ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1964
Seria: GÓRNICTWO z. 12 Nr kol. 124

WITOLD PARYSIEWICZ

PRZYCZYNY TĄPAŃ

Streszczenie. W artykule autor przeprowadza systematykę przyczyn tąpań, dzieląc je na przyczyny naturalne i przyczyny wywołane eksploatacją górniczą. Analizując poszczególne przyczyny tąpań, autor równocześnie podaje zasady prowadzenia eksploatacji dla ich unikania.

Przyczyną tąpnięcia jest przekroczenie wytrzymałości sprężystej skały tąpliwej w otoczeniu wyrobiska górniczego.
Przekroczenie wytrzymałości skały w otoczeniu wyrobiska może nastąpić z powodów naturalnych lub stworzonych przez górnika, na skutek zaistnienia pewnych warunków eksploatacyjnych.

Przyczynami naturalnymi przekroczenia wytrzymałości skały jest głębokość lub dodatkowe pierwotne naprężenie w górotworze np. na dnie niecek, w pobliżu zaburzeń itp.
Oprócz tych przyczyn istnieją własności mechaniczno-reologiczne górotwór - wyrobisko, stwarzające warunki sprzyjające występowaniu zjawisk tąpań.

Przyczynami stworzonymi przez górnictwo, które nazywać będziemy przyczynami górniczymi są sposoby i systemy eksploatacji wytwarzające w pewnych strefach lub obszarach naprężenia w skałach przekraczające ich wytrzymałość. Przyczyny naturalne i górnicze mogą się sumować stwarzając warunki naprężeń w górotworze, specjalnie korzystne dla wywołania tąpnięcia.

Poniżej podana będzie systematyka przyczyn tąpań w górnictwie.

I. PRZYCZYNY NATURALNE

1) przekroczenie wytrzymałości skał na skutek głębokości zalegania,
2) pierwotne, dodatkowe naprężenia w skałach na skutek: zalegania w niecce, zaburzeń itp.,

II. PRZYCZYNY GÓRNICZE

A. Przyczyny spowodowane eksploatacją w pokładzie

3) wzrost naprężeń na skutek nieodpowiedniego i nieprawidłowego kierowania stropem,
4) wzrost naprężeń na skutek osłabienia calizny nadmierną liczbą i długością wyrobisk chodnikowych lub osadnikowych przed lub w pobliżu frontu eksploatacyjnego,
5) wzrost naprężeń na skutek wybierania równolegle do poprzednio wybranych partii pokładu,
6) wzrost naprężeń na skutek wybierania w kierunku wybranych partii pokładu jak również resztek w pokładzie: wysp, półwyspów, klinów, pasów itp.

B. Przyczyny oddziaływania sąsiadującego pod - lub nadległego podkładu lub pokładów na pokład wybierany

7) wzrost naprężeń na skutek wybierania pod pozostawionymi resztkami sąsiadującego pokładu,
8) wzrost naprężeń, na skutek zbliżania się frontu wybierania do krawędzi wybierania sąsiedniego pokładu.

Przy czym sąsiedni pokład może być w trakcie wybierania lub eksploatacja może się w nim nie odbywać.

Eksploatacja w pokładzie może się odbywać pod wybranym, w kierunku calizny sąsiedniego pokładu, lub odwrotnie, pod calizną w kierunku wybranego w sąsiednim pokładzie.

Wymienionych osiem przyczyn nazwiemy prostymi lub podstawowymi. Realne połączenie podstawowych przyczyn występowania tąpań dają przyczyny złożone w których mamy naprężenia niejednokrotnie zsumowane, lecz zawsze powiększone.

Nim przejdziemy do rozpatrywania niektórych złożonych przyczyn tąpań, słusznym będzie poznać działanie i wpływ ośmiu przyczyn podstawowych na występowanie tąpań. Przy czym zakłada się, że wzajemne położenie warstw skalnych i ich właściwości fizykomechaniczne sprzyjają tąpaniom.

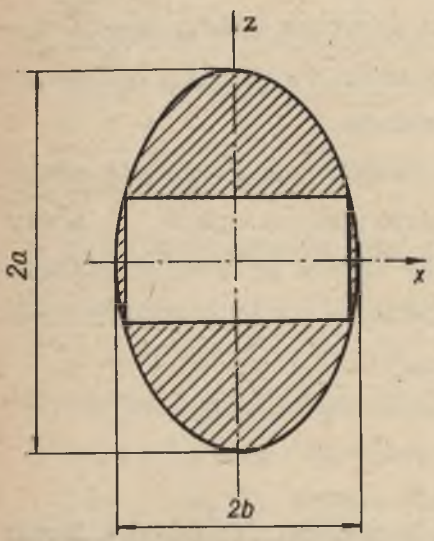
I. PRZYCZYNY NATURALNE

1. Przekroczenie wytrzymałości skał na skutek głębokości zalegania

Przyczyna ta w górnictwie światowym tylko w rzadkich przypadkach wywołuje tąpania.

Głębokość eksploatacji w górnictwie węglowym nie wywołuje na ogół ciśnień powodujących naprężenia w pokładzie lub skałach otaczających, przekraczające ich wytrzymałość. Poza tym przyczyna głębokości, jeżeli ma wywołać tąpnięcie bez łączenia z innymi przyczynami, może je wywołać tylko w wyrobiskach udostępniających lub przygotowawczych. Nie może więc być oddziaływania zmian ciśnień lub naprężeń wokół jednego wyrobiska na drugie.

Skały wokół robót udostępniających i przygotowawczych, przed rozpoczęciem eksploatacji w górotworze nienaruszonym, nawet w przypadku przekroczenia wytrzymałości skał, ulegają powolnym spękaniom tworząc strefę odprężoną (rys. 1), której granice kreślą krzywą eliptyczną zabezpieczającą wyrobisko, według teorii sklepienia ciśnień, przed dalszym zniszczeniem.



Rys. 1. Strefa spękań przy prostokątnym kształcie chodnika

Poza tym zmiana ciśnień wokół wyrobiska przebiega wolno, a energia sprężystości ulega rozproszeniu. Obserwować można wyrobiska korytarzowe wykonywane w caliźnie, w których po pewnych ruchach skał otaczających (nie sięgających daleko w głąb) świadczących o przekroczeniu wytrzymałości sprężystej, następuje uspokojenie na szereg lat. Ponowne ruchy skał otaczających zaczynają się dopiero podczas zbliżania się eksploatacji i kończą niejednokrotnie tąpnięciem.

W kopalniach soli na wielkich głębokościach obserwuje się również plastyczne stany skał w otoczeniu wyrobisk korytarzowych. I w tych przypadkach o ile nie ma innych przyczyn, do tąpań nie dochodzi.

Nawet w najgłębszych kopalniach rud,na głębokościach>3000 m przypadki tąpań spowodowane tylko pierwszą przyczyną są bardzo rzadko notowane i mają charakter lokalny. Chociaż kwarcyty mają znacznie większą wytrzymałość niż węgiel, to jednak na tak znacznych głębokościach zauważyć można "płynięcie" skał do wyrobisk, odpryski drobnych odłamków, odsady ociosów, jednak do tąpań rzadko dochodzi. Przyczyną są reologiczne zjawiska rozpraszania energii bez możliwości jej gromadzenia, gdyż naprężenia wokół wyrobiska w caliźnie nie wzrastają.

O ile nie dochodzi z powodu pierwszej przyczyny do tąpań, to jednak w przypadku dużego nagromadzenia gazów pod ciśnieniem w skałach, do których zdąża wyrobisko udostępniające lub przygotowawcze, może nastąpić wyrzut. W każdym razie dodatkową przyczyną powstania tych zjawisk, oprócz ciśnienia na skutek głębokości, jest ciśnienie i ilość gazu w skale.

2. Pierwotne dodatkowe naprężenia w skałach

Występują one w górotworze w warunkach nie zakończonych zupełnie lub wznawiających się ruchów górotwórczych lub na skutek szczątkowych naprężeń po ukończonych w zasadzie procesach górotwórczych. W pewnych przypadkach, zwłaszcza na dużych głębokościach, mogą być one przyczyną tąpnięć.

W warunkach geologicznych np. polskiego basenu węglowego precyzyjna niwelacja wykazała ruchy pionowe powierzchni w rejonach nie podlegających wpływom na skutek eksploatacji górniczej. Wykazała również intensywniejsze osiadanie powierzchni wzdłuż pewnych głównych uskoków i zaburzeń.
Świadczyć to może o nieukończonych jeszcze ruchach górotwórczych lub o odmładzeniu działalności tektonicznej. Nie ulega

wątpliwości, że obecnie obserwowane ruchy górotworu, powodują w pewnych obszarach dodatkowe naprężenia różnej wielkości. Ale w kopalniach obserwujemy również niejednokrotnie wzmożone naprężenia przy uskokach, zaburzeniach, w nieckach, nie notując jednak ruchów górotworu. Świadczy to o naprężeniach statycznych. Dodatkowe naprężenia statyczne mogą być spowodowane ciśnieniem na skutek działania sił górotwórczych nie przekraczających jednak wytrzymałości skał lub oporów tarcia między płaszczyznami uskoków.

Brak zjawisk tąpnięć w wyrobiskach prowadzonych w zaburzonym górotworze nie świadczy, jak twierdzą niektórzy badacze, o braku ich wpływu na tąpnięcia, lecz o braku obecnie działających sił górotwórczych lub o rozproszeniu energii sprężystej nagromadzonej kiedyś w górotworze na skutek działań pierwotnych.

Statystyka wykazuje bezprzeczny związek między zaburzeniami i ich rodzajami a częstotliwością tąpnięć. Zwłaszcza niebezpieczne pod względem występowania tąpnięć są strefy przyuskokowe oraz strefy dużych wartości krzywizn w nieckach. Obserwować również można, że pokład po jednej stronie płaszczyzny uskokowej wykazuje wysokie naprężenie i skłonność do tąpań, po drugiej stronie brak naprężeń i warunki bardziej bezpiecznej eksploatacji.

Obserwowana "asymetria" naprężeń wynika z tego, że tylko jedna strona górotworu stara przesunąć się po płaszczyźnie uskokowej względem drugiej.

W strefach przyuskokowych o szerokich szczelinach wypełnionych luźnym druzgotem skalnym nie obserwuje się dodatkowych naprężeń w pokładach.

Przeciwnie, szeroka szczelina uskokowa wypełniona luźnym druzgotem działa odprężająco na pokład na szerokość strefy dochodzącej do 40 metrów. Takie naturalne odprężenia obserwuje się również gdy w strefie przyuskokowej nastąpiło spękanie mocnych i sztywnych warstw stropowych podczas tworzenia się szczeliny. Dlatego na kopalniach tak często słyszy się diametralnie różne zdania o bezpieczeństwie i występowaniu tąpań w pobliżu uskoków i zaburzeń.

Dodatkowe naprężenia oraz naprężenia spowodowane dużą głębokością, mogą w sumie być bliskie lub przekraczać wytrzymałość sprężystą skał, a w rezultacie doprowadzać do tąpań.
W miarę zwiększania głębokości eksploatacyjnej należy się liczyć z coraz częstszym występowaniem tąpań na skutek podanych wyżej obu przyczyn naturalnych. Przy czym należy wziąć pod uwagę fakt, że im większa głębokość, tym trudniejsze rozproszenie nagromadzonej pierwotnie energii sprężystości.
Tak więc, obecnie jeszcze nie groźne, obie naturalne przyczyny w połączeniu z przyczynami górniczymi, których omawianiem zajmiemy się niżej, powodują już teraz katastrofalne w skutkach tąpania.

II. PRZYCZYNY GÓRNICZE

A. Przyczyny spowodowane eksploatacją w pokładzie

Z nauki o mechanice górotworu wynika, że każde wyrobisko górnicze powoduje zmiany stanu naprężeń w górotworze teoretycznie na nieskończenie wielką odległość wokół wyrobiska, praktycznie jednak na odległość dającą się zaobserwować lub zmierzyć.

Każda zmiana stanu naprężenia w górotworze, na zasadzie prawa o dążności do zachowania równowagi, powoduje z jednej strony wzrost z drugiej strony spadek naprężeń w pewnej przestrzeni górotworu. Wiemy, że tąpania występują gdy naprężenia przekroczą sprężystą wytrzymałość skał. A więc najbardziej korzystnym sposobem unikania tąpań byłoby wybieranie złoża powodujące najmniejsze zmiany stanu naprężeń w górotworze. Takim sposobem wybierania jest jak najszybsze, stałe i nieściśliwe podparcie stropu, czyli jego kierowanie lub opanowywanie.

Ponieważ każde wyrobisko, bez względu na jego szerokość powoduje zwiększenie naprężeń ściskających, tak w przodku jak i ociosach, więc też zwiększająca się liczba wyrobisk na danej powierzchni powoduje w rezultacie sumowanie (zwiększanie) się naprężeń i w pewnych przypadkach tąpnięcie. Dlatego też najmniejsza liczba wyrobisk przed posuwającym się frontem eksploatacji, lub po jego bokach (ociosach), powodować będzie najmniejsze sumowanie się naprężeń.

Zwiększająca się liczba wyrobisk na danej powierzchni pola powoduje konieczność zbliżania się do siebie frontów lub wyrobisk, powoduje w rezultacie konieczność wybierania zmniejszających się powierzchni pokładu (kostek, wysp, pasów itp.) o stale wzrastających naprężeniach, które po przekroczeniu wytrzymałości sprężystej mogą objawiać się tąpnięciem. Omówimy dokładniej poszczególne przyczyny tąpań spowodowane eksploatacją w danym pokładzie, bez brania chwilowo pod uwagę ewentualnego wpływu wybierki w pokładzie lub w pokładach sąsiadujących.

3. Wzrost naprężeń na skutek nieodpowiedniego i nieprawidłowego kierowania stropem (opanowywania stropu)

Kierowanie stropem ma na celu:

- zmniejszenie występowania nadmiernych naprężeń w skałach, które objawiają się tak zwanym ciśnieniom eksploatacyjnym, a mogących w pewnych przypadkach być przyczyną nagłych zawałów lub tąpań,
- stworzenie najkorzystniejszych i bezpiecznych warunków pracy ludzi oraz maszyn.

Badania zachowania się stropu nad eksploatowaną przestrzenią pozwoliły wyodrębnić trzy grupy skał stropowych:

- skały stropowe giętkie o różnym stopniu plastyczności i wytrzymałości jednak o dużej zdolności uginania się i dużej zdolności odkształceń,
- skały stropowe sztywne mocne, o małej zdolności do odkształceń,
- skały stropowe kruche, słabe lub mocniejsze, o wyraźnej łupności lub spękaniu.

Dla umożliwienia wyboru właściwego sposobu kierowania stropem przyjęta jest następująca klasyfikacja skał stropowych:

Klasa I - grubość kruchego stropu bezpośredniego, tj. zalegającego bezpośrednio nad pokładem jest większa niż 5-krotna grubość pokładu eksploatowanego,

Klasa II - grubość kruchego stropu bezpośredniego jest mniejsza niż 5-krotna grubość pokładu eksploatowanego,

Klasa III - brak kruchego stropu bezpośredniego. Skały stropu zasadniczego są mocne, trudno się zawalają i leżą bezpośrednio na pokładzie lub na stropie fałszywym o grubości do 1,5 m,

Klasa IV - skały stropowe uginają się łatwo z możliwością sukcesywnego osiadania na spągu w miarę postępu ściany.

Istnieją następujące sposoby kierowania ruchami stropu oraz likwidacji wyrobisk wybierkowych:

a) wywołanie całkowitego zawału (pełnego), czyli samopodsadzenie, tzn. podparcie stropu zasadniczego zawaloną skałą stropu bezpośredniego. Zawał całkowity stosuje się przy wystarczającej grubości stropu bezpośredniego (klasa I).

Z zawałem stropu prowadzić można eksploatację systemami wybierania ubierkowymi, zabierkowymi i komorowymi,

b) wywołanie częściowego zawału. Częściowy zawał stropu stosuje się przy stropach klasy II. Przy stosowaniu częściowego zawału należy tak dobierać odległości pasów podsadzkowych, aby wywołany między nimi zawał stropu bezpośredniego nie dochodził do stropu zasadniczego, a więc aby nie dopuszczać do spękania lub zawału stropu zasadniczego. Z częściowym zawałem można prowadzić eksploatację systemami wybierania ubierkowymi i komorowymi,

c) dopuszczenie stropu do łagodnego osiadania, bez stosowania sztucznej podsadzki. Sposób z uginaniem się stropu, aż do jego zetknięcia się i układania na spągu w miarę postępu urabiania stosuje się przy pokładach o grubości do 0,8-(1,1) m i stropach klasy IV. Eksploatację z uginaniem się stropu można prowadzić tylko systemami ubierkowymi (ścianami). Warunkiem stosowania tego rodzaju kierowania stropem jest duża grubość jednakowo i łatwo uginających się warstw stropu bezpośredniego,

d) stosowanie podsadzki częściowej. Podsadzkę częściową stosuje się przy stropach klasy II, rzadziej klasy III i przy niewielkiej grubości stropu bezpośredniego. Przy stosowaniu częściowej podsadzki należy tak dobierać odległość pasów podsadzkowych, aby nie dopuścić do zawału nawet stropu bezpośredniego. Eksploatację z częściową podsadzką można prowadzić tylko systemami wybierania ubierkowymi (ścianami),

e) stosowanie podsadzki pełnej (suchej lub płynnej). Stosowanie podsadzki pełnej jest warunkiem bezpiecznego prowadzenia eksploatacji pod mocnymi stropami klasy III, polega ono na całkowitym wypełnieniu wyeksploatowanych przestrzeni materiałem podsadzkowym.

Rozróżnia się podsadzkę suchą wykonaną pasami lub z całkowitym wypełnieniem przestrzeni wybranej oraz podsadzkę płynną. Tę drugą, wobec jej małej ściśliwości 8-15%, stosuje się przy stropach bardzo mocnych i sztywnych klasy III o małej strzałce ugięcia, przy wybieraniu na warstwy oraz gdy trzeba chronić pokłady nadległe lub powierzchnię.

Z wymienionych sposobów kierowania stropem i z klasyfikacji skał stropowych wynika, że górnik stara się nie dopuścić do wzrostu nadmiernych ciśnień eksploatacyjnych, kierując stropem zasadniczym, a użytkując w tym celu strop bezpośredni lub podsadzkę z zewnątrz. Aby nie dopuścić do nadmiernego wzrostu ciśnień wokół wyrobiska, kierowanie stropem zasadniczym odbywa się przez najszybsze jego podparcie. Ma to na celu nie tylko maksymalne zmniejszenie długości wspornika stropu zasadniczego a więc i wielkości ciśnienia eksploatacyjnego mogącego spowodować tąpnięcie pokładowe, ale również pęknięcie stropu zasad-

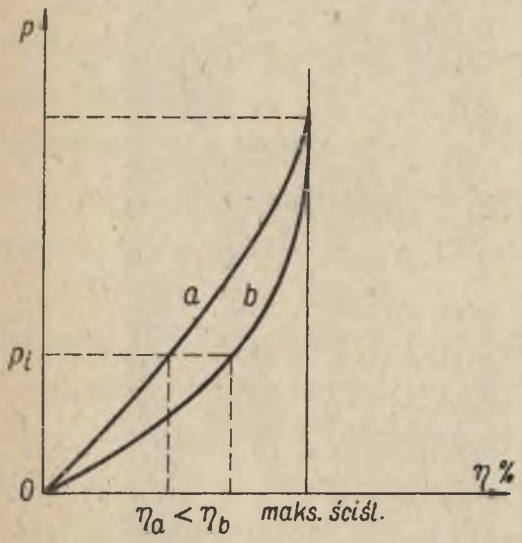
niczego, zwłaszcza nad czynnymi robotami górniczymi. A więc nie dopuścić do jeszcze groźniejszego w skutkach tąpnięcia stropowego.

Wystarczająca grubość stropu bezpośredniego pozwala na prowadzenie eksploatacji z zawałem i zwykle ten sposób kierowania stropem nie powoduje nadmiernego wzrostu ciśnień eksploatacyjnych. Jednak przy sztywnych i grubych stropach zasadniczych sposób ten nie gwarantuje ochrony przed ich nagłym pęknięciem i wywołaniem tąpnięcia stropowego.

Ochroną przed pęknięciem stropu zasadniczego jest wykonywanie tak szczelnej i małościśliwej podsadzki aby ugięcie podsadzki było mniejsze od strzałki ugięcia stropu.
Aby ten warunek był spełniony, nie tylko musi być odpowiednio mała ściśliwość podsadzki, ale również musi być odpowiednia grubość wybierania. Przy wybierania pokładów cienkich, nawet stosowanie bardziej ściśliwej podsadzki wystarcza, aby strop zasadniczy "kładł" się na niej bez okresowego załamywania. Natomiast im pokład jest grubszy, tym podsadzka musi być bardziej szczelna i nieściśliwa, aby spełniony był ten warunek. Wreszcie istnieje graniczna grubość pokładu, przy której stosowanie znanych nam metod szczelnego podsadzania nie gwarantuje łagodnego ugięcia stropu.
W takich przypadkach musi nastąpić decyzja wybierania pokładu na warstwy.

Jak z powyższego wynika nie tylko szczelność i ściśliwość podsadzki, ale również i grubość wybieranej warstwy ma zasadniczy wpływ na możliwość pęknięcia stropu zasadniczego. Oprócz tych dwóch czynników istnieje jeszcze trzeci: stopień podporności podsadzki, to jest zależność wielkości ściśliwości od

obciążeń. Ilustruje to wykres rys. 2. Na osi rzędnych obciążenia p, na osi odciętych ściśliwość η np. w %. Weźmy pod uwagę dwa materiały podsadzkowe o tej samej maksymalnej ściśliwości, przy tym samym obciążeniu. Według krzywej b stopień podporności podsadzki jest mniejszy w miarę wzrostu obciążeń, niż według krzywej a. Naturalnie korzystniejszy rodzaj materiału bardziej podporny, wykazuje materiał podsadzkowy, którego zmiany ściśliwości przy obciążeniu przebiegają według krzywej a. Stopień podporności zależy od rodzaju materiału podsadzkowego, wielkości ziarn i ich wzajemnych ilościowych stosunków, objętości wolnych przestrzeni między ziarnami, a także od zdolności odsączania wody i zawartości części ilastych.



Rys. 2. Stopnie podporności podsadzki

Najlepszymi materiałami podsadzkowymi, tak pod względem ściśliwości jak i stopnia podporności, są piaski o małej zawartości części ilastych i granulacji 0.15-1.5 mm. Obecnie dąży się do stałego i ciągłego podsadzania, aby strop był stale i jak najszybciej podpierany po jego obnażeniu. Wyżej rozważane sposoby kierowania stropem polegały na podpieraniu stropu zasadniczego zawaloną skałą lub podsadzką, przy założeniu całko-

a) b)

Rys. 3. Wpływ czasu na spękanie filarów
a) po 15 miesiącach, b) po 23 miesiącach

witego wybierania pokładu. Innym sposobem podpierania stropu jest planowe i systematyczne zastawianie filarów, nóg, względnie słupów przy wybieraniu. Ten sposób kierowania stropem stosowany jest w kopalnictwie solnym a czasem w rudnym; w węglowym na wielu kopalniach Ameryki Płn. a do niedawna w Anglii.

Największe wstrząsy, tąpnięcia, nagłe zawalenia stropu i katastrofy górnicze miały właśnie miejsce na skutek nieprawidłowego obliczania podpór.

Wystarczy wspomnieć o katastrofie na kopalni Coalbrook North 21.1.60 r., która spowodowała śmierć 437 ludzi, a wynikła z nagłego, kilka minut trwającego zawalenia się stropu o powierzchni 7.5 ha spoczywającego na filarach.

Na rys. 3 uwidoczniony jest jeden z filarów, a właściwie noga zostawiona przy wybierce komorowej na kop. soli potasowej Karl Marx. Głębokość wybierania 800 m, szerokość komór 8 m, wysokość komór 10 m, szerokość nóg 3 m. Fotografia a przedstawia nogę po 15 miesiącach obciążania przez strop, fotografia b tę samą nogę po 23 miesiącach. Wyraźnie daje się zauważyć wpływ czasu na stopień uszkodzenia podpory.

Dlatego przy obliczeniach w stosunku powierzchni wybranego, do powierzchni podpór należy brać pod uwagę takie czynniki jak wpływ czasu, działanie atmosfery kopalnianej na strukturę i wytrzymałość podpory i stropu, wilgoć itp., przy przyjęciu niejednorodnych stereomechanicznych własności.

Dotychczas czynniki te nie znalazły swego wyrazu jako odpowiednie współczynniki, w stosowanych do obliczeń wzorach.

Reasumując powyższe rozważania dochodzimy do wniosku, że właściwe kierowanie stropem dla uniknięcia tąpań polega na:

1) niedopuszczeniu do nadmiernego wzrostu ciśnień w górotworze otaczającym wyrobisko. Uzyskuje się to przez szybkie, podporne i nieściśliwe podsadzanie,
2) niedopuszczenie do załamywania się stropu zasadniczego i to wzdłuż linii przecinających czynne wyrobiska górnicze.

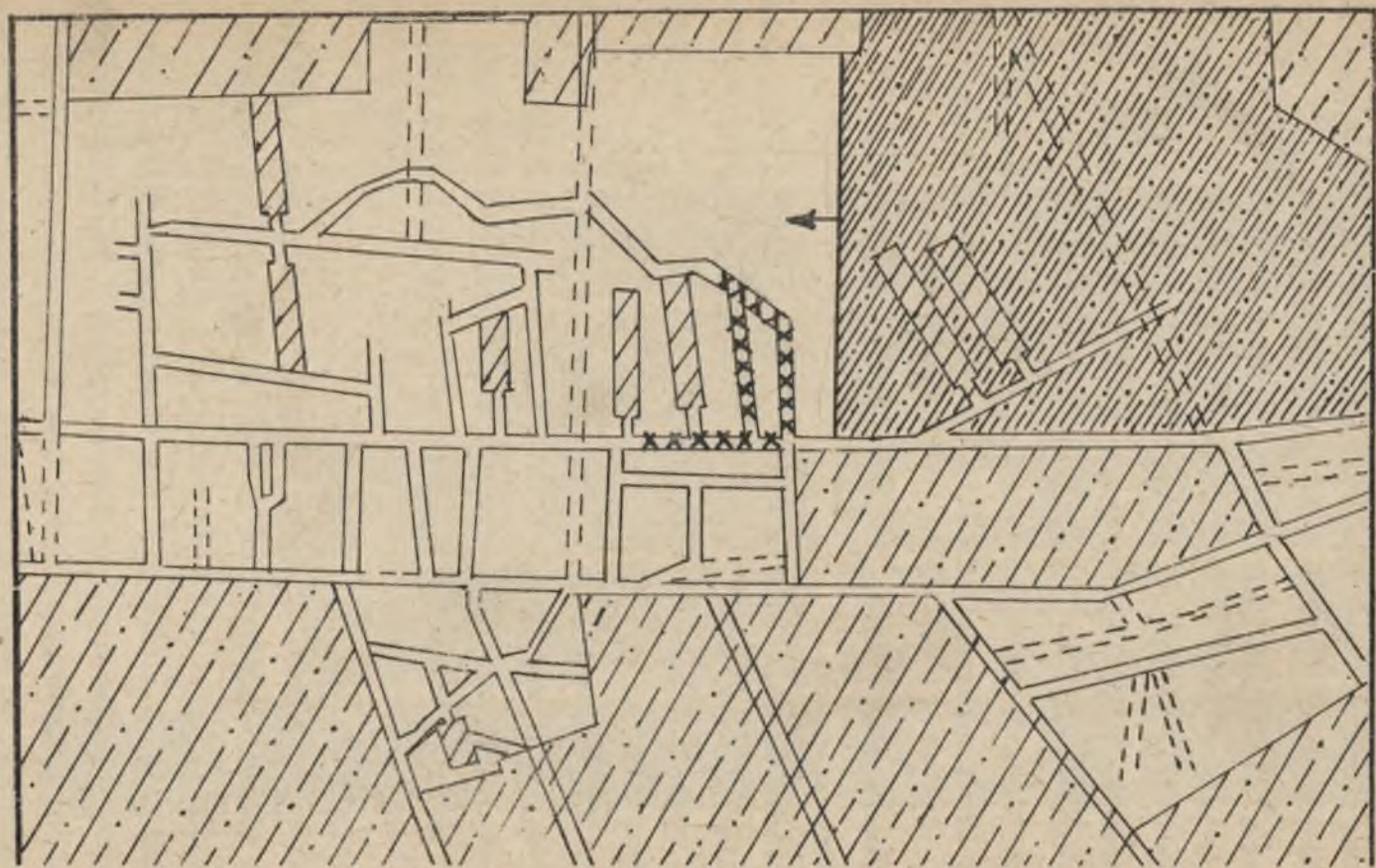
W tym przypadku, oprócz stosowania podsadzki o właściwej podporności, ważny jest kierunek wybierania w stosunku do linii załamywań się stropu.

4. Wzrost naprężeń na skutek osłabienia calizny nadmierną liczbą i długością robót chodnikowych i osadnikowych przed lub w pobliżu frontu eksploatacyjnego

Podobnie jak pozostawianie niewybranych filarów, nóg, słupów itp. powoduje koncentracje i zwiększenie w nich naprężeń, tak również nadmierna liczba wyrobisk korytarzowych powoduje zwiększenie naprężeń w caliznach położonych między nimi.

Mogą wystąpić dwie przyczyny przekroczenia wytrzymałości i tąpnięcia skał między siecią wyrobisk korytarzowych.

Pierwsza przyczyna to wzrost ciśnień na skutek tylko nadmiernej gęstości wyrobisk. W tym przypadku notujemy tąpnięcia chodnikowe nawet w znacznej odległości od frontu eksploatacyjnego. Tąpania objawiają się bez wpływu robót eksploatacyjnych. W polskim górnictwie tąpania tego typu są dość rzadkie. Druga przyczyna powstania zjawisk tąpnięcia to zbliżenie się frontu eksploatacyjnego do gęstej sieci robót korytarzowych rys. 4.



Rys. 4. Nadmierna liczba robót eksploatacyjnych w niewybranym pasie

xxx - miejsce tąpnięcia

W tym przypadku zwiększone ciśnienia na skutek zagęszczonej sieci robót korytarzowych sumują się ze wzrastającym ciśnieniem eksploatacyjnym zbliżającego się frontu.
Tąpania tego typu są bardzo częste w górnictwie. Niezależnie od tego występują tąpania stropowe, bardzo groźne, gdy nad sieci wyrobisk korytarzowych z już naprężonymi caliznami między nimi znajdzie się linia przebiegu pęknięcia stropu.
Widzimy, że przyczyna tąpnięcia na skutek nadmiernej sieci wyrobisk korytarzowych jest zróżnicowana i wymaga dalszych rozważań.

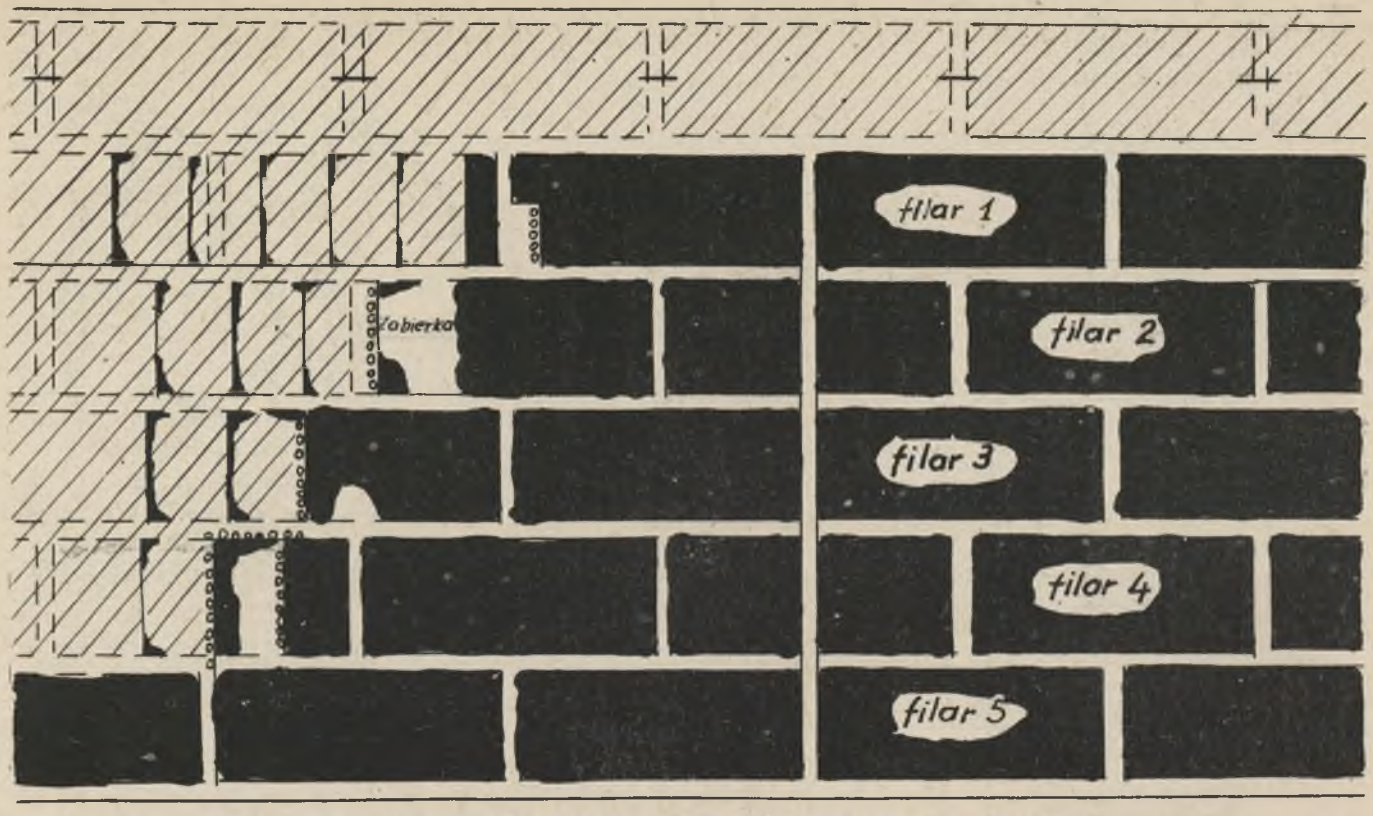
Istnieją dwie przyczyny powstania nadmiernej liczby wyrobisk korytarzowych:

1. Pierwsza przyczyna to eksploatacja systemami wybierania wymagającymi dużej liczby robót przygotowawczych.
Takimi systemami są systemy filarowe-zabierkowe a zwłaszcza tak zwany "system śląski" rys. 5.

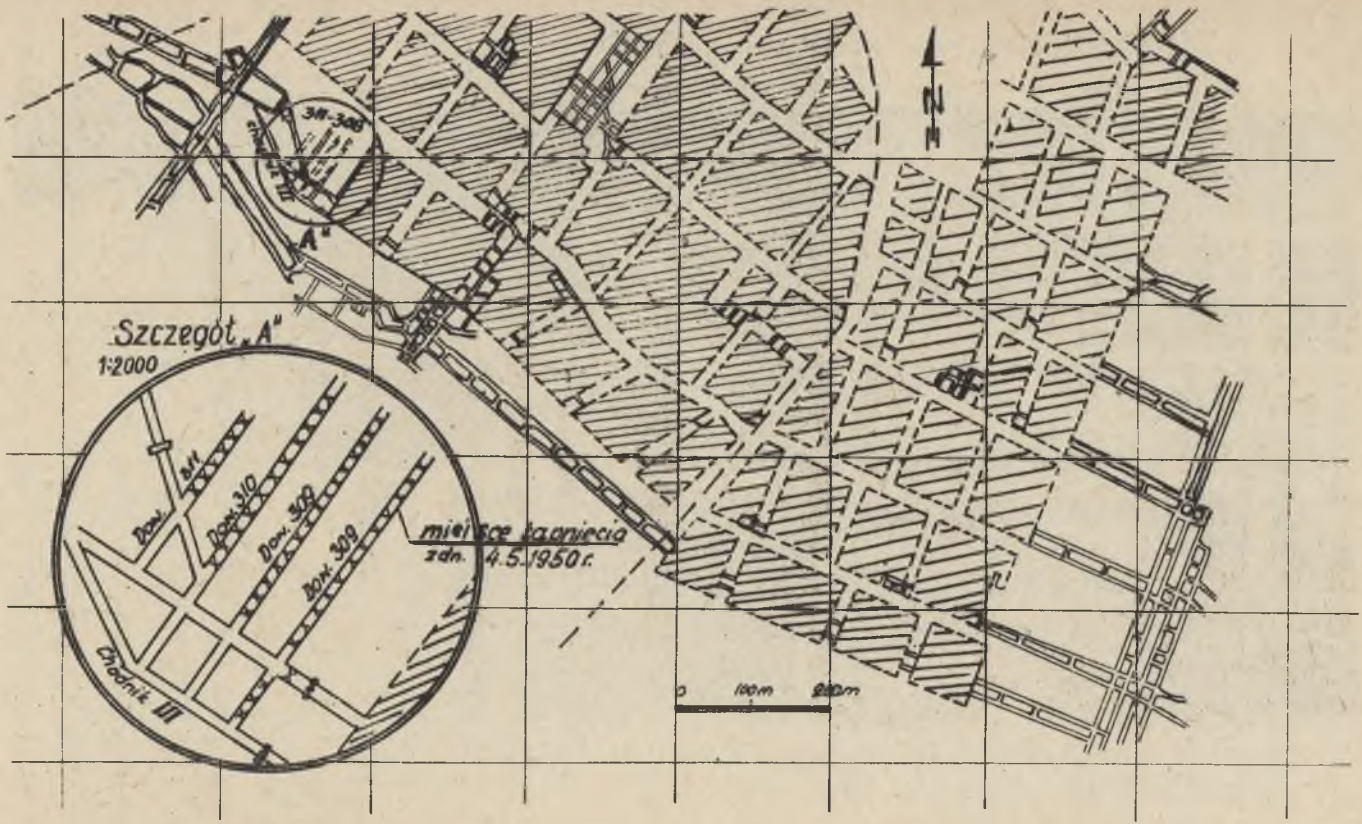
Przy tym systemie mogą wystąpić jednocześnie obie wyżej wymienione przyczyny, a więc tąpnięcia na skutek zagęszczonych robót chodnikowych i posuwającego się frontu eksploatacji. Jedną z przyczyn zarzucenia tego systemu wybierania były właśnie często występujące katastrofalne tąpnięcia, po których z reguły następowały pożary.

Otamowanie pożaru wymagało zostawienia schodowo przebiegającego filaru ogniowego, od którego zaczynano nową rozcinkę i wybieranie kończące się znów tąpaniami i pożarami.

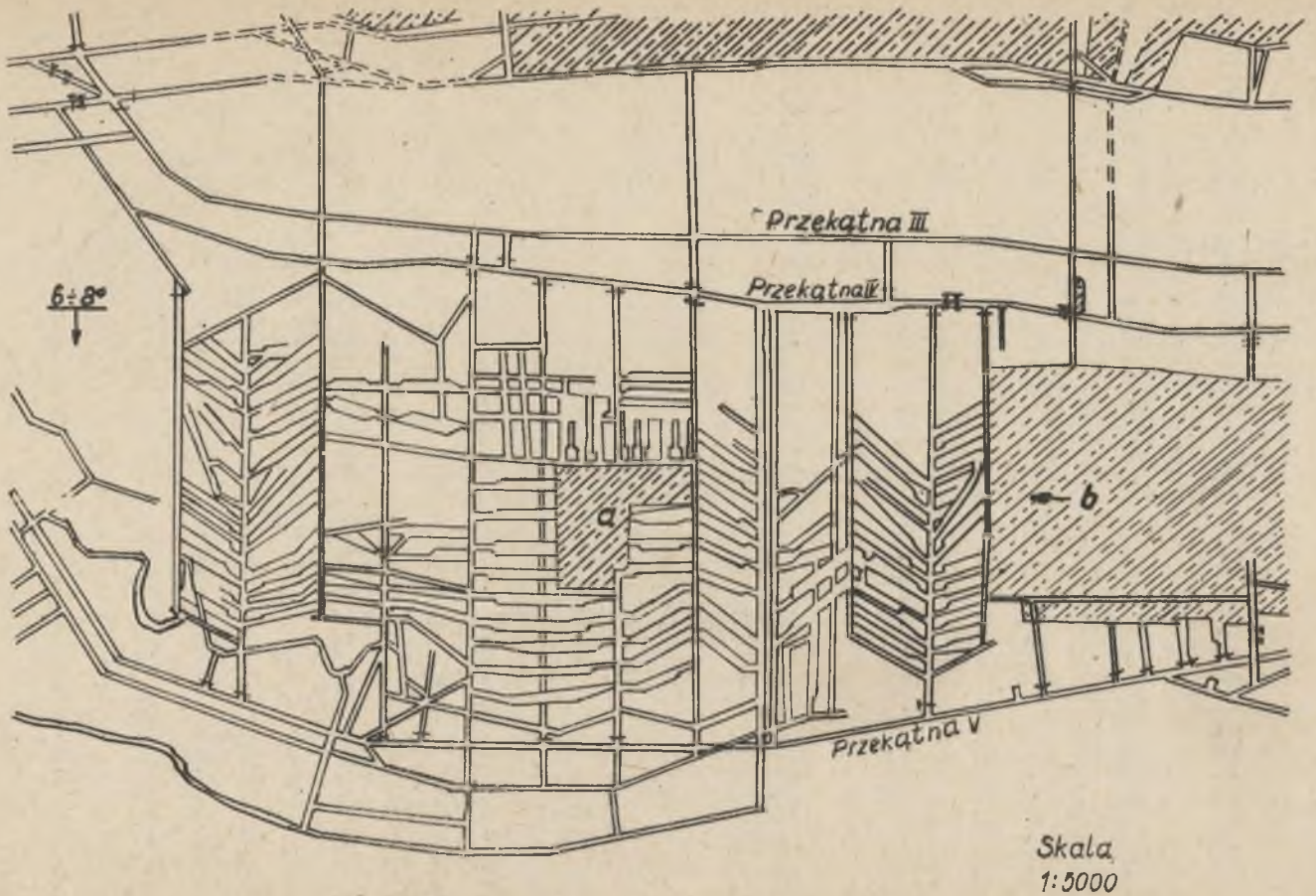
W tym czasach (1920-1939) prowadzono eksploatację często z planowaną wielkością pól eksploatacyjnych i profilaktycznym zastawianiem filarów pożarowych. Rys. 6. Sposób ten wprawdzie nie dopuszczał do powstania pożarów, ale tąpania potęgował,



Rys. 5. System filarowo-zabierkowy "Śląski" w odmianie podłużnej



Rys. 6. Eksploatacja z pozostawianiem filarów ogniowych i tąpnięciem w narożu



Rys. 7. Typowe pole osadnikowe

gdyż następowały kolejne nagłe załamania stropu zasadniczego przeginającego się na pozostawionych filarach.

Do zagęszczonej sieci robót korytarzowo-komorowych zaliczyć też musimy pola osadnikowe, lokowane bezpośrednio po upadzie pod eksploatowanym polem lub też jako osobne pola osadnikowe zdala od czynnych pól eksploatacyjnych rys. 7.

Niezależnie od ogromnych strat substancji węglowej (do 75%) i pożarów istnieje zawsze niebezpieczeństwo tąpań zwłaszcza przy próbach wybierania niewybranych resztek (a) lub zbliżania się frontu eksploatacji (b).

5. Wzrost naprężeń na skutek wybierania równolegle do poprzednio wybranych partii pokładu

Już od dawna zauważono wpływ strefy zwiększonych ciśnień, wzdłuż wybranych partii pokładu, na ciśnienia eksploatacyjne przy wybierce tegoż pokładu. Przed każdym posuwającym się frontem eksploatacji, posuwa się również fala wzmożonego ciśnienia mająca swoją największą wartość w pewnej odległości od frontu.

Zatrzymanie frontu eksploatacji powoduje zatrzymanie wędrującej fali ciśnień, nie powoduje natomiast jej zaniku, czyli spadku ciśnień w głębi calizny, wzdłuż frontu, do wartości ciśnienia pierwotnego p_z. Stan spadku ciśnień do wartości p_z, może nastąpić wtedy, gdy żadna objętość górotworu nad wybraną przestrzenią nie obciąża niewybranych partii pokładu.

W zależności od stosowanej teorii mówimy o braku belki wspornikowej lub o całkowitym i pełnopodpornym podparciu sklepienia nad wybraną przestrzenią, opierającego się na przyfrontowym pasie calizny. Z doświadczenia wiemy, że w pasie przyfrontowym zatrzymanych robót eksploatacyjnych, zwiększone ciśnie-

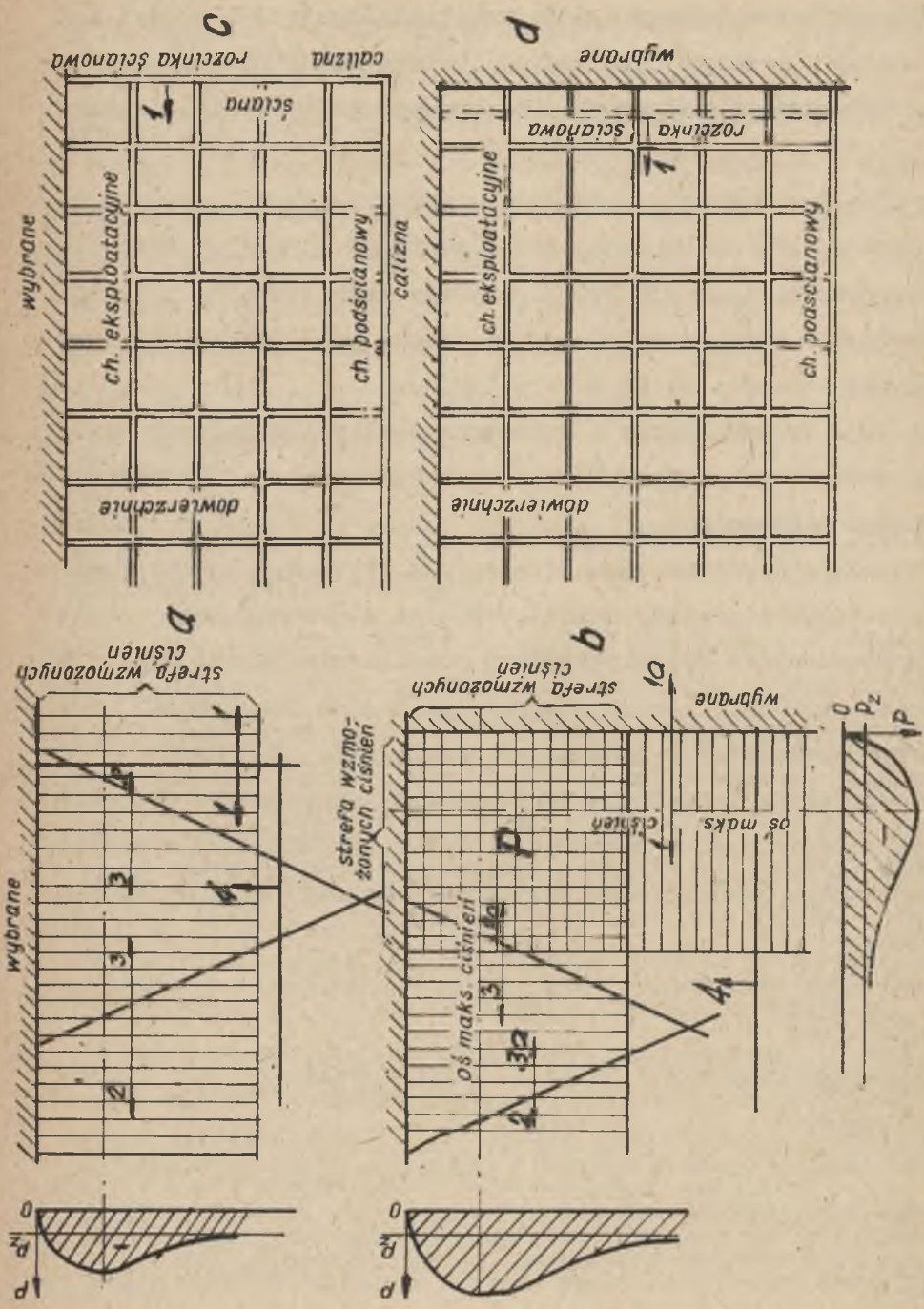
nie utrzymuje się bardzo długo, nawet kilkanaście i więcej lat. Świadczy to o trwałej (nie stałej) równowadze w górotworze, o stanie zwiększonych naprężeń, bez przekroczenia wytrzymałości skał.

Wyraźne zmniejszenie ciśnienia w strefie przyfrontowej zauważyć można, gdy nastąpi głębokie pęknięcie warstw stropowych pod niewielkim kątem lub wzdłuż granicy eksploatacji.
Tym tłumaczyć można również, że ciśnienie wzdłuż pasa przyfrontowego nie wszędzie ma tę samą wielkość.
Zdarza się, że wybieranie a zwłaszcza roboty przygotowawcze, przy granicy starej wybierki nie są narażone na specjalnie zwiększone ciśnienia.

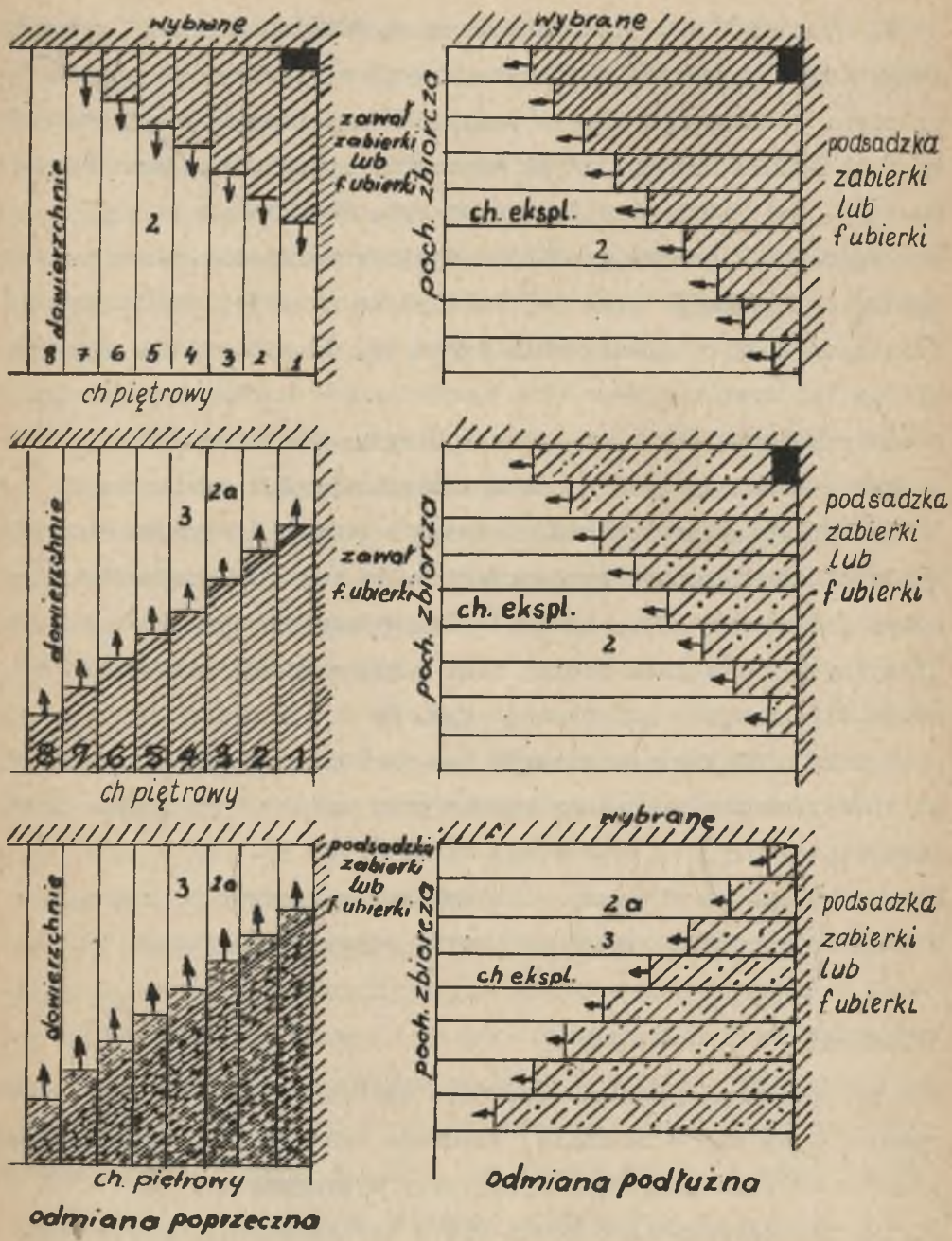
W zasadzie wyróżnić można dwa typowe przypadki geometrycznego usytuowania granicy dawnej wybierki i posuwającego się frontu ilustrujące piątą przyczynę powstawania tąpań. Nim je wymienimy, odróżnić trzeba dla każdego z nich inny rodzaj robót przygotowawczych i inny sposób wybierania, a mianowicie od mianę poprzeczną i podłużną przy sposobie wybierania ubierkowym lub zabierkowym, z podsadzką lub bez. Najczęściej spotykamy następujące geometryczne przypadki przebiegu granicy dawnej wybierki:

1) granica stanowiąca linię prostą lub do niej zbliżoną rys. 8a,
2) granica stanowiąca naroże zwykle tworzące kąt prosty rys. 8b.

Może również istnieć sytuacja granicy z dwoma narożami rys. 13, lecz taki przypadek omówiony będzie przy szóstej przyczynie powstawania tąpań (wybieranie wysp, półwyspów, itp.).



Rys. 8. Granice wybierki, strefy wzmożonych ciśnień, odmiany robót przygotowawczych



Rys. 9. Układy i kierunki frontów eksploatacyjnych
Przyczyna 5 i 6

Na rys. 8a i b i 9 uwidocznione są możliwe kierunki posuwu i usytuowania frontów eksploatacyjnych w stosunku do granic wybranego. W omawianym piątym przypadku zajmiemy się wpływem na wzrost ciśnień następujących kierunków wybierania oznaczonych na (rys. 8a) liczbami 1,2,3, a na rys. 8b również 1,2,3. Wybieranie w kierunku granicy dawnej wybierki oznaczone na obu rysunkach liczbą 4. oraz 1a, 2a i 3a na rys. 8b, zaliczymy do szóstej przyczyny powstawania tąpań tj. do wybierania pasów, klinów lub wysp.
W obu przedstawionych na rysunkach sytuacjach frontowych, wybieranie może nastąpić sposobem ubierkowym lub zabierkowym.

Sposób ubierkowy podłużny wymaga z robót przygotowawczych wykonania dowierzchni rozcinkowej - ścianowej w przypadku systemu ścianowego (rys. 8c i d) lub wykonania chodników eksploatacyjnych i rozcinek między nimi w przypadkach stosowania systemu filarowego - ubierkowego rys. 8c i d i rys. 9.

System ubierkowy poprzeczny (po wzniosie) wymagający rozcinki dowierzchniami omawiany będzie przy szóstym przypadku jako stwarzający warunki wybierania klina (rys. 9).
Natomiast system filarowy - ubierkowy poprzeczny po nachyleniu odpowiada warunkom piątej przyczyny powstawania tąpań rys. 9.

Przypadek 1

Dla przypadku pierwszego rys. 8a,c wykonanie dowierzchni ścianowej odbywa się w caliźnie, wzmożone ciśnienia występują dopiero w strefie eksploatacyjnej przy wybranym.
Na dużych głębokościach można się w tej strefie liczyć z tąpaniami. Z chodników eksploatacyjnych dla f. ubierek podłużnych najwięcej narażony będzie na tąpnięcie pierwszy chodnik przy

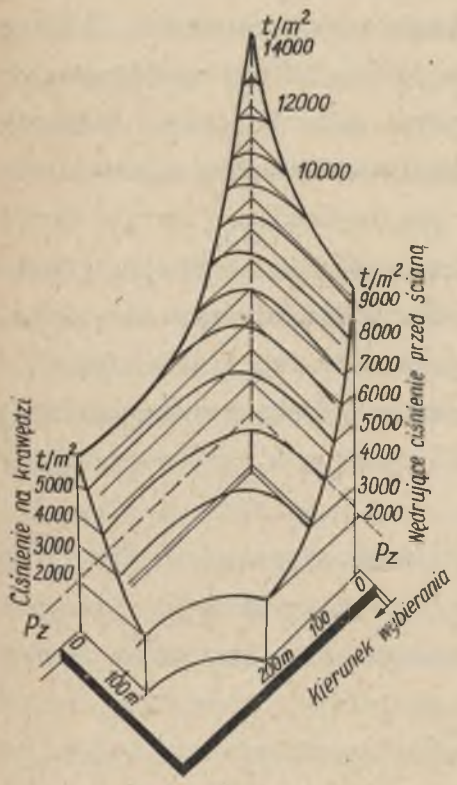
wybranym. Im większa odległość dowierzchni filarowo-ubierkowych przy wybierce poprzecznej po nachyleniu tym mniejsze niebezpieczeństwo tąpań rys. 9.
Niebezpieczne natomiast jest wykonywanie rozcinek filarowych bezpośrednio w strefie eksploatacyjnej przy wybranym. Dlatego rozcinki te powinny być wykonywane jak najbliżej wybranego co zresztą widać z wykresu naprężeń (rys. 8a). Gdy inne względy górnicze nie przeszkadzają chodniki lub rozcinki podłużne powinny być prowadzone bezpośrednio przy wybranym.

Wybieranie ścianami podłużnymi na ogół nie nastręcza trudności, w strefie wpływów wybranego daje się zauważyć na ścianie wzmożone ciśnienie. Ściana jednak wytwarza przed sobą w caliźnie również wzmożone ciśnienie sumujące się z pasem ciśnienia przy wybranym. Wobec tego tym łatwiej wystąpić mogą tąpania w chodniku nadścianowym.
Tym należy tłumaczyć, że niejednokrotnie tąpania w chodniku ścianowym występują dopiero wtedy gdy wybieg ściany osiągnie pewną wielkość potrzebną dla wytworzenia własnego ciśnienia eksploatacyjnego.

Jacobi [1] opierając się na wynikach pomiarów ciśnień w otworach przed posuwającym się frontem ścianowym i w chodnikach przyścianowych oraz analitycznie obliczając i sumując ciśnienie na krawędzi wybranego i ciśnienie wędrujące przed frontem ścianowym, otrzymuje wartości ciśnień w narożu przedstawione na rys. 10 w formie krzywych powierzchni przestrzennych. Podany przykład z kopalni Neumühl, głębokość 800 m, p_z=2000 ton/m^2 γ = 2,5 t/m^3, wybieranie ścianami podłużnymi.

Należy sądzić, że ze względu na pewnej szerokości strefę spękań od krawędzi wybranego i przed frontem ściany, w samym

narożu ciśnienie będzie miało praktycznie mniejszą wartość niż uwidocznione na rysunku.



Rys. 10. Sumowanie się ciśnień w narożu

Ale i tak ciśnienie to znacznie przekracza wytrzymałość węgla i na dużych głębokościach wędrujące naroże ciśnień może być siedliskiem tąpań.

Jeszcze bardziej sprzyjające wzrostowi ciśnień, a więc i tąpaniom, będą warunki opisane w szóstej przyczynie powstawania tąpań.

W przypadku filarowych ubierek podłużnych, na tąpania narażone będą ubierki przy wybranym jak również chodniki eksploatacyjne przed frontem, po osiągnięciu przez ubierki własnego ciśnienia eksploatacyjnego.

Przy wybieraniu f. ubierkami poprzecznymi na upad również najwięcej narażone na tąpnięcia będą ubierki rozpoczynane przy wybranym.

I w tym przypadku wytworzy się przed frontem ubierek własne ciśnienie eksploatacyjne sumujące się w strefie o pewnej szerokości z wzmożonym ciśnieniem przy wybranym.

Na ogół jednak, w przypadku 1 wybieranie systemem ubierkowym jest względnie bezpieczne.

Wybieranie według przypadku 1 systemami zabierkowymi wymaga tych samych robót przygotowawczych co przy systemach filarowo-ubierkowych poprzecznych lub podłużnych. Warunki ciśnień będą również zbliżone. Natomiast ze względu na niemożność czystej wybierki w systemach zabierkowych, zostawianie nóg, pni, filarów itp., pogarszają się warunki kierowania stropem dodatkowo i nierównomiernie podpieranym. Doprowadza to do nagłych rozgniotów resztek, pękań stropu, a w rezultacie do tąpań stropowych niszczących zabierki względnie roboty przygotowawcze jak chodniki lub dowierzchnie.
Najbardziej narażone na tąpnięcia będą zabierki wybierane w pasie wzmożonych ciśnień od wybranego.

Przypadek 2

W przypadku 1, gdy granica wybranego stanowi linię prostą (rys. 8a), roboty tak przygotowawcze jak i wybierkowe narażone są na wzmożone ciśnienia w strefie, wzdłuż wybranego, o szerokości zależnej od długości fali ciśnień zależnej z kolei od charakteru warstw stropowych. W tej strefie spotykamy się z tąpaniami w wyrobiskach przygotowawczych lub rzadziej eksploatacyjnych.

W przypadku 2, gdy granica wybranego tworzy naroże, strefy wzmożonego ciśnienia nakładają się w narożu rys. 8b. Wtedy w polu P ciśnienia są specjalnie zwiększone, a nawet przy pewnym układzie warstw stropowych mogą się sumować. W każdym razie w polu P istnieć będzie największe potencjalne zagrożenie tąpaniami.

Przy systemie ścianowym podłużnym rozcinka ścianowa znajdzie się od razu w strefie zwiększonych ciśnień pod wpływem

wybranego tego samego piętra (rys. 8b,d). W górnej swej partii rozcinka w polu P natrafi na dodatkowe, wyraźnie zwiększone ciśnienie, mogące spowodować tąpnięcie.

Dlatego rozcinki ścianowe w tych warunkach powinny być prowadzone w strefie częściowo lub całkowicie odprężonej: to jest najbliżej wybranego tego samego piętra i ze specjalnie wzmocnioną obudową. W przypadku stosowania podłużnego, filarowo-ubierkowego sposobu wybierania, najwięcej narażone na tąpnięcia będą przygotowywane górne chodniki eksploatacyjne w strefie pola P. Rys. 8b i rys. 9 (2). Przy systemie f-ubierkowym poprzecznym najwięcej narażone na tąpnięcia będą dowierzchnie w strefie pola P.

W praktyce obserwuje się bardzo silne tąpnięcia w trakcie przygotowawczych robót dowierzchniowych w narożu ograniczonym wybranymi polami.

Przy wybieraniu ścianami podłużnymi najbardziej narażona na tąpnięcie jest górna część ściany w strefie pola P.

Najbardziej narażony na tąpnięcia jest chodnik nadścianowy, który powinien być wykonany w strefie odprężonej możliwie jak najbliżej wybranego górnego piętra.

W przypadku wybierania f. ubierkowego podłużnego tąpania mogą wystąpić w górnych wybierkach jak również w chodnikach eksploatacyjnych przed posuwającym się frontem (rys. 9 (2)). Przy odmianie poprzecznej po upadzie najbardziej narażone na tąpnięcia będą ubierki w polu P. Rys. 8b i 9 (2).

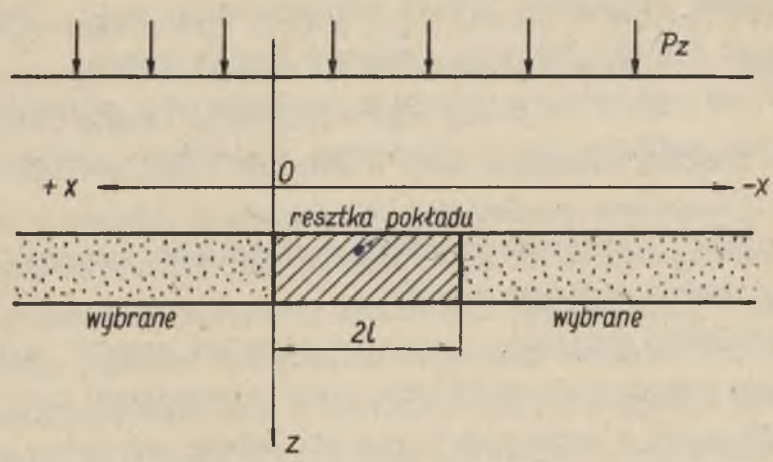
I w tym przypadku wytworzy się przed frontem ubierek własne ciśnienie eksploatacyjne sumujące się w strefie o wzmożonym ciśnieniu od wybranego tego samego piętra.

Przy wybierce zabierkami roboty przygotowawcze będą podobnie narażone na tąpanie jak przy wybierce f-ubierkowej.
Natomiast na tąpnięcia najbardziej narażone będą pierwsze zabierki, tak podłużne jak i poprzeczne wybierane w narożu rys.9 (2).

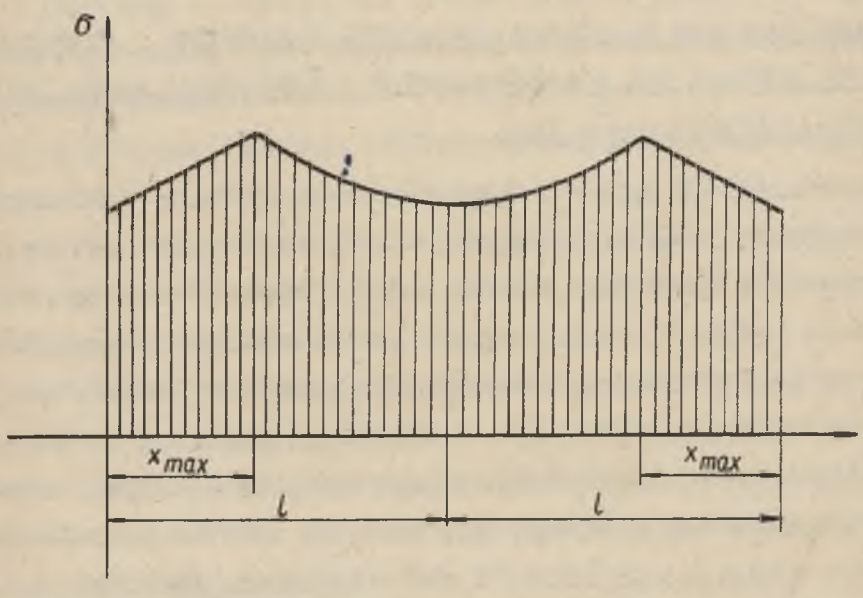
W przypadku 1 wykazano mniejszą racjonalność zabierek niż ubierek z punktu widzenia tąpań.
Dla maksymalnego obniżenia ciśnień w strefach przy wybranym jak również wędrującego ciśnienia przed posuwającym się frontem eksploatacji w pokładach tąpliwych należy tak przy systemach ubierkowych jak i zabierkowych stosować najbardziej szczelną podsadzkę najlepiej płynną.

6. Wzrost naprężeń na skutek wybierania w kierunku wybranych partii pokładu jak również resztek w pokładzie: wysp, półwyspów, klinów, pasów itp.

Nim przejdziemy do opisowej części różnych sytuacji wybierania zaliczonych do szóstej przyczyny, należy zdać sobie sprawę ze stanu napięć w resztkach pokładu i w ich sąsiedztwie. Resztkami pokładu będziemy nazywać wąskie lub niewielkie powierzchniowo partie pokładu otoczone w przypadku pasów i filarów z dwóch stron, a w przypadku półwyspów i klinów przynajmniej z trzech stron wybranym. Resztki pokładów mogą być wybierane po dłuższej przerwie w eksploatacji lub powstałe resztki podczas eksploatacji wybierane są nadal. W obu przypadkach zauważyć można znaczny wzrost naprężeń w resztce pokładu. Schemat resztki pokładu przedstawiony jest na rys. 11.



Rys. 11. Resztka pokładu



Rys. 12. Rozkład naprężeń w pozostawionym filarze

Ciśnienie na resztce pokładu w formie filaru o szerokości 2l określa wzór Sałustowicza

$$\sigma_z = \left\{ - p_z + \frac{p_z - p_o}{1 - e^{-2\alpha l} \cos 2\alpha l} \left[e^{\alpha x} \cos\alpha x + e^{-\alpha(2l+x)} \cos\alpha(2l+x) \right] \right\}$$

gdzie:

p_o - wstępne oddziaływanie podłoża, przy bardzo mocnych skałach np. piaskowcach tak przy podsadce jak i przy zawale (samopodsadzaniu) reakcja podłoża przy ociosie resztki jest praktycznie równa 0 a więc $p_o = 0$

$$\alpha = \sqrt[4]{\frac{c}{4JE}}$$

c - współczynnik oporu właściwego podłoża

J - moment bezwładności belki stropowej o szerokości równej jednostce.

$$J = \frac{w^3}{12}$$

w - grubość jednorodnej belki stropowej.

$$E = \frac{E'}{1 - v^2}$$

E' - moduł Yunge'a

v - liczba Poissona warstwy stropowej.

Długość fali ciśnień

$$2L = \frac{2\pi}{\alpha} = 2\pi \sqrt[4]{\frac{4JE}{c}}$$

Największa wartość ciśnienia zachodzi na brzegach filaru to jest gdy x = 0 (rys. 12)

$$\sigma_{z_{max}} = - p_z - (p_z - p_o) \frac{1+e^{-2\alpha l} \cos 2\alpha l}{1-e^{-2\alpha l} \cos 2\alpha l}$$

Ze wzorów na σ_z i $\sigma_{z_{max}}$ wynika, że wielkość ciśnienia w pozostałych resztkach pokładu zależna jest od następujących czynników:

1. Od głębokości zalegania ($p_z = -\gamma . h$)
2. Od wytrzymałości skał stropowych. Przy skałach słabych uginających się lub łatwo zawalających się, jak również przy bardzo szczelnej podsadzce podporność p_o wzrasta. Przy skałach nie uginających się, nie zawalających się (mocnych) i nieszczelnej podsadzce strop wywiera większy nacisk na resztkę (filar), wtedy p_o dąży do 0.
3. Od szerokości filaru (2l). Przy znacznej szerokości filarów jest $e^{-2\alpha l} = 0$ i wtedy ciśnienie osiąga wielkość jak przy eksploatacji normalnej.

$$\sigma_{s_{max}} = - (2p_z - p_o)$$

W przypadku gdy szerokość filaru spełnia warunek

$$2\alpha . l = \pi$$

czyli

$$2l = \frac{\pi}{\alpha} = \frac{\pi L}{\pi}$$

$$2l = L$$

a więc, gdy szerokość filaru równa jest połowie długości fali, ciśnienie jest mniejsze od normalnego ciśnienia eksploatacyjnego.

Przy dalszym zmniejszaniu szerokości filaru np. $2l = \frac{\pi}{2\alpha} = \frac{L}{2}$, $2l = \frac{L}{4}$ itd., wielkość ciśnienia we filarze wybitnie wzrasta. A więc resztki o szerokości mniejszej od czwartej części długości fali są miejscem koncentracji dużego ciśnienia, przekraczającego znacznie normalne ciśnienie eksploatacyjne przy wybierce w głąb calizny. Resztki takie są miejscem powstawania tąpań.

Przy skałach mocnych (np. piaskowcach) wzrasta długość fali i wynosi w danych warunkach

$$2L = 2h$$

Dla łupków $2L = h$

Na rys. 12 przedstawiony jest wykres naprężeń pionowych w filarze o szerokości 2l. W miarę zmniejszania się szerokości filaru, ciśnienie wzrasta osiągając maksymalną wielkość w środku filaru. Im stosunek szerokości filaru do grubości pokładu $(\frac{l}{h_p})$ jest większy tym większe ciśnienie w filarze. Najłatwiej doprowadzić do tąpnięcia w grubym pokładzie trudniej w cieńszym, gdyż wytrzymałość pokładu (nie wytrzymałość skały!) zależy od jego grubości h_p.

Również badania laboratoryjne wykazały, że stosunki boków próbki (wysokość i szerokość), jak również wielkość próbki mają zasadniczy wpływ na jej wytrzymałość przy ściskaniu w prasie. A przecież ściskana próbka jest modelem filaru lub niewybranej wyspy.

Jeżeli filar jest większy od szerokości, tak że nie zachodzą w nim zjawiska plastyczności to jest spękań i rozkruszeń, to taki filar może być miejscem koncentracji nadzwyczaj silnych naprężeń. Naruszenie takiego filaru eksploatacją, a nawet próbą przecięcia jednym wyrobiskiem chodnikowym może doprowadzić do bardzo silnego tąpnięcia pokładowego.

Zwykle wyspy węglowej w ogóle nie można wybrać w pokładach tąpiących, a filar należy wybierać bezwzględnie w stronę caliz ny, aby właśnie nie stworzyć wyspy węglowej.

Stan równowagi w ściskanym filarze istnieje, dopóki średnia wartość naprężeń nie przekracza wielkości określonej równaniem

$$\sigma = \frac{4}{\sqrt{3}} k + \frac{1}{\sqrt{3}} k \frac{l}{h_p}$$

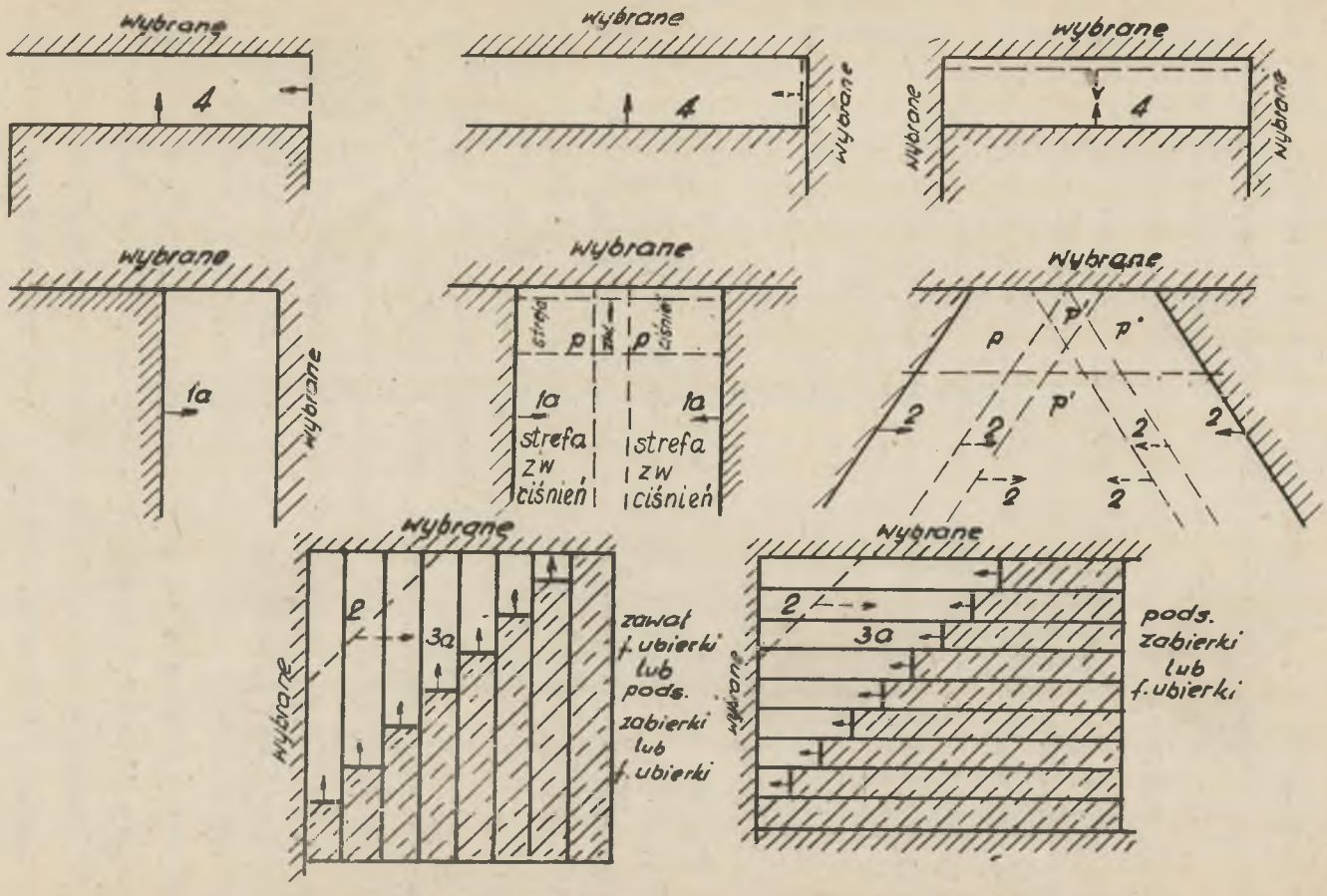
gdzie:

$2h_p$ - miąższość pokładu,

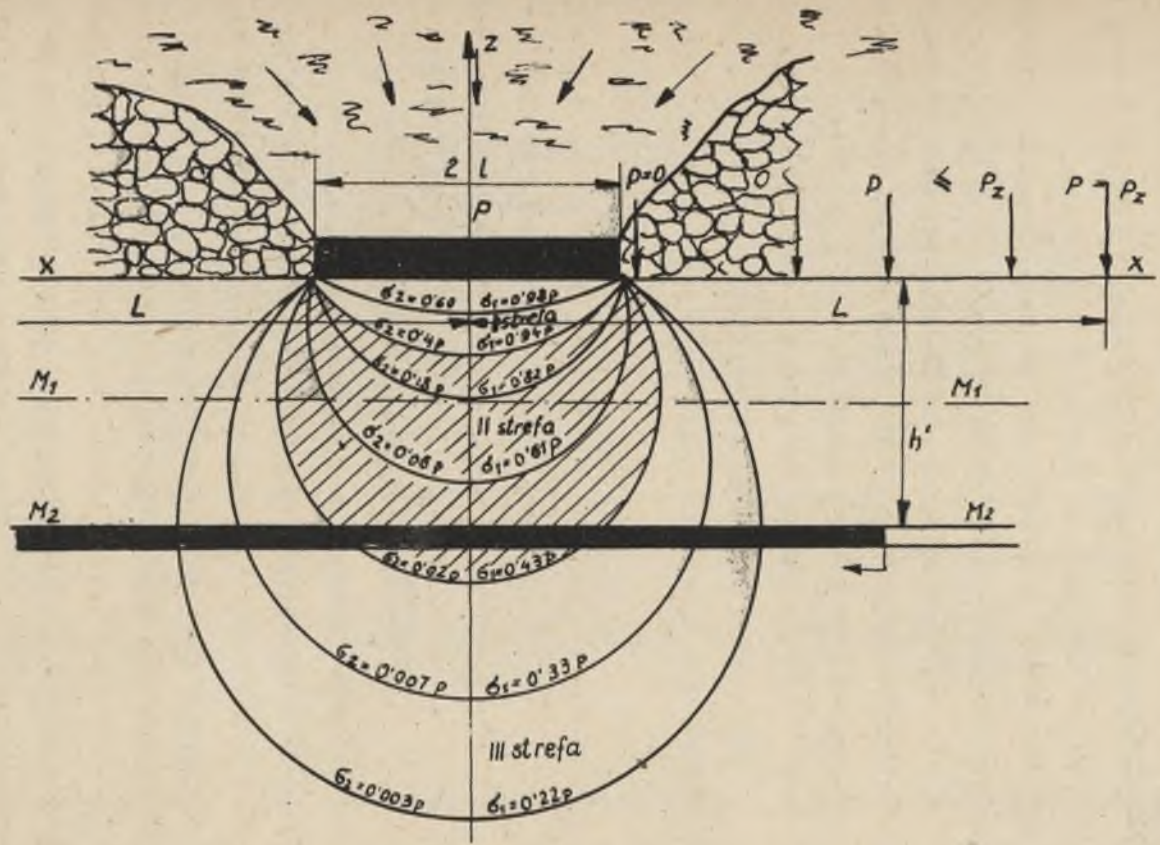
$2k$ - granica plastyczności przy ciśnieniu.

Następujące typowe przypadki wzajemnych sytuacji między frontem lub frontami eksploatacji a wybranym zaliczymy do szóstej przyczyny powstawania tąpań.

1. Długi front zbliżający się do granicy wybranego stanowiącej linię prostą, jedno naroże lub dwa naroża rys. 9 i rys. 13.
2. Dwa długie fronty równoległe, zbliżające się do siebie rys. 13 lub dwa długie fronty pod pewnym wzajemnym kątem również zbliżające się do siebie i tworzące klin przy granicy wybranego tworzącej prostą linię rys. 13.



Rys. 13. Układy i kierunki frontów eksploatacyjnych. Przyczyna 6



Rys. 14. Izolinie naprężeń i strefy oddziaływania na różnej głębokości pod niewybranym filarem

3. Front zbliża się do granicy wybranego lub przesuwa się wzdłuż niej, tworzącej linię prostą lub naroże rys. 9 Przypadek klina.
4. Front zbliża się do granic wybranego tworzących naroże rys. 13. Przypadek trójkątnej wyspy.

Wymienione geometryczne sytuacje frontów i granic wybranego stwarzają warunki wybieraniu resztek o kształtach pasów (filarów), półwyspów, klinów i wreszcie wysp.
Omówione będą warunki wybierania w wymienionych czterech przypadkach.

Przypadek 1

a) Ściana w caliźnie zbliża się do długiej prostej granicy wybranego (np. pierwsza ściana w polu). Powstaje pas niewybranego. W miarę zwężania się pasa wzrasta w nim ciśnienie mogące doprowadzić do tąpnięcia. W takim przypadku w obliczonej grubości pasa (zwykle odległość równa długości ściany) przechodzimy na eksploatację podłużną.
Zwracać należy szczególną uwagę na ewentualne chodniki znajdujące się w wybieranym pasie, które osłabiają wytrzymałość filaru i są najczęściej siedliskami tąpań.
b) Trudniejsze warunki wybierania są gdy front ściany zbliża się do naroża. Powstaje półwysep. Warunki ciśnienia panujące w narożu opisane były przy piątej przyczynie (rys. 8b). Dodatkowo na pole P zwiększonych ciśnień zadziała strefa ciśnień posuwająca się przed frontem ściany. W takim przypadku bezwzględnie ścianę trzeba zatrzymać przynajmniej w odległości przyszłej długości ściany wybieranej podłużnie plus długość fali ciśnieś stworzonej przez ścianę poprzeczną.

W przypadkach sztywnych, mocnych i grubych warstw piaskowców długość fali dochodzi do 100 m. A więc w przypadku projektowanej 50 m ściany podłużnej, ścianę poprzeczną trzeba już zatrzymać w odległości 150 m.

I najbezpieczniej następnie wybierać jedną lub parę ścian podłużnych o łącznej długości 150 m w kierunku calizny. Rozcinkę takiej ściany, wykonywanej koło granicy wybranego, opisano w 2 przypadku piątej przyczyny występowania tąpań.

c) Najbardziej niebezpieczne warunki powstają wtedy, gdy front ściany zbliża się do granic wybranego stanowiących podwójne naroże. Powstaje wyspa. Górnik nie powinien w żadnym przypadku dopuścić do takiego stanu eksploatacji. W praktyce w takiej sytuacji wybieranie musi być zatrzymane, gdyż nie można zaprojektować bezpiecznej pod względem tąpań eksploatacji. Zamiast zbliżać się frontem do wybranego, należy od razu stworzyć warunki wybierania pasu (b), od granic górnego wybranego. Pozostawienie wyspy węglowej na niekorzystny wpływ na wybieranie pokładów zwłaszcza niżej zalegających. (Patrz ósma przyczyna występowania tąpań).

Rozważania dla długich ścian podłużnych są identyczne z przeprowadzonymi (a,b,c) dla ścian poprzecznych.

Jednak w praktyce zauważyć można często, że dana odmiana wybierania, poprzeczna lub podłużna, wykazuje w pewnych warunkach większą liczbę tąpań, często o większym natężeniu. Ma to prawdopodobnie związek między kierunkami łupności, a własnościami reologicznymi zdolności rozpraszania energii sprężystej przez skały.

Przypadek 2

a) Dwa długie fronty (ścianowe) równoległe zbliżają się do sie bie rys. 13 (1a). Istnieć będą wówczas specjalne warunki ciśnieniowe wywołane narożami i wędrującymi przed frontami ścian strefami zwiększonych ciśnień. W takim przypadku eksploatacja obu frontów powinna być zatrzymana w odległości nie mniejszej niż podwójna szerokość strefy zwiększonych ciśnień. Ponieważ jednak wybranie powstałego półwyspu powin no się odbywać w stronę calizny, co wymagać będzie robót przygotowawczych (np. rozcinki ścianowej) w pasie dwóch naroży (P, P), więc pas węgla zostanie tymi robotami osłabiony i ciśnienia znacznie wzrosną, co może doprowadzić do tąpań zwłaszcza w tych robotach. Dlatego też należy fronty za trzymać w odległości potrójnej szerokości strefy zwiększonych ciśnień (3 x 2L = 6L).

Przy stropach np. mocnych piaskowców długość fali 2L wynosi 60-100 m. Tak więc szerokość półwyspu w pewnych przypadkach mocnych stropów nie powinna być mniejsza niż 300 m, co potwierdza praktyka. Dowierzchnie i rozcinka ścianowa powinny być wykonywane w strefie odprężonej to jest najbliżej wybranego (Patrz przyczyna 5, przypadek 1).

b) Dwa długie fronty (zwykle filarowe ubierki lub zabierki, w odmianie podłużnej lub poprzecznej), pod pewnym wzajemnym kątem, zbliżają się do siebie tworząc klin przy granicy wybranego, tworzącej prostą linię. W miarę zbliżania się tych frontów w strefie ciśnień wybranego nastąpią specjalnie niebezpieczne warunki ogromnych ciśnień nakładających się stref: 1) zwiększonego ciśnienia od wybranego i 2) dwóch wędrujących na przeciw siebie stref zwiększonych ciśnień ruchomych frontów.

W takich przypadkach w strefie naroża P występują zwykle gwałtowne tąpnięcia. Niebezpieczeństwo zwiększa rozcięcie klinu robotami przygotowawczymi: chodnikami i pochylnią w przypadku odmiany podłużnej i dowierzchniami w przypadku odmiany poprzecznej wybierania. Dlatego też, podobnie jak przy dwóch frontach równoległych, fronty powinny być zatrzymane w odległości od siebie w narożu równej potrójnej szerokości strefy zwiększonych ciśnień, a więc w przypadku mocnych stropów 180-300 m. Po wyrównaniu frontów do równoległych linii i stworzeniu warunków półwyspu, wybieranie powinno mieć kierunek w stronę calizny podobnie jak w punkcie a.

Jak widzimy wybieranie dwuskrzydłowe jest znacznie niebezpieczniejsze pod względem tąpań niż wyrobiska jednoskrzydłowe. Przy nagłym rozgnieceniu klinu następuje też pęknięcie mocnych warstw stropowych, powodujących oprócz tąpnięcia pokładowego, katastrofalne tąpnięcia stropowe.

Przypadek 3

a) Front zbliża się do granicy wybranego lub przesuwa się wzdłuż niej, tworzącej linię prostą rys. 8 (a,3) i rys. 9 (3). Wybieranie może się odbywać w odmianie podłużnej lub poprzecznej. W każdej odmianie mamy do czynienia z wybieraniem klina. W odmianie podłużnej roboty przygotowawcze, jako chodniki eksploatacyjne filarowych ubierek lub zabierek na podsadzkę (płynną lub rzadziej suchą), będą najwięcej narażone na tąpania w strefie ciśnień wybranego i pod wpływem wędrującej strefy frontu, a więc w zakończeniu klina. Również w tym samym obszarze niebezpieczeństwo tąpnięcia istnieje dla zabierki lub ubierki. Znacznie bezpieczniejsze

jest prowadzenie eksploatacji opisane w przypadku 1, przyczyny 5 (rys. 9 (2)) to jest frontem odwróconym, tworzącym z linią wybranego kąt $>90^{o}$. Linia frontu nie powinna tworzyć z linią wybranego kąta ostrego.

W odmianie poprzecznej roboty przygotowawcze (dowierzchnie) dla ubierek z zawałem lub podsadzką i zabierek z podsadzką, najwięcej na tąpania narażone będą również w końcu klina, gdy nakładają się na siebie, strefa zwiększonych ciśnień wybranego i wędrująca strefa ciśnień przed frontem.
Również w tym samym obszarze niebezpieczeństwo tąpnięcia istnieje, dla zabierki lub ubierki. Niebezpieczeństwo tu jest większe niż przy odmianie podłużnej, gdyż z ostatniej dowierzchni wybieranie następuje po wzniosie, aż do wybranego, a więc "ostrość" wybieranego klina rośnie.

Zabezpieczeniem przed tąpnięciami jest zatrzymanie frontu przed wybranym i następnie wybieranie podłużne możliwie prostym frontem (przypadek 1 a,b przyczyna 6), i o prostym kącie do granicy wybranego.

b) Front zbliża się do granicy wybranego lub przesuwa się wzdłuż niej, tworzącej naroże. Rys. 8 (b, 3, 2a) i rys. 9 (3, 2a). Wybieranie odbywać się może i w tym przypadku w odmianie podłużnej lub poprzecznej. Warunki, zwłaszcza w pierwszym okresie wydobycia, będą jeszcze trudniejsze i niebezpieczniejsze niż opisane pod punktem "a".

Najniebezpieczniejszym obszarem będzie pole P nałożonych stref zwiększonych ciśnień naroża i wędrującego frontu. I w tym przypadku niebezpieczeństwo jest większe w odmianie poprzecznej wybierania. W przypadku naroża nie powinno się eks-

ploatacji prowadzić frontem o sytuacji 3 (2a) w warunkach tąpań.

Najczęściej z takim układem geometrycznym spotykamy się przy każdorazowym zaczęciu wybierania w polu po pożarze odgrodzonym filarem ogniowym. I rzeczywiście przy zaczynaniu eksploatacji przede wszystkim w robotach przygotowawczych, zwłaszcza w dowierzchniach w narożu występowały bardzo sile tąpania. (Porównaj rys. 8a).

Podobnie jak w rozważaniach pod punktem "a" bezpieczniejszym jest prowadzenie wybierania frontem odwróconym ($>90^{o}$). Częściowym, ale nie całkowitym zabezpieczeniem przeciw tąpnięciom jest zatrzymanie frontu przed górną granicą wybranego i następnie próba wybrania odmianą podłużną możliwie prostym i prostopadłym frontem do granicy górnego wybranego. (Przypadek 1a,b przyczyna 6).

Dodatkową trudność sprawia wykonanie uzupełniających robót przygotowawczych dla odmiany podłużnej w filarze, na którym skoncentrowane są ciśnienia stref eksploatacyjnych.

Przypadek 4

Front zbliża się do granic wybranego tworzących naroże rys.13 (3a). Istnieją teoretycznie dwie odmiany wybierania podłużna i poprzeczna. Jednakowoż w praktyce, w pokładach o skłonnościach do tąpań, taki geometryczny układ granic i frontu, tworzący trójkątną wyspę, stwarza warunki zbyt niebezpieczne. W praktyce eksploatacja musi być zatrzymana z pozostawieniem niewybranej resztki. Natomiast o wpływie niewybranych resztek na wybieranie pokładów, zwłaszcza niżej leżących, traktować będzie

siódma a zwłaszcza ósma przyczyna powstawania tąpań. Na rys. 8 i 9 (2) zaznaczono najdogodniejsze kierunki wybierania od same go naroża. (Przyczyna 5, przypadek 2).

Sytuacje wybierania opisane w piątej i szóstej przyczynie występowania tąpań są wynikiem nie tylko naturalnych warunków zalegania złoża, ale również i to przede wszystkim, umiejętności projektowania rozcinki pól i poziomów.

B. Przyczyny oddziaływania sąsiadującego pod lub nadległego po kładu lub pokładów na pokład wybierany

Już od dawna zauważyli górnicy wpływ pozostawionych resztek, lub wpływ krawędzi w sąsiadującym pokładzie na wielkość ciśnienia w pokładzie wybieranym. Oddziaływanie to niejednokrotnie powoduje nadmierne ciśnienia na pokład wybierany, wzrost naprężeń i tąpania. Rodzaje oddziaływań choć podobne, upoważniają jednak do ich podziału na dwie przyczyny siódmą i ósmą.

7. Wzrost naprężeń na skutek wybierania pod lub nad pozostawionymi resztkami sąsiadującego pokładu

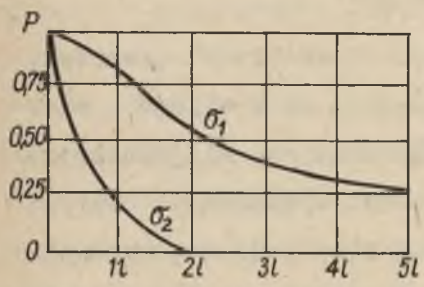
Weźmy pod uwagę filar (resztkę) o szerokości 2l rys. 11, na który działa ciśnienie p. Przy czym w naszych rozważaniach $p > p_z$. W pewnej odległości L, z każdej strony od środka reszt ki, strop całkowicie osiadł na zawale (podsadce) wywołując ciś nienie p_z na spąg pod wybranym. W takim przypadku stan statycz ny równowagi wymaga warunku

$$2lp = 2Lp_z, \quad p = \frac{Lp_z}{l}$$

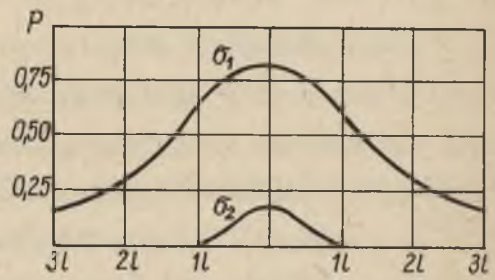
Przyjęto uproszczenie, że w obustronnych L - l ciśnienie jest równe 0.

W rzeczywistości, oprócz krótkiego odcinka przy krawędzi resztki, gdzie ciśnienie na spąg równa się wadze skał oderwanych do sklepienia, ciśnienie wzrasta według pewnej krzywej do wartości p_z.

Ciśnienie p nad resztką będzie tym większe im dłuższe będzie ramię L, a węższy filar l przy wzrastającej głębokości ($p_z = \gamma_o h$). W miarę wzrostu odległości pod filarem maleje wielkość ciśnienia i równocześnie rozkłada się ono na większą powierzchnię.



Rys. 15. Rozkład naprężeń w płaszczyźnie pionowej pod filarem



Rys. 16. Rozkład naprężeń w płaszczyźnie poziomej pod filarem

Sałustowicz na drodze teoretycznych rozważań wykazał, że w przypadku zostawienia długiego filara (pasa) o szerokości 2l, miejscami geometrycznymi równych naprężeń zarówno normalnych (σ) jak i stycznych (τ) wywołanych obciążeniem na filar będą izolinie kołowe opisane na cięciwie 2l (rys. 14). Wielkości naprężeń σ na poszczególnych okręgach są jednakowe i wyrażają się ułamkami ciśnienia p, przy czym σ_1 określa naprężenie normalne główne największe, a σ_2 odpowiednio mniejsze.

Ze względu na ich wielkość i wzajemny stosunek $\frac{\sigma_2}{\sigma_1}$ można pod danym filarem wyróżnić trzy strefy:

I strefa położona w bliskim sąsiedztwie pod filarem kształtu odcinka koła, w którym występują ciśnienia bardzo duże prawie równe ze wszystkich stron (pseudo hydrostatyczne).

II strefa charakteryzuje się mniejszymi naprężeniami normalnymi niż w strefie poprzedniej, natomiast naprężenia styczne osiągają wartości największe. W przypadku przekroczenia wytrzymałości skał w tej strefie powstają wpierw poślizgi (faza plastyczna), a następnie pęknięcia i szczeliny. Strefa ta jest również strefą największego wytężenia materiału.

III strefa charakteryzuje się spadkiem naprężeń normalnych jak i stycznych.

Dla wyznaczenia wielkości naprężeń w dowolnej odległości pod środkiem filara w płaszczyźnie pionowej (Z) lub poziomych równoległych do x można się posłużyć wykresami rys. 15 i rys. 16. Wykres 16 wykonany został dla linii $M_1 - M_1$

Na wykresach odległości wyrażone są w jednostkach równych szerokości filaru. Naprężenia σ wyrażone są odpowiednio w ułamkach wartości ciśnienia na resztkę p.

Zgodnie z zasadą Saint Venanta można dla większych odległości ($Z \geqslant 1.5 \times 2l$) oddziaływanie filaru na półpłaszczyznę zastąpić siłą skupioną $P = 2l.p$.

Wtedy przy $\sigma_x = 0$ i $\tau = 0$ naprężenia na osi Z przyjmują wartości

$$\sigma_z = \frac{4pl}{\pi_z}$$

Badających zagadnienia tąpań interesuje zasięg pozostawionej resztki, czyli odległość (z), przy której praktycznie na-

prężenia p spadną do wartości p_z. Z wykresu rys. 15, mając znane p_z i ciśnienie na resztce p, ustalamy stosunek $\frac{p_z}{p}$ i wyznaczamy dla niego odległość z wyrażoną w jednostkach szerokości filaru. Gdy ciśnienie p, jest znacznie większe od p_z możemy posługiwać się zależnością

$$z_m = \frac{4p \cdot l}{\pi \cdot p_z}$$

Np. $\frac{p}{p_z} \cong 3$ (jak w przykładzie podanym w przyczynie 6), a $2l = 150$ m, wtedy

$$z_m = \frac{4 \cdot 3 \cdot l}{\pi} = 41$$

więc zasięg wpływu pozostawionego filara wynosi w głąb podwójną odległość jego szerokości tj. 300 m.

Wyobraźmy sobie szeroki front w pokładzie zalegającym również pod niewybranym filarem górnego pokładu rys. 14.
Front ten przesuwa się pod wybranym górnego pokładu w stronę pozostawionego filara w górnym pokładzie.
W wystarczającej odległości od filara, w rzucie poziomym na wybierany pokład będzie działać ciśnienie:

$$p'_z = -(p_z + \gamma \cdot h')$$

gdzie:

h' - odległość między pokładami,

γ - ciężar objętościowy skał.

Przy dalszym zbliżaniu się frontu do filara ciśnienie na spąg górnego pokładu $p \rightarrow 0$ i wartość tę osiąga przy krawędzi

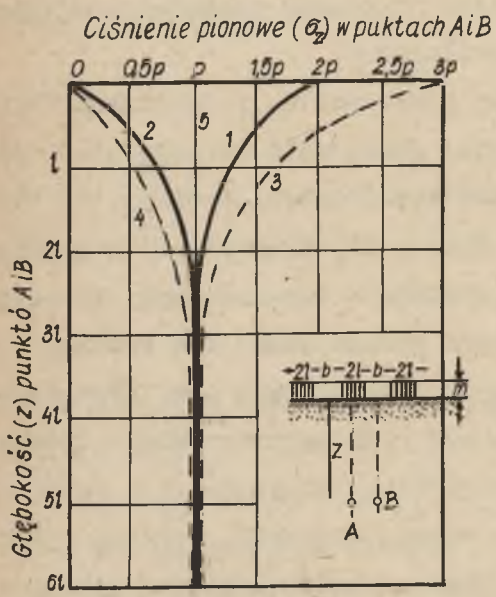
filara. Na dolny pokład działa ciśnienie $(p_z \rightarrow 0)+\gamma.h'$ a przed jego frontem wędruje własna zmienna i malejąca strefa ciśnienia eksploatacyjnego. Jednak na dolny pokład nie będzie mogło działać tylko ciśnienie $\gamma - h\&$, bo front zacznie wchodzić w strefę zwiększających się ciśnień na skutek wgłębnego oddziaływania filara obciążonego ciśnieniem p.

Im mniejsza odległość między pokładami h' i im większe ciśnienie p_z, tym większe i bardziej gwałtownie wzrastające będzie ciśnienie przed posuwającym się frontem. A wiemy, że ciśnienie p zależy od szerokości filara 2l, długości 2L i ciśnienia pierwotnego p_z. W pewnych warunkach tąpania mogą wystąpić wprost w zabierkach lub ubierkach posuwającego się frontu, a jeszcze łatwiej w robotach korytarzowych przed nim. (Przyczyna 4 i przyczyna 7 łącznie). Wielkość ciśnienia na dolny pokład zależna jest również od wytrzymałości, sztywności i grubości warstwy h'. Warstwa ta wytwarza własny wspornik, którego długość wpływa na szerokość i wielkość strefy eksploatacyjnej.

Z praktyki wiemy, że częstsze i gwałtowniejsze tąpnięcia pod niewybranymi resztkami mają miejsce w przypadkach stropu (h') piaskowcowego lub łupkowo-piaskowcowego, rzadziej przy stropie elastycznych łupków.
Jednakowoż i przy takim stropie w opisanych warunkach i na dużych głębokościach występują w strefie resztki filara tąpania.

Jeżeli między dwoma pokładami górnym, nawet czysto wybranym i dolnym wybieranym znajduje się soczewka skał o bardzo dużej wytrzymałości np. konglomeratów, to wtedy soczewka taka gromadzi ciśnienia na swojej powierzchni i działa w rezultacie jak niewybrana resztka na dolny pokład pod nią wybierany, powodując ciężkie tąpnięcia, tym niebezpieczniejsze, że nie dające się przewidzieć.

Zachodzi pytanie jak głębokie jest oddziaływanie na dolny pokład filarów przy częściowym wybieraniu pokładu pasami? Na rys. 17 sporządzony jest wykres naprężeń pionowych σ_z pod pokładem wybranym pasami. Obliczenia do wykresu wykonano na podstawie wzorów podanych poprzednio. Krzywe powodują naprężenia pod środkami filarów (A) oraz pod środkami pasów wybranych (B) przy stosunku 2l: b=1:1 (50% straty wybierania). Jak wynika z wykresu już na niewielkiej głębokości wyrównują się naprężenia w punktach A i B, a więc zanika wpływ pozostawionych pasów.



Rys. 17. Wykres naprężeń pionowych σ_z pod pokładem wybranym pasami

1 - w punkcie A przy 2l:b=1:1
2 - w punkcie B przy 2l:b=1:1
3 - w punkcie A przy 2l:b=1:2
4 - w punkcie B przy 2l=b=1:2
5 - w skałach nienaruszonych wg Budryka

Można przyjąć za granicę wpływów odległość równą 1.5 szerokości filarów przy 50% eksploatacji i 2-2.5 szerokości filarów przy 33% strat Np. przy odległości 60 m między pokładami wpływ górnego pokładu wybieranego pasami nie będzie się zaznaczał na pokład dolny, jeżeli szerokość pozostawionych filarów nie przekroczy 40 m (dla 2l:b=1:1), względnie 24-30 m (dla 2l:b=1:2).

Przy większej szerokości filarów pokład dolny objęty będzie strefami wzmożonych ciśnień pod filarami oraz strefami poślizgów i spękań pod wybranymi pasami.

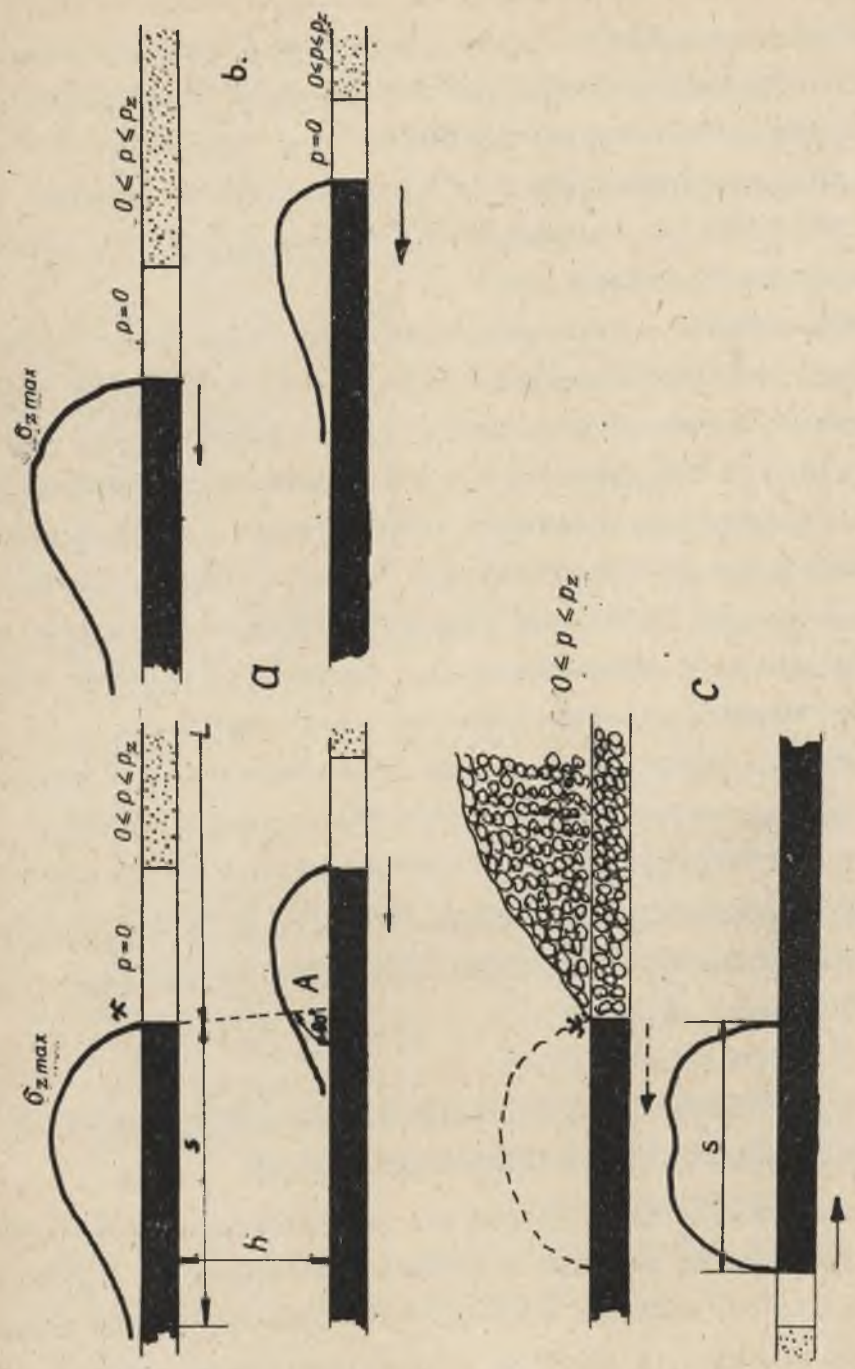
Dotychczas rozważaliśmy oddziaływanie resztek w postaci filarów przyjmując do teoretycznych rozważań ich znaczną długość w stosunku do szerokości 2l.

Znacznie mocniejsze jest oddziaływanie na dolny pokład prawdziwej wyspy zostawionej w górnym pokładzie i otoczonej ze wszystkich stron starymi zrobami. Wyspa taka przypomina słup, kolumnę, na której oparty jest strop o sklepieniu otaczającym wyspę. W takich przypadkach obliczając oddziaływanie i przyjmując "średnią" wyspy jako 2l powiększyć należy obliczone ciśnienie stosując mnożnik 1.25-1.35. Pozostawiona wyspa oddziaływa tak potężnie na dolny pokład, powodując tąpania, że na wielu kopalniach wybieranie w obrębie wyspy musi być zatrzymane.

Na wielu kopalniach, na planach można zauważyć niewybrane wyspy zalegające bezpośrednio jedna nad drugą w pokładach, z napisem "eksploatacja zatrzymana ze względu na silne tąpania". Z wszystkich dotychczas poznanych przyczyn, wywołujących tąpania przyczyna siódma nieczystego wybierania w skutkach jest najgroźniejsza.

8. Wzrost naprężeń na skutek zbliżania się frontu wybierania do krawędzi wybierania sąsiedniego pokładu

Pokład sąsiadujący może być nad lub pod pokładem wybieranym. Sąsiadujący pokład może być w trakcie wybierania lub wybieranie może się nie odbywać. Eksploatacja w pokładzie może się odbywać pod wybranym, w kierunku calizny sąsiedniego pokładu lub odwrotnie, pod calizną w kierunku wybranego w sąsiednim pokładzie rys. 18.



Rys. 18. Wybieranie pod krawędziami

W celu obliczenia zasięgu oddziaływania krawędzi frontu sąsiadującego pokładu na pokład wybierany posługujemy się wzorem

$$z_m = \frac{2\sigma_{z\ max} \cdot s}{\pi p_z}$$

gdzie:

s - jest szerokością strefy eksploatacji w pokładzie sąsiadującym,

$\sigma_{z\ max}$ - maksymalną wielkością ciśnienia w tej strefie.

Np. $\frac{\sigma_z}{p_z} = 3$ $s = 80$ m

wtedy $z_m = 160$ m

W pewnych przypadkach oddziaływanie krawędzi lub wyspy zaznacza się do 200 m.

Niektórzy przyjmują do obliczeń σ_z - średnią wartość naprężenia w strefie eksploatacyjnej.

Inni badacze sądzą, że obszar wpływu strefy zwiększonych ciśnień rozszerza się w dół pod kątem 45°.

Z moich obserwacji wynika, że do odległości między pokładami $h' \sim 30$ m, oddziaływanie krawędzi jest prawie pionowe, przy większych odległościach kąt rozszerzania się strefy wynosi 60°-70°. W ogóle ze wzrostem odległości ostre oddziaływanie krawędzi zaciera się. Im mniejsza odległość między pokładami, tym bardziej zaznaczy się nagły wzrost ciśnienia w przyfrontowej strefie wybieranego pokładu. Przy dużej prędkości frontu energia sprężysta nie zdąży się rozproszyć i może nastąpić tąpnięcie na linii frontu lub przed nią w robotach przygotowawczych.

Na rys. 18 a uwidoczniono przykład zbliżania się frontu do zatrzymanej krawędzi w górnym pokładzie. W odległości L od krawędzi (por. rys. 14) ciśnienie pod wybranym w górnym pokładzie na dolny pokład będzie wynosić $p_z = -(p_2+\gamma.h)$. Podobnie jak przy siódmej przyczynie, przy dalszym zbliżaniu się frontu ciśnienie na spąg górnego pokładu $p \rightarrow 0$ i wartość tę osiąga na krawędzi. Na dolny pokład działa ciśnienie $(p \rightarrow 0)+\gamma.h'$, a przed jego frontem wędruje własna strefa ciśnienia eksploatacyjnego zależna od h.

Przy dojściu frontu do punktu A następuje nagły wzrost ciśnienia. Stopień nagłości wzrostu ciśnienia zależny jest również od głębokości strefy spękań na zatrzymanym froncie. Im strefa spękań płytsza, węgiel bardziej wytrzymały, prędkość frontu w wybieranym pokładzie większa tym i niebezpieczeństwo tąpnięcia większe. Największe niebezpieczeństwo byłoby w przypadku gdyby oba fronty były w ruchu i to w jednym kierunku, a górny front wyprzedził dolny. Naturalnie takie przypadki w nowoczesnym górnictwie chyba się nie zdarzają!

Można tak dobrać poziome odległości wędrujących frontów w obu przykładach, by pokład niższy był w strefie ciśnienia mniejszego niż p_z, Rys. 18 np. w przypadku bardzo tąpliwego dolnego pokładu. Odwrotnie, dolny front może wyprzedzać górny o odpowiednią odległość i wtedy w górnym pokładzie będziemy mieli mniejsze ciśnienia: w przypadku bardziej tąpliwego górnego pokładu.

Ponieważ w górotworze działa siła ciężkości, wpływ eksploatacji pokładu sięga w górę na większą odległość niż w dół. Najbardziej niebezpieczne warunki powstają w przypadku zbliżania się frontu dolnego pokładu pod calizną górnego pokładu do jego krawędzi rys. 18c.

W tym przypadku warunki wybierania stają się podobne jak przy wybieraniu resztki (przyczyna 7). Strefa S zmniejsza się, a ciśnienie p między oba frontami rośnie.
Na ogół, w praktyce, mniejszą zwraca się uwagę i to niesłusznie na ten przypadek wybierania niż w przypadku, gdy dolny front zbliża się pod caliznę górnego pokładu.
Reasumując zagadnienia przyczyny ósmej powstawania tąpań dochodzimy do wniosku, że w danym przypadku nie powinny fronty wybierania leżeć pionowo nad sobą, ani też się krzyżować.

Na zakończenie chciałbym jak najdobitniej podkreślić, że nie należy utożsamiać odległości działania odprężania pokładu przez wybieranie sąsiadującego pokładu z odległością działania krawędzi.
Krawędź może niebezpiecznie działać nawet do 200 m, gdy tymczasem działanie odprężające nie przekracza 40-70 m.

LITERATURA

[1] Jacobi: Der Druck auf Flöz und Versatz. Glückauf 1960 Heft 7.

[2] Kowalczyk Z.: Wyniki badań przesunięć pionowych na terenie południowej części niecki górnośląskiej (rękopis).

[3] Krupiński B.: Badania nad urabialnością węgla na G/Śl. i D/Śl. Zagłębiu Węglowym. GIG Komunikat nr 118 Katowice.

[4] Krupiński B.: Linie najmniejszego oporu w złożu węglowym. P.Górn.-Hutn. 1932 r.

[5] Parysiewicz W.: Wstrząsy i tąpania w kopalniach węgla kamiennego. WP Czytelnik Wrocław 1950 r.

[6] Parysiewicz W.: Tąpania w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym Kopalnia B. Praca zbiorowa Red. A. Smolarski. PWT GIG Komunikat nr 145. Katowice 1953 r.

[7] Parysiewicz W.: Technika bezpieczeństwa w górnictwie. Rozdział XII. Walka z obrywaniem się węgla i skał płonnych. Praca zbiorowa Red. B. Krupiński. Górn. T. 18 PWT Katowice 1953 r.

[8] Parysiewicz W.: Odbudowa grubych pokładów o małym kącie nachylenia systemem warstw przekątnych. Przegląd górniczy nr 11. Katowice 1947 r.

[9] Parysiewicz W., Ciszak E.: Rozważania nad zagadnieniem ustalania wielkości pól eksploatacyjnych w pokładach grubych, łatwo samozapalnych i skłonnych do tąpań. Biuletyn Biur Projektów PW Nr 2. 1960 r.

[10] Parysiewicz W.: Okresowe i seryjne tąpania. Przegląd Górniczy Nr 11, Katowice 1951 r.

[11] Parysiewicz W.: Wpływ podsadzki na ciśnienie i tąpania w wyrobiskach górniczych. Przegląd Górniczy Nr 10. Katowice 1953 r.

[12] Parysiewicz W., Cudzik Wł.: Główne zasady odnośnie projektowania, udostępniania i eksploatowania pokładów w warunkach tąpiących. Stow. Inż. i Techników Górnictwa Katowice 1963 r.

ПРИЧИНЫ ГОРНЫХ УДАРОВ

Р е з ю м е

В статье автор приводит систематику причин горных ударов подразделяя эти причины на естественные и вызванные горной эксплуатацией. Анализируя отдельные причины горных ударов, автор одновременно описывает принципы ведения эксплуатации для их избежания.

THE REASONS OF CRUMPS

S u m m a r y

In the article the systematic division of crumps reasons is made. All the causes are divided into natural reasons and these trought about underground working. Analyseing the separate reasons of crumps, auther points simultaneously the ways of mining for their eliminate.