,00073 |
| | M504 | Z | -0,090 | 83 | 170 | - | - | 0,0170 | 0,00070 |
| | M501 | Z | -0,084 | 143 | - | - | - | 0,0270 | 0,00069 |
| | KnJ53[x] | Z | -0,054 | 200 | 372 | 0,075 | 0,00152 | 0,0610 | 0,00130 |
| | M504H | PŁ | -0,065 | 74 | 120 | - | - | 0,0800 | 0,00350 |
| | M509H | PŁ | -0,051 | 82 | 150 | - | - | 0,0450 | 0,00325 |
| | M510H | PŁ | - | - | - | - | - | 0,0650 | 0,00410 |
| | S510H | PŁ | - | - | - | - | - | 0,0650 | 0,00275 |
| | R414H[xx] | PŁ | -0,065 | 170 | 230 | 0,058 | 0,00260 | 0,0240 | 0,00116 |
| zroby | M41J | Z | - | - | - | | | 0,0144 | 0,00061 |
| | M504 | Z | - | - | - | $w - w_2$ | $z - z_2$ | 0,0104 | 0,00044 |
| | M501 | Z | - | - | - | | | 0,0058 | 0,00043 |

[x] ściana o postępie dobowym średnio 4,5 m

[xx] pole ścianowe w filarze ochronnym

Tablica 6

Zestawienie współczynników równań opisujących ruchy górotworu występujące przy krawędzi pokładu stanowiącego ocios chodnika przyścianowego założonego przy caliźnie, w przekroju $B_2$, dla przeprowadzonych akcji pomiarowych (Z - zawał, P - pasy podsadzkowe, w - osiadanie stropu w mm, d - odległość od czoła ściany w m)

| Oznaczenie akcji pomiarowej | Sposób kierowania stropem | Ruchy przed ścianą $w = w_2 e^{bd}$ | | Ruchy za ścianą $w - w_2 = \frac{d}{a_w + b_w d}$ | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | b | $w_2$ | $a_w$ | $b_w$ |
| M41J | P | -0,080 | 52 | 0,170 | 0,00730 |
| M510 | P | -0,084 | 50 | 0,215 | 0,00945 |
| M504 | Z | -0,090 | 36 | 0,173 | 0,00865 |
| M501 | Z | -0,084 | 72 | 0,065 | 0,00290 |

jest trudniej rabujący się, tym osiadanie jest większe. Duże znaczenie posiada zwięzłość pokładu. Im jest on bardziej zwięzły, tym mniejsze jest osiadanie stropu. Wypiętrzanie spągu przybiera również w różnych przypadkach różne nasilenie. Przy tym samym rodzaju spągu jest ono tym większe, im bardziej zwięzły jest pokład. Podsadzka hydrauliczna przyczynia się do bardzo znacznego ograniczenia wielkości ruchów za ścianą, nie zmniejsza jednak ich nasilenia przed frontem ściany. Zauważono ponadto, że dla danej akcji pomiarowej krzywe opisujące ruchy górotworu w poszczególnych przekrojach przez pole ścianowe wykazują wzajemne podobieństwo.

Spostrzeżenia te wykazały na możliwość przeprowadzenia próby bardziej ogólnego ujęcia praw rządzących ruchami górotworu w polach ścianowych. W tym celu do równań opisujących ruchy stropu i spągu przed i za frontem ściany wprowadzono szereg parametrów. Rys. 25 wyjaśnia przyjęte układy współrzędnych oraz pokazuje parametry służące dla ogólnego opisu ruchów. Należy przy tym przypomnieć, że odległość (d) od czoła ściany ma zawsze wartość dodatnią, liczona każdorazowo od czoła ściany jako od punktu zerowego, raz w kierunku przed ścianą, raz w kierunku za ścianą, Ponadto trzeba też przypomnieć podstawowy związek zachodzący między ruchami stropu i spągu:

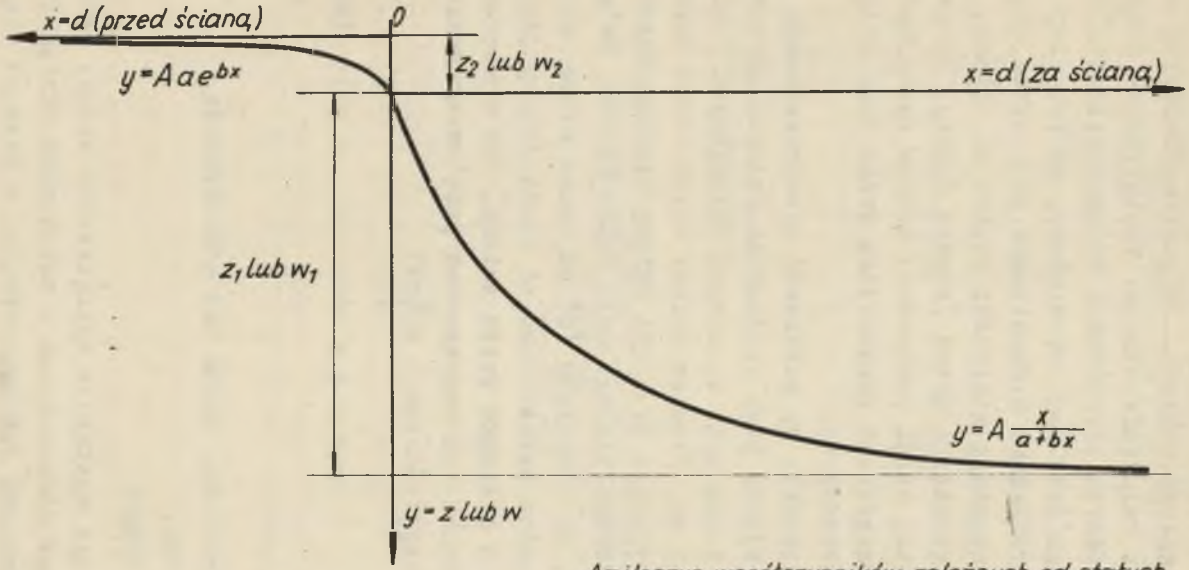
$$z = w + s \qquad (4.4.5)$$

gdzie:

z - zaciskanie wyrobiska, zwane też konwergencją,
w - osiadanie stropu,
s - wypiętrzanie spągu.

W przypadku, gdy nie występuje wypiętrzanie spągu, zaciskanie wyrobiska (z) jest równoznaczne z osiadaniem stropu (w).

Zgodnie z wprowadzonymi już oznaczeniami w dalszym ciągu, dla wartości (z), (w) i (s) indeksy cyfrowe mają następujące znaczenie: indeks 1 - dotyczy maksymalnych ruchów jakie mogą wystąpić za frontem ściany, natomiast indeks 2 - dotyczy maksymalnych ruchów jakie mogą wystąpić na czole ściany.




A – iloczyn współczynników zależnych od stałych pola eksploatacyjnego (np. wysokość ściany, zwięzłość pokładu itp.)
a, b – współczynniki funkcyjne

Przed ścianą: $y_{max} = z_2$ lub $w_2 = Aa$ dla $x=0$

Za ścianą: $y_{max} = z_1$ lub $w_1 = \lim_{x \to \infty} A\frac{x}{a+bx} = \frac{A}{b}$

**Rys. 25. Założenia dla opisu ruchów górotworu w polach eksploatacji ścianowej**

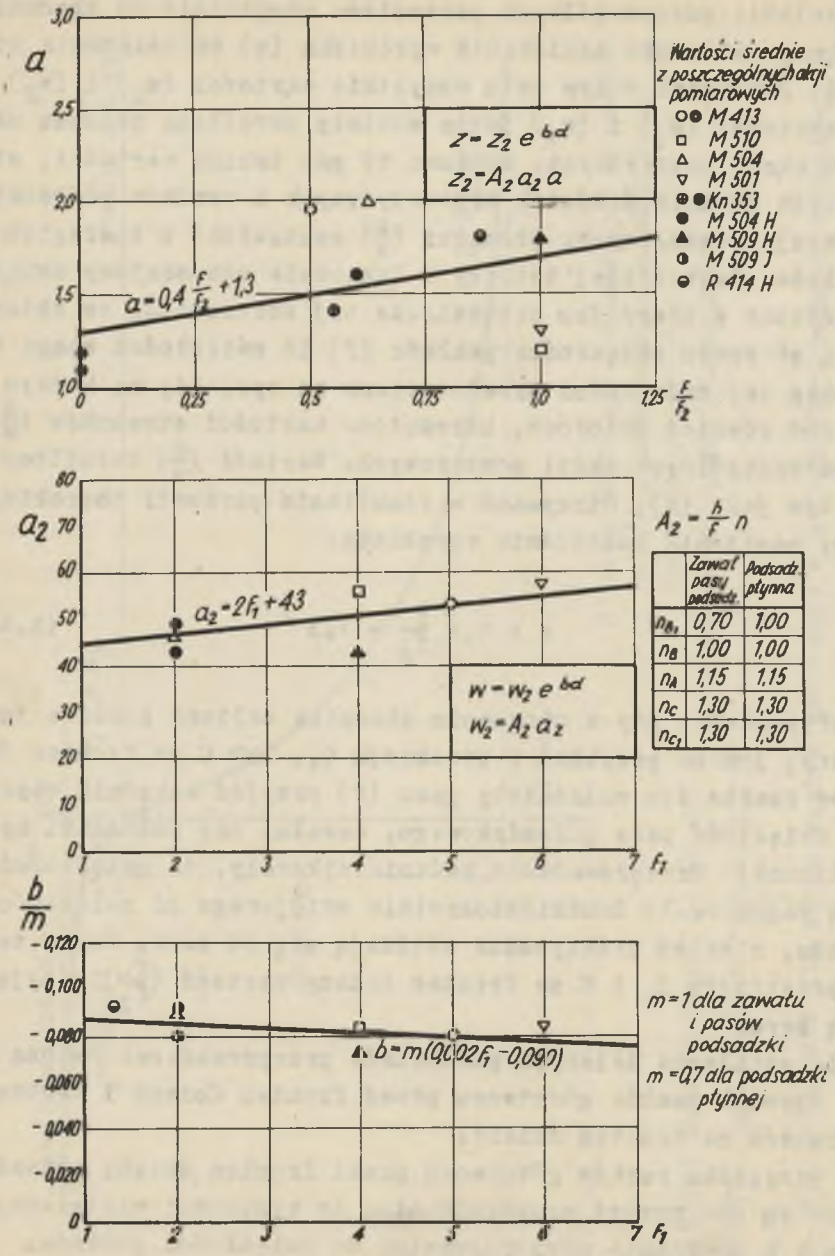
Ustalanie poszczególnych parametrów rozpoczęto od zbadania wzajemnego stosunku zaciskania wyrobiska (z) do osiadania stropu (w). Porównano w tym celu wszystkie wartości ($z_2$) i ($w_2$) oraz wartości ($z_1$) i ($w_1$) jakie zostały określone podczas wszystkich akcji pomiarowych. Zebrano 19 par takich wartości, stanowiących średnie średnich arytmetycznych z wyników poszczególnych akcji pomiarowych. Stosunki ($\frac{z}{w}$) zestawiono z szeregiem czynników. Najbardziej istotny i logicznie uzasadniony związek stwierdzono w przypadku zestawienia tej zbiorowości ze zbiorowością stosunku zwięzłości pokładu (f) do zwięzłości spągu ($f_2$). Przebieg tej zależności przedstawiono na rys. 26, na którym naniesiono również zbiorcze, uśrednione wartości stosunków ($\frac{z}{w}$) dla poszczególnych akcji pomiarowych. Wartość ($\frac{z}{w}$) określono przy tym jako (a). Otrzymano w rezultacie parametr charakteryzujący nasilenie zaciskania wyrobiska:

$$a = 0{,}4 \frac{f}{f_2} + 1{,}3 \qquad (4.4.6)$$

Dla przypadków, gdy w otoczeniu chodnika calizna została już wybrany, jak na przykład w przekroju $C_1$, lub C za frontem ściany, we wzorze tym należałoby jako (f) przyjąć wskaźnik obrazujący zwięzłość pasa podsadzkowego, zawału, czy podsadzki hydraulicznej. Przeprowadzone badania wykazały, że zwięzłości te są rzędu około dwudziestokrotnie mniejszego od zwięzłości pokładu, a zatem praktycznie zbliżają się do zera. Wobec tego dla przekrojów $C_1$ i C za frontem ściany wartość ($\frac{f}{f_2}$) przyjęto równą zero.

Dla ustalenia dalszych parametrów przeprowadzono osobną analizę zjawisk ruchów górotworu przed frontem ściany i osobną dla ruchów za frontem ściany.

W przypadku ruchów górotworu przed frontem ściany zauważono, że są one wprost proporcjonalne do wysokości wybieranej ściany, a odwrotnie proporcjonalne do zwięzłości pokładu. Ponadto nasilenie ruchów w poszczególnych przekrojach jest różne, jakkolwiek krzywe przebiegu ruchów są do siebie podobne.




**Rys. 26. Parametry równań ogólnych opisujących pionowe ruchy górotworu przed frontem ściany**

Na tej podstawie można było określić parametr charakteryzujący ogólnie warunki środowiska eksploatacji:

$$A_2 = \frac{h}{f} n \qquad (4.4.7)$$

gdzie: (h) jest to wysokość ściany w metrach, (f) bezwymiarowy wskaźnik zwięzłości pokładu, (n) bezwymiarowy współczynnik podobieństwa krzywej, zależy głównie od przekroju przez pole ścianowe.

Po podzieleniu wszystkich wartości ($w_2$) i ($z_2$) z tablic 4, 5, 6 przez odpowiednie wartości ($A_2$) i (a) otrzymano zbiór ($a_2$), składający się z 31 wartości. Zbiór ten również zestawiono z szeregiem czynników, w rezultacie czego stwierdzono istnienie bardzo wyraźnego związku pomiędzy nim, a zbiorem wartości zwięzłości stropu ($f_1$). Przebieg tej zależności wraz z punktami obrazującymi uśrednione wartości ($a_2$), z poszczególnych akcji pomiarowych, przedstawiono na rys. 26. Określa ona podstawowy parametr ruchu górotworu przed frontem ściany:

$$a_2 = 2 f_1 + 43 \qquad (4.4.8)$$

Wpływ sposobu wypełnienia zrobów zauważono w przypadku kształtowania się wartości parametru (b). Zbiór wartości (b) zestawiony z wartościami zwięzłości stropu ($f_1$) pokazano również na rys. 26. Zależność między tymi zbiorowościami można określić następująco:

$$b = m (0{,}002 f_1 - 0{,}090) \qquad (4.4.9)$$

przy czym należy przyjąć:

m = 1 dla zawału i pasów podsadzki ze ślepych chodników
m = 0,7 dla podsadzki hydraulicznej.

Dla ruchów górotworu przed frontem ściany można więc przy pomocy omówionych parametrów ustalić ogólne równania, pozwala-

jące na obliczenie zaciskania wyrobiska, osiadania stropu lub wypiętrzania spągu w konkretnych warunkach górniczo-geologicznych danego pola ścianowego. Równania te będą następujące:

$$z = A_2 a_2 a e^{bd} \qquad (4.4.10)$$

$$w = A_2 a_2 e^{bd} \qquad (4.4.11)$$

$$s = A_2 a_2 e^{bd}(a - 1) \qquad (4.4.12)$$

Po podstawieniu wyrażeń określających poszczególne parametry, równania ogólne przybiorą formę następującą:

$$z = \frac{h}{f} n(2 f_1+43) (0,4 \frac{f}{f_2} + 1,3)e^{m(0,002 f_1 - 0,090)d} \qquad (4.4.13)$$

$$w = \frac{h}{f} n (2 f_1+43)e^{m(0,002 f_1-0,090)d} \qquad (4.4.14)$$

$$s = \frac{h}{f} n (2 f_1+43) (0,4 \frac{f}{f_2} + 0,3)e^{m(0,002 f_1-0,090)d} \qquad (4.4.15)$$

Wartości (h) i (d) przyjęte są w metrach, wartości (z), (w), (s) otrzymuje się w milimetrach.

Wartości współczynnika podobieństwa krzywych (n) zostały ustalone na podstawie wzajemnego stosunku krzywych z poszczególnych akcji pomiarowych oraz na podstawie warstwic odkształcania się stropu w poszczególnych typach ścian. Współczynniki te podano w tablicy 7.

Dla określenia parametrów dotyczących ruchów górotworu za frontem ściany oparto się przede wszystkim na stwierdzeniu, że osiadanie stropu jest wprost proporcjonalne do wysokości ściany, przy czym nasilenie ruchów w poszczególnych przekrojach jest różne, jakkolwiek przebiegi ruchów są podobne. Określony

Tablica 7

Wartości współczynników podobieństwa krzywych

| Współczynnik podobieństwa krzywych n | | Oznaczenie przekroju przez pole ścianowe | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $B_1$ | B | A | C | $C_1$ |
| przed ścianą | zawał, pasy podsadzki | 0,7 | 1,0 | 1,15 | 1,3 | 1,3 |
| | podsadzka hydrauliczna | 1,0 | 1,0 | 1,15 | 1,3 | 1,3 |
| za ścianą | zawał, pasy podsadzki | 0,25 | 1,0 | 4,0 | 2,5 | 2,0 |
| | podsadzka hydrauliczna | 0,20 | 0,3 | 1,0 | 0,5 | 0,4 |

na tej podstawie parametr cgólnych warunków środowiska eksploatacji przybrał formułę:

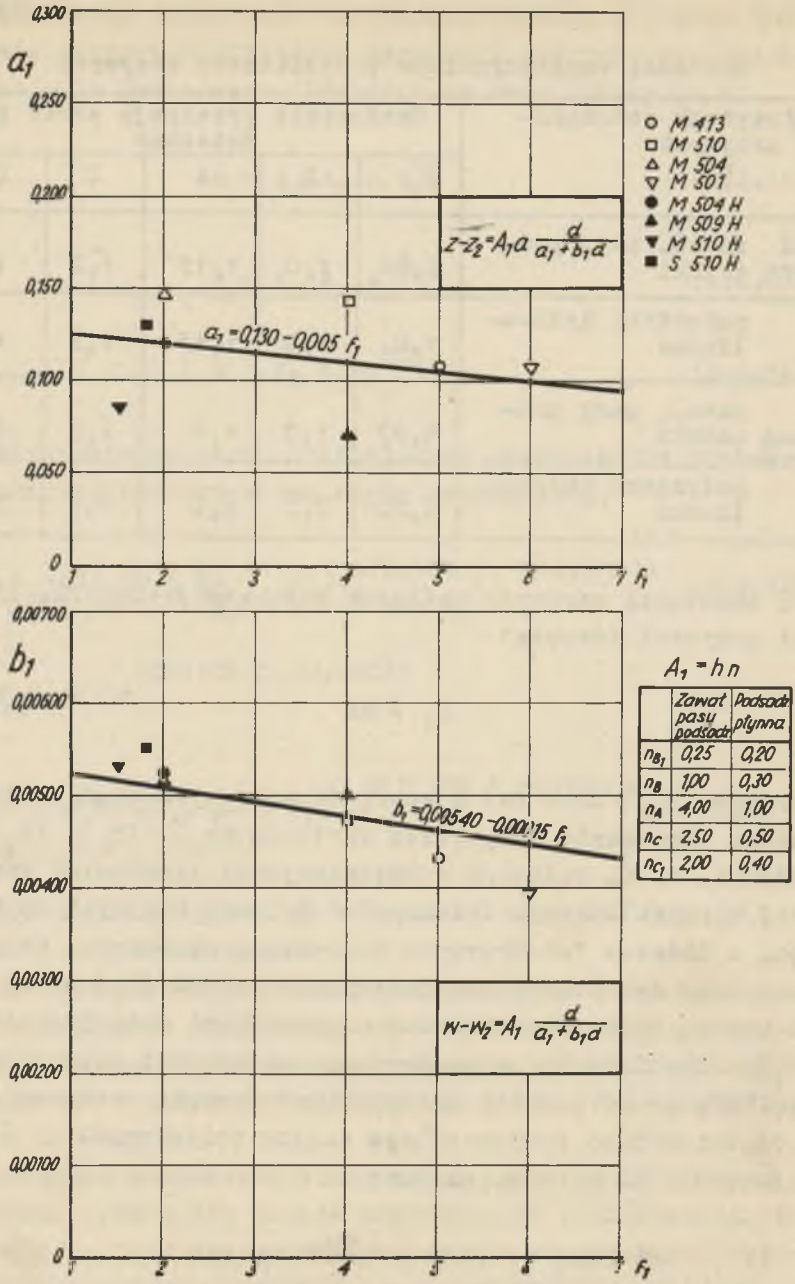
$$A_1 = hn \qquad (4.4.16)$$

Wartości ($A_1$) oraz (a) z wzoru (4.4.6) wykorzystano do odpowiedniego pomnożenia wszystkich wartości ($a_w$), ($b_w$), ($a_z$), ($b_z$) z tablic 4, 5, 6, będących współczynnikami liczbowymi równania krzywej hiperbolicznej. Indeksy "w" dotyczą krzywych osiadania stropu, a indeksy "z" krzywych zaciskania wyrobiska. Otrzymano wskutek tego dwa zbiory współczynników ($a_1$) i ($b_1$) po 35 wartości każdy, które zestawiono z odpowiednimi zwięźłościami stropu ($f_1$). Pozwoliło to na znalezienie zależności przedstawionych na rys. 27, gdzie ponadto uwidoczniono średnie wartości ($a_1$) i ($b_1$) odpowiadające poszczególnym akcjom pomiarowym.

Zależności te są następujące:

$$a_1 = 0{,}130 - 0{,}005\, f_1 \qquad (4.4.17)$$

$$b_1 = 0{,}00540 - 0{,}00015\, f_1 \qquad (4.4.18)$$




**Rys. 27. Parametry równań ogólnych opisujących pionowe ruchy górotworu za frontem ściany**

Dla ruchów górotworu za frontem ściany można zatem ustalić ogólne równania, wykorzystując omówione parametry. Równania te przybierają postać:

$$z - z_2 = A_1 \, a \, \frac{d}{a_1 + b_1 d} \qquad (4.4.19)$$

$$w - w_2 = A_1 \, \frac{d}{a_1 + b_1 d} \qquad (4.4.20)$$

$$s - s_2 = A_1 \left(\frac{d}{a_1 + b_1 d}\right) (a - 1) \qquad (4.4.21)$$

Po podstawieniu wyrażeń określających poszczególne parametry, równania ogólne będą miały formę:

$$z - z_2 = h \, n(0{,}4 \, \frac{f}{f_2} + 1{,}3) \, \frac{d}{(0{,}130 - 0{,}005 f_1) + (0{,}00540 - 0{,}00015 f_1) d} \qquad (4.4.22)$$

$$w - w_2 = h \, n \, \frac{d}{(0{,}130 - 0{,}005 f_1) + (0{,}00540 - 0{,}00015 f_1) d} \qquad (4.4.23)$$

$$s - s_2 = h \, n(0{,}4 \frac{f}{f_2} + 0{,}3) \, \frac{d}{(0{,}130 - 0{,}005 f_1) + (0{,}00540 - 0{,}00015 f_1) d} \qquad (4.4.24)$$

W równaniach tych (b) i (d) przyjmować należy w metrach, zaś $(z - z_2)$, $(w - w_2)$, $(s - s_2)$ otrzymuje się w milimetrach.

Podane formuły obliczeniowe dla ruchów górotworu przed i za frontem ściany dotyczą wyłącznie ruchów pionowych. Należy przy tym zaznaczyć, że formuły do obliczenia zaciskania względnie wypiętrzania spągu odnoszą się do przekroi typowych B, $B_1$ oraz C, $C_1$. Jak dowiodły wykonane badania, nawet w ścianach z pasami podsadzki w zrobach za ścianą występuje wyłącznie osiadanie stropu, gdyż wypiętrzanie spągu jest praktycznie równe zero. Dla przekroju typowego A wielkość pionowych ruchów górotworu obliczać należy wyłącznie ze wzoru (4.4.23).

Podczas ustalania czynników kształtujących parametry równań opisujących ruchy górotworu nie stwierdzono istnienia wpływu głębokości eksploatacji. W widoczny natomiast sposób różnił się przebieg ruchów w przypadku ściany o dużym postępie dobowym, przekraczającym 4,5 m/dobę [24], oraz w przypadku ścian prowadzonych wewnątrz wybranego już wokoło filara ochronnego.

W stosunku do posiadanego materiału pomiarowego z akcji prowadzonych w normalnych warunkach, wartości ruchów wyznaczono z dokładnością rzędu 20%. Wskazuje to na możliwość zastosowania tych obliczeń dla przewidywania deformacji chodników i z kolei dla opracowywania odpowiednich środków ich zabezpieczenia. Ponadto wykorzystanie proponowanych formuł może dawać pogląd na cały szereg innych zagadnień, między innymi na dobór metody kierowania stropem, problem wytężenia pokładu itp.

## 4.5. Odkształcenia i reakcje podłoża występujące w polach eksploatacji ścianowej

Omówione w poprzednim rozdziale pionowe ruchy górotworu wywołują deformacje elementów podłoża, którymi jak już wspomniano są calizna pokładu, obudowa przodka i chodników oraz materiał wypełniający zroby. Podłoże przeciwstawia się tym ruchom wywiązując reakcje podpornościowe, które z kolei oddziaływują hamująco na ruchy górotworu. W związku z tym siły występujące w górotworze naruszonym w rejonach eksploatacji ścianowej obrazują nie tyle naciski odpowiadające ciężarowi mas skalnych, wynikającemu z głębokości eksploatacji, ile są przejawami sił odpowiadających charakterystyce podpornościowej poszczególnych elementów podłoża. Przeprowadzone akcje pomiarowe dostarczyły materiałów, umożliwiających przeprowadzenie wstępnego określenia charakterystyk tych elementów oraz przybliżonego rozkładu wielkości nacisków występujących w poszczególnych typach pól ścianowych. W dalszym ciągu opracowania zostaną omówione głównie odkształcenia i reakcje wystąpujące za frontem ściany w podłożu składającym się z pasów podsadzkowych, samopodsadzki zawałowej, podsadzki hydraulicznej oraz odkształcenia i reakcje występujące w pokładzie przed frontem ściany. Zagadnienia obu-

dowy, jako stanowiące szeroki dział badawczy, objęty licznymi pracami GIG, nie będą w niniejszym opracowaniu omawiane szerzej.

4.5.1. Pola ścianowe z pasami podsadzki

Pasy podsadzkowe są dotychczas w polskim górnictwie węglowym szeroko stosowane dla ochrony i utrzymania chodników przyścianowych oraz niekiedy jeszcze używa się ich dla podtrzymania stropu w zrobach poeksploatacyjnych w przypadkach, gdy zachodzi istotna potrzeba kierowania załamywaniem się stropu za frontem ściany. Podczas akcji badawczych wykonano pomiary i w jednym i w drugim typie pasów podsadzkowych. Ich cechą wspólną jest to, że w obu przypadkach pasy wykonuje się głównie z rumowiska skalnego, pochodzącego z zastrzeliwanego stropu ściany. Metody pomiarów wykonywanych w odniesieniu do pasów podsadzkowych oraz sposób opracowania wyników omówiono już uprzednio oraz przedstawiono na rys. 9.

Pasy podsadzkowe w zrobach badano podczas akcji pomiarowej M413. Stosowaną tam technikę wykonywania pasów można przyjąć za typową. Pasy układano z brył kruchego piaskowca, zastrzeliwanego ze stropu w ślepych chodnikach. Zewnętrzne ściany pasów wiązano kasztami drewnianymi. Czoło pasów znajdowało się w odległości około 3 m za frontem ściany. Pasy starano się wypełniać możliwie dokładnie, aż pod sam strop pokładu. Pomimo tego u góry pasa pozostawała pustka, kilkudziesięcio milimetrowej wysokości, której praktycznie już nie można było wypełnić. Zjawisko to należy uznać za nieuniknione i związane ze sposobem układania pasów podsadzkowych. W związku z tym nawet najbardziej starannie ułożony pas podsadzkowy nie ma możności natychmiastowego podparcia stropu i zaczyna pracować dopiero, gdy strop obniży się o wielkość pozostawionej u góry pasa pustki. moment rozpoczęcia pracy pasa można określić doświadczalnie, mierząc odkształcenia jego ścian bocznych. Pojawiają się one dopiero w chwili rzeczywistego oparcia się stropu ściany na pasie podsadzkowym.

Odkształcenia boczne pasów podsadzkowych mogą występować zasadniczo tylko w kierunku poprzecznym do kierunku układania pasa. Były one mierzone mniej więcej w połowie wysokości pasa jako sumaryczne odkształcenia obu ścian bocznych. Uzyskane wartości obrazowały więc wielkości odkształceń o charakterze raczej maksymalnym, gdyż u góry i u dołu pasa odkształcenia są mniejsze, osiągając przy stropie i spągu swoje minimum.

Analiza odkształceń pionowych pasa podsadzkowego i odkształceń bocznych wykazała, że wielkość pustki pozostającej między stropem,pokładu, a górną powierzchnią ułożonego pasa powinna być przyjmowana średnio jak wielkość rzędu 90 mm.

Można więc określić formułę empiryczną opisującą odkształcenia pionowe pasa podsadzkowego w zrobach ($z_p$). W przypadku pasa układanego bieżąco za postępującym frontem, odkształcenia te występujące od chwili oparcia się na nim stropu ściany, można określić formułą:

$$z_p = A_1 \left(\frac{d}{a_1 + b_1 d} - 24\right) - 90 \qquad (4.5.1.1)$$

przy czym we wzorze tym należy podstawiać:

$$d \geq \frac{(24\ A_1 + 90)\ a_1}{A_1 - (24\ A_1 + 90)\ b_1} \qquad (4.5.1.2)$$

czyli odległość w metrach nie mniejszą od odległości rzeczywistego podparcia stropu przez pas. Wielkość odkształcenia otrzymuje się w milimetrach. Można również określić empirycznie formułę opisującą odkształcenie całkowicie 2L obu bocznych ścian pasa podsadzkowego w zrobach:

$$2\ L = 0{,}3\ z_p \qquad (4.5.1.3)$$

W podanych wzorach wartości ($z_p$) i (2L) otrzymuje się w milimetrach przy podstawieniu odległości od czoła ściany (d) w

metrach, zaś parametrów $(A_1)$, $(a_1)$, $(b_1)$ ze wzorów (4.4.16) (4.4.17), (4.4.18),

W odniesieniu do odkształceń pasów podsadzkowych układanych przy chodnikach przeprowadzono analogiczne badania. Stwierdzono również, że oparcie stropu na pasie następuje dopiero w pewnej odległości za czołem pasa. W związku z tym wykorzystując formuły określające ruchy stropu i spągu w sąsiedztwie chodników przyścianowych można było ustawić wzory empiryczne, opisujące odkształcenia pasów przychodnikowych. W przypadku pasa, którego czoło nie oddala się więcej niż do 5 m od czoła ściany średnie odkształcenia pionowe można obliczyć wzorem:

$$s_p = 1{,}4\, A_1 \left(\frac{d}{a_1 + b_1 d} - 37\right) - 90 \qquad (4.5.1.4)$$

przyjmując przy obliczeniu $(A_1)$ na podstawie tablicy 7 współczynnik podobieństwa krzywej odpowiednio dla pasa układanego wzdłuż przekroju B średnie n = 1,5 i wzdłuż przekroju C średnie n = 2,6, oraz odległość od czoła ściany według warunku:

$$d \geq \frac{(52\, A_1 + 90)\, a_1}{1{,}4\, A_1 - (52\, A_1 + 90)\, b_1} \qquad (4.5.1.5)$$

Całkowite odkształcenie obu bocznych ścian pasa podsadzkowego przy chodniku można w przybliżeniu określić również wzorem (4.5.1.3).

Oprócz odkształceń badano również podporności wywiązywane przez pasy podsadzkowe. Zestawienie tych podporności z odkształceń właściwych umożliwiło określenie charakterystyki podporności pasów podsadzkowych. Przedstawia się ona w przybliżeniu następująco:

$$p = 0{,}17 \cdot 1 \cdot \varepsilon^{1{,}1} \qquad (4.5.1.6)$$

$$\varepsilon \leq 40$$

gdzie: (p) jest to podporność pasa podsadzkowego w $kG/cm^2$, ($\varepsilon$) pionowe odkształcenie właściwe pasa w %, (l) szerokość pasa wyrażona w metrach. Warunek ograniczający $\varepsilon \leqslant 40$ określono doświadczalnie. Oznacza on, że powyżej 40% odkształcenia właściwego w kierunku pionowym, pas podsadzkowy ulega rozgniecenniu. Przede wszystkim ulegają zniszczeniu jego ściany boczne, a następnie rozsuwa się i rozpłaszcza pozostałe jądro pasa, nie wywiązująco przy tym większej podporności w stosunku do osiadającego stropu. Biorąc pod uwagę, że maksymalne dokształcenie pasa jest rzędu 40%, można określić odległość, w której następuje rozgniecenie pasa za frontem ściany. Będzie ona wynosić dla pasów podsadzkowych w zrobach:

$$d = \frac{a_1 (0{,}4\, h_p + 24\, A_1 + 54)}{A_1 - (0{,}4\, h_p + 24\, A_1 + 54)\, b_1} \qquad (4.5.1.7)$$

oraz dla pasów podsadzkowych przy chodnikach:

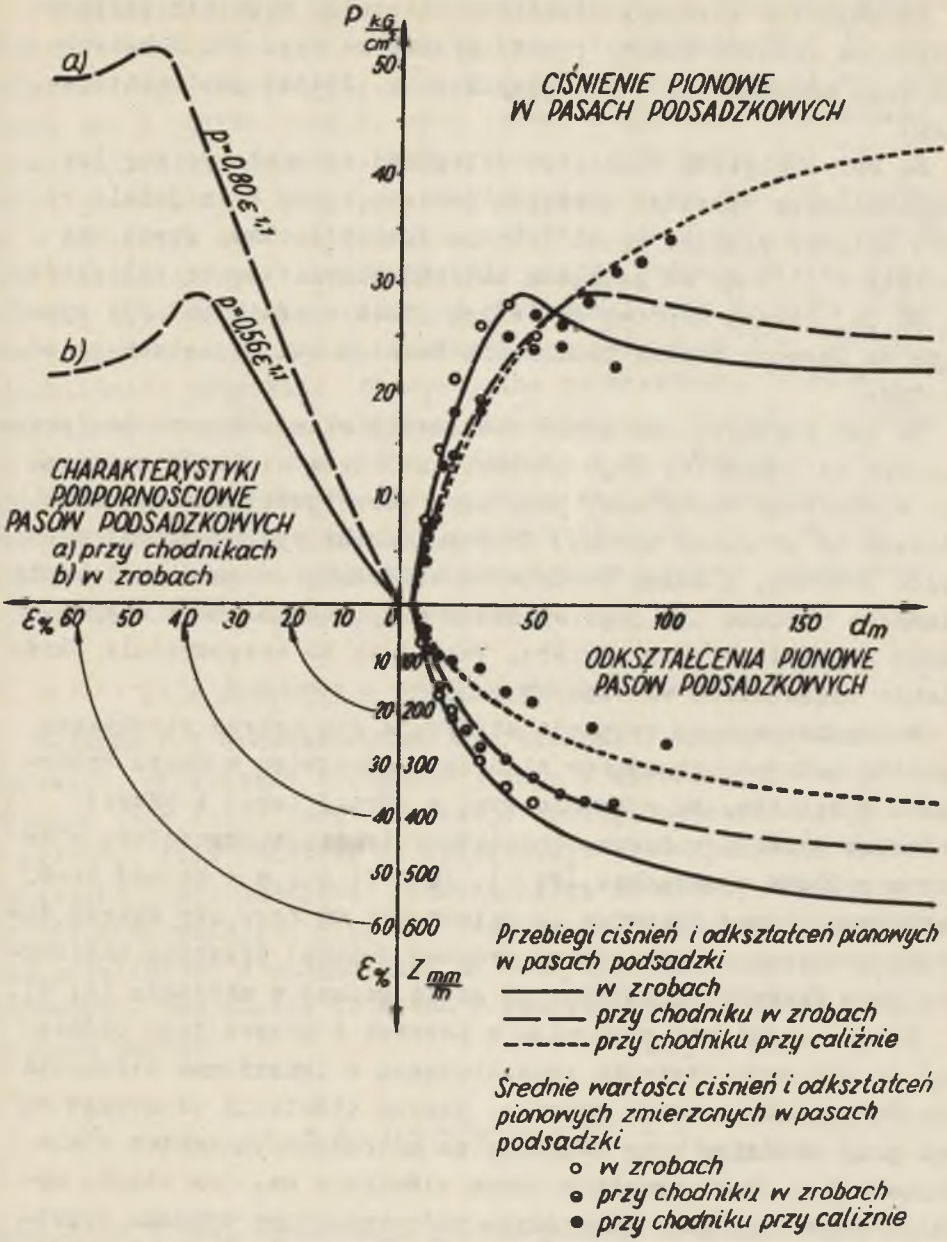
$$d = \frac{a_1 (0{,}4\, h_p + 53\, A_1 + 54)}{1{,}4\, A_1 - (0{,}4\, h_p + 52\, A_1 + 54)\, b_1} \qquad (4.5.1.8)$$

gdzie: ($h_p$) jest początkową wysokością pasa podsadzkowego, wyrażoną w milimetrach, zaś ($A_1$) jest określane analogicznie jak we wzorach (4.5.1.1) oraz (4.5.1.4). Wzór (4.5.1.8) może być zastosowany w przypadku, gdy spełniony jest warunek:

$$1{,}4\, A_1 \left(\frac{1}{b_1} - 37\right) \quad 0{,}4\, h_p \qquad (4.5.1.9)$$

Gdy warunek ten nie następuje oznacza to, że odkształcenia pasa będą mniejsze od wartości niszczącej to jest 40% odkształcenia.

Opisane wielkości odkształceń pasów podsadzkowych oraz przebiegi charakterystyk podpornościowych tych pasów określają charakter i wielkości ciśnienia pionowego jakie może wystąpić za frontem oddalających się ścian.




Rys. 28. Ciśnienie pionowe na pas podsadzkowy oraz charakterystyka podpornościowa tego pasa za frontem ściany

Przykładowy przebieg ciśnienia pionowego w pasach podsadzkowych za frontem ściany przedstawiono na rys. 28. Konstrukcja tego rysunku jak i następnych (rys. 29÷34) jest następująca:

Na osi odciętych oznaczono odległość od czoła ściany lub odkształcenia właściwe elementu podłoża, przy czym jeżeli wykres dotyczy zjawisk przed frontem ściany to lewy zwrot osi odciętych (licząc od początku układu) odnosi się do odległości od jej czoła, a prawy do odkształceń właściwych. Dla zjawisk za frontem ściany oznaczenia zwrotów osi odciętych są odwrotne.

Na osi rzędnych oznaczono obciążenie elementu podłoża (przeliczone na jednostkę jego powierzchni) oraz wielkość zaciskania właściwego wyrobiska, przy czym górny zwrot osi rzędnych (licząc od początku układu) dotyczy zawsze wytrzymałości elementu podłoża, a dolny zaciskania właściwego. Przez zaciskanie właściwe rozumie się jego wielkość przypadającą na 1 m wysokości eksploatowanego pokładu. Umożliwia to bezpośrednie określanie odkształceń właściwych ( $\varepsilon$ ).

W przedstawionej sytuacji otrzymuje się wykres stanowiący syntezę badanych przejawów ciśnienia górotworu w danym środowisku górniczym. Na wykresie tym, w górnej lewej i prawej ćwiartce występują zawsze charakterystyki podporności elementu podłoża w układzie $[P; \varepsilon]$ lub $P; d$ , a w dolnej lewej względnie prawej ćwiartce (w zależności od tego czy wykres dotyczy sytuacji przed, czy za frontem ściany) przebieg zaciskania jako funkcji odległości od czoła ściany w układzie $[z; d]$.

Krzywa ciśnienia pionowego w zrobach i krzywa tego ciśnienia na pas przy chodniku przechodzącym w obustronne otoczenie zrobów posiadają swoje maksima. Krzywa ciśnienia pionowego na pas przy chodniku przy caliźnie ma natomiast charakter stale wzrastający. Taki przebieg zmian ciśnienia ma, jak widać, wyraźny związek z charakterystyką podporności ośrodka wypełniającego zroby. W dwu pierwszych przypadkach występujące odkształcenia, wywołane przemieszczaniem się skał stropu i ewentualnie spągu, prowadzą do przekroczenia naprężeń niszczących. W przypadku ostatnim granica ta nie zostaje osiągnięta.

Podobne przebiegi zmian ciśnienia pionowego były już obserwowane w kopalniach przez szereg badaczy zagranicznych [2, 7]. Interpretacja obserwacji, przeprowadzona przez badaczy tak polskich jak i zagranicznych, szła jednak w kierunku wyjaśnienia zachodzących zjawisk przy pomocy teorii sklepienia czy teorii fali ciśnienia. Z krzywych przedstawionych na rys. 28 wynika, że o przebiegu zmian ciśnienia za ścianą nie decyduje charakter oparcia się stropu na zrobach, ale przede wszystkim charakter ośrodka wypełniającego zroby. O słuszności tego poglądu świadczą wyniki rzeczywistych pomiarów naniesiona na rys. 28 obok odpowiednich krzywych. Na specjalne podkreślenie zasługuje ćwiartka prawa górna, w której przedstawiono punkty, obrazujące wyniki pomiarów wielkości ciśnienia w zależności od odległości za ścianą. Podobieństwo, jakie zachodzi pomiędzy wartościami uzyskanymi z pomiarów oraz kształtowaniem się ich zmian a przebiegiem krzywych wyznaczonych stanowi potwierdzenie prawidłowości wyznaczonych linii.

4.5.2. Pola ścianowe z zawałem stropu

Badania nad kształtowaniem się ciśnień w zrobach ścian zawałowych, przebiegów osiadania stropu w wyrobiskach eksploatacyjnych tych ścian oraz obserwacje zasięgu chaotycznego zawału w zrobach, dały podstawę do wykreślenia prawdopodobnej charakterystyki podporności samopodsadzki zawałowej. Jako odkształcenia przyjęto przy tym zaciskanie samopodsadzki zawałowej przeliczone w milimetrach na metr wysokości warstwy samopodsadzki. Zaciskanie to można w przybliżeniu obliczyć w milimetrach wzorem:

$$z_p = A_1 \left(\frac{d}{a_1 + b_1 d} - 37\right) - w_o \qquad (4.5.2.1)$$

gdzie: ($w_o$) jest wysokością pustki jaka na krawędzi zawału powstaje pomiędzy warstwą rumowiska skalnego, a warstwą skalną nie przechodzącą już w zawał. Warstwa ta po ugięciu się o wielkość ($w_o$) osiada dopiero na zawale w pewnej odległości za ścianą.

Grubość warstwy zawału określono w oparciu o wcześniejsze badania GIG przeprowadzone w tym zakresie 30.

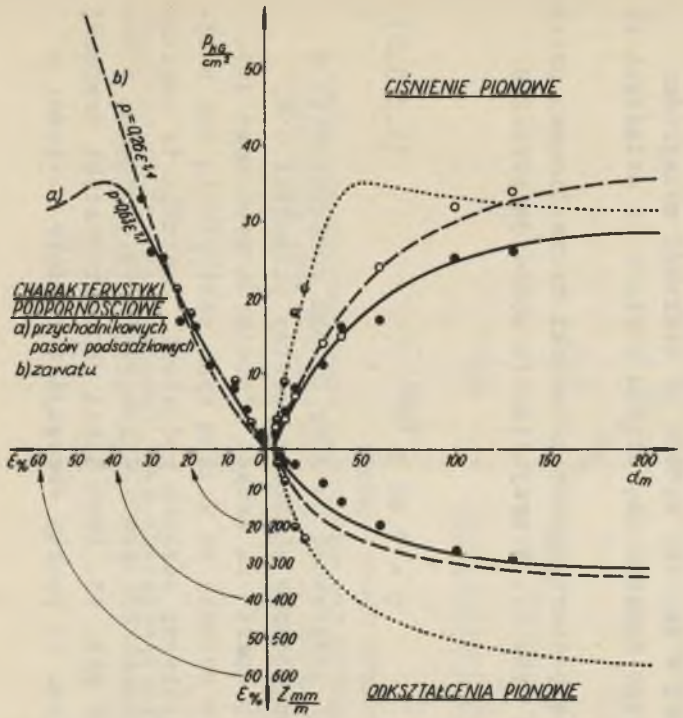
Stwierdzono mianowicie, że w przypadku prawidłowego wypełnienia zrobów zawałem, gdy nie występuje większe zawisanie nie podpartego stropu, można przyjąć współczynnik zwiększenia objętości rabujących się warstw skalnych równy około 1,7 do 2,0. Na tej podstawie grubość warstwy rumowiska zawałowego przyjęto równą około dwukrotnej grubości pokładu. Charakterystykę podpornościową zawału można w przybliżeniu określić wzorem:

$$p = \frac{0,40}{f_z}\,\varepsilon^{1,4} \qquad (4.5.2.2)$$

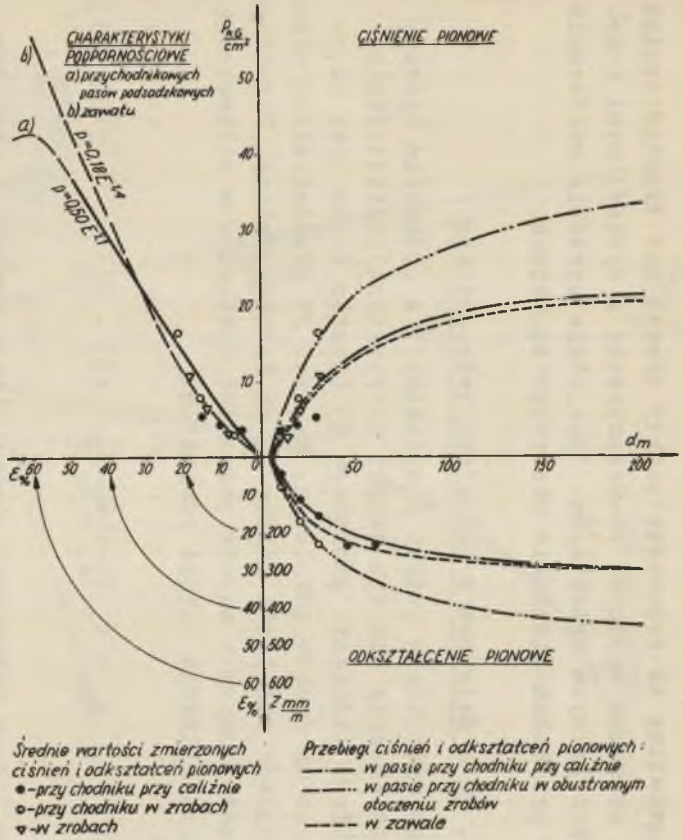
gdzie: (p) jest to odporność zawału w $kG/cm^2$, ($\varepsilon$) prawdopodobnie pionowe odkształcenie właściwe strefy zawału w %, ($f_z$) współczynnik rozluzowania skał stropu przechodzących w zawał.

Prawdopodobną charakterystykę podpornościową zawału oraz charakterystykę podpornościową pasów podsadzkowych przy chodnikach w ścianie zawałowej przedstawiono na rys. 29 i 30. Rysunek 29 przedstawia przebiegi ciśnień i odkształceń w ścianie zawałowej z łatworabującym się stropem, rys. 30 w ścianie zawałowej z trudnorabującym się stropem. Z wykresów widać, że odkształcenia właściwe w przychodnikowym pasie podsadzkowym przy caliźnie są prawie identyczne z odkształceniami w zawale. Ich nasilenie natomiast w pasie podsadzkowym w obustronnym otoczeniu zrobów jest prawie dwukrotnie większe.

Krzywe ciśnienia pionowego w pasie podsadzkowym przy chodniku przy caliźnie oraz w zrobach mają charakter stale narastający. Krzywa ciśnienia pionowego w przychodnikowym pasie podsadzki w obustronnym otoczeniu zrobów na rys. 29 ma swoje maksimum. Taki przebieg zmian ciśnienia ma związek z charakterystyką podpornościową danego ośrodka oraz z odkształceniami właściwymi jakie w nim występują. W dwu pierwszych przypadkach nie zostają osiągnięte naprężenia niszczące strukturę ośrodka, w trzecim naprężenia te zostają przekroczone.




**Rys. 29. Ciśnienie pionowe oraz charakterystyka podpornościowa przychodnikowych pasów podsadzkowych i zrobów za frontem ściany zawałowej z łatworabującym się stropem**




**Rys. 30. Ciśnienicwe pionowe oraz charakterystyka podpornościowa przychodnikowych pasów podsadzkowych i zrobów za frontem ściany zawałowej z trudnorabującym się stropem**

Przedstawione na rysunkach punkty obrazujące średnie wyniki pomiarów wykazują zgodność rozmieszczenia z wykreślonymi krzywymi poszczególnych przebiegów. Specjalnie wyraźnie uwidacznia się to w przypadku ciśnienia pionowego za ścianą.

4.5.3. Pola ścianowe z podsadzką hydrauliczną

Pomiary wykonane w polach eksploatacji z podsadzką hydrauliczną dostarczyły szeregu danych dotyczących kształtowania się przebiegu ciśnienia pionowego za frontem ścian oraz odpowiadających im ruchów górotworu. Na rys. 31 przedstawiono przebieg przejawów ciśnienia górotworu za frontem ściany. Przebiegi odkształceń pionowych warstw podsadzki obliczone w milimetrach można w przybliżeniu opisać równaniem:

$$z_p = A_1 \left(\frac{d}{a_1 + b_1 d} - 49\right) - w_o \qquad (4.5.3.1)$$

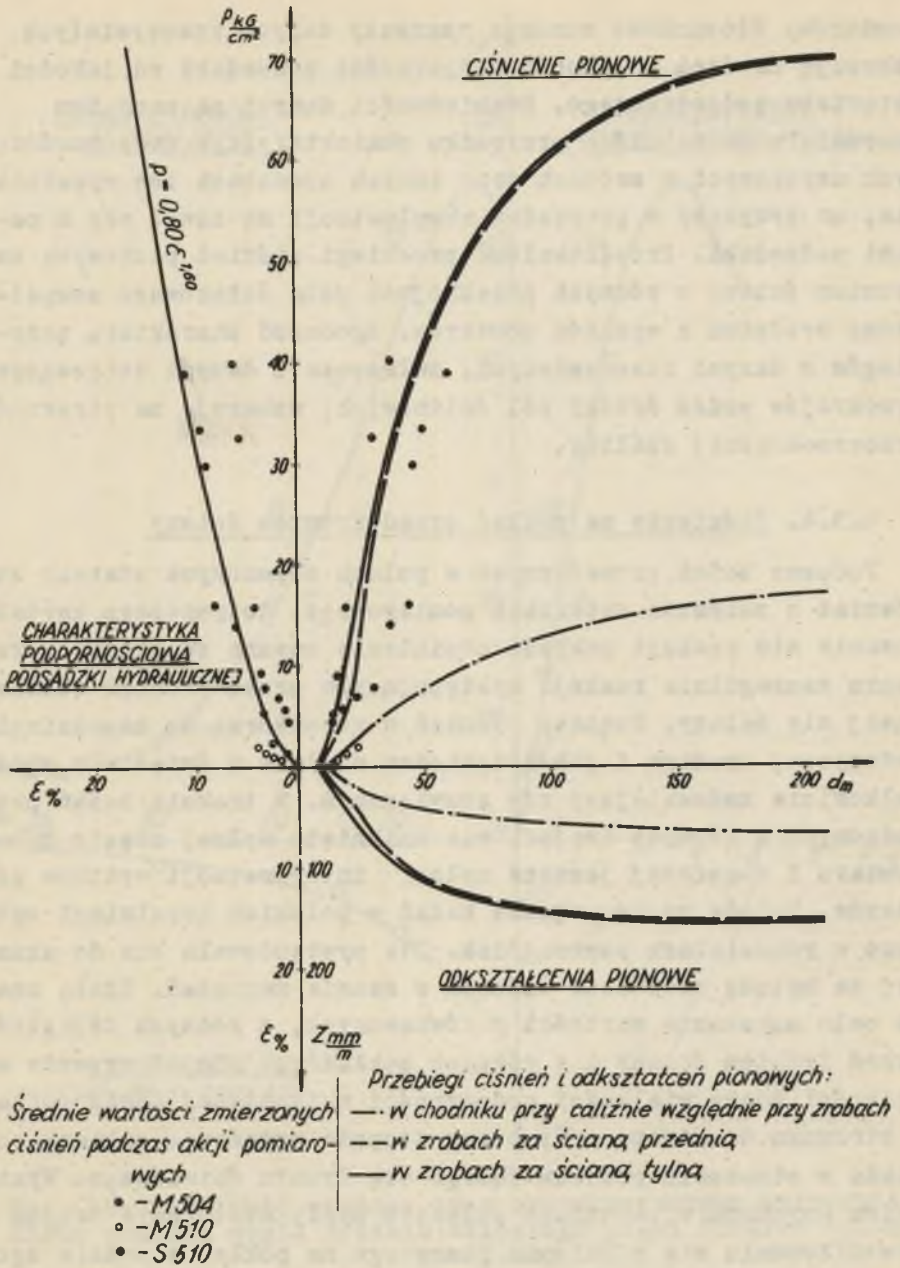
gdzie: ($w_o$) jest wysokością pustki między stropem a podsadzką hydrauliczną, pozostającej po ukończeniu kolejnego podsadzania ściany, wpływającej w istotny sposób na wielkość odległości punktu rzeczywistego oparcia się stropu pokładu na podsadzce za frontem ściany.

Charakterystykę podporności podsadzki hydraulicznej przedstawiono także na rys. 31. W przybliżeniu można ją określić równaniem:

$$p = 0{,}80\ \varepsilon^{1{,}6} \qquad (4.5.3.2)$$

gdzie: (p) jest to podporność warstwy piasku podsadzkowego w $kG/cm^2$, ($\varepsilon$) odkształcenie właściwe warstwy podsadzki w %.

Charakterystykę oparto na danych z pomiarów pionowego ciśnienia górotworu w zrobach za ścianą oraz zestawieniu ich z odkształceniami właściwymi warstwy podsadzki. Wartości te uzyskano z badań na stanowiskach pomiarowych zakładanych według schematu pokazanego na rys. 11. Obok linii charakterystyki średniej uwidoczniono na rys. 31 punkty obrazujące średnie wartości z

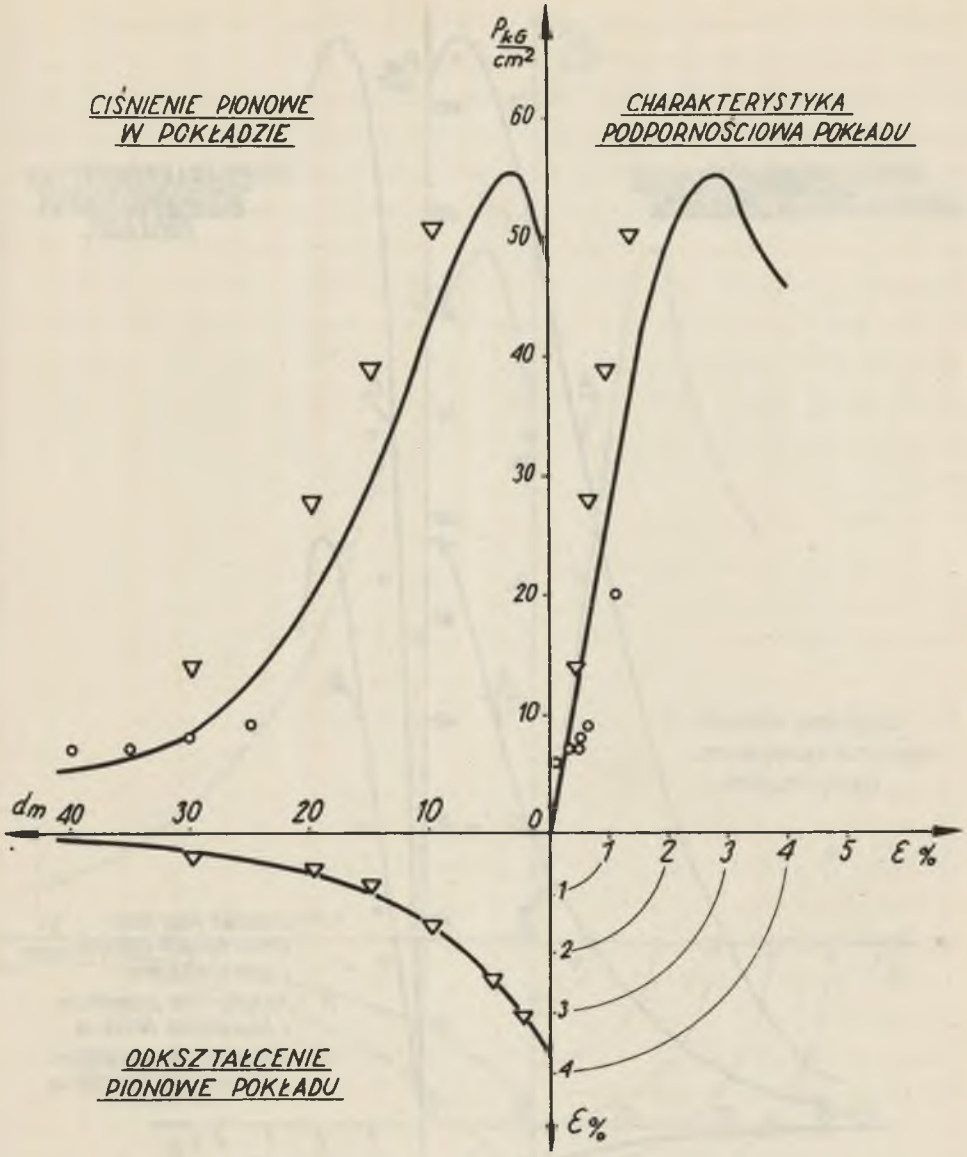



Rys. 31. Ciśnienie pionowe oraz charakterystyka podporności owa podsadzki hydraulioznej za frontem ścian bliźnianych

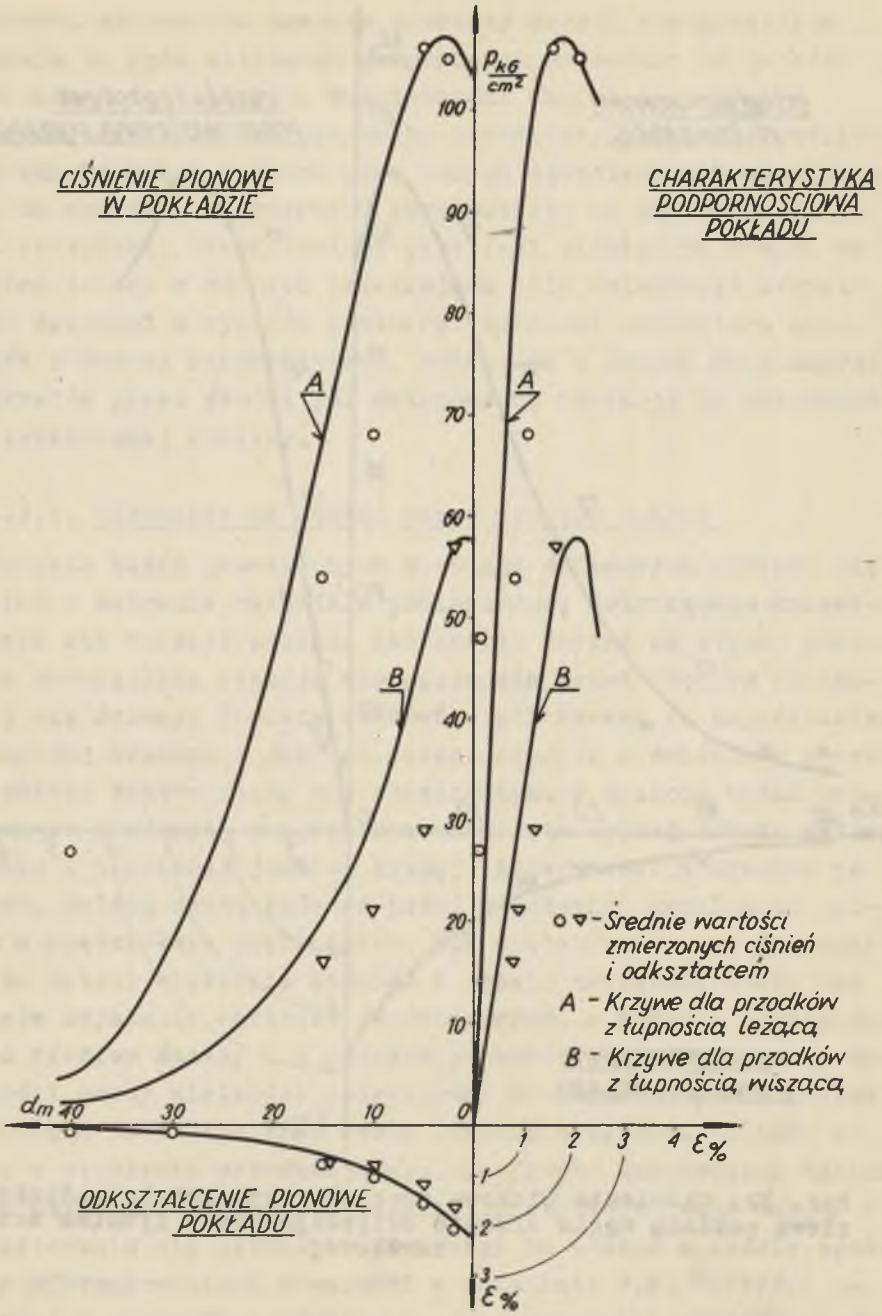
pomiarów. Stosunkowo znaczne rozrzuty danych rzeczywistych wskazują na dużą zależność podporności podsadzki od jakości materiału podsadzkowego. Rozbieżności danych są przy tym znacznie większe niż w przypadku charakterystyk podpornościowych uzyskanych w zrobach przy innych sposobach ich wypełnienia, na przykład w przypadku eksploatacji na zawał czy z pasami podsadzki. Przedstawione przebiegi ciśnień pionowych za frontem ściany w różnych przekrojach pola ścianowego uzupełniono średnimi z wyników pomiarów. Zgodność charakteru przebiegów z danymi rzeczywistymi, zwłaszcza z danymi dotyczącymi przekrojów przez środki pól ścianowych, wskazuje na poprawność przeprowadzonej analizy.

### 4.5.4. Ciśnienie na pokład przed frontem ściany

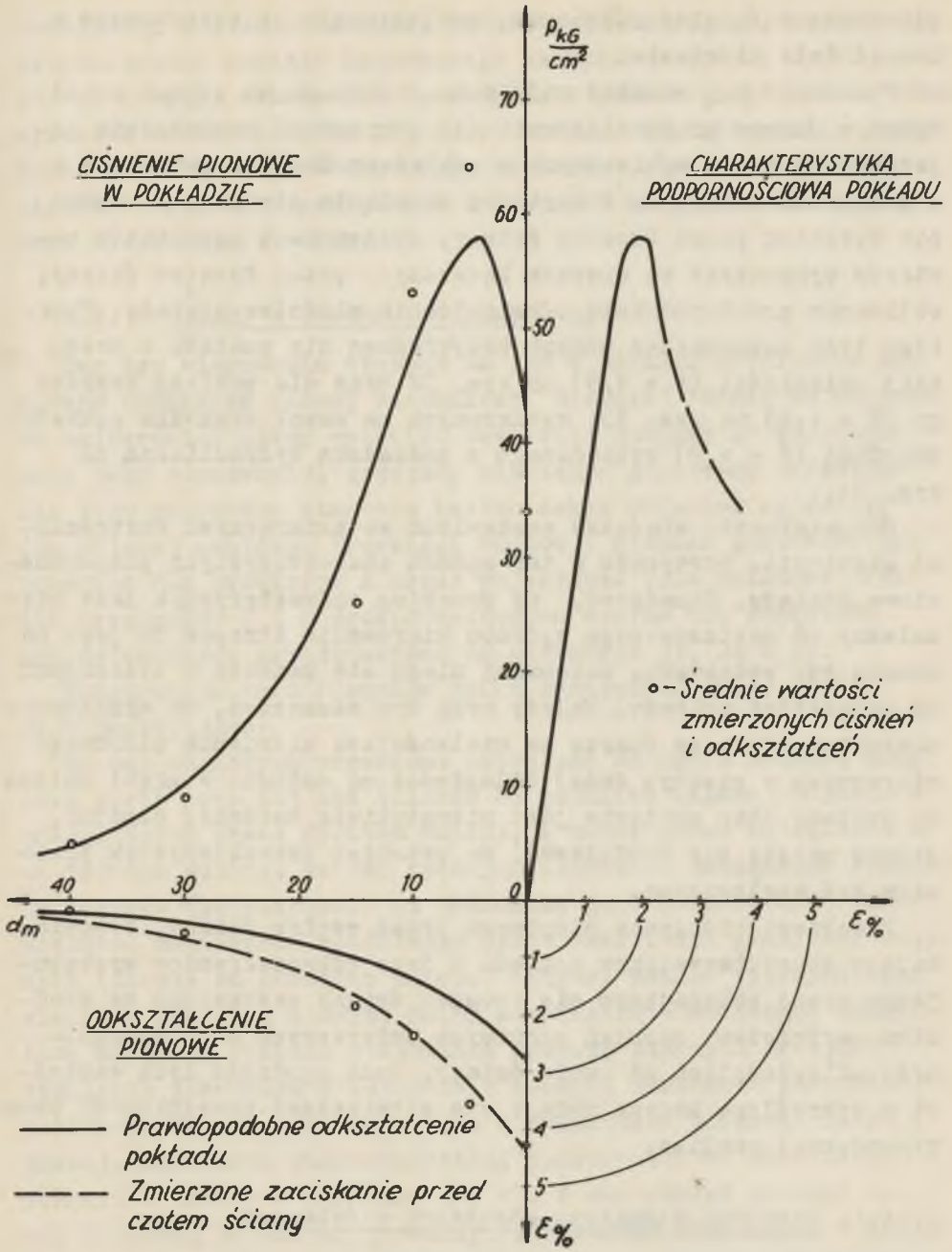
Podczas badań prowadzonych w polach ścianowych starano się również o zebranie materiału pomiarowego, dotyczącego kształtowania się reakcji pokładu obciążenie czynne ze strony górotworu szczególnie reakcji występujących przed frontem zbliżającej się ściany. Pomiary ciśnień w górotworze są zagadnieniem nadzwyczaj trudnym i jak dotychczas nigdzie w świecie w sposób całkowicie zadawalający nie rozwiązanym. W trakcie badań prowadzonych w różnych krajach nie uniknięto mylnej często metody pomiaru i częstszej jeszcze mylnej interpretacji wyników pomiarów. Metodę użytą podczas badań w polskich kopalniach opisano w rozdziałach poprzednich. Nie pretendowała ona do uznania jej za metodę mierzenia ciśnień w sensie naprężeń. Miała ona na celu uzyskanie wartości porównawczych, z różnych odległości przed frontem ściany i z różnych pokładów, dla stworzenia możliwości oceny wielkości podporności wytwarzanej przez pokład w stosunku do stropu oraz oceny stopnia wytężenia calizny pokładu w otoczeniu przesuwającego się frontu ścianowego. Wyniki zatem uzyskane w badaniach polskich miały dostarczyć danych o kształtowaniu się ciśnienia pionowego na pokład w sensie zgodnym z sformułowaniami zawartymi w rozdziale 3.2. Wartości otrzymane z pomiarów potraktowano jako wskaźniki obrazujące jakościowy przebieg zjawiska, przedstawiające kształtowanie się




Rys. 32. Ciśnienie pionowe oraz charakterystyka podporności owa pokładu węgla średnio zwięzłego przed frontem ściany zawałowej




Rys. 33. Ciśnienie pionowe oraz charakterystyka podpornościowa pokładu węgla twardego przed frontem ściany zawałowej




Rys. 34. Ciśnienie pionowe oraz charakterystyka podporności owa pokładu węgla twardego przed frontem ściany z podsadzką hydrauliczną

pionowego ciśnienia górotworu, analogicznie do opisywanego w teorii fali ciśnienia.

Prawdopodobny rozkład ciśnienia pionowego na pokład przed frontem ściany przeanalizowano dla przypadków prowadzenia pojedynczych ścian wybieranych w pokładach średnio zwięzłych i w pokładach twardych. Z wartości osiadania stropu i zaciskania wyrobisk przed frontem ściany, zwłaszcza z rezultatów pomiarów wykonanych we wnękach badawczych przed frontem ściany, obliczono prawdopodobnie odkształcenia właściwe pokładu. Przebieg tych odkształceń podano przykładowo dla pokładu o średniej zwięzłości (f = 1,5) na rys. 32 oraz dla pokładu twardego (f = 1,8) na rys. 33, wybieranych na zawał oraz dla pokładu twardego (f = 1,8) wybieranego z podsadzką hydrauliczną na rys. 34.

Odkształcenia właściwe zestawiono ze zmierzonymi wartościami ciśnienia. Otrzymano w ten sposób charakterystyki podporności pokładu. Zauważono, że przebieg charakterystyk jest niezależny od zastosowanego sposobu kierowania stropem to jest od zawału czy podsadzki, natomiast nieco się zmienia w zależności od zwięzłości pokładu. Należy przy tym zaznaczyć, że wyznaczone charakterystyki są oparte na wielkościach ciśnienia pionowego mierzonych w niezbyt dużej odległości od ociosu. W głębi calizny pokładu stan napięcia jest niewątpliwie bardziej złożony, jednak należy się spodziewać, że przebieg charakterystyk powinien być analogiczny.

Przebiegi ciśnienia pionowego przed czołem ściany, odpowiadające charakterystykom pokładu i jego odkształceniom występującym przed zbliżającym się frontem ściany zestawiono ze średnimi wartościami ciśnień pionowych zmierzonych w poszczególnych odległościach od czoła ściany. Duża zgodność tych wartości z wykreśloną krzywą wydaje się potwierdzać prawidłowość przeprowadzonej analizy.

### 4.6. Przejawy ciśnienia górotworu w ścianach

Badania wykonane w polach ścianowych, omówione w rozdziałach poprzednich, a szczególnie ich rezultaty, dające się skon-

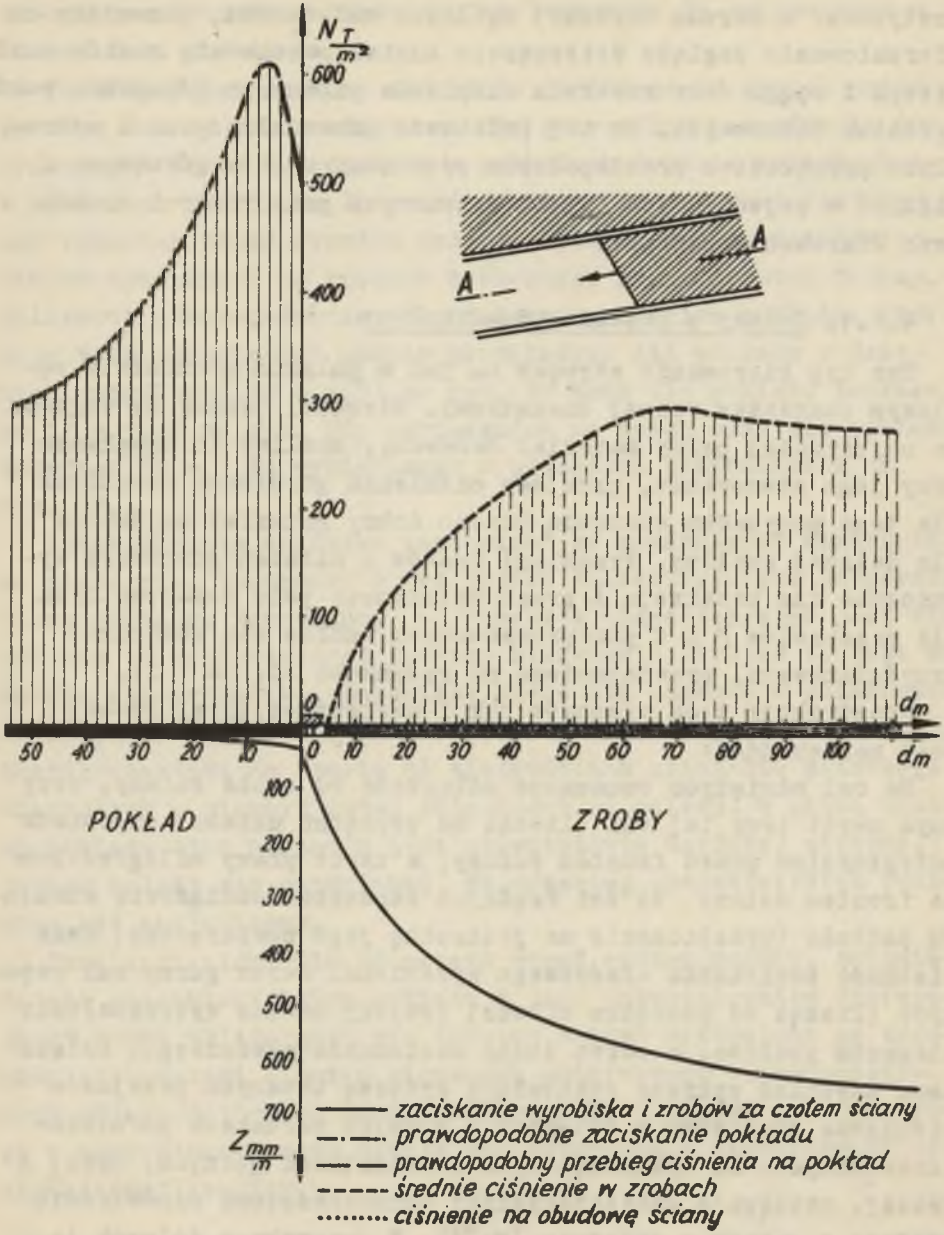
kretyzować w formie bardziej ogólnych zależności, pozwoliły na sformułowanie poglądu dotyczącego kształtowania się ruchów skał stropu i spągu oraz rozkładu ciśpienia pionowego górotworu wokół wyrobisk ścianowych. Na tej podstawie przeanalizowano i wykreślono przykładowo prawdopodobne przebiegi ruchów górotworu i ciśnień w pojedynczych polach ścianowych przy różnych sposobach kierowania stropem.

4.6.1. Ściany z pasami podsadzkowymi

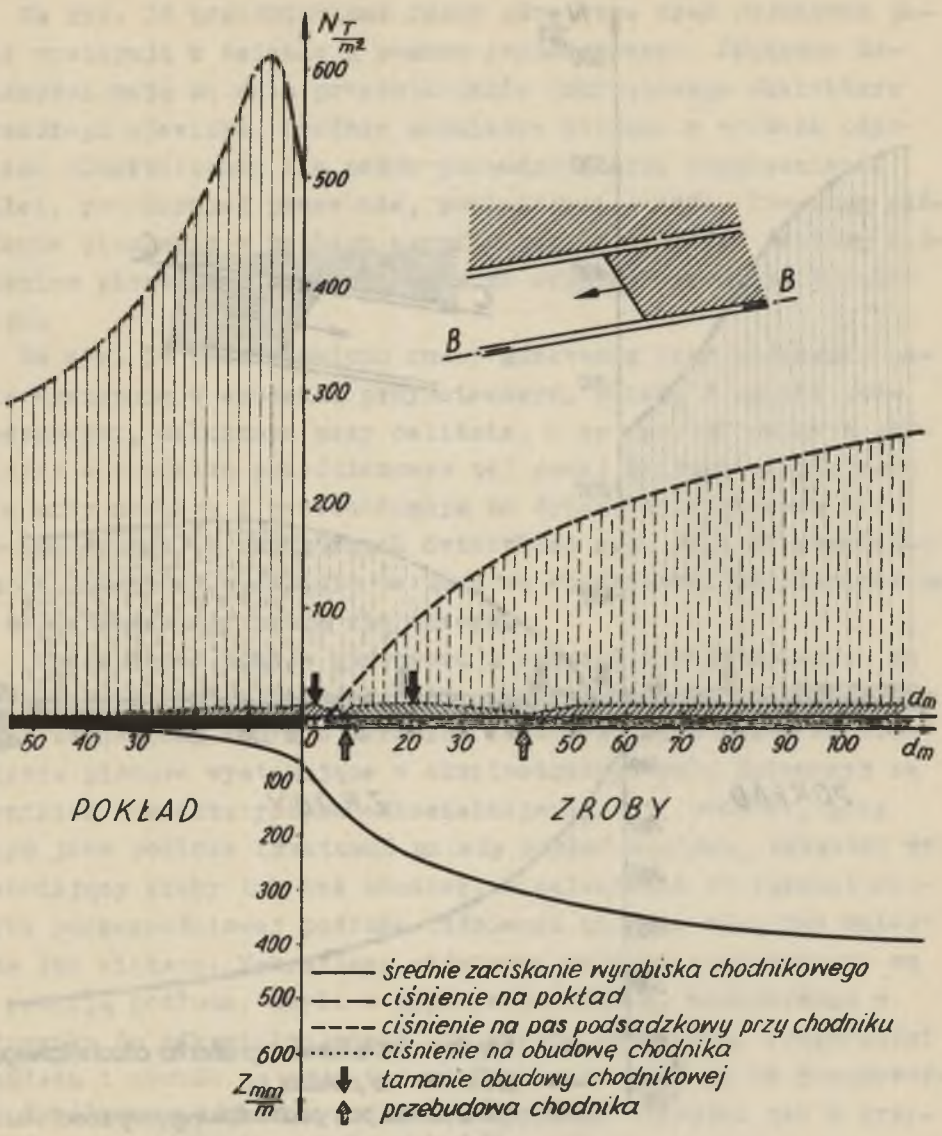
Ten typ kierowania stropem ma już w polskim górnictwie węglowym charakter raczej szczątkowy. Niemniej jednak ze względu na najbardziej pełny materiał badawczy, możliwy do uzyskania przy jego stosowaniu, przejawy ciśnienia górotworu określone dla tego przypadku stanowią bardzo dobry materiał wyjściowy dla dalszej analizy. Przebiegi ruchów i ciśnień górotworu wyznaczone dla przekroju A przez pojedyncze pole ścianowe oraz dla przekrojów B i C przeprowadzonych wzdłuż obu chodników przyścianowych, przedstawiono na rysunkach 35, 36 i 37.

Konstrukcja tych rysunków jak i następnych (rys. 38–44) jest następująca:

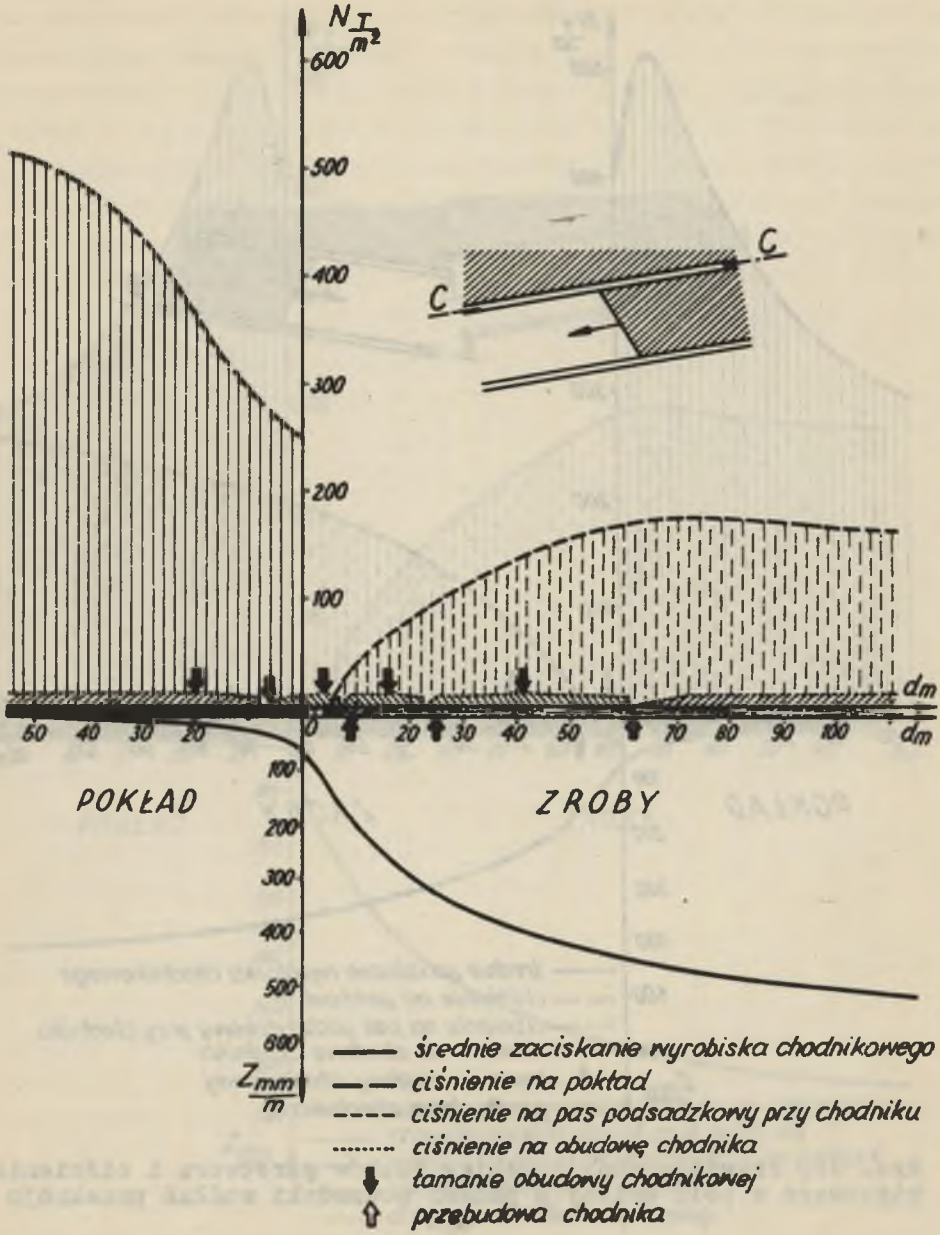
Na osi odciętych oznaczono odległość od czoła ściany, przy czym zwrot lewy tej osi (licząc od początku układu) odpowiada odległościom przed frontem ściany, a zwrot prawy odległościom za frontem ściany. Na osi rzędnych oznaczono obciążenie elementu podłoża (przeliczenie na jednostkę jego powierzchni) oraz wielkość zaciskania właściwego wyrobiska. Zwrot górny osi rzędnych (licząc od początku układu) dotyczy zawsze wytrzymałości elementu podłoża, a zwrot dolny zaciskania właściwego. Dzięki temu uzyskano wykresy stanowiące syntezę badanych przejawów ciśnienia górotworu w ścianach o różnych warunkach górniczo-technicznych. Na wykresach tych w ćwiartkach górnych, lewej i prawej, występują charakterystyki podporności odpowiednio pokładu i zrobów w układzie [N; d]. W ćwiartkach dolnych lewej i prawej podane są przebiegi zaciskania właściwego w danym typowym przekroju przez pole ścianowe, odpowiednio dla sytuacji i za frontem ściany, w układzie [z; d].




**Rys. 35. Prawdopodobny przebieg ruchów górotworu i ciśnienia pionowego w polu ściany z pasami podsadzki wzdłuż przekroju A–A**




Rys. 36. Prawdopodobny przebieg ruchów górotworu i ciśnienia pionowego w polu ściany z pasami podsadzki wzdłuż przekroju B–B




**Rys. 37. Prawdopodobny przebieg ruchów górotworu i ciśnienia pionowego w polu ściany z pasami podsadzki wzdłuż przekroju C–C**

Na rys. 35 przedstawiono ruchy górotworu oraz ciśnienia jakie występują w ścianie z pasami podsadzkowymi. Pokazane zależności mają na celu przedstawienie jakościowego charakteru przebiegu zjawiska. Średnie ciśnienie pionowe w zrobach odpowiada odkształceniu się pasów podsadzki, przy uwzględnieniu całej, podpieranej przez nie, powierzchni stropu. Przebieg ciśnienia pionowego w zrobach uzupełniono na wykresie średnim ciśnieniem pionowym oddziaływującym na obudowę wyrobiska ścianowego.

Na rys. 36 przedstawiono ruchy górotworu oraz ciśnienia jakie występują w chodniku przyścianowym, ściany z pasami podsadzkowymi, założonym przy caliźnie, a na rys. 37 ruchy i ciśnienia w chodniku przyścianowym tej samej ściany, znajdującym się przy zrobach i przechodzącym za ścianą w obustronne otoczenie zrobów. W obu górnych ćwiartkach rys. 36 i 37 przedstawiono dodatkowo ciśnienie na obudowę chodnikową, przeliczone na 1 $m^2$ podpieranego przez nią stropu.

Z przebiegów ruchów górotworu i ciśnień przedstawionych na trzech opisanych rysunkach można wyciągnąć szereg, interesujących wniosków. Jednym z bardziej istotnych jest fakt, że ciśnienia pionowe występujące w eksploatowanym polu ścianowym są wynikiem charakterystyki odkształcającego się podłoża, przy czym jako podłoże traktować należy pokład węglowy, materiał wypełniający zroby lub też obudowę. W zależności od charakterystyki podporności podłoża ciśnienia pionowe mogą być mniejsze lub większe. Wykreślone ciśnienia pionowe równoznaczne są z reakcją podłoża, czyli z jego podpornością, wywiązywaną w stosunku do odkształcających się warstw górotworu. Podporności pokładu i zrobów są przy tym wielokrotnie większe od podporności zastosowanej obudowy. Jest to wyraźnie widoczna tak w przypadku obudowy ścianowej (rys. 35), jak i w przypadku obudowy chodnikowej (rys. 36 i 37). Należy przy tym stwierdzić, że ewentualna zmiana typu obudowy chodnikowej mająca na celu zwiększenie jej podporności nawet do 100 $T/m^2$ nie może mieć istotnego wpływu na rozkład ciśnień w polu ścianowym. Na tym tle wydają się być co najmniej dyskusyjnymi tendencje zmierzające

do podnoszenia rzeczywistej dołowej podporności obudowy chodnikowej do 30 lub 40 $T/m^2$.

Przedstawione przebiegi ruchów górotworu i ciśnień pionowych pozwalają również na wstępne zorientowanie się w możliwościach utrzymania chodników przyścianowych. W omawianym polu stosowano w chodnikach obudowę mieszaną o ograniczonej podatności. Z przebiegu średniego zaciskania chodników wynika, że w czasie postępu ściany, przekroczenie wytrzymałości obudowy chodnikowej, zabezpieczającej pierwotnie chodnik, następuje w pobliżu czoła ściany. W przypadku chodnika przy caliźnie zniszczenie obudowy następuje tuż za frontem ściany (rys. 36). W chodnikach przy zrobach zniszczenie obudowy może nastąpić już kilkanaście metrów przed frontem ściany (rys. 37). W chodnikach przy caliźnie po prowizorycznym zabezpieczeniu zniszczonej obudowy można w odległości 40 do 50 metrów za frontem ściany wykonać przebudowę ostateczną chodnika, również w obudowie mieszanej i utrzymywać go bez większych odkształceń obudowy aż do końca postępu ściany.

W chodnikach przy zrobach możliwość ostatecznej przebudowy wyrobiska, w obudowie mieszanej, powstaje dopiero w odległości około 60 metrów za frontem ściany. Postawiona wówczas obudowa nie powinna ulec większym odkształceniom, aż do końca postępu ściany. Natomiast na odcinku od kilku metrów przed ścianą do około 60 metrów za ścianą nie ma możliwości uniknięcia kilkakrotnego zniszczenia odrzwiowej obudowy drewnianej i wynikającej stąd konieczności jej przebudowywania.

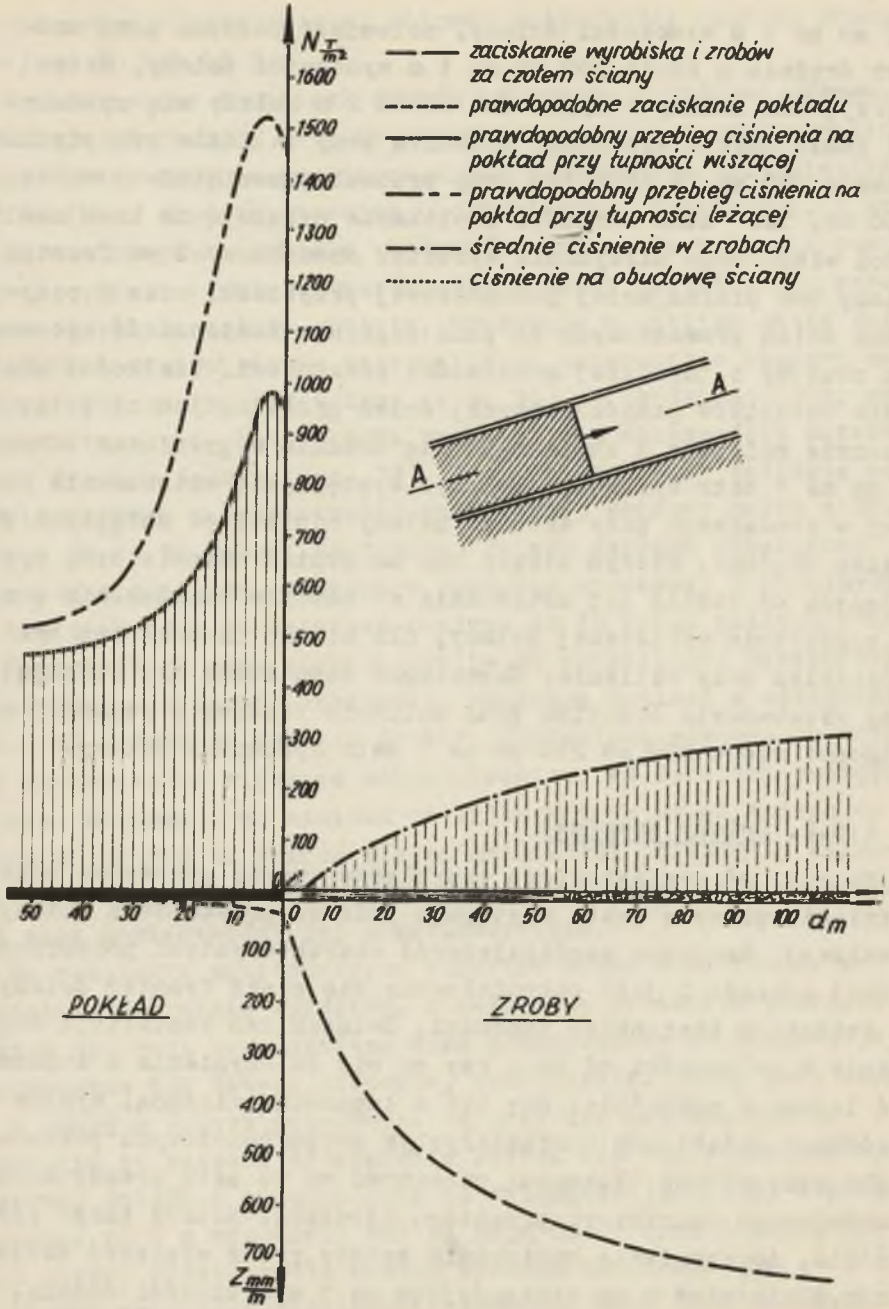
Na podstawie przytoczonych rozważań można stwierdzić, że właściwe utrzymanie wyrobisk, a zwłaszcza chodników przyścianowych nie jest uwarunkowane dużą podpornością obudowy, a jej odpowiednią dla danych warunków, podatnością. Ruchy skał stropu i spągu w polach ścianowych są przy tym zależne przede wszystkim od sposobu wypełnienia zrobów oraz od wysokości wybieranej ściany i niewątpliwie od zwięzłości pokładu. W przeliczeniu na 1 m wysokości ściany mają one w przybliżeniu pewien typowy przebieg dla danego sposobu eksploatacji.

Typowe przebiegi zaciskania wskazują, że w tych ścianach chodnik przy caliźnie zostanie zaciśnięty średnio o około

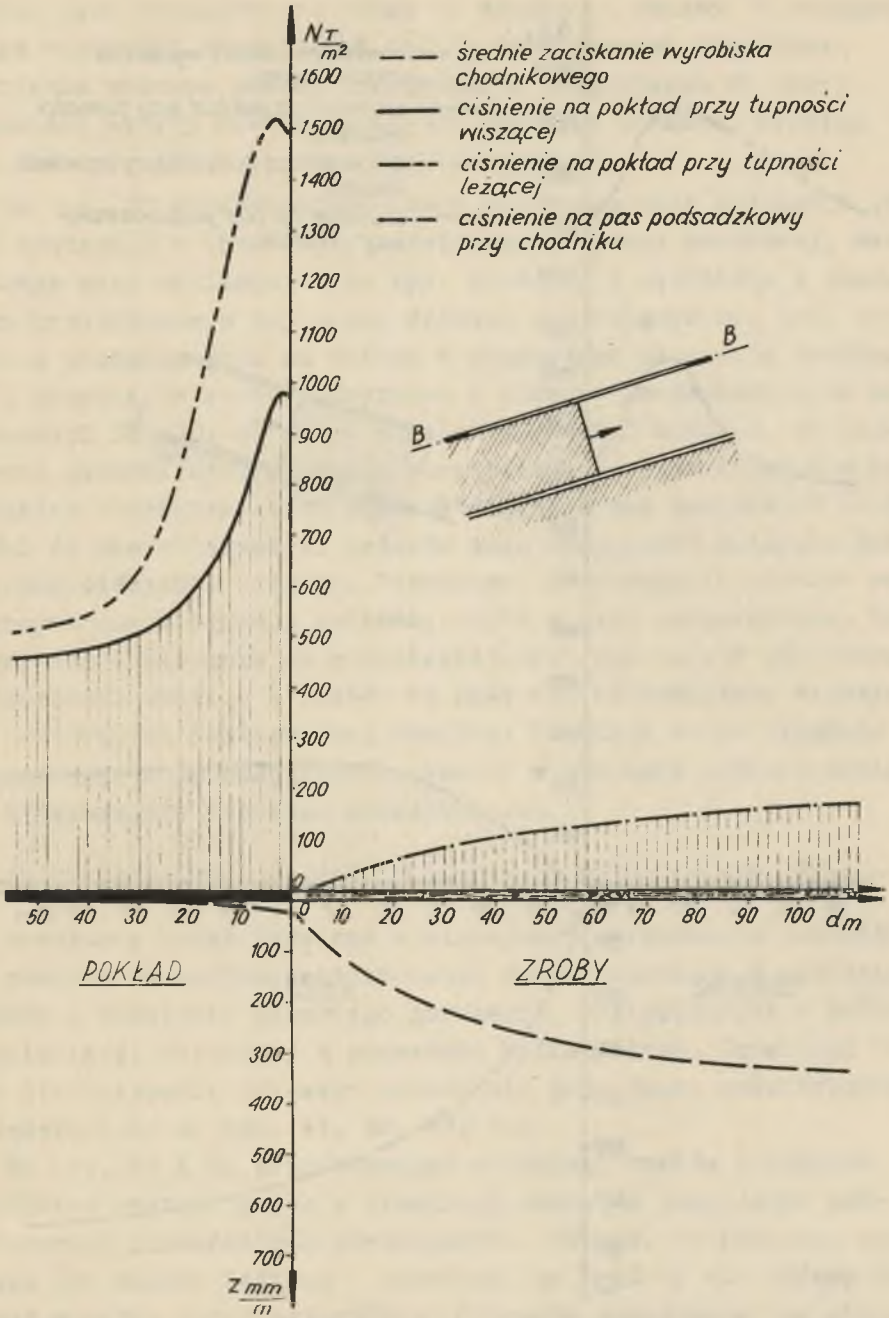
400 mm na 1 m wysokości ściany, natomiast chodnik przy zrobach średnio o około 550 mm na 1 m wysokości ściany. Zatem w przypadku ściany o wysokości około 2 m należy się spodziewać zmniejszenia wysokości chodnika przy caliźnie przeciętnie o około 800 mm, a chodnika przy zrobach przeciętnie o około 1100 mm. Tak duże wartości zaciskania wskazują na brak możliwości właściwego utrzymania wyrobisk chodnikowych za frontem ściany bez przynajmniej jednorazowej przybierki oraz w przypadku ścian prowadzonych do pola sugerują konieczność stosowania obudowy o tak dużej możliwości podatności. Wielkości zaciskania chodników przyścianowych, ścian prowadzonych od pola, są znacznie mniejsze i kształtują się średnio w granicach 60 do 70 mm na 1 metr wysokości ściany. Występujące zniszczenia obudowy w chodnikach przy zrobach należy odnieść od wstępnych obciążeń obudowy, którym uległa ona na skutek odkształceń, występujących od chwili jej ustawienia do momentu zakończenia postępu poprzednio wybieranej ściany, dla której chodnik ten był chodnikiem przy caliźnie. Zapobiegać temu można by, stosując przy przebudowie chodnika przy caliźnie obudowę o większej podatności rzędu 200 do 250 mm na 1 metr wysokości ściany.

4.6.2. Ściany zawałowe

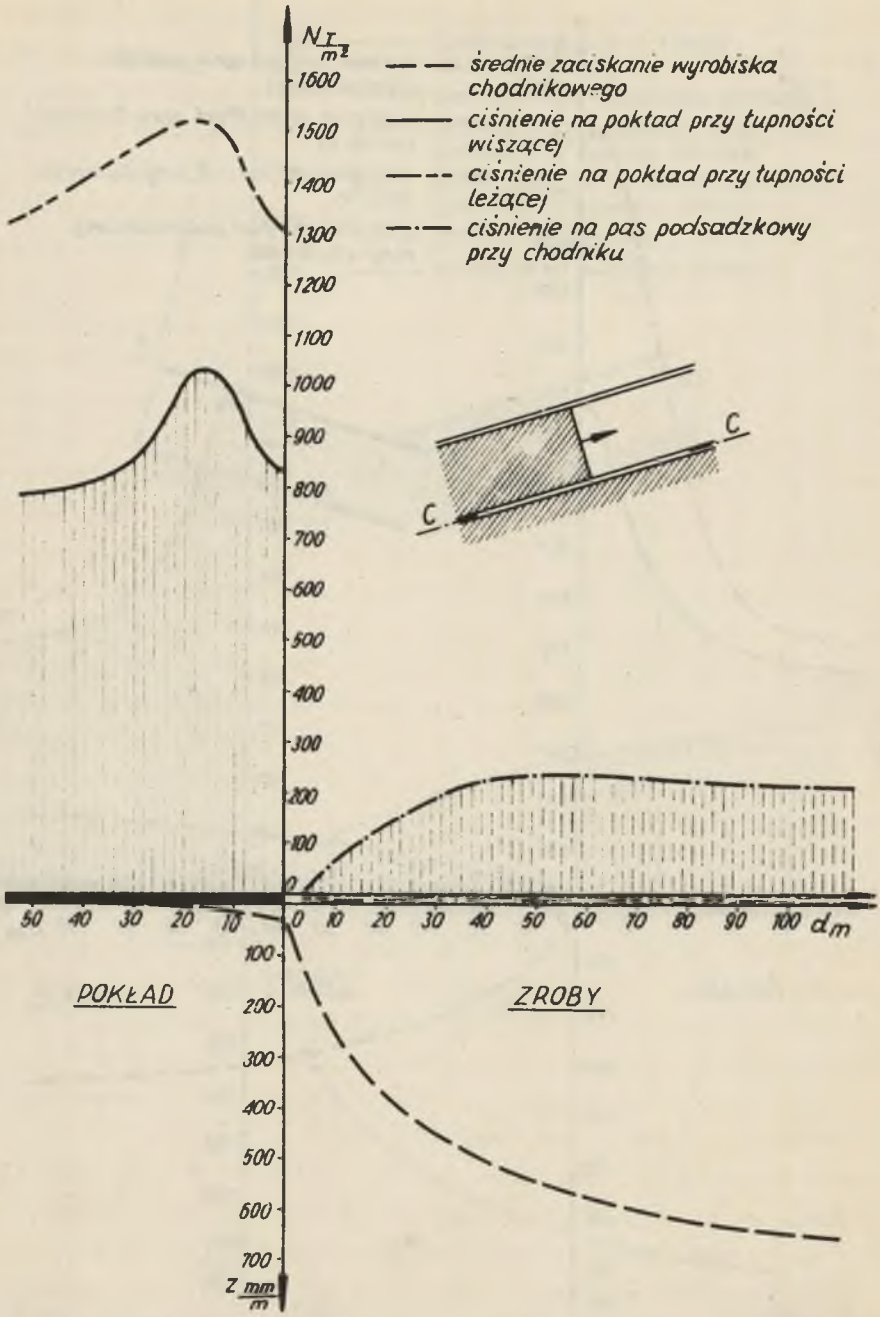
Na rys. 38 przedstawiono przykładowo ruchy górotworu oraz ciśnienia pionowe jakie występują podczas prowadzenia ściany zawałowej. Wzajemna współzależność charakterystyki podporności owej pokładu i jego odkształcenia się przed frontem ściany ma związek z kierunkiem łupności. Związek ten kształtuje się różnie w zależności od tego czy ma się do czynienia z łupnością leżącą w pokładzie, czy też z łupnością wiszącą. Wynika to z różnych przebiegów charakterystyk podporności owych pokładu w obu przypadkach. Pokazana zależność ma na celu przedstawienie jakościowego charakteru przebiegu zjawiska. Należy także podkreślić, że wyrażenie zaciskania zrobów przez wielkość zaciskania właściwego w mm przypadającą na 1 m wysokości ściany, nie obrazuje przebiegu i nasilenia odkształceń właściwych, występujących w tym obszarze. W rzeczywistości wysokość strefy




Rys. 38. Prawdopodobny przebieg ruchów górotworu i ciśnienia pionowego w polu ściany zawałowej wzdłuż przekroju A–A




Rys. 39. Prawdopodobny przebieg ruchów górotworu i ciśnienia pionowego w polu ściany zawałowej wzdłuż przekroju B–B




Rys. 40. Prawdopodobny przebieg ruchów górotworu i ciśnienia pionowego w polu ściany zawałowej wzdłuż przekroju C–C

zawału jest zdecydowanie różna od wysokości ściany. W związku z tym wielkości odkształceń zrobów wywołujących określone ciśnienia pionowe należy przyjmować w odniesieniu do całej wysokości strefy zawału, a nie do grubości pokładu. Problem ten omówiono już w poprzednich rozdziałach.

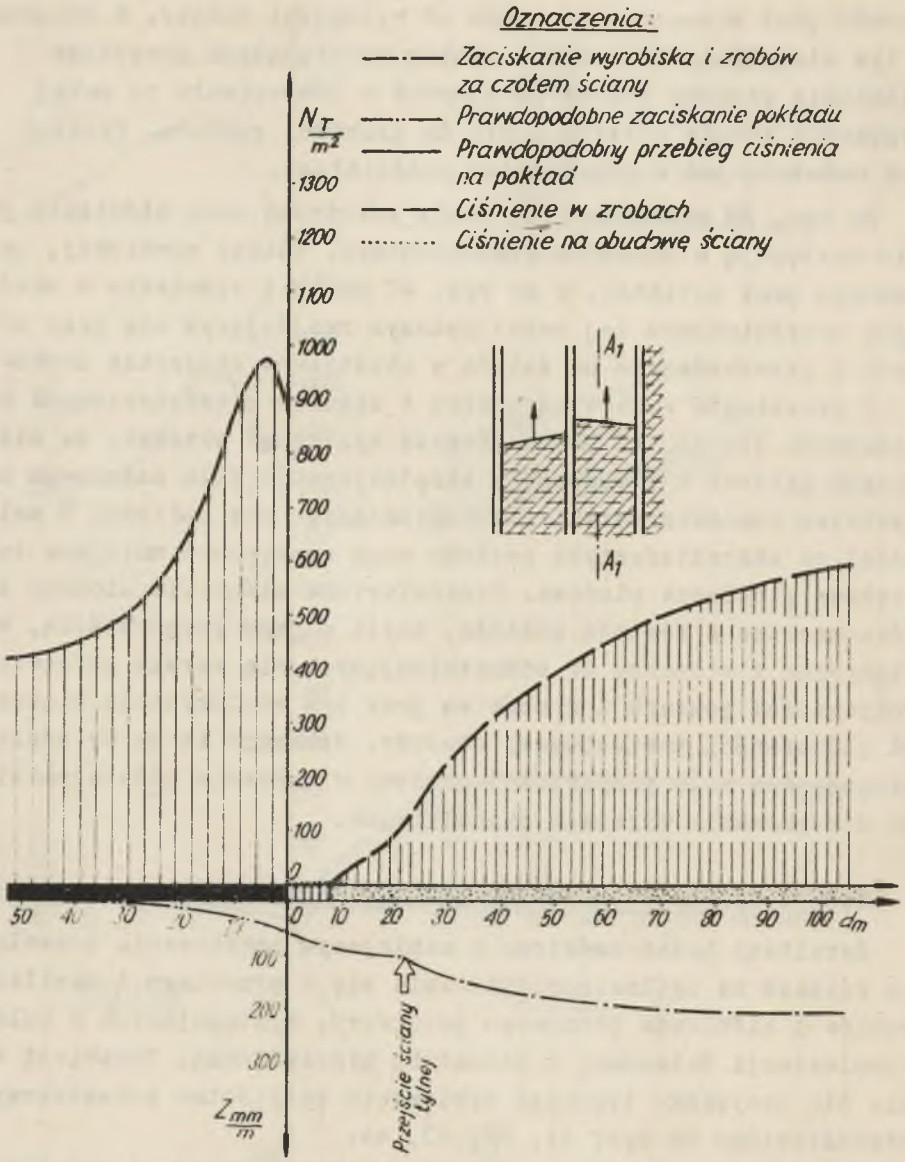
Na rys. 39 przedstawiono ruchy górotworu oraz ciśnienia jakie występują w chodniku przyścianowym, ściany zawałowej, założonym przy caliźnie, a na rys. 40 ruchy i ciśnienia w chodniku przyścianowym tej samej ścianym znajdującym się przy zrobach i przechodzącym za ścianą w obustronne otoczenie zrobów.

Z przebiegów ruchów górotworu i ciśnień przedstawionych na rysunkach 38, 39, 40 można również wyciągnąć wniosek, że ciśnienia pionowe występujące w eksploatowanym polu ścianowym są wynikiem charakterystyki odkształcającego się podłoża. W zależności od charakterystyki podłoża mogą występować mniejsze lub większe ciśnienia pionowe. Przedstawione ciśnienia pionowe są równoznaczne z reakcją podłoża, czyli z jego podpornością, wywiązywaną w stosunku do odkształcających się warstw górotworu. Podporności pokładu i zrobów są przy tym wielokrotnie większe od podporności zastosowanej obudowy. Wskazuje to na wyraźnie drugorzędną rolę podporności obudowy w zakresie oddziaływania na utrzymywanie wyrobisk chodnikowych.

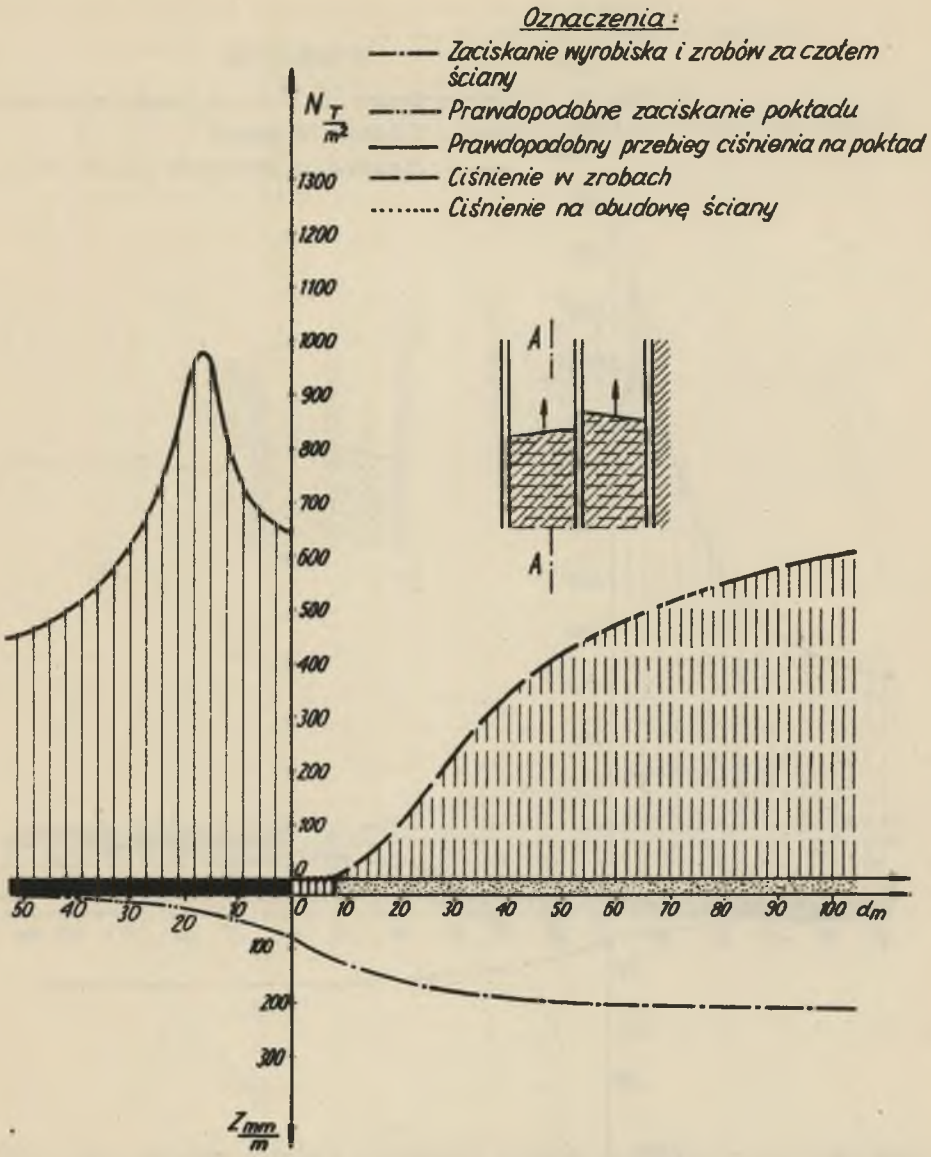
### 4.6.3. Ściany z podsadzką hydrauliczną

Rezultaty badań omówione w niniejszym opracowaniu pozwalają również na ogólne zorientowanie się w przebiegu i nasileniu ruchów i ciśnienia pionowego górotworu, występujących w polach eksploatacji ścianowej z podsadzką hydrauliczną. Przebiegi takie dla przypadku typowego wybierania pary ścian podsadzkowych przedstawiono na rys. 41, 42, 43, 44.

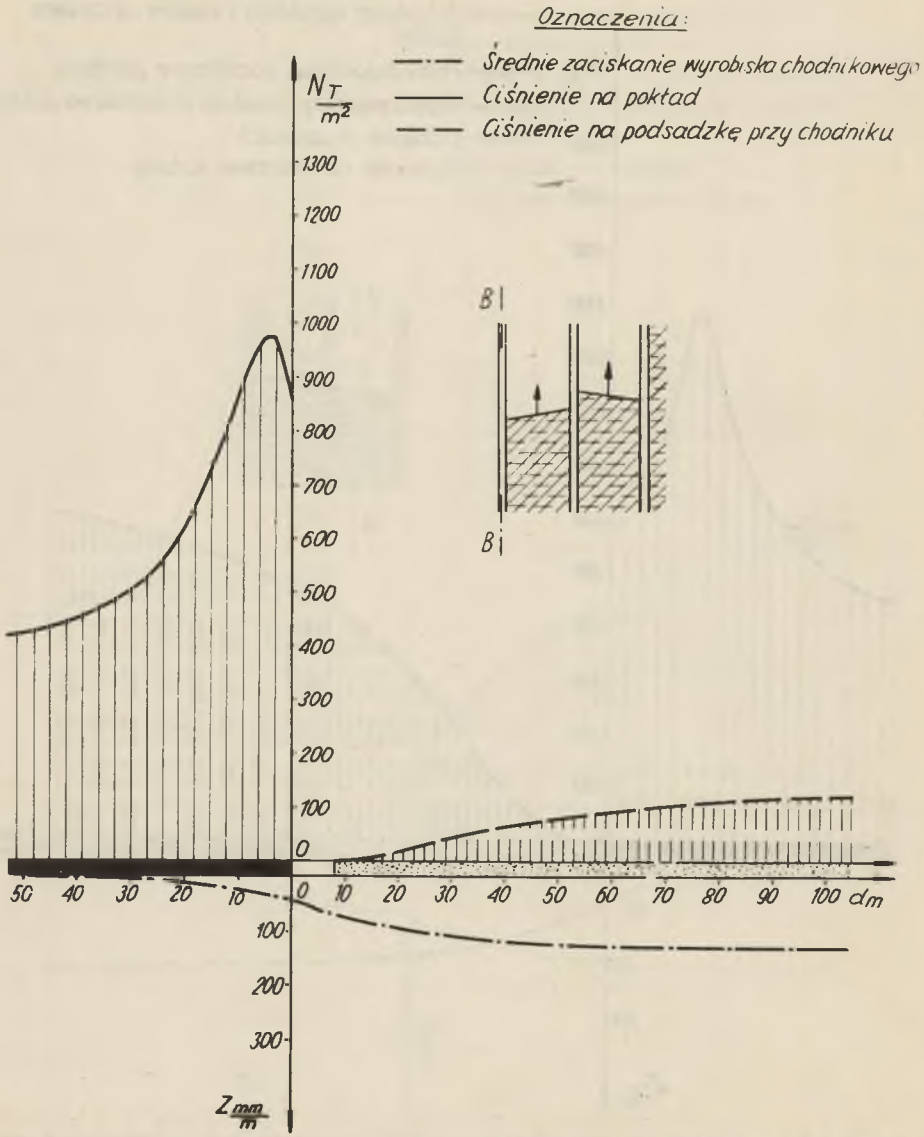
Na rys. 41 i 42 przedstawiono przebiegi ruchów i ciśnień górotworu występujących w przekroju każdej z pary ścian podsadzkowych prowadzonych równocześnie. Na rys. 41 pokazano przebiegi dla ściany będącej w przodzie, na rys. 42 dla ściany będącej z tyłu. Przebiegi ciśnień i ruchów wykreślone dla przy-



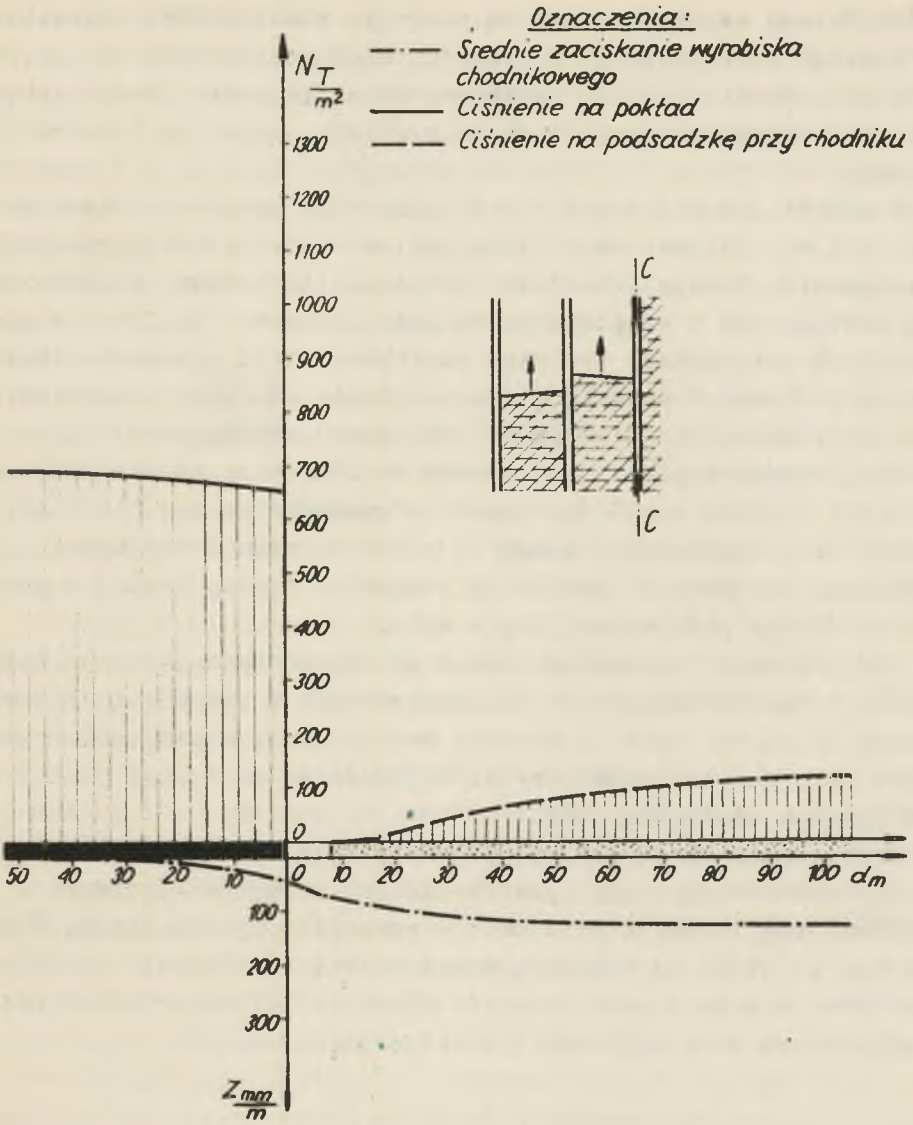

Rys. 41. Prawdopodobny przebieg ruchów górotworu i ciśnienia pionowego w polu pary ścian prowadzonych równocześnie z podsadzką hydrauliczną, wzdłuż przekroju $A_1$-$A_1$




**Rys. 42. Prawdopodobny przebieg ruchów górotworu i ciśnienia pionowego w polu pary ścian prowadzonych równocześnie z podsadzką hydrauliczną, wzdłuż przekroju A-A**




Rys. 43. Prawdopodobny przebieg ruchów górotworu i ciśnienia pionowego w polu pary ścian prowadzonych równocześnie z podsadzką hydrauliczną, wzdłuż przekroju B–B




Rys. 44. Prawdopodobny przebieg ruchów górotworu i ciśnienia pionowego w polu pary ścian prowadzonych równocześnie z podsadzką hydrauliczną, wzdłuż przekroju C–C

padku ściany wyprzedzającej są przy tym analogiczne do przebiegu zjawisk występującego w chodniku międzyścianowym. Na rys. 43 i 44 przedstawiono ruchy górotworu oraz ciśnienia jakie występują w obu skrajnych chodnikach pola składającego się z dwóch ścian.

Z przebiegów ciśnień i ruchów górotworu przedstawionych na rys. 41, 42, 43, 44 można wyciągnąć szereg wniosków,o znaczeniu praktycznym. Jednym z bardziej istotnych jest fakt, że ciśnienia występujące w eksploatowanym polu ścianowym są jak i w poprzednich przypadkach wynikiem charakterystyki odkształcającego się podłoża. W związku z tym, zależnie od danej charakterystyki podłoża ciśnienia mogą być mniejsze lub większe.

Podporności pokładu i zrobów są wielokrotnie wyższe od podporności obudowy wyrobisk. Widać to wyraźnie na rys. 41 i 42. Należy przy tym zwrócić uwagę na pewne różnice w wielkości ciśnienia pionowego w zrobach w przypadku ściany idącej w przodzie i ściany znajdującej się w tyle.

Jeśli chodzi o przemieszczenia górotworu występujące w chodnikach w polach ścianowych eksploatowanych z podsadzką hydrauliczną to są one około 3 krotnie mniejsze niż w przypadku chodników przy ścianach zawałowych. Najbardziej zaciskany jest przy tym chodnik międzyścianowy.

Przytoczone tu stwierdzenia umożliwiają sprecyzowanie poglądu na kształtowanie się zjawisk ciśnień i ruchów górotworu w rejonach eksploatacji ścianowej z podsadzką hydrauliczną. Mogą one dać podstawę do dostosowywania rozwiązań obudowy przodków i chodników w tych polach do celów właściwej właściwej współpracy z górotworem naruszonym eksploatacją górniczą.

## 5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

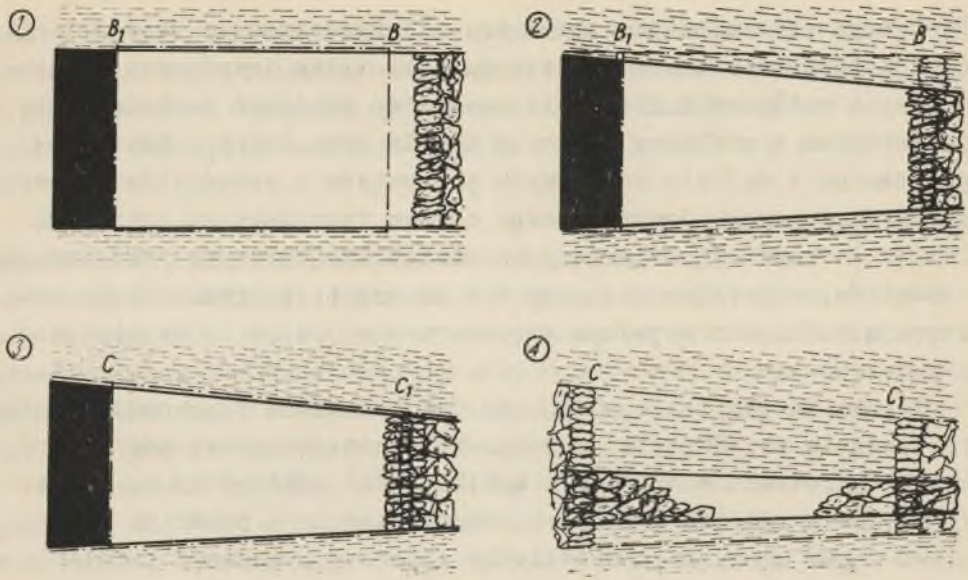
Sformułowane dotychczas teorie ciśnienia górotworu [2, 3, 7, 8, 15, 17] nie stworzyły na ogół możliwości obliczania i przewidywania, wielkości przejawów ciśnienia górotworu, zwłaszcza wielkości ruchów skał stropu i spągu w polach eksploatacyjnych.

Przy czym sformułowanie powyższe, nie kwestionując wartości naukowych istniejących teorii, dotyczy tylko i wyłącznie praktycznych możliwości ich zastosowania do obliczeń technicznych, potrzebnych w praktyce ruchowej kopalń przy wykorzystaniu najprostszych i ogólnie dostępnych parametrów i wskaźników górniczo-technicznych. Jedynie pewne ujęcia francuskie z ostatnich lat [14] proponują orientacyjne określanie wielkości deformacji chodników, opierając się przy tym na przebiegu odkształceń występujących tylko w jednym przekroju i w jednym typie chodnika przyścianowego.

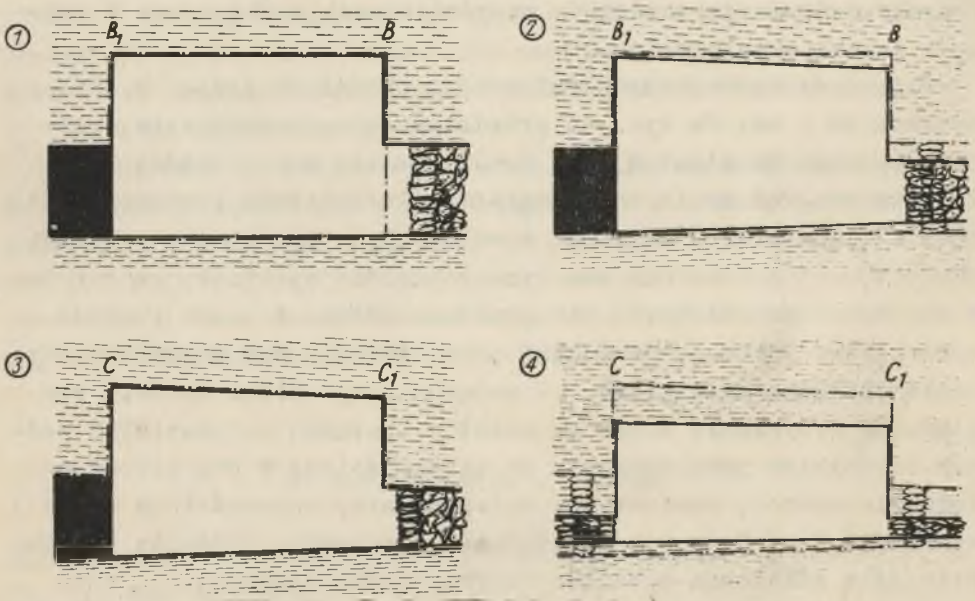
Polska teoria reakcji podłoża [18] wskazała nowe możliwości rozwiązania zagadnienia wyznaczania wielkości przejawów ciśnienia górotworu w oparciu o wyniki badań empirycznych. Pomiary ruchów i ciśnień górotworu przeprowadzone w polskich kopalniach węgla kamiennego umożliwiły autorowi wykazanie istnienia pewnych prawidłowości zwłaszcza gdy chodzi o ruchy stropu i spągu w polach eksploatacji ścianowej. Prawidłowości te omówiono i sformułowano w rozdziale 4. Pozwalają one między innymi wyznaczać deformacje chodników przyścianowych występujące w różnych fazach eksploatacji.

Przykłady wyznaczonych deformacji chodników podano na rysunkach 45 i 46. Na rys. 45 przedstawiono odkształcenia chodnika podczas eksploatacji na zawał pokładu o miąższości około 2 m. Na rys. 46 pokazano natomiast odkształcenia chodnika podczas eksploatacji również na zawał pokładu cienkiego, grubości około 1 m. Z porównania obu rysunków widać wyraźnie, że zasadniczy wpływ na możliwość utrzymania chodnika posiada grubość wybieranego pokładu. Im pokład jest cieńszy, tym warunki utrzymania chodnika łatwiejsze. W związku z tym można wyrazić pogląd, że wybieranie ścian na zawał w kierunku do granic, z jednym chodnikiem przechodzącym za czołem ściany w obustronne otoczenie zrobów, powinno być zalecane przy wysokościach ścian poniżej 1,5 m. W innych przypadkach utrzymanie chodnika w zrobach jest połączone z bardzo dużymi trudnościami.

Zastosowanie podsadzki w znacznej mierze ogranicza przejawy ciśnienia górotworu. Ma to związek ze znacznie większymi pod-




Rys. 45. Przykład deformacji chodnika przyścianowego podczas eksploatacji na zawał pokładu grubości rzędu 2 m




Rys. 46. Przykład deformacji chodnika przyścianowego podczas eksploatacji na zawał pokładu grubości rzędu 1 m

pornościami wywiązywanymi w zrobach w stosunku do stropu. Prawidłowości w tym zakresie, dotyczące szczególnie charakterystyk podpornościowych zawału czy podsadzki oraz związane z tym kształtowanie się przebiegu ciśnienia pionowego w zrobach, równoznacznego z reakcją w stosunku do stropu, omówiono również w poprzednich rozdziałach.

Dla określenia wpływu podporności wywiązywanej w zrobach na ruchy górotworu zbadano kilka zależności. Przede wszystkim zestawiono końcowe wartości osiadania stropu ($w_1$), występujące przy różnych sposobach wypełnienia zrobów, z podpornościami (N) właściwymi dla tych sposobów a występującymi w odległości ponad 200 m za frontem ściany. Ustalono istnienie zależności pomiędzy tymi dwoma czynnikami, którą można opisać równaniem:

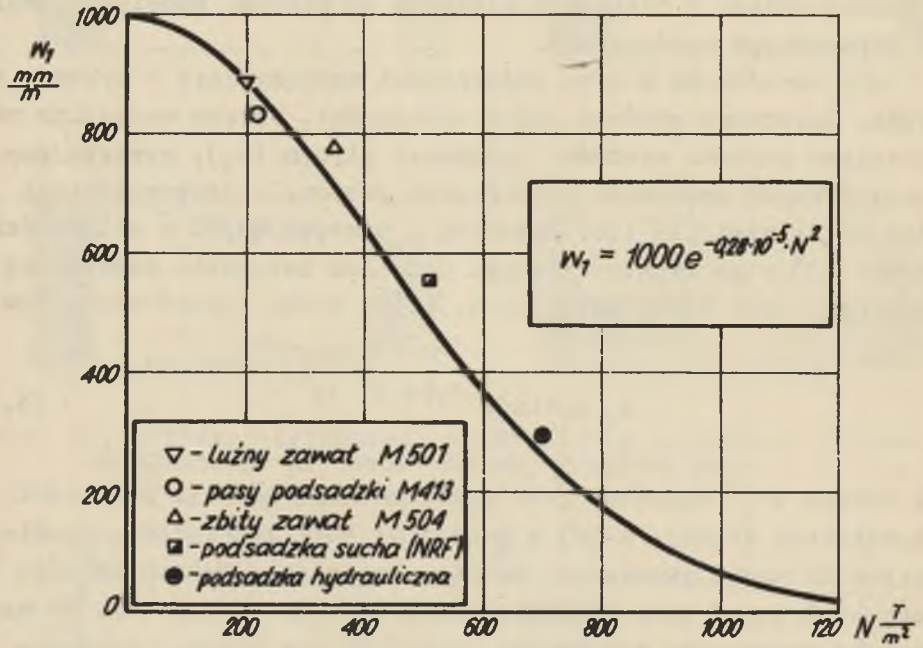
$$w_1 = 1000e^{-0,28\ N^2\ 10^{-5}} \qquad (5.1)$$

w którym ($w_1$) wyrażone jest w milimetrach na metr wysokości wybieranej ściany, a (N) w tonach na metr kwadratowy. Współczynniki wzoru wyznaczono metodą anamorfozy. Wykres krzywej odpowiadającej temu równaniu przedstawiono na rys. 47. Na wykresie zaznaczono też punkty odpowiadające danym z poszczególnych akcji pomiarowych. Punkt odpowiadający podsadzce suchej wyznaczono przy tym na podstawie publikacji niemieckich [8, 9].

Z przebiegu zależności określonej wzorem (5.1) można wnioskować, że w przypadku eksploatacji na zawał, nawet w różnych warunkach stropowych oraz w przypadku stosowania pasów podsadzki, osiadanie stropu w dużych odległościach za frontem ściany jest praktycznie takie samo i wynosi 0,8 do 0,9 grubości wybieranego pokładu. Zastosowanie podsadzki suchej umożliwia ograniczenie osiadania do około połowy grubości pokładu, a w przypadku podsadzki hydraulicznej można osiadanie zmniejszyć do wielkości rzędu 0,2 do 0,3 grubości pokładu.

Jako następną zbadano zależność intensywności osiadania stropu w pobliżu czoła ściany od podporności wywiązywanej

przez zroby. Jako wskaźnik intensywności osiadania przyjęto współczynnik ($a_1$) występujący w równaniu ogólnym (4.4.20) określającym ruchy górotworu za czołem ściany w typowym przekroju A.




Rys. 47. Zależność wielkości końcowego osiadania stropu nad zrobami ($w_1$) w polach ścianowych, od podporności materiału wypełniającego zroby (N)

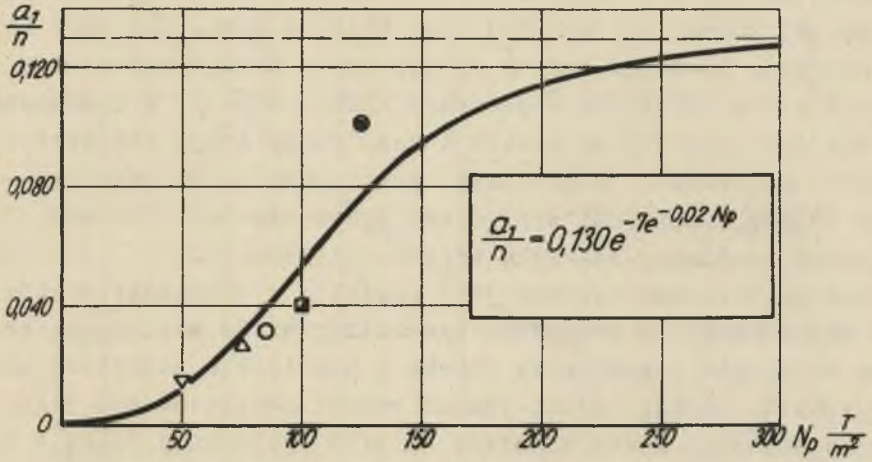
Im jest on mniejszy tym przebieg krzywej jest bardziej stromy, czyli osiadanie w pobliżu czoła ściany jest większe. Współczynnik ten rozpatrywano z wyeliminowaniem wpływu wysokości ściany, jednak z uwzględnionym wpływem sposobu wypełniania zrobów. Uzyskano to dzięki podzieleniu parametru ($a_1$) przez współczynnik podobieństwa krzywych (n), którego wartości dla różnych sposobów kierowania stropem podano w tablicy 7. Podporność ($N_p$) przyjęto jako średnią podporność zrobów na odcinku od czoła ściany do odległości około 30 m za ścianą, bez uwzględnienia

podporności obudowy. Przebieg tej zależności przedstawionej na rys. 48, opisano równaniem:

$$\frac{a_1}{n} = 0{,}130\, e^{-7e^{-0{,}02N_p}} \qquad (5.2)$$

gdzie: ($N_p$) przyjęto w $T/m^2$.

Z przebiegu zależności (5.2) można zauważyć, że w stosunku do eksploatacji zawałowej, możliwe jest pewne zmniejszenie na-




Rys. 48. Zależność intensywności osiadania stropu w pobliżu czoła ściany ($\frac{a_1}{n}$) od przeciętnej podporności wywiązywanej w zrobach na odległości do 30 m za ścianą ($N_p$)

silenia osiadania stropu przez zastosowanie pasów podsadzki. Znaczne ograniczenie osiadania uzyskuje się przy podsadzce suchej i bardzo znaczne przy podsadzce hydraulicznej. Ponadto z przebiegu krzywej można by wysuwać pewne sugestie dotyczące obudowy wyrobisk ścianowych. Wydaje się mianowicie, że wprowadzenie do przodka obudowy o podornościach rzędu 100 $T/m^2$ mogłoby umożliwić znaczne ograniczenie osiadania stropu w ścianach

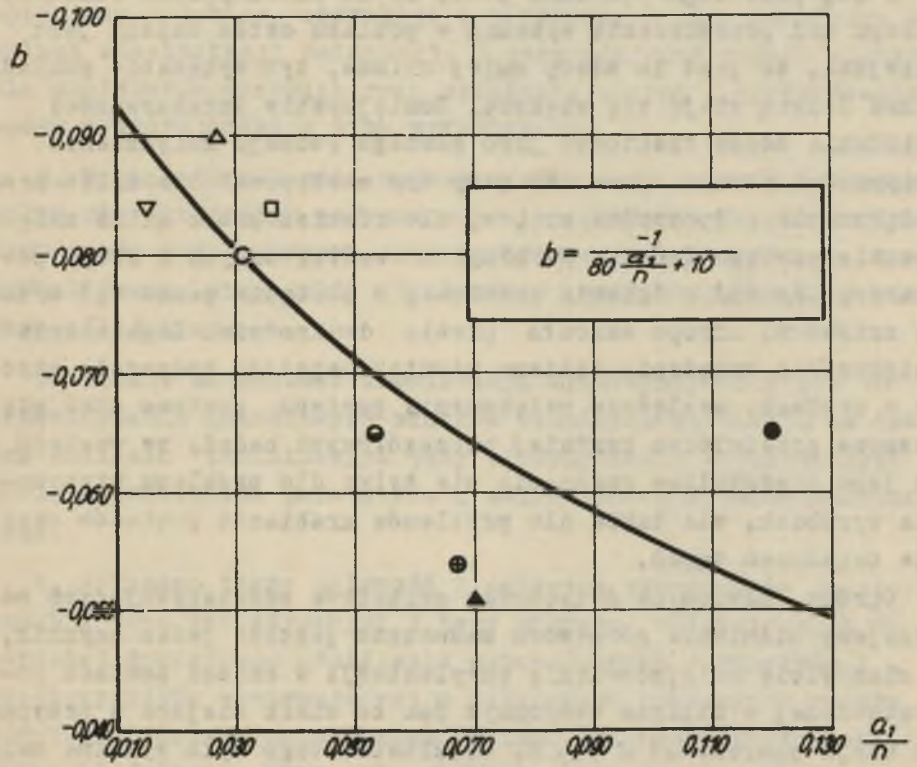
zawałowych, zbliżając je do rzędu wielkości odpowiadających ścianom z podsadzką hydrauliczną.

Zależność (5.2) wskazuje ponadto na niezwykle ważną rolę dobrego wypełnienia zrobów w możliwie najbliższej odległości za ścianą. W tym świetle nadzwyczaj istotne staje się uzyskanie jak najbardziej szczelnego i pełnego zawału, czy szczelnej podsadzki. Obliczenia przeprowadzone w oparciu o formuły podane w poprzednich rozdziałach wykazują, że w przypadku utrzymywania się pustki na krawędzi zawału, rzędu 250 mm na metr wysokości ściany, pomiędzy powierzchnią rumowiska zawałowego, a pierwszą warstwą nie przechodzącą w zawał, reakcja podporności zrobów do odległości rzędu 30 m za ścianą prawie nie występuje. Znaczy to, że ($N_p$) jest bliskie zera, zaś ($a_1$) bardzo znacznie zmaleje. Innymi słowy, strop zasadniczy zawisa na przestrzeni około 30 m pomiędzy czołem ściany, a rzeczywistym miejscem oparcia na zawale i jego ruchy stają się niebezpiecznie gwałtowne. W przypadku pustki rzędu 100 mm/m wysokości ściany, rozpiętość stropu zmniejsza się już do rzędu 10 m i stopień nasilenia zjawiska odpowiednio maleje.

Jeszcze bardziej istotne jest szczelne wypełnienie zrobów przy eksploatacji z podsadzką hydrauliczną. Ze względu na poziome układanie się warstwy piasku i niewielkie zazwyczaj upady wyrobisk, zasięg oddziaływania pustek podstropowych jest tu jeszcze większy. Można oceniać, że przy wybieraniu ścian o wysokości 2,5 do 3 m na niewielkich upadach, dopuszczenie do istnienia tak zwanego "zera" o wysokości początkowej rzędu 0,5 m może prowadzić do nie wywiązania żadnej poważniejszej reakcji podporności ze strony podsadzki w stosunku do stropu, na odległościach rzędu do 200 m za czołem ściany. Strop w takich przypadkach może być utrzymywany jedynie na pozostawionej obudowie drewnianej. W przypadku prowadzenia takich ścian z usuwaniem obudowy ze zrobów, na przykład przy obudowie stalowej, mogą następować gwałtowne załamywania się stropu nad zrobami, względnie również w przestrzeni roboczej. Tego typu niedokładności podsadzania należy uznać za raczej rzadkie. Jednak nawet pustka rzędu 200 mm umożliwia uzyskanie dobrego podpar-

cia stropu w zrobach dopiero w odległości około 30 m za ścianą, a pustka rzędu 100 mm w odległości około 15 m za ścianą.

Zmiany intensywności osiadania stropu w pobliżu czoła ściany, zależne jak wykazano od odporności zrobów, odbijają się w sposób dość istotny w samym pokładzie przed frontem ściany. Stopień wytężenia calizny pokładu może być określony sumą od-




Rys. 49. Zależność miary stopnia wytężenia pokładu, wyrażonej wskaźnikiem (b), od intensywności osiadania stropu w pobliżu czoła ściany ($\frac{a_1}{n}$) nad przestrzenią wybraną

kształceń pionowych występujących w pokładzie przed ścianą. Przebieg tych odkształceń omówiono już poprzednio, w związku z czym można przyjąć, że ich suma jest tym większa im mniejsza jest wartość bezwzględna współczynnika (b) z równania (4.4.9).

Omawiana zależność przedstawiona na rys. 49 może być opisana równaniem:

$$b = \frac{-1}{80\,\frac{a}{n}\,\frac{1}{} + 10} \qquad (5.3)$$

Z jej przebiegu widoczne jest, że im intensywność osiadania stropu nad przestrzenią wybraną w pobliżu czoła ściany jest mniejsza, to jest im strop mniej osiada, tym wytężenie pokładu przed ścianą staje się większe. Zmniejszenie intensywności osiadania można traktować jako pewnego rodzaju zwiększenie sztywności stropu. Może ono przy tym następować nie tylko przez zwiększenie podporności zrobów, ale również przez silne zwiększenie postępu frontu. Na przykład według danych z akcji pomiarowej Kn 353 w ścianie zawałowej o postępie ponad 4,5 m/dobę sztywność stropu wzrosła prawie dwukrotnie. Zagadnienie zwiększenia wytężenia calizny wskutek lepszego podparcia stropu w zrobach, względnie zwiększenia postępu, powinno stać się jeszcze przedmiotem bardziej szczegółowych badań, ze względu na jego niewątpliwe znaczenie nie tylko dla problemu utrzymania wyrobisk, ale także dla problemów urabiania pokładów oraz dla zagadnień tąpań.

Oprócz omówionych dotychczas czynników oddziaływujących na przejawy ciśnienia górotworu zauważono jeszcze jeden czynnik, a mianowicie umiejscowienie eksploatacji w części pokładu pozostawionej w filarze ochronnym jak to miało miejsce w przypadku akcji pomiarowej R 414 H. Rezultatem tego było wyraźne zwiększenie nasilenia przejawów ciśnienia górotworu, wyrażające się między innymi prawie trzykrotnym zwiększeniem ruchów stropu i spągu w stosunku do ruchów występujących normalnie. Dalsze, bardziej szczegółowe badanie tego czynnika może również dać interesujące dla praktyki górniczej rezultaty.

Ciekawe może być także bliższe zbadanie związków pomiędzy odkształcaniem się warstw stropowych zalegających bezpośrednio nad wybieranym pokładem, a tworzeniem się niecek osiadania na powierzchni. Pozwoliło by to na lepsze powiązanie przyczyn,

czyli eksploatacji pokładu, ze skutkami występującymi w nadległym górotworze i na powierzchni.

Omówione rezultaty dotychczasowych badań przejawów ciśnienia górotworu w polach ścianowych w pokładach węglowych Kopalń Zagłębia Górnośląskiego pozwalają na sformułowanie następujących wniosków końcowych:

1. Ustalono uogólnione empiryczne zależności analityczne opisujące przebieg, charakter i natężenie ruchów górotworu w polach eksploatacji ścianowej. W szczególności podano równania dla zaciskania wyrobisk oraz osiadania stropu i wypiętrzania spągu występującego w tych wyrobiskach.

2. W oparciu o teorię reakcji podłoża wykazano jakościowy wpływ charakterystyk podpornościowych pokładu, przychodnikowych pasów podsadzkowych oraz zrobów poeksploatacyjnych na kształtowanie się ruchów górotworu w analizowanych środowiskach pól ścianowych.

3. Podane zależności umożliwiają wykorzystywanie ich do przewidywania szkodliwych skutków ciśnienia górotworu na drodze obliczeń technicznych przy wykorzystaniu najprostszych i ogólnie dostępnych parametrów i wskaźników górniczo-technicznych.

4. Wykazano także celowość i potrzebę prowadzenia dalszych badań i prac teoretycznych z tego zakresu, zmierzających do bardziej dokładnego uściślenia wprowadzonych parametrów i współczynników występujących w ustalonych równaniach ruchów górotworu. Celem takich badań powinno być równocześnie określenie ilościowego znaczenia reakcji podpornościowych elementów podłoża.

## 6. LITERATURA

[1] Spruth F.: Strebausbau in Stahl und Leichtmetall. Verlag Glückauf, Essen 1951.

[2] Spruth F.: Verteilung des Gebirgsdrucks im Strebraum und in seiner Umgebung. Glückauf 15 (1951).

[3] Kegel K.: Bergmännische Gebirgsmechanik im Abbau bei festem und losem Gebirge. Gebirgsdrucktagung, Liege 1951, A6.

[4] Labasse H.: Gebirgsdruck und Gebirgsbewegungen. Gebirgsdruoktagung, Liege 1951, A2.

[5] Labasse H.: Die Überwachung des Hangenden durch Bruchbau. Gebirgsdrucktagung, Liege 1951, C1.

[6] Labasse H.: Les pressions de terrains dans les mines de houille. Le contrôle du toit. Annales des Mines, 1963.

[7] Labasse H.: Les pressions de terrains dans les mines de houille. Les mouvements de terrains. Annales des Mines, 1965.

[8] Jacobi O.: Der Druck auf Flöz und Versatz. Glückauf 7 (1960).

[9] Jacobi O., Holtz G.: Die Ableitung von Gesetzmässigkeiten aus dem Druck und Konvergenzmessungen im Blasversatz. Glückauf 7 (1960).

[10] Schwarz B.: Résultats de cinq campagnes de mesures sur le soutènement du toit dans les Houilleres de Lorraine. RIM 603 (1953).

[11] Schwarz B.: Les reactions du soutenement aux mouvements des epontes. RIM 609 (1954).

[12] Schwarz B.: Capela R., Dubois R.: Voies influencées par des tailles. RIM 639 (1956).

[13] Schwarz B., Capela R., Dubois R.: Les mouvements des epontes en taille. RIM 641 (1956).

[14] Schwartz B., Chambon C., Decomps J., Viallet F.: Prevision des convergences dans les voies influencees par les tailles qúelles desservent. RIM 621 (1962).

[15] Budryk W.: Teoria fali ciśnienia. Kraków 1933.

[16] Sałustowicz A.: Contribution a l'etude des pressions des terrains en couche exploitee par remblayage.

[17] Sałustowicz A.: Zarys mechaniki górotworu. Śląsk, Katowice 1967.

[18] Borecki M.: Praca górotworu i obudowy w wyrobiskach ścianowych. Przegląd Górniczy 5 (1953).

[19] Borecki M.: Warunki współpracy z górotworem i zasady obliczania obudowy ścianowej. Prace GIG, Seria A. Komunikat Nr 175 (1965).

[20] Borecki M.: Współpraca z górotworem i obliczanie obudowy ścianowej. Drogi postępu w górnictwie. PWN, Warszawa 1956.

[21] Borecki M., Biliński A.: Badania ciśnień i ruchów górotworu w kopalniach Kleofas i Dymitrow. Prace GIG. Seria A, Komunikat nr 176, 1955.

[22] Borecki M., Biliński A.: Badania ciśnień górotworu w kopalniach górno-śląskich. Przegląd Górniczy 12 (1957).

[23] Znański J.: Kryteria powolnego i gwałtownego zruszania się środowiska do wyrobisk górniczych. Prace GIG. Seria A, Komunikat GIG 1959.

[24] Borecki M., Biliński A.: Rate of face advance and its effect on face support parameters. Conference Internationale sur l'avancement rapide dans les chantiers d'exploitation des mines de houille, Liege, 1963.

[25] Biliński A.: Kurze Zusammenfassung der bisherigen Untersuchungsergebnisse über die Strebkonvergenz. Freiberger Forschunghefte, Heft A 273, 1963.

[26] Biliński A.: Zależność wielkości zaciskania wyrobiska w ścianach zawałowych od warunków techniczno-górniczych. Komunikat GIG, seria A nr 329 Katowice 1963.

[27] Borecki M., Biliński A.: Results of investigations on rock pressure by the longwall system of coal mining in the Upper Silesian coal field. International conference on strata control and rock mechanics, Columbia University, New York - 1964.

[28] Šiška L., Biliński A., Kolař J., Gooman R., Rozehnal V, Pefkowski W.: Výsledy vyzkumu projevu horskych tlaků ve sloji 510 na dole Miechowice (Polsko). VVUU - Ostrawa - Radwanice. Zaprava č. 41, 1967.

[29] Borecki M., Chudek M.: Mechanika górotworu. Skrypt Uczelniany Gliwice 1968.

[30] Biliński A.: Wysokość strefy zawału przy eksploatacji z zawałem stropu. Biuletyn GIG nr 4, 1954 r.

# PRZEJAWY CIŚNIENIA GÓROTWORU W POLACH EKSPLOATACJI ŚCIANOWEJ W POKŁADACH WĘGLA

## Streszczenie

Na podstawie wyników badania przejawów ciśnienia górotworu w polach eksploatacji ścianowej z zawałem stropu, pasami podsadzki suchej oraz podsadzką hydrauliczną sformułowano uogólnienie empiryczne równania konwergencji, osiadania stropu i wypiętrzenia spągu jakie występują przed i za frontem ściany w wytypowanych, charakterystycznych przekrojach przez pole ścianowe.

Równania te ustalają zależność pomiędzy wymienionymi ruchami a podstawowymi parametrami górniczo-technicznymi. Ponadto w oparciu o teorię podłoża określono jakościowy wpływ charakterystyk wytrzymałościowych calizny pokładu, przychodnikowych pasów podsadzkowych oraz zrobów poeksploatacyjnych na charakter zaciskania wyrobisk w analizowanych typowych przekrojach.

W zakończeniu sformułowano wnioski umożliwiające wykorzystanie wyników badań w praktyce ruchowej kopalni, w szczególności w zakresie prawidłowego prowadzenia obudowy i utrzymania chodników przyścianowych.

# ПРОЯВЛЕНИЯ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ В ПОЛЯХ ОЧИСТНОЙ ВЫЕМКИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

## Р е з ю м е

На основе результатов исследований проявлений горного давления в лавах с обрушением кровли, частичной закладкой и полной гидрозакладкой выведены обобщенные эмпирические уравнения конвергенции, оседания кровли и вспучивания почвы, возникающих впереди и позади фронта лавы в заранее выделенных характерных сечениях через выемочное поле.

Эти уравнения устанавливают зависимость между указанными смещениями горных пород и основными горнотехническими параметрами. Кроме того на основе теории реакции основания определено качественное влияние прочностных характеристик пласта в целике, околоштрековых бутовых полос и выработанного пространства на характер зажатия выработки в анализируемых типовых сечениях.

В заключении сформулированы выводы, позволяющие использовать результаты исследований в практической работе шахт, в особенности в области правильной установки крепи и поддержания выемочных штреков.

# ROCK PRESURRE PHENOMENA IN LONGWALL WORKINGS IN COAL SEAMS


## Summary

On the basis of testing results on rock pressure phenomena in longwalls worked with roof caving, strip packs and with hydraulic stowing, generalized empirical equations were deduced for convergence, roof subsidence and floor heavings occurring ahead and at the rear of a longwall face in selected characteristic cross-sections of a panel.

The equations determine the relation between the movements in question and the basic mining and technical parameters. In addition to it, a qualitative influence of mechanical characteristics of the solid coal, strip packings along the roads and goaves on the nature of convergence of workings in analysed typical cross-sections were determined on the basis of the substratum reaction theory.

Finally, conclusions are formulated which enable the testing results to be utilized in practice, and particularly in the field of a correct setting of supports and maintenance of top and bottom roads.

# ПРОЯВЛЕНИЯ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ В ПОЛЯХ ОЧИСТНОЙ ВЫЕМКИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

## Р е з ю м е

На основе результатов исследований проявлений горного давления в лавах с обрушением кровли, частичной закладкой и полной гидрозакладкой выведены обобщенные эмпирические уравнения конвергенции, оседания кровли и вспучивания почвы, возникающих впереди и позади фронта лавы в заранее выделенных характерных сечениях через выемочное поле.

Эти уравнения устанавливают зависимость между указанными смещениями горных пород и основными горнотехническими параметрами. Кроме того на основе теории реакции основания определено качественное влияние прочностных характеристик пласта в целике, околоштрековых бутовых полос и выработанного пространства на характер захатия выработки в анализируемых типовых сечениях.

В заключении сформулированы выводы, позволяющие использовать результаты исследований в практической работе шахт, в особенности в области правильной установки крепи и поддержания выемочных штреков.

# ROCK PRESURRE PHENOMENA IN LONGWALL WORKINGS IN COAL SEAMS


## Summary

On the basis of testing results on rock pressure phenomena in longwalls worked with roof caving, strip packs and with hydraulic stowing, generalized empirical equations were deduced for convergence, roof subsidence and floor heavings occurring ahead and at the rear of a longwall face in selected characteristic cross-sections of a panel.

The equations determine the relation between the movements in question and the basic mining and technical parameters. In addition to it, a qualitative influence of mechanical characteristics of the solid coal, strip packings along the roads and goaves on the nature of convergence of workings in analysed typical cross-sections were determined on the basis of the substratum reaction theory.

Finally, conclusions are formulated which enable the testing results to be utilized in practice, and particularly in the field of a correct setting of supports and maintenance of top and bottom roads.


POLITECHNIKA ŚLĄSKA BIBLIOTEKA GLIWICE

ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ
ukazują się w następujących seriach:

A. AUTOMATYKA
B. BUDOWNICTWO
Ch. CHEMIA
E. ELEKTRYKA
En. ENERGETYKA
G. GÓRNICTWO
IS. INŻYNIERIA SANITARNA
MF. MATEMATYKA-FIZYKA
M. MECHANIKA
NS. NAUKI SPOŁECZNE

Dotychczas ukazały się następujące zeszyty serii G:

Górnictwo z. 1, 1956 r., s. 134, zł 20,—
Górnictwo z. 2, 1959 r., s. 96, zł 17,10
Górnictwo z. 3, 1961 r., s. 130, zł 21,—
Górnictwo z. 4, 1962 r., s. 134, zł 10,95
Górnictwo z. 5, 1963 r., s. 158, zł 11,90
Górnictwo z. 6, 1963 r., s. 154, zł 8,50
Górnictwo z. 7, 1963 r., s. 129, zł 6,80
Górnictwo z. 8, 1964 r., s. 175, zł 10,20
Górnictwo z. 9, 1964 r., s. 133, zł 10,50
Górnictwo z. 10, 1964 r., s. 157, zł 8,75
Górnictwo z. 11, 1964 r., s. 221, zł 13,10
Górnictwo z. 12, 1964 r., s. 304, zł 15,20
Górnictwo z. 13, 1965 r., s. 145, zł 8,40
Górnictwo z. 14, 1965 r., s. 78, zł 5,—
Górnictwo z. 15, 1966 r., s. 79, zł 5,—
Górnictwo z. 16, 1966 r., s. 91, zł 7,—
Górnictwo z. 17, 1966 r., s. 113, zł 8,—
Górnictwo z. 18, 1966 r., s. 291, zł 16,—
Górnictwo z. 19, 1966 r., s. 150, zł 11,—
Górnictwo z. 20, 1966 r., s. 84, zł 5.—
Górnictwo z. 21, 1967 r., s. 270, zł 17,—
Górnictwo z. 22, 1967 r., s. 196, zł 12,—
Górnictwo z. 23, 1967 r., s. 69, zł 4,—
Górnictwo z. 25, 1967 r.. s. 96, zł 5,—
Górnictwo z. 26, 1968 r., s. 137, zł 10,—
Górnictwo z. 27, 1967 r., s. 378, zł 24,—

BIBLIOTEKA GŁÓW
Politechniki Śląskiej
P 3351/68
Druk. Pol. Śl. 1684-00 60 000