

**ZESZYTY
NAUKOWE
POLITECHNIKI
ŚLĄSKIEJ**



GÓRNICTWO

**Z. 101
GLIWICE
1980**

POLITECHNIKA ŚLĄSKA

ZESZYTY NAUKOWE

Nr 610

MIROSŁAW CHUDEK

JERZY ARKUSZEWSKI

WŁODZIMIERZ OLASZOWSKI

**DEFORMACJE NIECIĄGŁE
W OBSZARACH GÓRNICZYCH**

PL ISSN 0372-9508

GLIWICE

1980

OPINIODAWCA

Doc. dr hab. inż. Kazimierz Podgórski

REDAKTOR NACZELNY WYDAWNICTW UCZELNIANYCH
POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

Jan Bandrowski

REDAKTOR DZIAŁU

Mirosław Chudek

SEKRETARZ REDAKCJI

Wojciech Mikołajków

OPRACOWANIE REDAKCYJNE

Kazimiera Rymarz

Wydano za zgodą
Rektora Politechniki Śląskiej

Dział Wydawnictw Politechniki Śląskiej
Gliwice, ul. Kujawska 2

Nakł. 300+50 Ark. wyd. 8,17 Ark. druk, 7,62 Papier offsetowy kl. V. 70x100, 70 g
Oddano do druku 7.02.1980 Podpis. do druku 3.05.1980 Druk ukończ. w sierpniu 1980
Zam. 203/80 S-24 Cena zł 20,-

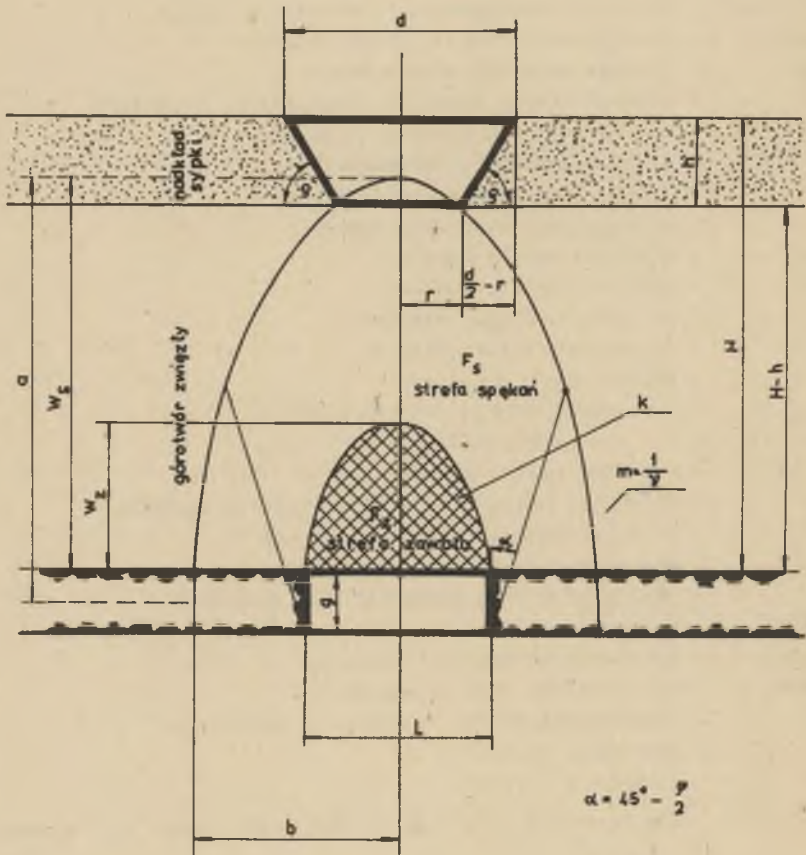
Skład, fotokopie, druk i oprawę
wykonano w Zakładzie Graficznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach

SPIS TREŚCI

	Str
WAŻNIEJSZE OZNACZENIA	5
1. WSTĘP	7
2. IDENTYFIKACJA DEFORMACJI NIECIĄGŁYCH - ZAPADLISK - POWSTAJĄCYCH W OBSZARACH DAWNEJ I PŁYTKIEJ EKSPLOATACJI GÓRNICZEJ	10
2.1. Przyczyny powstawania zapadlisk	10
2.2. Przebieg tworzenia się zapadlisk na powierzchni	14
3. WARUNKI WYSTĘPOWANIA ZAPADLISK W TERENIE	17
3.1. Charakterystyka górniczo-geologiczna rejonów zapadliskowych	18
3.2. Model górotworu podatnego na zapadliska	29
4. OCENA WPŁYWU CZYNNIKÓW NATURALNO-GÓRNICZYCH GÓROTWORU ORAZ CZASU NA PROCES TWORZENIA SIĘ ZAPADLISK	38
5. BADANIA MODELOWE	63
6. OPIS PROCESU POWSTAWANIA ZAPADLISK	90
6.1. Przebieg tworzenia się strefy zawału nad wyrobiskiem	90
6.2. Określenie zasięgu strefy spękań w górotworze	93
7. WYTYCZNE DLA PROGNOZOWANIA ZAPADLISK NA POWIERZCHNI	101
7.1. Prawdopodobieństwo powstawania zapadlisk	101
7.2. Zagęszczenie zapadlisk w terenie	110
7.3. Spodziewane wymiary zapadliska	110
8. PRAKTYCZNA METODA PROGNOZOWANIA I KLASYFIKACJI TERENÓW ZAPADLI- SKOWYCH	112
STRESZCZENIA	119

WYKAZ WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ STOSOWANYCH W PRACY

$d(m)$	- maksymalna średnica zapadliska
$n(\text{szt})$	- liczba zapadlisk
$t(\text{lata})$	- czas od powstania pustki w górotworze do wystąpienia zapadliska
$W_n(\text{szt}/\text{km}^2)$	- wskaźnik zagęszczenia deformacji nieciągłych
$N/\text{szt}(\text{rok})$	- natężenie występowania zapadlisk w czasie
$S(\text{km}^2)$	- powierzchnia obciążenia zapadliskowego
$h(m)$	- grubość nakładu skał sypkich
$r(m)$	- promień otworu (okna) w stropie skał zwięzłych
$\varphi(^{\circ})$	- kąt naturalnego stoku skał sypkich
$H - h(m)$	- grubość górotworu zwięzłego
k	- współczynnik rozluźnienia skał
K	- współczynnik wysokości zawału
$W_z(m)$	- wysokość strefy zawału
$W_s(m)$	- wysokość strefy spękań
$a(m)$	- oś pionowa elipsy cieniń
$b(m)$	- oś pozioma elipsy cieniń
ν	- współczynnik Poissona
$m = \frac{1}{\nu}$	- odwrotność współczynnika Poissona
$\varphi(^{\circ})$	- kąt wewnętrzny tarcia
$M = \frac{a}{b}$	- stosunek półosi elipsy
$H(m)$	- głębokość eksploatacji, występowania wyrobiska
$g(m)$	- grubość pokładu (wysokość pustki)
$L(m)$	- szerokość wyrobiska (pustki)
$O(m)$	- odległość między pokładami (aktywizacja)
$R_r(\text{MPa})$	- wytrzymałość skał na rozrywanie
$R_c(\text{MPa})$	- wytrzymałość skał na ściskanie
$R_z(\text{MPa})$	- wytrzymałość skał na zginanie
P	- prawdopodobieństwo wystąpienia zapadlisk
P_z	- ciśnienie pionowe
P_x	- ciśnienie boczne
$Z = \frac{H - h}{g}$	- wielokrotność grubości pokładu mieszcząca się w górotworze zwięzłym.



Oznaczenia stosowane w pracy

1. WSTĘP

Eksploatacja górnicza minerałów użytecznych wywołuje zmiany w naturalnym środowisku człowieka oraz powoduje zachwianie istniejącej w górotworze równowagi. Zależnie od czynników naturalno-górnicznych górotworu i jego własności zmiany te przenoszą się na powierzchnię z różną prędkością i wywołują ujemne skutki, zwane powszechnie szkodami górnicznymi. Obok deformacji terenu wywołanych ruchami górotworu bardzo istotne są zmiany w stosunkach wodnych powierzchni i górotworu oraz inne niekorzystne zjawiska. Wyjątkowo szkodliwymi deformacjami górnicznymi na powierzchni i w górotworze są zapadliska, eliminujące tereny z gospodarczego użytkowania bądź ograniczające ich użytkowanie.

Deformacjami nieciągłymi - zapadliskami terenu przyjęto ogólnie nazywać te deformacje powierzchni, które związane są z przemieszczeniem pewnej objętości przypowierzchniowych skał do pustek pozostających w górotworze po wyrobiskach górnicznych.

Ruch luźnego nadkładu może odbywać się na skutek bezpośredniego wsypywania się do pustki materiału skalnego bądź też spływu drobnych cząstek wraz z wodą do wyrobisk górnicznych poprzez szczeliny i spękania górotworu, tj. procesu zachodzącego w wyniku sufozji mechanicznej. Zjawiska te występują w górotworze zawadzionym, w którym istnieją połączenia hydrauliczne wyrobisk z powierzchnią terenu i mogą być przyczyną tworzenia się tzw. pustek wtórnych. Opisane zjawiska bywają często związane z wpływami wodno-krzawkowymi do wyrobisk.

Spękany lecz osuszony górotwór, względnie zawierający naturalne warstwy hydroizolujące, jest bezpieczny i niepodatny na tworzenie się zapadlisk.

Charakterystyczną cechą deformacji nieciągłych, a zapadlisk terenu w szczególności, jest ich lokalny zasięg i związenie z eksploatacją płytką, prowadzoną do głębokości około 80 metrów od powierzchni, a w wyjątkowo sprzyjających warunkach nawet kilkadziesiąt metrów poniżej tej głębokości.

Rysunek 1 przedstawia fragment GOP z zaznaczeniem rejonów o szczególnej intensywności występowania deformacji nieciągłych. Zwraca się uwagę, iż są to właśnie tereny znajdujące się pod wpływem wyrobisk po płytkiej eksploatacji złóż węgla oraz rud cynku i ołowiu.

Zapadliska jak i pozostałe deformacje nieciągłe występują również w innych rejonach górnicznych, np. Olkuskiego Zagłębia Rud Cynkowo-Ołowiowych w rejonach eksploatacji złóż soli i innych kopalń.

Ponadto jedną z najistotniejszych cech, zwłaszcza zapadlisk jest to, że występują one z dużym opóźnieniem w stosunku do czasu wykonania wyrobiska



Rys. 1. Rejony o szczególnym nasileniu występowania zapadlisk w GOP

oraz że występowanie ich jest możliwe bądź prawdopodobne, co zdecydowanie je różni od deformacji ciągłych terenu związanych z typową niecką górniczą. Może to być bowiem eksploatacja planowa lub tzw. "dzika" czy "bieda-szybami", pochodzącymi sprzed kilkunastu, kilkudziesięciu lub nawet stukilkudziesięciu lat, stanowiąca zaszczości eksploatacyjne.

Oczywiście taka eksploatacja mogła być prowadzona w określonych warunkach społeczno-prawnych i aktualnie w obszarze G, Z, W, eksploatacji takiej nie prowadzi się, gdyż jest ona niezgodna z przepisami i techniką górniczą.

Problem zapadlisk dotyczy więc głównie eksploatacji dawnej i sprowadza się do zagadnień prognozowania, wyznaczania i określania deformacji. Nie dotyczy natomiast zagadnień projektowania eksploatacji górniczej, bezpiecznej ze względu na deformacje nieciągłe terenu, a który to problem jest przedmiotem szczegółowych analiz i badań w odniesieniu do ciągłych deformacji terenu.

Naukowa problematyka deformacji nieciągłych jest bogata i rozległa lecz jeszcze dzisiaj w niepełnym zakresie rozpoznana.

Do niedawna bowiem tereny zapadliskowe uważano za całkowite nieużytki, nieprzydatne dla celów gospodarczych, a powstające zapadliska jako zdarzenia losowe lub przypadkowe, często zagrażające powierzchni i ludności, starano się eliminować i likwidować.

Podobną profilaktykę w odniesieniu do terenów zapadliskowych stosuje się obecnie w innych krajach górniczych, w których obszary zapadliskowe wygradza się z otoczenia i stawia tablice informacyjne o zakazie wstępu na zagrożony teren.

Ważnym elementem profilaktyki przeciwzapadliskowej jest właściwa w danych warunkach waga problemu, który zarówno nie powinien być przeceniony

jak też niedoceniony, zwłaszcza gdy chodzi o bezpieczeństwo i zagrożenie ludzkie. Z tego powodu w prognozowaniu i profilaktyce zapadliskowej niesłychanie istotne jest doświadczenie oraz umiejętne wiązanie przesłanek, czy też wykorzystywanie wszelkich nawet najdrobniejszych faktów.

Aktualnie zagadnienia zapadlisk są wśród deformacji nieciągłych dobrze i miarodajnie rozpoznane. Deformacje tego typu zostały zinwentaryzowane w obszarze GOP oraz opracowano metody prognozowania ich dla większości rejonów zapadliskowych z wystarczającą dla praktyki ścisłością. W chwili obecnej chodzi o to, aby metody te znalazły zastosowanie i były wykorzystywane w pracach projektowych.

Dalszego natomiast pogłębienia wymagają prace zmierzające do znajdowania najefektywniejszych metod i środków walki z zapadliskami i ich skutkami, jak też rekultywowaniem terenów zapadliskowych.

2. IDENTYFIKACJA DEFORMACJI NIECIĄGŁYCH - ZAPADLISK - POWSTAJĄCYCH W OBSZARACH DAWNEJ I PŁYTKIEJ EKSPLOATACJI GÓRNICZEJ

Zapadliska, które powstały w rejonach górniczych Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego są związane z eksploatacją węgla kamiennego oraz rud cynku i ołowiu. Eksploatacja w tym rejonie trwa już prawie 200 lat.

Największe natężenie deformacji nieciągłych występuje w obszarach miast: Bytom, Chorzów, Czeladź, Będzin, Dąbrowa Górnicza, Mysłowice, Jaworzno i Sosnowiec.

Ponadto znane są deformacje nieciągłe powierzchni w Okręgu Olkuskim, powstałe w wyniku eksploatacji rud cynkowo-ołowiowych oraz w Starachowicach powstałe w wyniku dawnej eksploatacji rud miedzi i innych.

Każdy z wyżej wymienionych rejonów charakteryzuje się właściwymi warunkami górniczo-geologicznymi i w każdym z nich przebieg tworzenia się deformacji nieciągłych jest odmienny. I tak przykładowo, w warunkach kopalń rud cynkowo-ołowiowych Okręgu Olkuskiego istnieje wraz z rosnącą głębokością eksploatacji przejście od deformacji nieciągłych powierzchniowych w postaci lejów, dzwonów, kominów, do progów, szczelin oraz deformacji ciągłych.

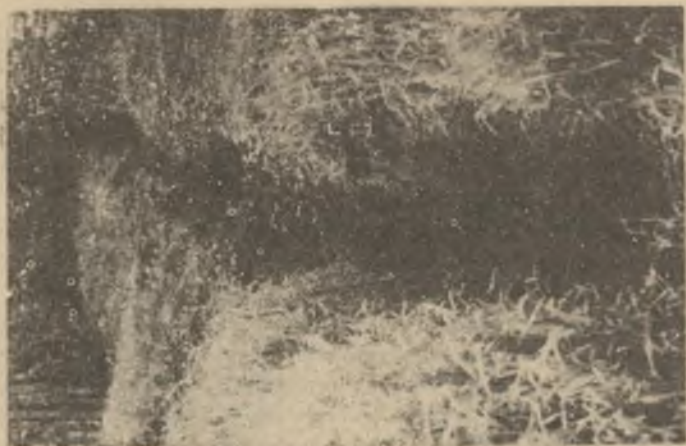
Natomiast w warunkach obszaru GOP - deformacje nieciągłe występują na ściśle określonych terenach i nie wykazują związku z deformacjami ciągłymi.

Przykłady powstania deformacji nieciągłych przedstawiają kolejno rysunki 2, 3, 4 i 5.

2.1. Przyczyny powstawania zapadlisk

Inwentaryzacja rejonów objętych występowaniem zapadlisk wykazała, że rejonami zagrożonymi są obszary górotworu położone w zasięgu pustek po wyrobiskach górniczych (chodnikach, zabierkach, komorach, przekopach, szybach) położonych do głębokości około 80 metrów, a rzadko 120 metrów i zlokalizowanych w górotworze odznaczającym się: kruchością, szczelinowatością, porowatością właściwą dla łupków, zwietrzałych piaskowców, wapieni i dolomitów.

Nadkład dochodzi do około 40-metrowej grubości i zbudowany jest ze skał luźnych, nasiąkliwych, przepuszczających wodę, lecz pozbawiony skał plastycznych - ilastych.



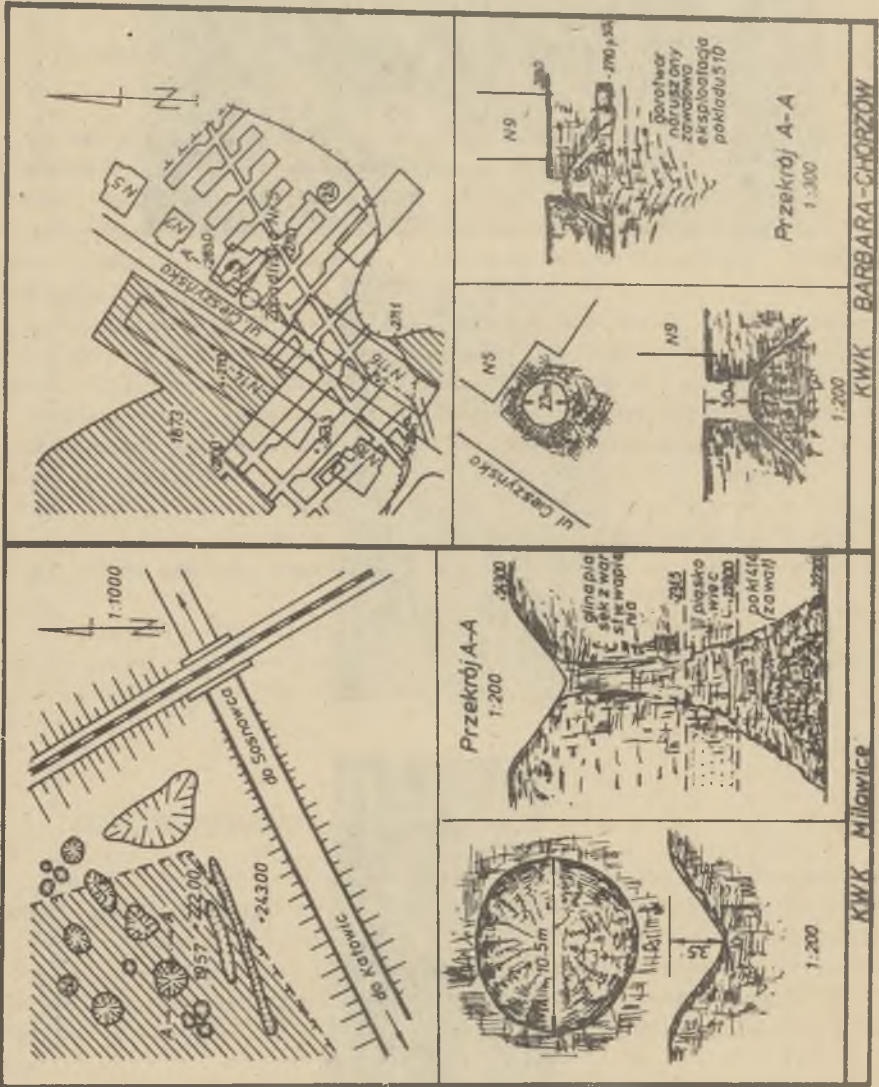
Rys. 4. Deformacja nieciągłe tere-
nu w kształcie szczeliny



Rys. 3. Deformacje nieciągłe w
kształcie lejki



Rys. 2. Teren zepedliskowy przy
KWK "Piłowice"



Rys. 5. Przykłady zapadisk terenu, wywołanych płytką eksploatacją górniczą

Warunkiem powstania na powierzchni zapadliak jest również dostateczna pojemność pustek po wyrzbiakach, tak aby mogły one pomieścić przemieszczający się materiał skalny z warstw przypowierzchniowych.

Niezależnie od powyższego, w rejonach krawędzi eksploatacji, wychodni uskoków itp. dyslokacji istnieje możliwość tworzenia się deformacji nieciągłych na powierzchni przy głębokości zalegania wyrobisk (pustek) nawet do 150 i więcej metrów. Stwierdzono bowiem kilka przypadków powstania na powierzchni lejów zapadliakowych, których przyczyną były wyrobiska zlokalizowane na większych głębokościach, lecz związane one były z wpływami wodno-kurzawkowymi bądź oddziaływaniem na powierzchnię wtórnych pustek.

Kolejnym ważnym czynnikiem decydującym o wielkości i zasięgu deformacji nieciągłej jest położenie pustki względem spęgu nadkładu, własności warstw, powierzchnia i objętość samych pustek, natomiast w przypadku chodników, zabierek i komór - ich szerokość. Ruchy terenu w czasie tworzenia się na powierzchni deformacji nieciągłych przebiegają stosunkowo szybko.

Na podstawie obserwacji obwarów zagrożonych zapadliakami oraz analizy powstawania można ustalić bezpośrednie przyczyny ich tworzenia się na powierzchni. Są nimi:

- eksploatacja z zawałem stropu złóż zalegających na małej głębokości,
- reaktywacja starych, płytko zalegających zrobów zachodząca pod wpływem różnych czynników, np.: odwodnienia, obciążenia dynamicznego powierzchni, robót górniczych w głębszych partiach górotworu, wstrząsów spowodowanych tąpniętami itp.,
- aktywizacja częściowo zlikwidowanych lub niezlikwidowanych szybów i bieżaszybów,
- roboty górnicze w strefach zawodnionych uskoków lub przebicie wyrobiska do spęgu zawodnionych utworów w nadkładzie,
- pożary w resztkach pokładów zalegających na małej głębokości,
- pokrywające się granice eksploatacyjne w kilku pokładach,
- eksploatacja w sąsiedztwie uskoków, powodująca rozwarcie ich szczelin,
- eksploatacja wychodni pokładów lub przebicie wychodni wyrobiskami pod luźnym, a zwłaszcza zawodnionym nadkładem,
- aktywizacja wtórnych pustek w górotworze, powstałych w wyniku sufozji i innych procesów.

Procentowe zestawienie udziału poszczególnych przyczyn w ogólnej ilości zapadliak zawiera tablica 1.

W przypadkach wątpliwych lub wieloznacznych za podstawę zaliczenia deformacji do danej grupy przyjęto przyczynę najprawdopodobniej decydującą. Największe zagrożenia powierzchni powodują więc: eksploatacja z zawałem stropu płytko zalegających złóż i reaktywacja zrobów po tej eksploatacji. Te dwie przyczyny były powodem powstania ponad 80% deformacji nieciągłych.

Pozostałe przyczyny wywołują tylko niewielką liczbę, lecz w niektórych rejonach są one dominujące lub jedyne.

Przyczyny powstawania zapadłisk terenu

Przyczyny powstawania deformacji nieciągłych	Udział w ogólnej ilości %
Eksploatacja z zawałem stropu płytko zalegających pokładów	67,6
Reaktywacja starych, płytko zalegających zrobów wskutek różnych przyczyn	13,2
Aktywizacja niezlikwidowanych szybów i biedaszynów	4,9
Roboty górnicze w strefach zawodnionych uskoków	1,6
Pożary w resztkach pokładów zalegających na małej głębokości	8,2
Pokrywające się granicę (krawędzie) eksploatacji w kilku pokładach	3,7
Eksploatacja w sąsiedztwie uskoków wpływająca na otwarcie ich szczelin	0,8

2.2. Przebieg tworzenia się zapadłisk na powierzchni

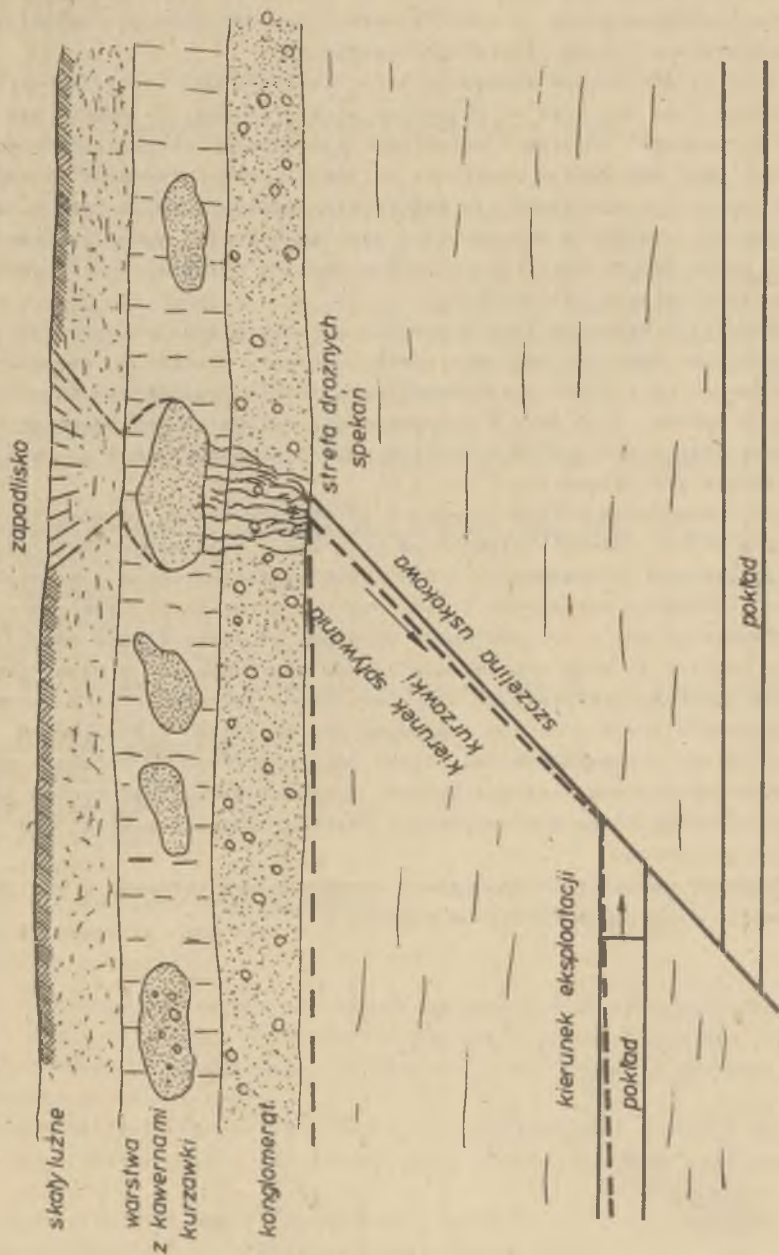
Warunkiem wystąpienia zapadłiska na powierzchni jest istnienie i obwał pustki w górotworze oraz dojście strefy spękań do spągu nadkładu skał sypkich lub zwietrzeliney skał zwięzłych. Sam zawał pustki przebiega w górotworze gwałtownie, a moment jego wystąpienia jest trudny do przewidzenia.

Natomiast procesy poprzedzające zjawisko mogą trwać od kilku godzin do kilkudziesięciu i więcej lat od chwili powstania pustki w górotworze. W górotworze podatnym na zapadłiska można wyróżnić nad pustką dwie zasadnicze strefy o wyraźnie zróżnicowanych właściwościach fizykomechanicznych, a mianowicie:

- górotwór zasadniczy - złożony z warstw zwięzłych, zdolnych do przenoszenia naprężeń (piaskowce, łupki, łupki piaszczyste),
- nadkład, złożony z warstw luźnych, kruchych lub plastycznych, niezdolnych do przenoszenia naprężeń (piaski, żwiry, glina, zwietrzelina itp.).

Proces deformowania się takiego górotworu, prowadzący do powstania zapadłiska, można opisać następująco:

w górotworze nad wyrobiskiem górniczym (pustką pierwotną) tworzy się sklepienie ciśnień, którego wysokość zależy od szerokości wyrobiska oraz własności skał. Materiał skalny, zawarty we wnętrzu sklepienia ciśnień ulega spękanii, a następnie rozkruszeniu i opada do pustki pierwotnej, tworząc strefę zawału. Wskutek rozkruszenia materiał skalny powiększa swoją objętość w stopniu zależnym od współczynnika rozluźnienia skał. Proces ten powoduje przemieszczenie się pustki pierwotnej ku powierzchni, przy czym pust-



Rys. 6. Zapadlisko wywołane spływem kurzawki do wyrobisk

ka zmniejsza swoją objętość. Powstaje pustka wtórna. Jeżeli miąższość górotworu związłego jest odpowiednio duża, to pustka wtórna może ulec całkowitemu samopodsadzeniu. W tym przypadku brak warunków do wytworzenia się na powierzchni terenu deformacji nieciągłych.

Ponad strefą zawału występuje strefa spękań. Jeżeli miąższość górotworu związłego jest mniejsza od wysokości strefy spękań, to pustka wtórna ujawni się w stropie górotworu związłego, powodując przemieszczenie się do niej sypkich skał nadkładu i powstanie na powierzchni deformacji nieciągłej.

W praktyce stwierdzono, że deformacje nieciągłe powierzchni ziemi mogą występować w terenach położonych w zasięgu wyrobisk wykonywanych do głębokości około 120 m. Wyrobiska położone poniżej tej głębokości rzadko wywołują zapadliska na powierzchni.

Czynnikiem aktywizującym w wysokim stopniu procesy deformacyjne jest zawodnienie górotworu przez wody powierzchniowe, opadowe czy głębinowe. Obecność bowiem wody ułatwia i przyspiesza przemieszczanie się materiału skalnego do pustek. Woda jest w tym przypadku medium transportującym drobne okruchy oraz czynnikiem wywołującym zmiany własności skał - najczęściej osłabienie ich zwięzłości.

Intensywność działania wody w górotworze zależy od stopnia zawodnienia i może być zmienne zależnie od pory roku. Obserwacje wykazały wysoką współzależność intensywności i wielkości powstających na powierzchni zapadlisk w okresach wiosennych i jesiennych opadów. Suche lata oraz mroźne zimy odznaczają się w tym przypadku wyraźnym spadkiem ilości zapadlisk.

Ze względu na wagę zagadnienia zwraca się uwagę na groźne zjawisko wpływów wodno-kurzawkowych do wyrobisk, które jak stwierdzono prowadzą do bardzo gwałtownych procesów tworzenia się zapadlisk o rozmiarach największych. W warunkach takich zapadliska mogą powstawać od wyrobisk położonych w znacznych poziomych odległościach. Wysoka intensywność ruchów jest związana z podciśnieniem występującym w pustkach podczas spływu wód w niższe partie górotworu.

Przykład powstania zapadliska w wyniku spływu kurzawki przez udroźnioną szczelinę uskokową przedstawia rys. 6.

3. WARUNKI WYSTĘPOWANIA ZAPADLIŚK W TERENIE

W celu uzyskania materiału do analizy przedmiotowego zagadnienia zinventaryzowano deformacje nieciągłe w obszarze czterech Zjednoczeń Przemysłu Węglowego, gdzie problem ten występuje najczęściej. Są to Zjednoczenia: Jaworznicko-Mikołowskie, Katowickie, Dąbrowskie i Bytomskie.

Inwentaryzację objęto obszary górnicze 12 kopalń węgla kamiennego: "Barbara - Chorzów", "Polska", "Gen. Zawadzki", "Niwka-Modrzejów", "Milowice", "Bolesław Śmiały", "Sośnowiec", "Śobieski", "Kazimierz-Juliusz", "Komuna Paryska", "Jaworzno" oraz KGH "Orzeł Biały".

W odniesieniu do rejestrowanych zapadliśk zgromadzono szczegółowe dane, takie jak:

- nazwa pokładu najpłycej eksploatowanego i jego głębokość zalegania "H",
- grubość pokładu "g",
- system eksploatacji,
- rok eksploatacji,
- data powstania deformacji nieciągłej,
- grubość warstwy górotworu związanego od stropu pokładu do spągu nadkładu "H-h",
- jakość skał górotworu właściwego,
- grubość i jakość nadkładu "h",
- średnica zapadliśka "d",
- kształt zapadliśka,
- zagrożone obiekty,
- czynniki aktywizujące ruchy górotworu,
- przyczyna powstania zapadliśka,
- czas istnienia pustki.

Na rys. 1 naniesiono rejony, w których występują analizowane deformacje nieciągłe. Każdy rejon leży w obszarze o charakterystycznej budowie geologicznej górotworu, co spowodowało, że deformacje nieciągłe w nim występujące posiadają określone cechy.

Ze względu na charakterystykę zapadliśka i miarodajność wyników inwentaryzacji analizowany obszar podzielono na 22 rejony. Tak więc wyodrębniło:

w KWK "Milowice" - 3 rejony o powierzchni 1,92 km²

w KWK "Niwka-Modrzejów" - 2 rejony o powierzchni 2,58 km²

w KWK "Polska" (Prezydent) - 1 rejon o powierzchni 2,27 km²

w KWK "Gen. Zawadzki" - 1 rejon o powierzchni 0,40 km²

w KWK "Grodzicz" - 1 rejon o powierzchni 2,00 km²
w KWK "Barbara-Chorzów" - 1 rejon o powierzchni 1,10 km²
w KWK "Kazimierz-Juliusz" - 1 rejon o powierzchni 0,81 km²
w KWK "Komuna Paryska" - 2 rejon o powierzchni 2,75 km²
w KWK "Jaworzno" - 1 rejon o powierzchni 0,73 km²
w KWK "Sosnowiec" - 1 rejon o powierzchni 0,2 km²
w KWK "Sobieski" - 1 rejon o powierzchni 0,2 km²
w KWK "Bolesław Śmiały" - 4 rejon o powierzchni 6,30 km²
w KGH "Orzeł Biały" - 3 rejon o powierzchni 5,8 km²

Poza wymienionymi kopalniami zjawiska deformacji nieciągłych występują również w kopalniach: "Jankowice", "Boże Dary", "Murcki" i w innych. Ponadto deformacje nieciągłe występują w rejonie kopalń rud cynku i ołowiu koło Olkusza i innych.

3.1. Charakterystyka górniczo-geologiczna rejonów zapadliskowych

W przedstawionej charakterystyce górotworu opisano również warunki powierzchniowe i położenie poszczególnych rejonów.

a) Obszar górniczy KWK "Milowice"

Obszar tej kopalni podzielono na 3 rejon: Milowice 1, Milowice 2, Milowice 3.

R e j o n " M i l o w i c e 1 "

Obszar zalega na południe od ul. Baczyńskiego do rzeki Brynicy, na wschodzie do trasy E-16. Stanowi nieużytki, przez które biegnie linia wysokiego napięcia, w którym zarejestrowano 30 deformacji nieciągłych. Teren ten pokazano na rys. 3.

W budowie geologicznej rejonu biorą udział warstwy dolnorudzkie, pokryte utworami triasowymi i czwartorzędowymi. W karbonie występują piaskowce drobnoziarniste, łupki ilaste i piaszczyste oraz pokłady 413/2 (0,8-2,6 m) i 414 (2,4-5,5 m). Rejon jest silnie zaburzony tektonicznie. Powierzchnia terenu stanowi obszar bezodpływowy i znajduje się poniżej koryta rzeki Brynicy. Do obniżenia spływają wody opadowe, które infiltrują w głąb górotworu między innymi przez deformacje nieciągłe, a następnie spływają do czynnych wyrobisk kopalni.

W rejonie Milowice 1 z upadowej wybrano w latach 1957-1965 pokład 414 systemem zabierkowym poprzecznym z zawałem. Wymiary zabierek: długość 15÷30 m, szerokość "L" 6÷7 m, a nawet do 10 m. Wyżej zalegają zroby pokładu 413. Wysokość pustek "g" = 2,0 m. Głębokość eksploatacji "H" = 35÷40 m. Grubość nadkładu "h" od 11,5÷30,0 m.

R e j o n " M i l o w i c e 2 "

Obszar położony jest na północny wschód od zwału i zakładu wydobywczego kopalni i obejmuje pola uprawne oraz dwie linie wysokiego napięcia. Zarejestrowano w nim 23 deformacje nieciągłe. Rejon ten pokazano na rys. 2.

Górotwór stanowią warstwy dolnorudzkie i triasowe. Karbon tworzą piaskowce łupki piaszczyste i ilaste oraz pokłady 413 (1,0 m) i 414 (4,0-5,5 m). Pokład 414 zalega na głębokości 32-40 m. Trias zbudowany jest z wapieni i margli. Obszar cechuje się szczególnie szeroko rozwiniętą tektoniką.

W latach 1908-1919 pokład 414 wyeksploatowano systemem filarowym z zawałem. Wymiary zabierek: szerokość "L" od 6±10 m, wysokość "g" = 4,0±5,5 m. Głębokość eksploatacji 37,0 m, grubość nadkładu 13,0±33,0 m.

R e j o n " M i l o w i c e 3 "

Rejon położony jest we wschodniej części obszaru górniczego kopalni od ul. Dalekiej do ul. Pawiej. Stanowi ulice i budynki mieszkalne. Zarejestrowano w nim 15 deformacji nieciągłych.

W górotworze występują warstwy dolnorudzkie i triasowe. Karbon tworzą piaskowce droбноziarniste, łupki ilaste i piaszczyste. Pokład 414 o grubości 2,4±5,5 m zalega na głębokości 70 m. W latach 1915-1925 pokład 414 eksploatowano systemem zabierkowym zawałowym.

b) Obszar górniczy KWK "Niwka-Modrzejów"

Obszar górniczy tej kopalni podzielono na dwa rejony - Niwka 1, Niwka 2.

R e j o n " N i w k a 1 "

Stanowi północną część obszaru górniczego kopalni i obejmuje następujące zakłady, obiekty oraz dzielnice miejskie: Ludmiłę, Dębową Górę, Hutę Cedlera, Dańdówkę, Orion, Halinę, Fabrykę Chemiczną, Radochę, Hutę Buczkę, budynki mieszkalne, ulice, torry kolejowe oraz zakład wydobywczy kopalni. Zarejestrowano w nim 54 deformacje nieciągłe.

Jest to rejon wychodni pokładów 350, 358, 405, 407, 418, 510 i 620 o grubościach odpowiednio: 1,0; 1,4; 1,5; 2,6; 2,3; 7,0; 1,5 m zalegających na głębokości 5-80 m. Nadkład posiada zmienną grubość 0-15 m.

W górotworze występuje szereg dyslokacji. Eksploatacja pokładów 405, 407, 418 i 510 prowadzona była w latach 1860-1920 systemem zabierkowym. Znajdują się tu liczne szyby i "biedaszyby". Eksploatację prowadzono przy dużych stratach substancji węglowej.

R e j o n " N i w k a 2 "

Stanowi południową część obszaru górniczego. Obejmuje on rejony "Luiza" i "Simonewunach", torry PKP, PMP, ulice, Zakłady Mięsne. Zarejestrowano w nim 23 deformacje nieciągłe.

Karbon tworzą łupki i piaskowce z dwoma płytko zalegającymi pokładami węgla 304 o grubości 2,5-4,0 m, występują na głębokości 5-35 m oraz 334 o grubości 2,0 m zalega na głębokości 2,5-35 m. Nadkład czwartorzędowy w postaci piasku posiada grubość 0,2-15 m. W latach 1810-1865 eksploatowano pokład 304, a w latach 1854-1875 pokłady 334 i 344 systemem zabierkowym z zawałem. Po eksploatacji pozostały liczne szyby i upadowe oraz zawadnione zroby. Wybierkę pokładów prowadzono na głębokościach od 13-22 m.

c) Obszar górniczy KWK "Kazimierz - Juliusz"

Terenem występowania deformacji nieciągłych jest rejon dzielnicy Bory od ulicy Niecałej do ul. Czerpakowej i od ul. Maczkowskiej do torów PKP. W rejonie tym znajduje się luźna zabudowa mieszkalna. Zarejestrowano tu 14 zapadliśk, obecnie zalanych wodą. W przedmiotowym górotworze na małej głębokości 48-88 m zalega pokład 510 o grubości 4,6-7,0 m. Nad pokładem występują piaskowce i łupki o grubości 30-70 m. Natomiast w nadkładzie - piaski i gliny o grubości 18-22 m.

W latach 1890-1900 eksploatowano systemem śląskim pokład 510, po którym pozostały zawadnione zroby oraz kilka szybów i upadowych. Stan tych wyrobisk oraz sposób ich likwidacji aktualnie pozostają nieznanne.

d) Obszar górniczy KWK "Sosnowiec"

W obszarze górniczym KWK "Sosnowiec" zarejestrowano kilka zapadliśk rozmieszczonych w całym obszarze. Najpoważniejszą deformację nieciągłą zarejestrowano w miejscu starego szybu wentylacyjnego "Mortimer", zlikwidowanego po zamknięciu płytą przez zasypianie piaskiem. Wymiary tej deformacji wynoszą: średnica 3,0 i głębokość 8,0 m.

e) Obszar górniczy KWK "Sobieski"

W obszarze górniczym WK "Sobieski" występują liczne zapadliśka w formie lejów stożkowych oraz kominów w skrasowanych utworach triasowych. W partii Podłęże tej kopalni doszło do powstania zapadliśka o wyjątkowo dużych rozmiarach, wynoszących około 100 m na powierzchni, spowodowanego wpływem kurzawki do wyrobisk, poprzez szczelinę uskokową.

f) Obszar górniczy KWK "Jaworzno"

Tereny zapadliśkowe obejmują osiedle Bory - Pastwiśka i miasto Jaworzno. Stanowią je ulice, zabudowa miejska, pola uprawne, lasy i linie wysokiego napięcia. W obszarze tym zarejestrowano wiele zapadliśk związanych z eksploatacją pokładu 203 (1,8-2,1 m) na głębokości 10-30 m oraz pokładu 207 (5,0 m) na głębokości 14-50 m. Nadkład stanowią czwartorzędowe piaski o grubości 8-12 m, silnie zawadnione.

Eksploatację wykonano w latach 1872-1966 oraz 1872-1882 systemem zabierkowym z zawałem stropu. Ponadto eksploatowano w tym rejonie pokłady:

209, 214 i 301. Szczególne znaczenie tego rejonu polega na występowaniu silnie zawadnionego czwartorzędowego nadkładu złożonego z piasków oraz lokalnie z triasu.

g) Obszar górniczy KWK "Komuna Paryska"

W obszarze tym wyróżnia się dwa rejonu. Rejon zachodni, rozciągający się od magistrali PMP do Dąbrowy Narodowej i od drogi Katowice - Kraków do piaskowni. Zarejestrowano tam 29 deformacji nieciągłych. Na małej głębokości zalegają tu pokłady 214 (1,7-1,8) oraz 301 (2,3 m). Głębokość zalegania 5-93 m. Nadkład o zmiennej grubości do 20 m wykształcony jest w postaci piasku będącego przedmiotem eksploatacji. W karbonie przeważają piaskowce. Pokład 214 eksploatowano w latach 1958-1965 systemem zabierkowym z zawałem stropu.

Drugi rejon - wschodni - położony w obszarze Dąbrowy Narodowej i Niedzieliskiej stanowi zabudowę miejską, drogi, tory kolejowe, linie wysokiego napięcia, zakład wydobywczy kopalni i pola uprawne. Zarejestrowano w nim 13 deformacji nieciągłych.

Na małej głębokości eksploatowano pokłady łożyskowe i orzeskie o grubościach od 1,3 do 3,4 m. Głębokość eksploatacji od 2-80 m, a grubość nadkładu 2-20 m.

W karbonie przewaga piaskowców nad innymi skałami płonymi, w nadkładzie piasków.

W obszarze tym eksploatowano systemem zabierkowym z zawałem stropu:

pokład 214 w latach 1953-1960
pokład 301 w latach 1956-1961
pokład 302 w latach 1940-1959
pokład 303 w latach 1943-1961
pokład 304 w latach 1957-1963
pokład 312/1 w latach 1962-1964

Po eksploatacji tej pozostały liczne szyby i "biedaszyby".

h) Obszar górniczy KWK "Gen. Zawadzki"

Jest to rejon Dąbrowy Górniczej i Gołonoga. Stanowią go zabudowa miejska, drogi, ulice, zakłady przemysłowe, gdzie zarejestrowano 16 deformacji nieciągłych. Na małej głębokości występują tu pokłady siódłowe o znacznych grubościach, wynoszących 5-9 m. Nadkład w postaci glin czwartorzędowych posiada grubość od 0-40 m. Pokłady węgla eksploatowano od 1900-1935 roku systemem zabierkowym na zawał, jak również za pomocą "biedaszybów".

i) Obszar górniczy KWK "Grodzicz"

Rejonem występowania deformacji nieciągłych jest miasto Grodzicz, gdzie zarejestrowano 12 zapadlisk. Na niedużej głębokości występują tu wychodnie pokładów 615 i 620. Grubość nadkładu od 0-15 m.

Roboty górnicze prowadzone były w latach 1900-1936. Pokłady 615 i 620 o grubości około 1,0 m eksploatowano systemem zawałowym.

j) Obszar górniczy KWK "Barbara - Chorzów"

Rejon zapadliskowy stanowi zabudowa miejska, ulice, tory kolejowe i drogi Chorzowa I i II.

Zarejestrowano tu 27 deformacji nieciągłych. W rejonie tym karbon tworzy wypiętrzenie, zwane Kopułą Chorzowską. Występuje w nim pięć pokładów siódłowych: 501, 504, 506, 507 i 510, z których trzy ostatnie posiadają wychodnie.

Eksploatację pokładów prowadzono od około 150 lat systemami: śląskim, zabierkowym z zawałem, jak również częściowo z podsadzką.

W obszarze tym występuje zjawisko silnej reaktywacji zrobów w pokładach siódłowych przez eksploatację pokładów 615 i 620 prowadzoną około 120 m niżej.

Charakterystyczną cechą rejestrowanych tu zapadlisk jest ich skupienie wzdłuż torów PKP, zwłaszcza w okolicach dworca oraz starych szybów "Barbara" I i II. W dziesięcioleciu do 1976 roku wystąpiło tu 11 zapadlisk wywołanych przez czynniki aktywizujące, głównie drgania górotworu wywołane silnym ruchem ciężkiego taboru kolejowego. Pod tym względem rejon ten, obok rejonu trasy PKP Katowice - Kraków w odcinku biegnącym przez Sosnowiec - Niwkę w okolicy miasta nad Białą Przemszą jest typowy dla tego rodzaju zjawisk.

k) Obszar górniczy KWK "Polska" - Ruch Prezydent

Terenem występowania deformacji nieciągłych jest rejon Chorzowa I i III, stanowiący zwartą zabudowę miejską, ulice, tory kolejowe, drogi, zakłady przemysłowe itp. W obszarze tym stwierdzono wyjątkowo dużą ilość deformacji nieciągłych, a w dziesięcioleciu do 1976 roku aż 46 deformacji, w tym kilka szczelin i progów.

Specyfiką tego rejonu jest wydobywanie się poprzez szczeliny w górotworze gazów pożarowych z palących się zrobów.

Na zjawisko pożarów w starych zrobach zwraca się uwagę z dwóch zasadniczych powodów. Pożary bowiem powodują zmniejszenie się ilości substancji węglowej w górotworze, a tym samym zwiększa się objętość pustek, jak również następuje zmiana fizykomechanicznych własności skał górotworu, prowadząc do powstania szczelin i spękań.

Zjawiska te są nader niekorzystne z punktu widzenia występowania deformacji nieciągłych.

Omawiany rejon KWK "Polska" jest częścią wspomnianej jednostki tektonicznej, tj. Kopuły Chorzowa, w której zalegają pokłady węgla 501, 504, 507/510, 610, 615, 620 o grubościach odpowiednio: 4,0; 2,0; 7,0; 1,0; 1,1; 1,2 m. Głębokość zalegania pokładów jest niewielka i sięga do 2-150 m. Nadkład posiada zróżnicowaną grubość 0-30 m.

Eksploatację górnictwem pokładów węgla prowadzi się od około 150 lat systemami filarowymi i zabierkowymi - początkowo z zawałem stropu, a obecnie podsadzką. Szczególną aktywnością odznaczają się zroby pokładów 501 i 510, które zalegają na głębokości od 32-48 m.

1) Obszar górniczy KWK "Bolesław Śmiały"

W obszarze tym wyodrębniono 4 rejony występowania deformacji nieciągłych.

Rejon "Bolesław 1"

Obejmuje północną i wschodnią część obszaru górniczego KWK "Bolesław Śmiały". Udokumentowano w nim 15 deformacji nieciągłych. Karbon stanowią warstwy orzeskie i łazińskie, przykryte warstwą czwartorzędową. Najpłytszy pokład 215 o grubości 1, 2 m zalega na głębokości 8 m. Górniczo-geologiczny profil jest z gliny, piasku i piaskowca szarego.

Eksploatację pokładów 217 oraz 218 prowadzono w latach 1920-1940 systemem zabierkowym. Po wojnie eksploatowano pokłady 303 i 314.

Rejon "Bolesław 2"

Obejmuje środkową część obszaru górniczego KWK "Bolesław Śmiały", gdzie udokumentowano 22 deformacje nieciągłe.

W karbonie najpłytszy pokład 218 posiada grubość 1,6 m i zalega na głębokości 17-60 m. Nadkład o grubości 4-40 m złożony jest z gliny gliniastej, gliny i piasku.

W latach 1880-1909 eksploatowano pokłady 215 i 218 systemem zabierkowym z zawałem.

Rejon "Bolesław 3"

Obejmuje południową część obszaru górniczego KWK "Bolesław Śmiały". W terenie udokumentowano 13 deformacji nieciągłych.

W karbonie najpłytszy pokład 215 posiada grubość 3,0 m i zalega na głębokości 70 m. Nadkład o grubości 7 m złożony jest z gliny i piasku.

W latach 1964-65 eksploatowano pokład 215 systemem zabierkowym z zawałem, po czym podobnie eksploatowano pokład 217.

Rejon "Bolesław 4"

Obejmuje północno-zachodnią część obszaru górniczego KWK "Bolesław Śmiały". W obszarze udokumentowano 14 deformacji nieciągłych.

W rejonie najpłytszy pokład 217 o grubości 1,5 m zalega na głębokości 25 m. W nadkładzie o grubości 8 m występują gliny, gleby, piaski i iły.

W latach 1958-60 eksploatowano pokład 217 systemem zabierkowym z zawałem.

1) Obszar KGH "Orzeł Biały"

W obszarze tym wyodrębniono 3 rejonu deformacji nieciągłych.

R e j o n " O r z e ł 1 "

Jest to obszar Niecki Bytomskiej, obejmujący dawne zakłady "Marchlewski" i "Waryński", gdzie zarejestrowano 23 deformacje nieciągłe.

Złoże rudy cynkowo-ołowiowej zalega na głębokości 39-72 m. Górotwór cechuje zmienna miąższość i zwięzłość warstwy. Dawniej w kopalniach stosowano system zabierkowy i komorowy z zawałem stropu. Wysokość zabierek i komór 3,0-6,0 m.

R e j o n " O r z e ł 2 "

Stanowi wschodni teren Niecki Bytomskiej, w którym zarejestrowano 34 deformacje nieciągłe.

Złoże rudy zalega w kompleksie dolomitów kruszonośnych na głębokości od 65-90 m.

Eksploatację prowadzono systemem zabierkowym z zawałem oraz podsadzką; wysokość zabierek 3,0 m.

R e j o n " O r z e ł 3 "

Stanowi północny teren Niecki Bytomskiej. W obszarze zarejestrowano 120 deformacji nieciągłych głównie do 1939 roku.

Warunki zalegania złoża oraz eksploatacji górniczej są podobne do poprzednio omówionych rejonów. Wysokość zabierek dochodzi do 3,7 m.

Charakterystyczną cechą dwóch ostatnich omówionych obszarów górniczych jest wyjątkowo duża ilość szybów starych i szybów występujących w górotworze, które wywierają dominujące zagrożenie dla powierzchni. I tak podczas prac inwentaryzacyjnych w obszarze "Bolesław Śmiały" zidentyfikowano około 630 wyrobisk, a w obszarze KGH "Orzeł Biały" około 525 wyrobisk, w przeważającej mierze obecnie nieczynnych, zlikwidowanych lub niezlikwidowanych.

Zagadnienie starych szybów i szybków stanowi samo w sobie dość rozległy problem i nie będzie w niniejszym opracowaniu głębiej analizowane. Wspomina się o nim jednak celowo, gdyż z punktu widzenia oddziaływania na powierzchnię pustki o znacznych gabarytach, pozostającej w górotworze, zagadnienia te są pokrewne z zagadnieniami pustek po wyrobiskach eksploatacyjnych i chodnikach.

Zagadnieniu starych szybów i szybków poświęcone zostanie odrębne opracowanie.

Charakterystyczne cechy górotworu i niektóre dane na temat rejonów występowania zapadlisk syntetycznie zestawiono w tablicy 2.

Jak wynika z zestawienia na terenach zagrożonych deformacjami nieciągłymi pokłady zalegają, a wyrobiska górnicze występują na stosunkowo niedużej głębokości.

Tablica 2

Charakterystyka gorniczo-geologiczna rejonow wystopowienia deformacji niestozylach

Lp.	Kopalnia	Rejon	Liczba ilosci deform.	Głebokość składowości [m]	Grubość warstwy pokryw. wyl. punkt.	Fok	Grubość luźnego nieklatu		Średnia głęb. deform.	Wskazniki charakterystyczne						Uwagi	
							os-od [m]	h _{gr} [m]		h _{gr} / h _{gr} ⁰	h _{gr} / h _{gr} ⁰	h _{gr} / h _{gr} ⁰	h _{gr} / h _{gr} ⁰	h _{gr} / h _{gr} ⁰	h _{gr} / h _{gr} ⁰		h _{gr} / h _{gr} ⁰
1	Milowice*	Milowice 1	30	30-40	30,0	2,0	1953-1968	11,5-30	21,0	0,73	0,032	0,33	7,5	8,4	1,20	8,3	
		Milowice 2	23	32-40	37,0	5,0	1908-1968	13-33	26,0	2,3	0,125	0,70	5,2	7,4	2,30	2,2	
		Milowice 3	15	70	70	4,3	1915-1971	30	30,0	4,3	0,061	0,43	7,5	17,5	0,75	9,3	
2	Nisawa*	Nisawa 1	34	8-23	37,0	2,5	1972-1978	1,5-15	7,0	3,4	0,089	0,23	3,1	14,0	0,27	11	
		Nisawa 2	23	13-22	15,0	2,5	1920-1970	0,2-10	5,0	3,0	0,107	0,33	2,0	6,0	0,50	4,0	
3	Kazimierz*	Nisawa 2	14	26-88	86,0	6,0	1990-1991	26-10	20,0	*	0,091	0,30	3,3	11,0	0,43	7,7	
4	Wieliczka*	Wieliczka	1	62-240	23,0	2,3	1953-1955	15	12,2	3,3	0,077	0,23	3,2	27,0	0,15	23,5	
5	Wieliczka*	Wieliczka	1	25-30	23,0	2,0	1972-1968	10-11	8,0	6,7	0,074	0,20	3,2	8,0	0,41	16,0	
6	Wieliczka*	Komuna 1	29	30-93	61,0	2,2	1953-1968	0-5,0	1,5	2,9	0,098	0,06	0,8	18,0	0,03	27,0	
		Komuna 2	13	27-80	53,0	2,2	1953-1954	0-5,0	3,0	5,8	0,042	0,06	1,7	29,5	0,06	23,0	
7	Wieliczka*	Komuna 1	38	3-46	35,0	5,0	1956-1971	0-40	6,0	2,3	0,333	0,51	1,6	3,1	1,06	3,5	
8	Wieliczka*	Komuna 2	14	10-30	16,0	1,0	1953-1971	0,5-13,4	3,6	3,1	0,082	0,24	1,6	18,0	0,29	15,4	
9	Wieliczka*	Komuna 2	27	2,5-26	32,0	4,5	1967-1972	0,80-0,16,0	4,2	4,2	0,161	0,71	4,0	5,0	0,50	3,1	
10	Wieliczka*	Komuna 2	46	17-100	32,0	5,0	1956-1971	0,2-28	14,8	2,2	0,096	0,38	3,0	30,4	1,08	7,8	
11	Wieliczka*	Komuna 2	15	23-24	23,0	1,2	1960-1968	2-9	8,0	4,3	0,052	0,35	6,7	19,2	0,33	15,3	
12	Wieliczka*	Komuna 2	22	17-60	30,0	1,6	1960-1968	14-40	15,4	4,4	0,053	0,50	9,6	19,2	1,00	9,4	
		Komuna 3	13	70	70,0	3,0	1964-1964	7,0	7,0	4,3	0,043	0,30	2,3	23,4	0,11	21,0	
		Komuna 4	14	14	25,0	1,5	1958-1971	0	0,0	4,0	0,060	0,32	5,5	26,6	0,47	13,2	
13	Komuna 4	Orzeł 1	23	39-72	51,0	4,6	1968-1972	0,6-23	15,0	3,0	0,090	0,29	3,3	11,0	0,41	7,8	
		Orzeł 2	34	65-90	75,0	3,0	1971-1971	20-30	24,0	4,3	0,040	0,32	9,0	25,0	0,47	17,0	
		Orzeł 3	120	45	45,0	3,7	1960-1971	10,0	10,0	5,6	0,062	0,20	2,7	10,2	0,28	9,5	
		Orzeł 3	762	424	44,3	1,0-8,0	1910-1972	0-40	12,8	4,32	0,036	0,71	0,6	3,1	0,03	1,3	
										średnie	0,330	0,333	0,71	9,6	34,0	2,3	27,0
											0,30	4,16	14,79	0,68	11,1		

Są to głównie:

- wyrobiska pozostałe po dokonanej eksploatacji systemem komorowym i za-
bierkowym z zawałem, gdzie straty złoża sięgają 25-40%.
- wyrobiska udostępniające w postaci sztybów, upadowych i "biedaszybów" -
niecałkowicie zlikwidowane,
- wyrobiska udostępniające i przygotowawcze prowadzone w strefach zagrożeń
wodno-kurzawkowych (strefy zawodniorych uskoków).

Analiza warunków rejonów zapadliskowych pozwala stwierdzić, że powsta-
nie oraz kształtowanie się deformacji nieciągłych przebiega w zależności
od następujących czynników:

- wymiarów poeksploatacyjnych pustek w górotworze,
- głębokości zalegania pustek od stropu skał zwięzłych,
- litologicznej budowy skał otaczających pustkę i ich własności fizyko-
mechanicznych,
- obecności poziomów wodonośnych i warunków migracji wody w sąsiedztwie
pustki,
- budowy utworów luźnych w nadkładzie i ich podatności na rozmywanie i uno-
szenie przez wodę,
- konsystencji górotworu, zależnej od procesów geologicznych,
- podatności górotworu na zruszenie wokół pustki i jego charakteru litolo-
gicznego,
- sposobu obciążenia powierzchni.

W procesie powstawania deformacji nieciągłych na powierzchni należy u-
względnić możliwość wpływu wszystkich wyżej wymienionych czynników, ponie-
waż ich rola w konkretnych przypadkach może być różna.

Wymienione czynniki wywołują na powierzchni deformacje nieciągłe o zło-
zonych formach i kształtach. Najbardziej typowe ich formy w odniesieniu do
deformacji udokumentowanych w liczbie 424 zestawiono w tablicy 3.

Tablica 3

Formy deformacji nieciągłych

Lp.	Forma i kształt deformacji	Ilość	Udział procentowy
1	Leje stożkowe	288	68,0%
2	Zapadliska nieforemne	48	11,3%
3	Rowy zapadliskowe	26	6,2%
4	Kominy	20	4,7%
5	Dzwony	19	4,5%
6	Szczeliny, progi, pęknięcia	16	3,8%
7	Szyby	7	1,5%
R a z e m		424	100,0%

Z zestawienia wynika, że deformacje nieciągłe najczęściej przyjmują kształt lejów stożkowych i zapadliska nieforemne. Oba te rodzaje stanowią prawie 80% wszystkich deformacji nieciągłych.

W niniejszej pracy rozpatrywano deformacje nieciągłe typu lejów stożkowych, dzwonów, rowów zapadliskowych, kominów i zapadlisk nieforemnych.

Wszystkie te rodzaje deformacji nazywane są zapadliskami. Charakteryzują się ubytkiem pewnej objętości skał nadkładowych i ich przemieszczeniem do pustki po wyrobisku.

Każdy rodzaj deformacji nieciągłej posiada odmienny przebieg tworzenia się i odrębne cechy oraz charakter. Podczas typowego procesu tworzenia się leja stożkowego pustka w górotworze zostaje połączona przez otwór w stropie skał zwieszłych z sypkimi i niejednokrotnie odwodnionymi utworami nadkładu lub zwierzeliny. Utwory te wysypują się do pustki, tworząc charakterystyczny lej. Wymiar "d" tego typu deformacji, liczony jako średnica leja na powierzchni, zależy od:

- grubości warstwy luźnego nadkładu - "h"
- promienia otworu pustki (okna) - "r"
- kąta naturalnego stoku skał w nadkładzie - "φ".

Zależność między tymi wielkościami jest następująca:

$$d = 2(h \operatorname{ctg} \varphi + r)$$

Deformacje tego typu powstają, gdy w nadkładzie znajduje się suchy piasek, a otwór łączący pustkę z nadkładem ma kształt koła. Obrys deformacji nieciągłej na powierzchni może być również nieregularny (różny od koła). Jeżeli w nadkładzie występują piaski płynne (kurzawkowe), których naturalny kąt tarcia wewnętrzznego jest bardzo mały ($\varphi \sim 10^\circ$), powstaje lej o niewielkim kącie nachylenia ścian.

Gdy w nadkładzie występują gliny, zapadlisko może początkowo mieć formę cylindryczną, z czasem jednak pod wpływem wody opadowej przyjmuje kształt typowego leja stożkowego.

Zapadliska nieforemne i rowy zapadliskowe tworzą się podobnie jak leje stożkowe. Różnice w kształcie pochodzą stąd, że otwór w górotworze z nadkładu do pustki ma kształt niekolisty.

Dzwony są rzadszą formą deformacji nieciągłej. Tworzą się one w przypadku, gdy w górotworze zbudowanym ze skał zwieszłych powstanie pustka znacznych rozmiarów, a grubość luźnych utworów w nadkładzie jest za mała, by wypełnić tę pustkę przez łączący je z nią otwór. Z czasem zapadliska te mogą powiększać swoje rozmiary wskutek wietrzenia i odpojenia skał ze ścian zapadliska.

Kolejną formą deformacji nieciągłych są kominy. Są to deformacje rzadko występujące, związane zawsze ze skrasowanymi wapieniami trzęsawymi, występującymi na małej głębokości pod luźnym nadkładem.

Prawdopodobnie przed powstaniem zapadliska w wapieniach istniała kawerna w formie komina wypełnionego materiałem luźnym. Z chwilą kiedy pustka zostaje połączona z tą kawerną, materiał luźny wysypuje się do pustki lub zostaje tam zaniesiony przez wodę.

Inną formę deformacji nieciągłych tworzą szyby. Kiedyś likwidowano szyby przez zasypanie materiałem luźnym względnie przez wykonanie zamknięcia szybu np. płytą betonową. Z upływem czasu woda infiltrująca do szybu, wypłukując materiał podsadzkowy, przedostaje się spoza zniszczonego obmurza poniżej zamknięcia do szybu i stwarza warunki do wytworzenia się zapadliska, najczęściej z zachowaniem pierwotnych obrysów szybu.

Ostatnią formę deformacji nieciągłych są szczeliny. Wśród szczelin wyróżnia się dwa rodzaje: z przesunięciem w pionie (progi, zeskokki) oraz bez przesunięcia (szczeliny).

3.2. Model górotworu podatnego na zapadliska

Już wstępnie przeprowadzona analiza zgromadzonych informacji doprowadza do stwierdzenia, że zapadliska są zjawiskami towarzyszącymi działalności górniczej w pewnych określonych warunkach. Można bowiem jednoznacznie ustalić i wyznaczyć obszary, w których:

- zapadliska lub szerzej - deformacje nieciągłe - występują i występować będą na pewno w przyszłości; istnieje pewne zagrożenie terenu i obiektów,
- zapadliska nie występują lecz ich utworzenie się na powierzchni jest możliwe, zwłaszcza w warunkach działania czynników aktywizujących, występowanie prawdopodobne, a zagrożenie potencjalne,
- zapadliska nie występują, a ich utworzenie się na powierzchni terenu jest z przyczyn górniczych praktycznie niemożliwe.

Wyklucza się tu jednak zjawisko działania wtórnych pustek w górotworze powstałych w wyniku wpływów wodno-kurzawkowych itp.

W tablicy 4 pokazano przykłady różnego oddziaływania płytkiej eksploatacji na powierzchnię.

Deformacje ciągłe występują we wszystkich sześciu przykładach, natomiast deformacje nieciągłe tylko w czterech. Z zestawienia wynika, że zapadliska nie towarzyszą płytkiej eksploatacji, gdy między pustką poeksploatacyjną a powierzchnią występuje odpowiednio gruba warstwa skał plastycznych (gliny, iły), izolująca pustkę. Duże znaczenie ma zastosowany system eksploatacji złoża. System ścianowy, zastosowanie podsadzki czy też system eksploatacji częściowej w pewnych warunkach umożliwia wyeliminowanie zjawiska deformacji nieciągłych.

W tablicy 5 zestawiono czynniki i kryteria modeli górotworu i terenów zagrożonych zapadliskami, które omawia się w niniejszym rozdziale.

Zestawienie czynników i kryteriów modeli górotworu zapadlikowego

Kodziej czynników naturalno-górniczych górotworu	Zapadliśkie występuje	Zapadliśka mogą występować są prawdopodobne	Zapadliśka nie występuje
Ciepłota	głębokość eksploatacji (pustki) 0-100 m	głębokość eksploatacji (pustki) 100-150 m	głębokość eksploatacji (pustki) poniżej 150 m
Grubość nadkładu	grubość nadkładu 0-50 m	grubość nadkładu 50-70 m	grubość nadkładu większa od 70 m
Zamocnienie górotworu	pełne występowanie wody	możliwe okresowe występowanie wody	brak zamocnienia górotworu
Czas istnienia pustki	od eksploatacji nie upłynęło więcej jak 20 lat do wystąpienia deformacji	od eksploatacji nie upłynęło więcej jak 20-50 lat do wystąpienia deformacji	upłynęło więcej jak 50 lat od eksploatacji i deformacje dotychczas nie wystąpiły
Czynniki aktywizujące	występują uskoki wodonośne pozaryzobów, drgania górotworu, obciążenie powierzchni	występują, jak poprzednio	brak wyhledni wskazań wodonośnych itp.
System eksploatacji	system zabiarłowy, komorowy z ważem stronu lub komorowo-filarowy	jak poprzednio	system dławiony lub zbierłkowy z podsiadłą płynną
Cechy i własności zapadliak terenu	węzłokształt formy i rodzaju zapadliak	lejsze i dzwony	-
Wskaznik zagęszczenia zapadliak "W _n " (11c/d/Vm ²)	W _n ≥ 15	5 ≤ W _n ≤ 15	0 < W _n < 5
Grubość górotworu zwietrzego	H - h < 30 g	30 g ≤ H - h ≤ 50 g	H - h > 50 g
Warstwy izolujące, pleistoceny	brak lub występuje lokalnie	występuje lokalnie lub posiada grubość do 3 m, cięśna do 5 m	ciągła, dostatecznie gruba

Podstawowymi czynnikami, czy też parametrami górotworu wyznaczającymi obszary zapadliskowe są:

- a) głębokość położenia pustki w górotworze czy też głębokość eksploatawanego pokładu "H",
- b) grubość nadkładu i rodzaj skał "h",
- c) grubość pokładu, tj. wielkość pustki oraz jakość skał górotworu związanego "g", "m",
- d) czas istnienia pustki w górotworze "t",
- e) inne czynniki, zwłaszcza aktywizujące ruchy górotworu.

Wpływ wymienionych czynników na tworzenie się zapadlisk omówiono poniżej:

ad a) wpływ głębokości położenia pustki "H"

Zarejestrowane zapadliska (również pozostałe deformacje nieciągłe) wywołane zostały przez pustki po wyrobiskach położonych na głębokościach w poszczególnych rejonach od 3 do 120 metrów od powierzchni terenu. Największa ilość zapadlisk przypada na głębokość położenia wyrobiska 10 - 70 m. O stwierdzeniu wpływu tego czynnika decydują na ogół najpłycej położone wyrobiska, nawet gdy aktualnie nie są eksploatawane. W przypadkach takich należy się liczyć z możliwością reaktywacji pustek po starych płytkich wyrobiskach przez eksploatację prowadzoną niżej. Za bezpośrednią przyczynę należy przyjmować jednak zawsze wyrobiska w pokładach położonych najbliższej stropu górotworu związanego.

Ze względu na ten czynnik ustala się następujące kryteria występowania zapadlisk:

- 1) zapadliska wystąpią na pewno przy eksploatacji pokładów do głębokości 100 metrów,
- 2) wystąpienie zapadlisk jest prawdopodobne podczas eksploatacji prowadzonej na głębokości 100-150 m lub przy reaktywacji zrobów na takiej głębokości,
- 3) zapadliska nie wystąpią przy głębokościach położenia pustki poniżej 150 m, o ile brak jest innych przyczyn, jak np. wypływy wodno-kurzawkowe, uskoki, szyby, szybiki.

ad b) wpływ grubości luźnego nadkładu "h"

Istnienie w górotworze nadkładu łagodzi skutki występowania deformacji nieciągłych. Przy dużej grubości nadkładu i małej objętości pustki jej wypełnienie może nastąpić bez widocznego skutku na powierzchni. Zarejestrowane deformacje wystąpiły przy grubościach nadkładu dla rejonów od 0 - 40 m. Najwięcej deformacji zanotowano przy grubościach nadkładu 5-20 m. Zwraca się uwagę, iż może tu wchodzić w grę grubość zwietrzliny partii złożowej górotworu w przypadku braku nadkładu lub jego niewielkiej grubości.

Uwzględniając wpływ grubości nadkładu, można stwierdzić następujące kryteria:

- 1) zapadliska występują na pewno przy grubościach luźnego nadkładu 0 - 40 m;
- 2) istnieje możliwość ich wystąpienia przy grubościach nadkładu 40-70 m;
- 3) przy grubościach nadkładu większych od 70 m zapadliska nie występują.

Przyjęcie właściwego w danych warunkach kryterium uzależnione jest również od rodzaju skał. Występowanie luźnych lub mało zwięzłych skał w nadkładzie (mały kąt φ) sprzyja tworzeniu się zapadliska.

ad c) wpływ grubości pokładu (wysokości pustki) "g"

Grubość pokładu ma bardzo istotny wpływ na proces występowania zapadlisk. Wpływ ten przejawia się poprzez kształtowanie się formy i wysokości stref zawału i spękań w górotworze wywołanych przez wyrobisko.

Na podstawie analizy danych statystycznych (tablica 2) ustalono, że deformacje nieciągłe występowały wielokrotnie nawet przy 27-krotnej grubości górotworu zwięzłego "H-h" w stosunku do grubości pokładu "g". Warunkiem wystąpienia deformacji nieciągłych jest przeniknięcie strefy zawału, a przynajmniej strefy spękań do nadkładu skał luźnych.

Analiza statystyczna wskazuje zatem na występowanie bardzo wysokich stref spękań w badanych rejonach. Dotyczy to zwłaszcza kopalń: "Komuna Paryska", "Sośnowiec", "Bolesław Śmiały", KGH "Orzeł Biały".

W odniesieniu więc do omawianego czynnika ustala się następujące kryteria występowania zapadlisk na powierzchni:

- 1) zapadliska wystąpią na pewno, gdy grubość górotworu zwięzłego jest mniejsza od 30-krotnej grubości pokładu,
- 2) istnieje prawdopodobieństwo wystąpienia deformacji nieciągłych przy 30-50-krotnej grubości górotworu zwięzłego w stosunku do grubości pokładu, zwłaszcza jeżeli górotwór zbudowany jest ze skał kruchych,
- 3) brak możliwości wystąpienia deformacji nieciągłych dla grubości górotworu zwięzłego większej niż 50-krotna grubość pokładu.

ad d) wpływ czasu na tworzenie się zapadliska "t"

Z dokonanej inwentaryzacji zapadlisk i na podstawie wstępnej analizy można stwierdzić, że intensywność (natężenie) tworzenia się zapadlisk w terenie maleje z upływem lat. Z wyliczeń wynika, że w pierwszych pięciu latach od czasu zakończenia eksploatacji wystąpiło średnio 6,8 deformacji nieciągłych w roku, a po upływie 50-100 lat od dokonanej eksploatacji występuje już tylko 2,9 deformacji nieciągłych na rok. Można szacunkowo ustalić, że prawdopodobieństwo wystąpienia deformacji dla analizowanych terenów wynosi:

w okresie do 5 lat od zakończenia eksploatacji	- 100%
w okresie do 10 lat od zakończenia eksploatacji	- 90%
w okresie do 15 lat od zakończenia eksploatacji	- 73%
w okresie do 20 lat od zakończenia eksploatacji	- 60%
w okresie do 30 lat od zakończenia eksploatacji	- 42%
w okresie do 50 lat od zakończenia eksploatacji	- 40%
w okresie do 100 lat od zakończenia eksploatacji	- 25%
w okresie powyżej 100 lat od zakończenia eksploatacji	- 14%

ad e) inne czynniki aktywizujące ruchy górotworu

Obok wymienionych czynników istotny wpływ na występowanie deformacji nieciągłych w terenach górniczych będą posiadać czynniki aktywizujące ruchy górotworu. Wśród czynników tych można wymienić:

- obecność w górotworze szybów lub szybków, a więc pustek o szczególnie dużych gabarytach i niekorzystnym pionowym usytuowaniu w górotworze,
- występowanie wychodni, wodonośnych uskoków, zwłaszcza pod wodoprzepuszczalnym nadkładem,
- przejścia wyrobiskami górniczymi przez warstwy kurzawkowe, szczeliny, uskoki itp.,
- występowanie w górotworze wstrząsów i drgań powierzchni,
- zmiany wtórnego stanu równowagi w górotworze, wynikające z eksploatacji niżej leżących pokładów, odwodnienie górotworu itp.

W warunkach działania czynników aktywizujących ruchy górotworu do powstania deformacji może dojść nawet wtedy, gdy głębokość położenia pustki przekracza 150 m, czy też grubość nadkładu jest większa od 70 m. Zjawiska te należy jednak rozpatrywać odrębnie.

Informacje uzyskane na podstawie inwentaryzacji wskazują na możliwość identyfikowania parametrów geometrycznych i charakterystyk zapadliśk na powierzchni w oparciu o czynniki naturalno-górnice górotworu.

Do podstawowych cech i własności zapadliśk terenu zalicza się:

- a) cechy geometryczne zapadliśka,
- b) zagęszczenie deformacji w terenie,
- c) intensywność tworzenia się zapadliśk,
- d) czas powstania zapadliśk.

ad a) cechy geometryczne zapadliśk

Przyjmuje się maksymalną średnicę deformacji "d" na powierzchni jako miarę wielkości zapadliśka.

ad b) zagęszczenie deformacji w terenie wyrażone przez wskaźnik zagęszczenia " W_n " określa stosunek ilości zapadliśk w terenie do powierzchni tego terenu:

$$W_n = \frac{n}{S} \left[\frac{\text{szt}}{\text{km}^2} \right]$$

gdzie:

n - liczba zapadlisk

S - powierzchnia obszaru zapadliskowego.

Podstawą ustalenia powierzchni obszaru zapadlisk jest powierzchnia eksploatacji pokładów lub występowania wyrobisk w górotworze w danym obszarze w zakresie ustalonych kryteriów modelu górotworu podatnego na zapadliska.

Dla analizowanych rejonów występowania zapadlisk obliczono wskaźnik zagęszczenia i ujęto w tablicy 6.

Rozpiętość tego wskaźnika wynosi od 5 zapadlisk/km² do 60 zapadlisk/km².

W nawiązaniu do wyników wstępnej analizy ujętych w tablicach 5 i 6 wyróżnia się:

1. Tereny, w których deformacje nieciągłe występują w dużym zagęszczeniu. Zapadliska skupione na tych terenach występują nawet w postaci zapadlisk bliźniaczych. Na podstawie danych z tablicy 6 przyjmuje się, że duże zagęszczenie zapadlisk wyraża wskaźnik zagęszczenia

$$W_n > 15 \left[\frac{\text{szt}}{\text{km}^2} \right]$$

Do obszarów o wskaźniku zagęszczenia wyższym od 15 zalicza się rejony: "Milowice 1", "Milowice 3", "Polska" (Prezydent), "Barbara Chorzów", "Orzeł Biały 3", "Kazimierz Juliusz", "Bolesław Śmiały 2".

2. Tereny o małym zagęszczeniu zapadlisk. Ze względu na powierzchnię tereny te można jeszcze podzielić na takie, gdzie zapadliska są rozproszone oraz takie, gdzie występują tylko zapadliska pojedyncze, indywidualne. Dla rejonów o zapadliskach rozproszonych przyjęto wskaźnik zagęszczenia:

$$5 \leq W_n \leq 15 \left[\frac{\text{szt}}{\text{km}^2} \right]$$

Dla zapadlisk pojedynczych przyjęto wskaźnik zagęszczenia:

$$W_n < 5 \left[\frac{\text{szt}}{\text{km}^2} \right]$$

Do obszarów o wskaźniku $W_n = 5-15$ zalicza się rejony: "Niwka - Modrzejów 1", "Grodziec", "Komuna Paryska 1 i 2", "Sosnowiec", "Sobieski", "Jaworzno". Obszarów o wskaźniku $W_n < 5$ nie inwentaryzowano, jakkolwiek stwierdzono przypadki odosobnionych zapadlisk terenu.

Podział rejonów na kategorie ze względu na wskaźniki zagęszczenia i intensywności tworzenia się zapadłisk

Rejon	Pow. rejonu [km ²]	Liczba defor-macji	Wskaźnik zagęszczenia - W _n	Kat. rejonu ze względu na wskaźnik W _n	Grub. pokładu g. r. [m]	Grub. górotworu związ. - H _h [m]	Głęb. eksploatacji [m]	Wielokrotność "g"		Wskaźnik z	Kat. rejonu ze względu na wskaźnik z
								10 g	50 g		
I	2	3	4,3	5	6	7	B	9	10	11	13
Milowice 1	0,52	30	57,7	A	2,0	17	38	20	60	100	8,5
Milowice 2	0,20	3	15,0	A	5,0	11	37	150	150	250	2,2
Milowice 3	1,20	15	25,0	A	4,3	40	70	43	120	215	9,3
Nawka 1	2,34	14	6,1	B	2,5	29	37	25	75	125	11,7
Nawka 2	0,24	4	16,7	A	2,5	10	15	25	75	125	4,0
Prezydent	2,27	40	17,4	A	5,0	37	52	50	150	250	7,6
Gen. Zawadzki	0,40	6	15,0	A	5,0	7	15	50	150	250	1,5
Grodzisz	2,00	12	6,0	B	1,0	12	16	10	30	90	12,4
Barbara - Chorzów	1,10	17	15,2	A	4,5	14	32	45	135	225	3,1
Orzał Biały 1	1,50	23	15,4	A	4,6	35	51	45	138	230	7,8
Orzał Biały 2	2,30	34	14,8	B	3,0	51	75	30	90	150	17,0
Orzał Biały 3	2,00	120	60,0	A	3,7	35	45	37	111	185	9,5
Kazimierz - Julisz	0,81	14	17,3	A	6,0	46	66	60	180	300	7,7
Komuna Paryska 1	1,50	9	6,0	B	2,2	59	61	22	66	110	17,0
Komuna Paryska 2	1,25	13	9,6	B	2,2	50	53	22	66	110	23,0
Jaworzno	0,73	4	5,5	B	2,0	20	27	20	60	100	10,0
Sasnowiec/Sobieleski	0,2/0,2	1/1	5,0/5,0	B	3,5	82	95	35	105	175	23,5
Bolesław Śmiały 1	1,50	15	10,0	B	1,2	15	23	12	36	60	12,5
Bolesław Śmiały 2	1,40	22	15,7	A	1,6	15	30	16	48	80	9,4
Bolesław Śmiały 3	1,60	13	8,1	B	3,0	10	30	30	90	150	21,0
Bolesław Śmiały 4	1,80	14	7,8	B	1,5	17	55	15	45	75	11,3

kat. A W_n > 15
 kat. B 5 ≤ W_n ≤ 15
 kat. C 5 > W_n

kat. A 10 g > H - h
 kat. B 10 g < H - h < 30 g
 kat. C 30 g < H - h < 50 g

ad c) intensywność tworzenia się zapadliśk

Proces powstawania zapadliśk przebiega gwałtownie, gdy strefa zawału W_z dochodzi do spągu nadkładu. Wtedy jest też największe prawdopodobieństwo wystąpienia deformacji nieciągłych. Ma to miejsce wtedy, gdy wysokość zawału wysokiego jest większa od grubości górotworu związłego zgodnie z warunkiem:

$$W_z \geq H - h$$

W_z - wysokość strefy zawału.

Proces powstawania zapadliśka przebiega wolno w związku z przemieszczaniem się (migrowaniem za pośrednictwem wody) skał nadkładowych do pustki po wyrobisku, gdy do nadkładu przenika tylko strefa spękań.

$$W_z < H - h \leq W_g$$

Nie zachodzą warunki do powstania zapadliśk, gdy strefa spękań nie dociera do nadkładu to jest, gdy:

$$W_g < H - h$$

Przyjmując założenie, że dla wystąpienia zapadliśka co najmniej strefa spękań musi przeniknąć do nadkładu, wyliczono w tabelicy 6 dla każdego rejonu wskaźnik:

$$z = \frac{H - h}{g}$$

który obrazuje, przy jakiej miąższości górotworu związłego "H-h" w stosunku do grubości pokładu "g" wystąpiły zapadliśka. Wielkość tego wskaźnika wynosi od 1,5 do 27,0 dla poszczególnych rejonów i dochodzi do 50,0 dla rozproszonych zapadliśk. Można zatem wnioskować, że maksymalna wysokość strefy spękań w analizowanych rejonach sięga 50-krotnej grubości pokładu.

W tabelicy 6 dla każdego rejonu wyliczono trzy charakterystyczne wielkości: 10 g, 30 g i 50 g, zakładając wstępnie, że wielkość 10 g odpowiada wysokości strefy zawału " W_z ", wielkość 30 g odpowiada średniej wysokości strefy spękań W_g , a 50 g odpowiada maksymalnej wysokości strefy spękań.

W stosunku do tych wielkości dokonano wstępnego podziału rejonów w celu uzyskania materiału dogodniejszego do dalszej analizy.

ad d) czas powstania zapadliśk na powierzchni w stosunku do okresu wykonania wyrobiska

Reologiczny charakter deformacji nieciągłych można wyrazić wskaźnikiem natężenia występowania zapadliśk "N", który określa ilość zapadliśk dla danego rejonu w ciągu roku dla poszczególnych okresów czasu:

$$N = \frac{n}{t} \left[\frac{\text{szt}}{\text{rok}} \right],$$

gdzie:

n - ilość zapadliak w danym rejonie w określonym czasie,

t - lata.

Wskaźnik ten zmienia się dla danego rejonu wraz z czasem upływającym od wykonania wyrobiska. W pierwszych 20 latach wskaźnik ten spada z 0,8 zapadliak /rok do 0,5 zapadliak/rok. W okresie 20-50 lat od wykonania wyrobiska następuje dalsze zmniejszenie się wskaźnika z 0,5 do 0,3 zapadliak/rok. Po upływie 50 do 100 lat wskaźnik spada z 0,3 do 0,18 zapadliak/rok.

4. OCENA WPŁYWU CZYNNIKÓW NATURALNO-GÓRNICZYCH GÓROTWORU ORAZ CZASU NA PROCES TWORZENIA SIĘ ZAPADLISK

Dla wyznaczenia ścisłych związków wpływu czynników naturalno-górnicych na procesy powstawania zapadlisk terenu rozpatrzono te przykłady górotworu, które zdeterminowane są poprzednio podanymi kryteriami. Albowiem tylko te przypadki są miarodajne i mogą służyć do wyznaczenia związków, stanowiących wytyczne prognozowania deformacji nieciągnących w postaci zapadlisk.

Wyodrębnione kryteria umożliwiają również dalszą systematykę dokumentacji w celu jakościowego i ilościowego identyfikowania zależności matematycznych.

Rozwiązania zawarte w niniejszym punkcie oparto na 424 przykładach zapadlisk, które zostały ściśle udokumentowane i stanowią miarodajny materiał w tym zakresie. Pozostałe przypadki pominięto.

Dla analizowanych rejonów zapadliskowych ustalono następujące empiryczne zależności:

- zależność między liczbą zapadlisk a ich średnicą

$$n = f(d)$$

- zależność między liczbą zapadlisk a głębokością eksploatacji

$$n = f(H)$$

- zależność między średnicą zapadlisk a głębokością eksploatacji

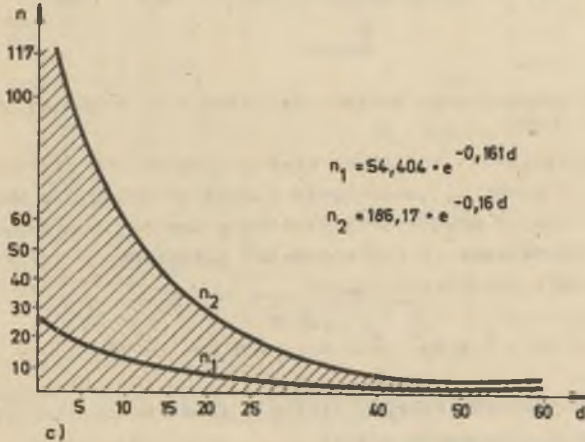
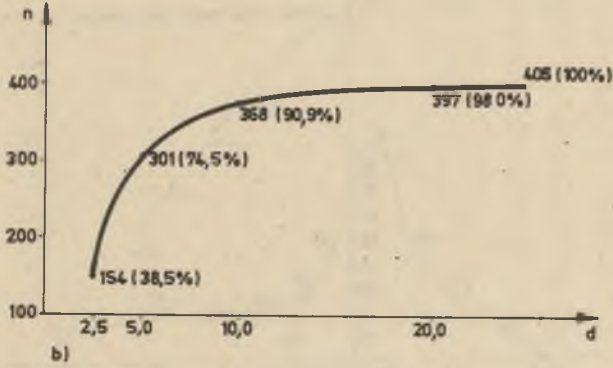
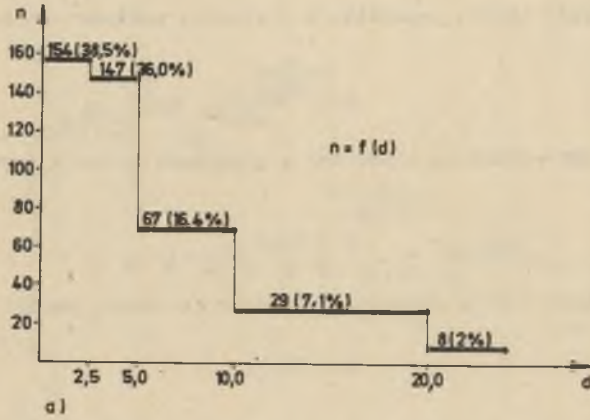
$$d = f(H)$$

- zależność między liczbą zapadlisk a grubością luźnego nadkładu

$$n = f(h)$$

- zależność między średnicą zapadlisk a grubością luźnego nadkładu

$$d = f(h)$$



Rys. 7. Zależność między ilością deformacji a ich średnicą a) przedziałami, b) narastająco, c) funkcja $d = f(g)$

- zależność między liczbą zapadliak a grubością pokładu (wysokością pustki)

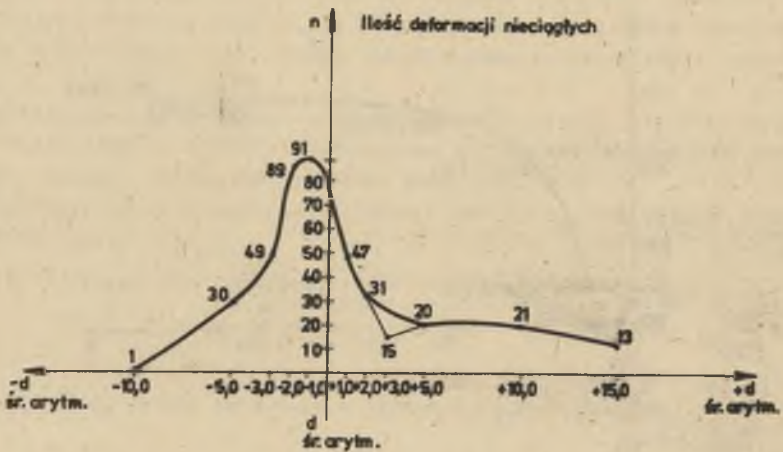
$$n = f(g)$$

- zależność między średnicą zapadliak a grubością pokładu (wysokością pustki)

$$d = f(g)$$

- zależność między liczbą zapadliak a czasem istnienia pustki

$$n = f(t)$$



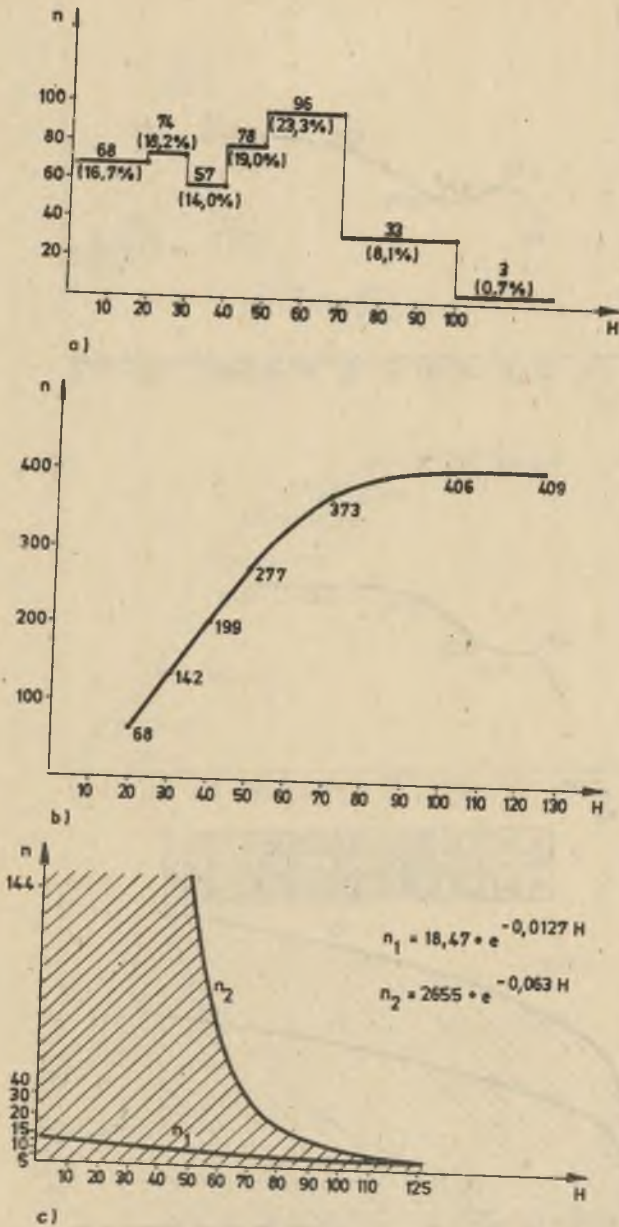
Rys. 8. Rozkład maksymalnego wymiaru deformacji wg średnicy arytmetycznej

Zależności zestawiono w tablicach oraz przedstawiono graficznie na rys. 7 do 17. Na rys. 7 pokazano zestawienia ilości deformacji o określonej średnicy, natomiast rys. 8 przedstawia obliczoną średnią arytmetyczną maksymalnego wymiaru zapadliaka, a także rozkład ilościowy kształtowania się maksymalnego wymiaru zapadliaka dla:

$$d = \pm 1,0 \text{ m}; \quad \pm 2,0; \quad \pm 3,0; \quad \pm 5,0; \quad \pm 10,0; \quad \pm 15,0.$$

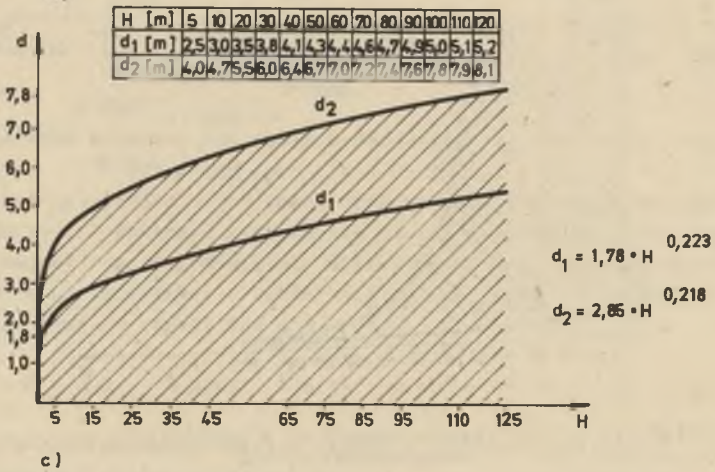
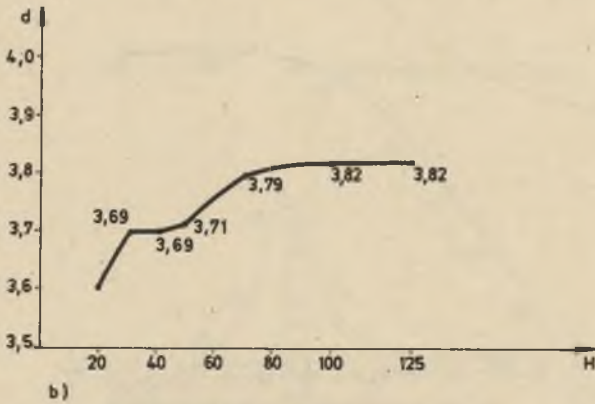
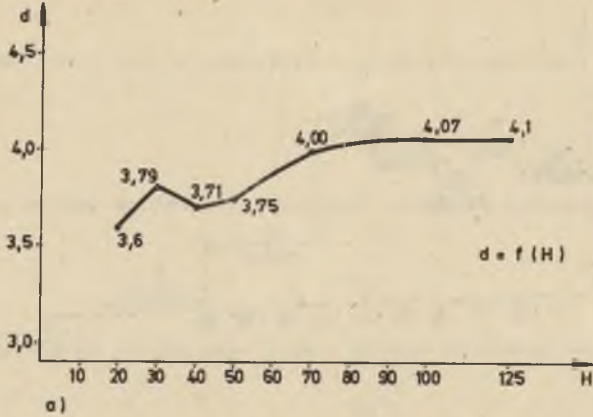
Na rys. 9 i 10 pokazano rozkład liczby i średnice deformacji w zależności od głębokości występowania pustki.

Rysunki 11 i 12 podają rozkład liczby i średnice deformacji w zależności od grubości luźnego nadkładu, a rys. 13 i 14 przedstawiają liczbę i średnice deformacji w zależności od grubości pokładu (wielkości pustki). Na rys. 15 pokazano liczbę deformacji w zależności od wskaźnika "Z".

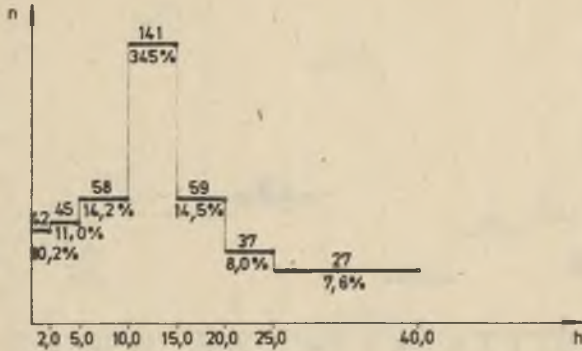


Rys. 9. Zależność między ilością zapadłisk a głębokością eksploatacji (występowania pustki)

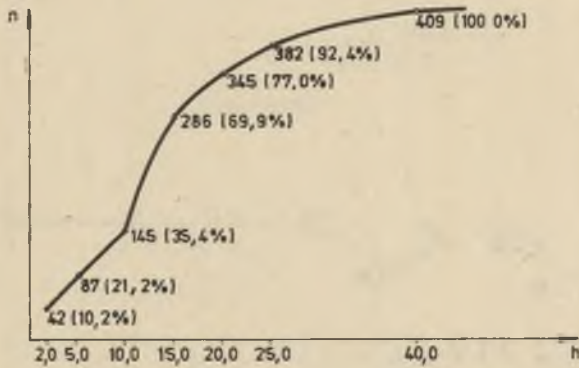
a) przedziałami, b) narastająco, c) funkcja $n = f(H)$



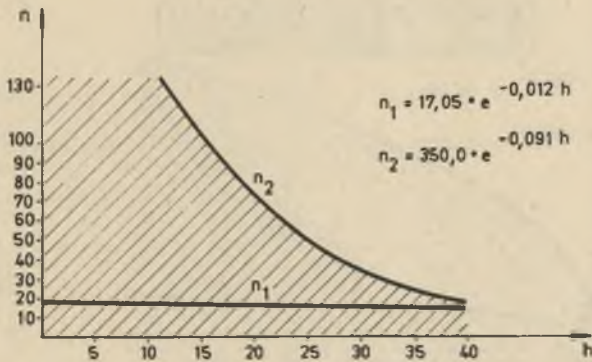
Rys. 10. Zależność między średnicą deformacji a głębokością eksploatacji
 a) przedziałami, b) narastająco, c) funkcja $d = f(H)$



a)

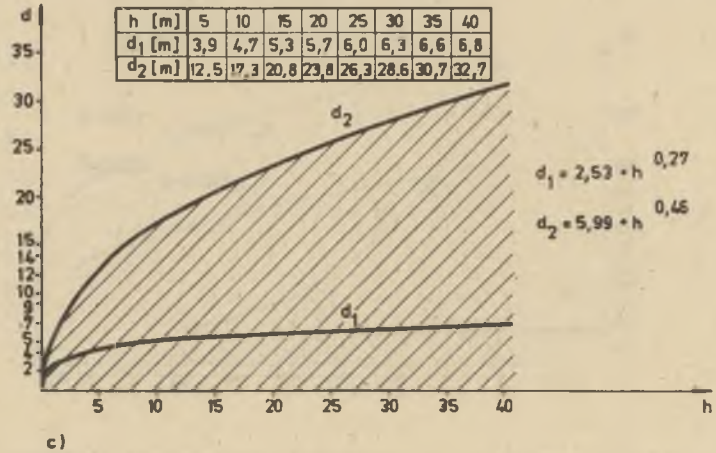
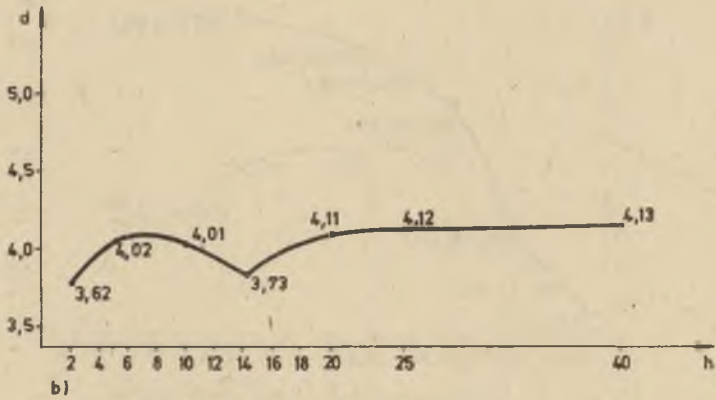
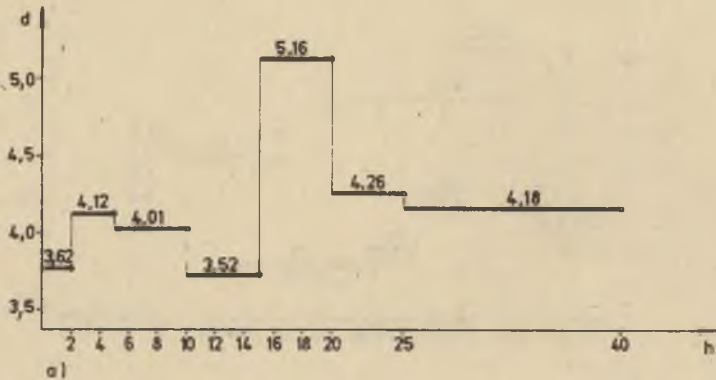


b)

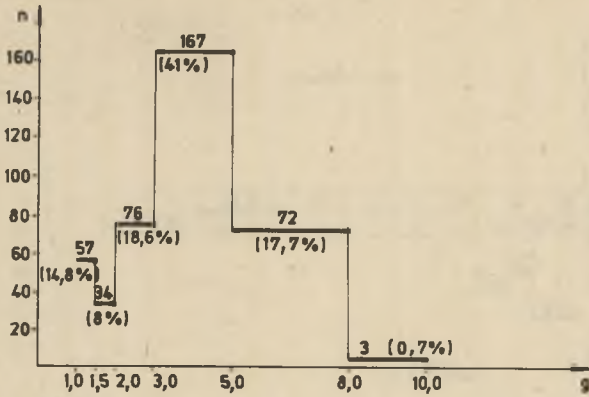


c)

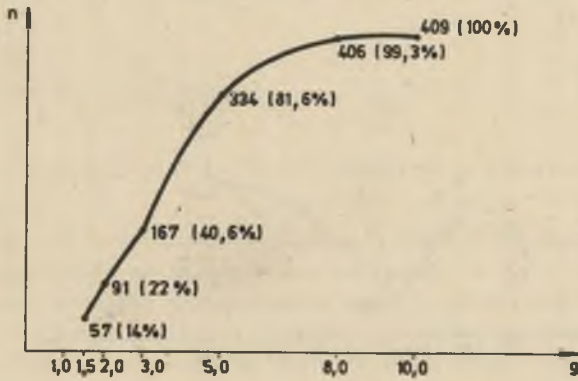
Rys. 11. Zależność między ilością zapadłisk a grubością luźnego nadkładu
a) przedziałami, b) narastająco, c) funkcja $n = f(h)$



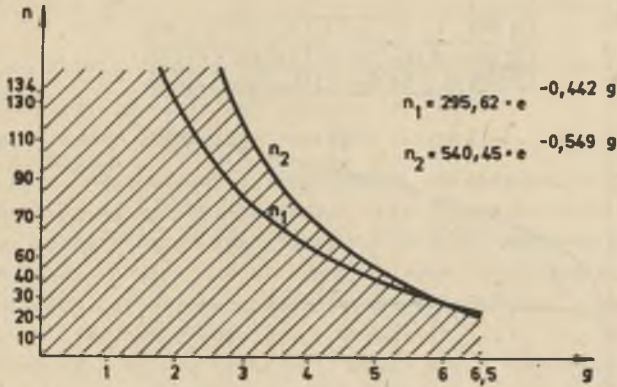
Rys. 12. Zależność między średnicą zapadliak a grubością luźnego nadkładu
 a) przedziałami, b) narastająco, c) funkcja $d = f(h)$



a)



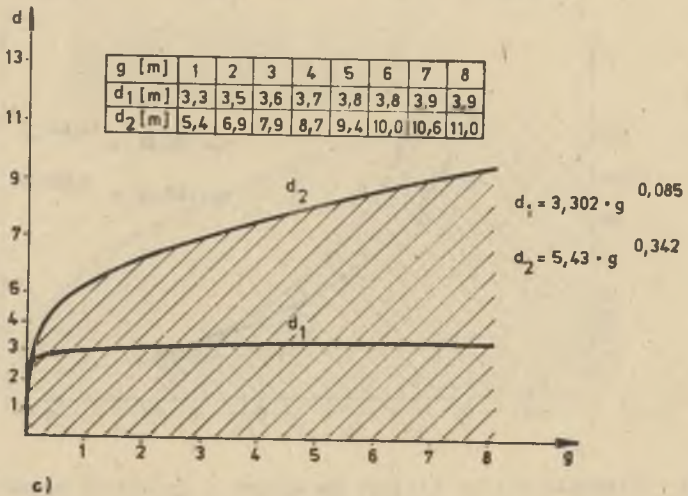
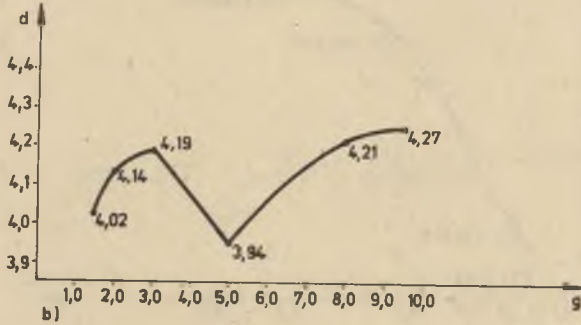
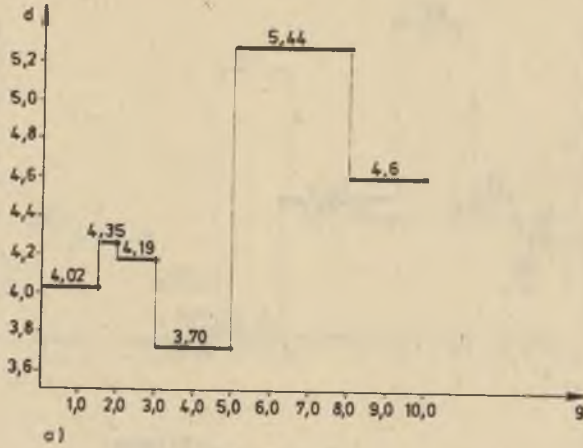
b)



c)

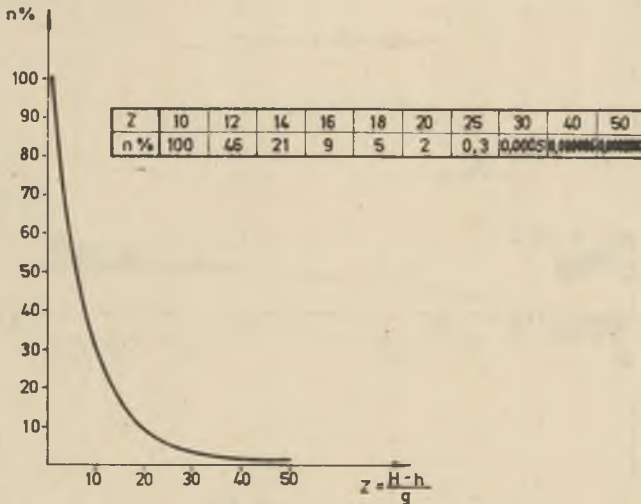
Rys. 13. Zależność między ilością zapadliak a grubością eksploatowanego pokładu (wysokością pustki)

a) przedziałami, b) narastająco, c) funkcja $n = f(g)$



Rys. 14. Zależność między średnicą zapadlisk a grubością eksploатовanego pokładu (wysokością pustki)

a) przedziałami, b) narastająco, c) funkcja $d = f(g)$



Rys. 15. Zależność między ilością zapadłisk a wskaźnikiem $Z = \frac{H-h}{g}$

Na rys. 16 i 17 przedstawiono zależność między liczbą zapadłisk a czasem, który upłynął od zakończenia eksploatacji.

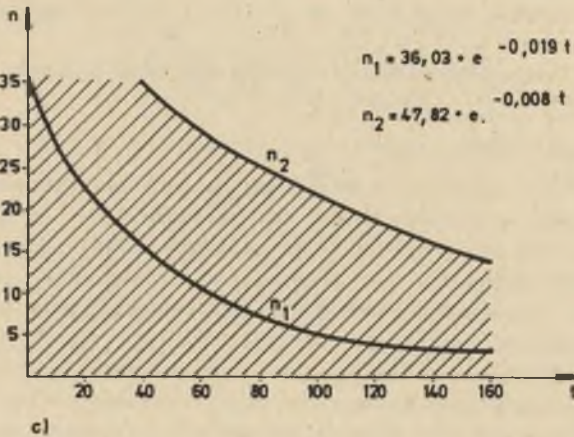
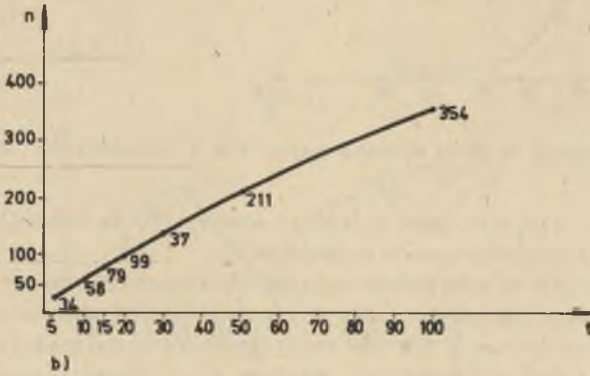
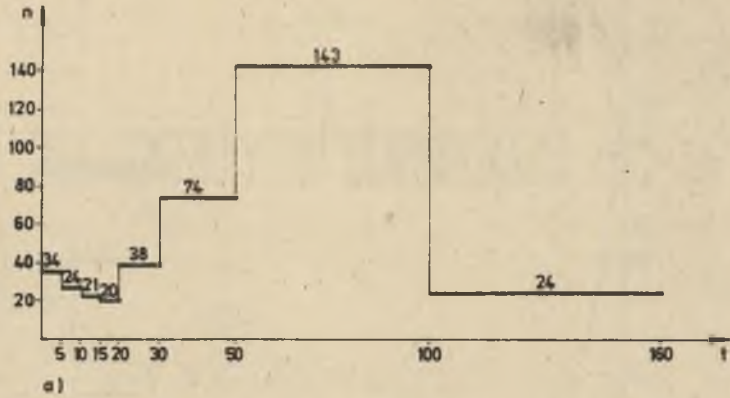
Na rysunkach pokazano wymienione zależności wyznaczone na podstawie inwentaryzacji, a także uściślone funkcje tych zależności wyliczone na elektronicznej maszynie cyfrowej dla 424 zarejestrowanych deformacji, dla których zgromadzono pełną dokumentację. Uzyskane w ten sposób funkcje zależności porównano z danymi uzyskanymi na podstawie analizy poszczególnych rejonów.

Dla każdej zależności określono za pomocą EMC dwie funkcje:

- a) zależność między parametrami (krzywe n_1, d_1).
- b) maksymalny obszar objęty obserwacjami (krzywe n_2, d_2).

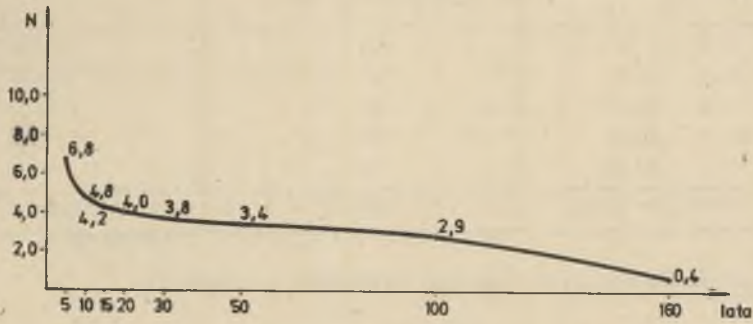
Funkcja zależności między poszczególnymi parametrami stanowi wypadkową, zaś funkcja ekstremalna określa obszar (zakresowany), w którym dana zależność może zawierać się. Funkcje te na ogół nie spełniają warunków brzegowych, ale są miarodajne dla tych przedziałów głębokości eksploatacji, grubości nadkładu, grubości pokładu (wysokości pustki) oraz czasu, w których występuje zjawisko deformacji nieciągłych.

Zarejestrowane średnice deformacji występują w zakresie od 0,3 m do 60,0 m. Z rozważań wyłączono kilka deformacji w kształcie szczelin i rowów o znacznej długości (130-300) i małej szerokości. Otrzymane zależności pokazano graficznie na rys. 7 i 8, a częstość występowania deformacji o określonej średnicy zestawiono w tabelicy 7.

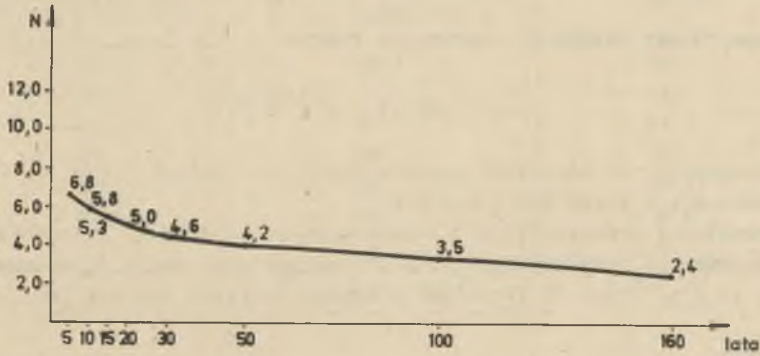


Rys. 16. Zależność między ilością zapadliak a czasem jaki upłynął od eksploatacji

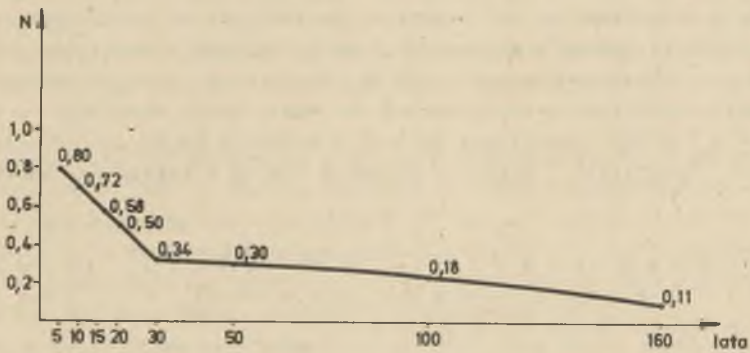
a) przedziałami, b) narastająco, c) funkcja $n = f(t)$



a)



b)



c)

Rys. 17. Natężenie tworzących się deformacji średnio na rok w czasie
a) przedziałami, b) natastająco, c) narastająco dla jednego rejonu

Zależność między ilością zapadlisk a ich średnicą

Średnica zapadlisk (m)	Ilość zapadlisk	Udział %
0,3 - 2,5	154	38,5
2,5 - 5,0	147	36,0
5,0 - 10,0	67	16,4
10,0 - 20,0	29	7,1
20,0	8	2,0
	405	100,0

Na podstawie obliczeń uzyskano zależność wykładniczą:

$$n_1 = 54,4 \cdot e^{-0,161 d}$$

przy czym obszar obserwacji ogranicza krzywa:

$$n_2 = 186,17 \cdot e^{-0,16 d}$$

Największa ilość zapadlisk posiada wymiar poziomy do 5,0 m, a zwłaszcza mieszczący się w granicach 1,5-3,0 m.

W przedziale średnic 0,3-5,0 m połowa deformacji jest o średnicy 0,3-2,5 m i połowa o średnicy 2,5-5,0 m. Ponad 90% deformacji ma średnicę mniejszą niż 10,0 m. Tylko 2% zapadlisk wykazuje średnicę większą jak 20 m.

Wnioski:

- w miarę wzrostu średnicy zapadlisk ich ilość maleje;
- krzywą doprowadzono do osi rzędnych, zakładając, że bardzo duża ilość deformacji nieciągłych o średnicach 0-50 m nie była i nadal nie jest rejestrowana, zwłaszcza gdy występuje na nieużytkach, gruntach rolnych itp.;
- istnieje największe prawdopodobieństwo wystąpienia zapadlisk o średnicy do 5,0 m (74,5%). Zapadliska od 5-20 m stanowią 23,5% ogólnej ilości zapadlisk. Zapadliska o średnicy większej niż 20 m występują bardzo rzadko.

Zależność między głębokością eksploatacji (występowania pustki) a liczbą i średnicą zapadliska

Istotnym czynnikiem górniczo-geologicznym tworzących się zapadlisk jest głębokość występowania pustki. Zaistniałe deformacje zarejestrowano przy głębokościach eksploatacji od 4-120 m. W przypadkach wątpliwych do analizy przyjęto głębokość zalegania pokładu wyeksploatowanego najpłycej. Wyniki

pomiarów wykonanych na terenach zapadliskowych przedstawiono graficznie na rys. 9 i 10. Uzyskano funkcję wykładniczą:

$$n_1 = 18,74 \cdot e^{-0,0127 H}$$

a obszar obserwacji ogranicza krzywa:

$$n_2 = 26655 \cdot e^{-0,063 H}$$

Częstość występowania zarejestrowanych deformacji w poszczególnych przedziałach głębokościowych zestawiono w tabelicy 8.

Tablica 8

Zależność między ilością zapadlisk a głębokością występowania pustki

Głębokość eksploatacji (m)	Ilość zapadlisk	Udział %
4 - 20	68	16,7
20 - 30	74	18,2
30 - 40	57	14,0
40 - 50	78	19,0
50 - 70	96	23,3
70 - 100	33	8,1
100	3	0,7
	409	100,0

Wnioski:

- najwięcej deformacji zarejestrowano dla głębokości eksploatacji od 4 do 70 m (91,2%);
- przy głębokościach większych niż 70 m ilość zapadlisk znacznie maleje, a przy głębokościach poniżej 100 m zapadliska występują tylko sporadycznie (0,7%).

Eksploatacja na tej głębokości nie powoduje bezpośrednio powstania zapadlisk na powierzchni, o ile nie zachodzi przypadek wpływów wodno-kurzawkowych, rozwierania się szczelin uskokowych itp. Na ogólną ilość 409 zarejestrowanych deformacji nieciągłych powierzchni tylko 3 były związane z wyrobiskami położonymi na głębokościach większych niż 100 m, których powstanie połączone było zawsze z wpływami wodno-kurzawkowymi

- w miarę wzrostu głębokości eksploatacji ilość deformacji spada;
- można przyjąć, że graniczną głębokością eksploatacji, poniżej której zapadliska nie występują, stanowi głębokość 150 m.

W odniesieniu do zależności wpływu głębokości na wielkość średnicy zapadlisk uzyskano zależność:

$$d_1 = 1,78 \cdot H^{0,223},$$

a zakres obserwacji ograniczony jest krzywą:

$$d_2 = 2,85 \cdot H^{0,218}.$$

Wnioski:

- ze wzrostem głębokości średnice deformacji zwiększają się;
- granicą wzrostu średnic deformacji będzie prawdopodobnie głębokość 150 m; poniżej której zapadlika już nie występują.

Zależność między grubością luźnego nadkładu a liczbą i średnicami zapadlisk

Istotnym czynnikiem mającym wpływ na tworzenie się zapadlisk jest grubość luźnego nadkładu. Podczas przeglądu warunków geologiczno - górniczych terenów zapadliskowych stwierdzono, że często warstwa nadkładu była zaledwie kilkumetrowej grubości. Analiza zagromadzonego materiału pozwala określić wpływ grubości luźnego nadkładu na ilość i rozmiary deformacji nieciągłych. Odpowiednie zależności przedstawiono graficznie na rys. 11 i 12 oraz zestawiono w tablicy 9.

Tablica 9

Zależność między ilością zapadlisk a grubością luźnego nadkładu

Grubość luźnego nadkładu (m)	Ilość zapadlisk	Udział %
0 - 2,0	42	10,2
2,0 - 5,0	45	11,0
5,0 - 10,0	58	14,2
10,0 - 15,0	141	34,5
15,0 - 20,0	59	14,5
20,0 - 25,0	37	8,0
> 25,0	27	7,6
	409	100,0

Większość zarejestrowanych deformacji nieciągłych występuje przy grubościach nadkładu do 25 m (92,4%).

Wpływ grubości nadkładu na ilość zapadlisk (rys. 11) wyraża funkcja wykładnicza:

$$n_1 = 17,05 \cdot e^{-0,012 h},$$

a obszar obserwacji ogranicza funkcja:

$$n_2 = 350,04 \cdot e^{-0,091 h}$$

Wnioski:

- w miarę wzrostu grubości luźnego nadkładu ilość deformacji spada;
- największe prawdopodobieństwo wystąpienia zapadliśk zachodzi przy grubości nadkładu do 25 m;
- przy grubości nadkładu 25-70 m zapadliśka mogą wystąpić sporadycznie;
- przy grubości nadkładu większej od 70 m zapadliśka na powierzchni nie występują.

Wpływ grubości nadkładu na średnicę zapadliśk (rys. 12) przedstawia funkcja wykładnicza:

$$d_1 = 2,53 \cdot h^{0,27}$$

a obszar obserwacji ogranicza funkcja:

$$d_2 = 5,99 \cdot h^{0,46}$$

Wnioski:

- ze wzrostem grubości (do grubości granicznej, tj. 70 m) nadkładu średnice zapadliśk rosną; Wzrost ten można wytłumaczyć kątem naturalnego zapyłu luźnego nadkładu oraz występowaniem warstw kurzawkowych przy grubszym nadkładzie.
- zależność między średnicą zapadliśka a grubością nadkładu należy tak rozumieć, że przy danej grubości nadkładu mogą powstać również zapadliśka o mniejszych lub większych wymiarach, jednak prawdopodobieństwo ich tworzenia się jest mniejsze od wymiaru zbliżonego do średniego, najbardziej oczekiwanego.

W p ł y w g r u b o ś c i p o k ł a d u (w y s o k o ś c i p u s t k i p o e k s p l o a t a c y j n e j) n a l i c z b ę i ś r ę d n i c e z a p a d l i ś k

Z grubością eksploатовanego pokładu wiąże się objętość pustek po wybranym ziożu, a która wpływa na wielkość zapadliśk oraz ich ilość. W rzeczywistości, w praktyce górniczej stwierdza się związek pomiędzy ilością i wymiarami powstających zapadliśk a grubością eksploатовanego pokładu, co pokazano na rys. 13 i 14 oraz w tabelicy 10.

Tablica 10

Zależność między ilością zapadliak a grubością eksploатовanego pokładu

Grubość eksploатовanego pokładu (m)	Ilość zapadliak	Udział %
1,0 - 1,5	57	14,0
1,5 - 2,0	34	8,0
2,0 - 3,0	76	18,6
3,0 - 5,0	167	41,0
5,0 - 8,0	72	17,7
> 8,0	3	0,7
	409	100,0

Wpływ grubości pokładu na ilość zapadliak wyraża funkcja wykładnicza:

$$n_1 = 295,62 \cdot e^{-0,442 g},$$

a obszar obserwacji ogranicza funkcja:

$$n_2 = 540,45 \cdot e^{-0,549 g}.$$

Wnioski:

- ilość deformacji spada ze wzrostem grubości pokładu. Zjawisko to należy tłumaczyć większą częstością występowania deformacji w niższych przedziałach grubości pokładu oraz wpływem wody, która usuwając rumoszą skalny z wybranej przestrzeni powoduje odnawianie i poszerzanie pustki. Fakt ten wynika również z tego, że w analizowanym przedziale czasu na małych głębokościach eksploатовano pokłady cienkie i średniej grubości;
- zasięg strefy spękań nad wykonanym płytko wyrobiskiem jest znacznie wyższy niż przy eksploatacji głębokiej.

Wpływ grubości pokładu na średnicę zapadliak wyraża funkcja wykładnicza:

$$d_1 = 3,3 \cdot g^{0,085},$$

a pole obserwacji ogranicza funkcja:

$$d_2 = 5,43 \cdot g^{0,342}.$$

Wnioski:

- średnica deformacji nieciąglych rośnie ze wzrostem grubości pokładu.

Dla pełnego zobrazowania wpływu grubości pokładu na ilość deformacji wykonano zależność pokazaną na rys. 15, gdzie pokazano procentową ilość deformacji nieciągłych w zależności od wielokrotności grubości pokładu, która mieści się w górotworze związłym.

Wskaźnik w odniesieniu do zarejestrowanych zapadlisk (tablica 2) jest miarą wysokości strefy spękań w górotworze o grubości "H-h", spowodowanej eksploatacją pokładu grubości "g". Wysokość strefy spękań wyrażono na rys. 15 w wielokrotności grubości pokładu (wysokość pustki). Tak więc np. w obszarze Kopalni "Bolesław Śmiały" zarejestrowano 13 zapadlisk przy grubości górotworu związłego 63 m i grubości eksploatowanego pokładu 3,0 m. Eksploatacja zatem tego pokładu musiała spowodować strefę spękań o wysokości co najmniej 63 m, co odpowiada liczbie:

$$Z = \frac{63}{3} = 21.$$

Największa ilość deformacji nieciągłych (275 zapadlisk, tj. 65%) występuje przy wielkości liczby Z do 10.

W przedziale $10 < z < 30$ zarejestrowano 140 zapadlisk, a więc 33%. Resztę zapadlisk, a więc tylko 9 szt., co stanowi 2%, zarejestrowano w przedziale $30 \leq z \leq 50$.

Przy wartościach $z > 50$ zapadlisk nie stwierdzono.

Funkcja $n = f(Z)$ jest krzywą wykładniczą:

$$n = 47,08 \cdot e^{-0,385 \cdot (Z)},$$

przy czym "n" wyrażono nie w procentach, a w ułamku ($60\% = 0,6$). Przyjmując w oparciu o obserwacje i wyniki inwentaryzacji, że:

$$Z = \frac{H - h}{g} = 10$$

stanowi maksymalną wysokość strefy zawału, a

$$Z = \frac{H - h}{g} = 50$$

maksymalną wysokość strefy spękań, można przyjąć, że krzywa $n = f(Z)$ obrazuje prawdopodobieństwo wystąpienia zapadlisk. Jeżeli przyjąć założenie, że dla wystąpienia deformacji nieciągłej co najmniej strefa spękań musi dojść do spągu nadkładu, nasuwają się następujące wnioski:

- zarówno wysokość strefy zawału jak i strefy spękań na małych głębokościach są znacznie większe aniżeli dotąd przyjmowano,
- wysokość strefy zawału sięga 10-krotnej grubości pokładu,

- wysokość strefy spękań sięga 30-krotnej grubości pokładu i dochodzi do 50-krotnej grubości pokładu przy mocnych piaskowcach (kop. "Komuna Pa-ryska"),
- na znaczną wysokość strefy spękań, obok dużej wielkości liczby "m" na małych głębokościach, wpływ wywiera czas. Wysokie sklepienie nad wyro-biskiem powstaje na przestrzeni kilkudziesięciu, a nawet 100 i więcej lat.

W p ł y w c z a s u i e t n i e n i a p u s t k i w g ó r o -
t w o r z e n a l i c z b ę z a p a d l i s k

Na rys. 16 i 17 pokazano zależności obrazujące przebieg tworzenia się zapadlisk w czasie, liczony od zakończenia eksploatacji (wykonania wyrobi-ska) do wystąpienia deformacji. Okres ten waha się od 0,5 roku do 160 lat. Zależność ilości zapadlisk od czasu ujęta jest w postaci funkcji wykładni-czej:

$$n_1 = 36,034 \cdot e^{-0,019 t},$$

a obszar obserwacji ogranicza funkcja:

$$n_2 = 47,823 \cdot e^{-0,008 t},$$

Wnioski:

- z upływem lat od zakończenia eksploatacji ilość deformacji tworzących się w określonym czasie i w danym rejonie maleje, z 6,8 zapadlisk / rok w pierwszych 5 latach do 2,9 zapadlisk / rok w okresie 5-100 lat od zakończenia eksploatacji. Natomiast w pierwszych 30 latach od zakończenia eks-ploatacji spadek jest większy (z 6,8 zapadlisk/rok do 3,8 zapadlisk/rok). Przykładowo - dla wybranego rejonu ilość deformacji maleje z 0,8 zapa-dlisk/rok w pierwszych 5 latach do 0,34 zapadlisk/rok po 30 latach od zakończenia eksploatacji i 0,18 zapadlisk/rok po 100 latach od zakończe-nia eksploatacji. Generalnie w zapadliskowych obszarach GOP należy się liczyć z możliwością wystąpienia około 3 zapadlisk/rok nawet, gdy nie będzie się już prowadziło nowej eksploatacji;
- eksploatację pokładów węgla rozpoczęto około 1800 roku, a więc ponad 175 lat temu, natomiast rejestrację deformacji nieciągłych zaczęto prowadzić około 1950 roku. Oznacza to, że przez okres ponad 150 lat brak ściślejsz-ych danych o występowaniu zapadlisk i ich charakterystyce. Wiadomo na-tomiast, że zapadliska występowały. W ostatnich latach ogólna ilość de-formacji nieciągłych w rejonie GOP maleje, ponieważ eksploatację prowe-dzi się na głębokościach większych niż 150 m, a ponadto coraz powszech-niej stosuje się system ścianowy i podsadzkę hydrauliczną, szczególnie w obszarach miast, osiedli itp. Zwiększa się natomiast ilość deformacji

spowodowanych reaktywacją dawnej płytkiej eksploatacji na skutek aktualnie prowadzonej wybiórki na większych głębokościach.

W p ł y w s y s t e m u e k s p l o a t a c j i

Jednym z istotnych czynników ochrony powierzchni przed wystąpieniem deformacji nieciągłych jest wybór systemu eksploatacji. W określonych warunkach górniczo-geologicznych płytko zalegających złóż dobór właściwego systemu eksploatacji jest podstawowym sposobem zmniejszania zjawiska deformacji powierzchni. Z punktu widzenia wpływu eksploatacji na górotwór i powierzchnię można wyróżnić następujące systemy eksploatacji:

- a) z pełną ochroną stropu,
- b) z podsadzką płynną i suchą,
- c) z zawałem stropu.

ad a) Eksploatacja z pełną ochroną stropu jest eksploatacją częściową. Po między wybranymi partiami złoża pozostawia się pasy calizny, których zadaniem jest podtrzymanie stropu zasadniczego. Osiedlenia w tym systemie wynoszą 2-4% grubości pokładu, deformacje nieciągłe nie powinny występować. Poeksploatacyjne komory wypełnione mogą być podsadzką hydrauliczną lub poprzez zawał stropu. W pewnych przypadkach komory te stoją bez zawału (kopalnie soli), w innych ulegają zawałowi ale tylko do wysokości stropu zasadniczego (kopalnie cynku i ołowiu).

Eksploatację częściową z pełną ochroną stropu stosować można przy bardzo płytkim zaleganiu złoża - $H = 30-100$ m. Zasadniczym elementem tego systemu jest dobór odpowiedniej szerokości tak komór jak i pozostawionych pasów calizny. Przy odpowiednim doborze tych warunków można uniknąć deformacji nieciągłych powierzchni.

ad b) Eksploatacja pełna z podsadzką

Pokład wybiera się w 100%. W celu niedopuszczenia do zawału przestrzeń wybraną wypełnia się podsadzką.

Maksymalne osiedlenia w tym systemie wynoszą:

10-15% grubości złoża dla podsadzki hydraulicznej,

35-40% grubości złoża dla podsadzki suchej.

Eksploatację pełną z podsadzką hydrauliczną można stosować od głębokości 60 m. Natomiast podsadzki suchej nie powinno się stosować przy eksploatacji powyżej głębokości 150 m, o ile dąży się do uniknięcia zapadliak na powierzchni.

ad c) Eksploatacja z zawałem stropu,

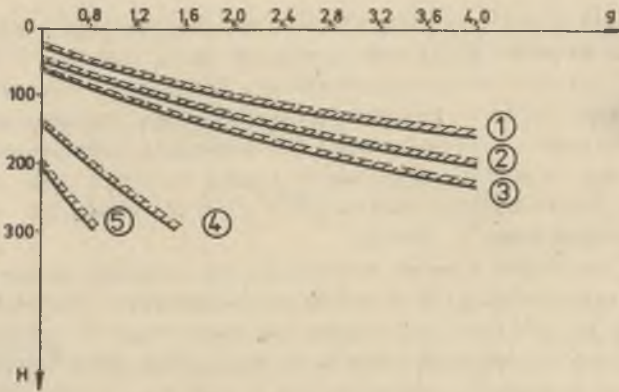
Złoże wybiera się w 100% z zawałem stropu systemem ścianowym, ubierkowym lub zabierkowym.

Osiadania przy tym systemie wynoszą 70-90% grubości złoże. Zasadniczo system ten nie nadaje się do eksploatacji pokładów na małych głębokościach, mniejszych niż 200 m. O ile jednak system zawałowy jest konieczny, należy wybrać system ścianowy lub ubierkowy, ponieważ wysokość strefy zawału i spękań jest wtedy niższa niż przy systemie zabierkowym.

Ponadto na wielkość deformacji powierzchni i górotworu mają wpływ:

- wymiar i kształt wybieranego złoże,
- wykształcenie litologiczne górotworu,
- zawodnienie górotworu,
- tektonika złoże,
- stopień zruszenia górotworu wcześniejszą eksploatacją i inne.

Na rys. 18 przedstawiono obszary właściwego stosowania różnych systemów eksploatacji zależnie od grubości pokładu i głębokości eksploatacji.



Rys. 18. Obszary stosowania systemów eksploatacji w zależności od grubości pokładu i głębokości pokładu

1 - eksploatacja częściowa komorowa z podsadzką hydrauliczną, 2 - eksploatacja częściowa komorowa z zawałem, 3 - eksploatacja pełna z podsadzką hydrauliczną, 4 - podsadzka sucha, częściowy zawał, 5 - eksploatacja z pełnym zawałem

Do 1945 roku dominującym systemem eksploatacji złóż węgla był system zabierkowy i komorowy. Zwłaszcza grube pokłady węgla były wybierane tymi systemami. Przy eksploatacji podziemnej rud cynku ołowiu, żelaza jak i przy eksploatacji złóż soli i gipsu nadal przeważają systemy komorowe. Głębokość eksploatacji węgla i rud schodzi stopniowo coraz niżej. Eksploatacja powyżej głębokości 80 m dziś jest spotykana tylko sporadycznie. Systemy ścianowe, które zaczęto po 1945 roku szeroko stosować przy eksploatacji pokładów węgla, bardzo rzadko prowadzone były na głębokości do 100 m. Z analizy

dokumentów wynika, że większość zapadliśk spowodowana została eksploatacją pokładów węgla i rud systemem komorowym i zabierkowym z zawałem stropu na głębokości do 100 m.

Prawidłowość tę można wytłumaczyć tym, że w systemie ścianowym i ubierkowym zawał stropu jest pełny i nie pozostają pustki niewypełnione przez rumosze skalny. Ponadto nad strefą zawału i spękań wykształca się strefa ugięcia. W górotworze brak zatem pustki, która wędruje do nadkładu.

Przy eksploatacji zabierkowej czy komorowej między wyrobiskami pozostają nogi i filary, które utrudniają i opóźniają zawał.

Wysokość strefy zawału i spękań zwiększa się z upływem czasu, a pustka pierwotna przemieszcza się w górę. Podobne warunki stwarzają wyrobiska przygotowawcze wykonywane zwłaszcza w strefach zaburzonych uskokami, przy wyhodniach, strefach wodonośnych, kurzawkowych itp.

Reasumując, można wnioskować, że obecnie nie tworzy się nowych terenów zapadliśkowych ze względu na głębszą eksploatację oraz przewagę systemu ścianowego i ubierkowego. Tak więc zagrożenie powierzchni zapadliśkami pochodzi głównie od starej płytkiej eksploatacji.

Wpływ budowy i własności skał górotworu zwięzłego i nadkładu

Zarówno jakość skał górotworu, jak i nadkładu ma istotne znaczenie w powstawaniu zapadliśk. Górotwór karboński na głębokości do 100 m w zasadzie zachowuje się jak ośrodek sprężysty odpowiadający prawu Hooke'a. W niektórych jednak wypadkach - przy przewadze łupków, ilów, glinki - już na głębokości 80-100 m obserwuje się cechy plastyczności górotworu.

Jeszcze wyraźniej zjawisko to występuje przy eksploatacji rud żelaza i cynku - ołowiu w rejonie Częstochowskim i Olkuskim. W skałach plastycznych przy eksploatacji na głębokości 60-90 m obserwuje się występowanie typowej niecki osiadania.

Jakość nadkładu ma wpływ na ilość, wielkość i kształt deformacji nieciągłych. Wyróżnia się nadkłady: sypki, plastyczny, kruchy oraz zawodniony lub suchy. Warstwy skał nadkładu charakteryzuje kąt naturalnego zrypu. Kąt ten wpływa bezpośrednio na średnicę zapadliśka. Istnieją następujące sposoby uwidocznienia się wpływu eksploatacji na powierzchnię:

- wystąpienie deformacji ciągłych,
- wystąpienie deformacji nieciągłych,
- wystąpienie zarówno deformacji ciągłych jak i nieciągłych,
- brak deformacji.

Duże znaczenie w tym zakresie ma jakość górotworu zwięzłego i nadkładu. Przy skałach bardzo mocnych (np. w kopalniach soli) mimo płytkiej eksploatacji nie występują na powierzchni żadne deformacje.

W skałach plastycznych o grubości warstwy co najmniej 30 m między wyrobiskiem a powierzchnią wystąpią wyłącznie deformacje ciągłe (kopalnie rud

żelaza w rejonie Częstochowy lub KWK "Jankowice". Jeżeli wkładka skał plastycznych jest zmienna, to przy mniejszej grubości wystąpią deformacje nieciągłe, natomiast przy większej grubości - deformacje ciągłe (kopalnie rud cynku i ołowiu koło Olkusza). W tym przypadku można mówić o przejściu od deformacji nieciągłych do ciągłych.

W przypadkach skał średniozwięzłych i kruchych występują deformacje nieciągłe, co potwierdzają zapadliska w obrębie 12 kopalń węgla kamiennego GOP i KGH - "Orzeł Biały". Stwierdza się, że tam gdzie występują mocne nie rabujące się stropy (przy eksploatacji częściowej) względnie występują grube (> 30 m) warstwy skał plastycznych (iły, gliny) nie należy się spodziewać deformacji nieciągłych. Jeżeli natomiast w górotworze występują skały rabujące się (piaskowce, łupki, łupki piaszczyste), to istnieją warunki do wystąpienia deformacji nieciągłych. Zasięg oddziaływania wyrobiska jest tym większy, im skały są mocniejsze.

Strefa spękań przy mocnych piaskowcach może sięgać do wysokości odpowiadających 50-krotnej grubości pokładu. Jej ukształtowanie odbywa się na przestrzeni wielu lat.

W związku z przytoczonymi wyżej uwagami zachodzi potrzeba odrębnego rozpatrywania kilku typów górotworu z punktu widzenia ich wpływu wyrobisk na powierzchnię:

1. Górotwór sprężysty, sztywny, zbudowany ze skał bardzo trudno rabujących się (kop. soli i gipsu), gdzie mimo eksploataowania dużych komór na niewielkiej głębokości nie dochodzi do żadnych deformacji.

2. Górotwór plastyczny, zbudowany ze skał uginających się (iły, gliny w kopalniach rud żelaza w rejonie Częstochowy), gdzie przy płytkiej eksploatacji deformacje objawiają się w formie ciągłej, a także powstają progi, szczeliny itp..

3. Górotwór sprężysto-kruchy, złożony ze skał mocnych, średnich i słabych, ulegających zawałowi (kopalnie węgla kamiennego GOP, KGH "Orzeł Biały", kopalnie rud cynku i ołowiu w rejonie Olkusza). W górotworze takim występują zarówno deformacje ciągłe, jak i nieciągłe.

W p ł y w c z y n n i k ó w a k t y w i z u j ą c y c h r u c h y g ó r o t w o r u

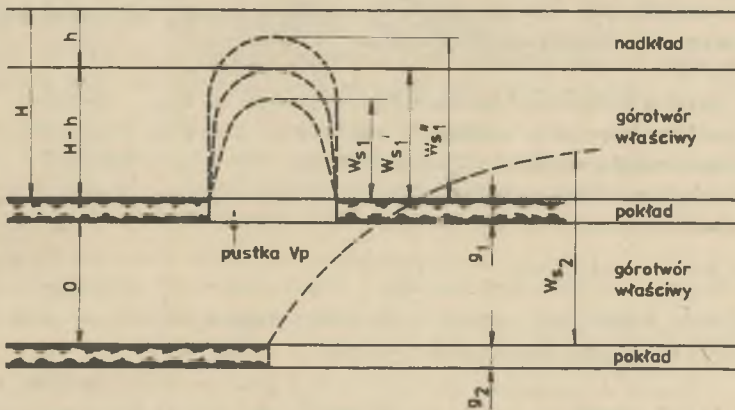
Niezależnie od czynników naturalno-górnictwowych górotworu na występowanie deformacji nieciągłych wpływ wywiera szereg czynników aktywizujących. Będą to:

- a) zawodnienie górotworu,
- b) reaktywacja starych zrobów,
- c) pożary w zrobach,
- d) drgania i wstrząsy,
- e) obciążenie powierzchni,
- f) wychodnie uskoków i pokładów,
- g) stare szyby i szybiki.

za wodnienie gorotworu, a zwłaszcza zmiany w stosunkach wodnych tak gorotworu właściwego jak i nadkładu mogą być przyczyną wystąpienia zapadlisk. Znane są przypadki wystąpienia zapadlisk po osuszeniu zawodnionych zrobów. Dojście strefy zawału lub strefy spękań warstw kurzawkowych może spowodować wytworzenie się pustki, która przemieszczając się w górę do powierzchni spowoduje wystąpienie deformacji nieciągłych. Często przyczyną zapadlisk są zawadnione uskoki.

Zasadniczą rolę odgrywa woda, przedostająca się z powierzchni, nadkładu czy gorotworu związłego do przestrzeni wybranej. Usuwając materiał skalny przyczynia się do powiększenia się wysokości stref zawału i spękań.

ad b) Przypadki reaktywacji starych, płytkich zrobów przez eksploatację przebiegającą głębiej są częste. Przykład aktywizacji starych zrobów przez głębszą eksploatację przedstawia rys. 19.



Rys. 19. Przykład reaktywacji starych zrobów

H - głębokość występowania pustki pierwotnej, W_{s1} - wysokość strefy spękań pustki pierwotnej, W_{s2} - wysokość strefy spękań nowej eksploatacji, O - odległość między pokładami

Uaktywnienie pustki i przemieszczenie jej ku powierzchni może nastąpić na skutek spękania skał w ociosach pustki, przez co wzrasta jej szerokość oraz wzrasta wysokość sklepienia. Spękanie skał w ociosach wystąpi na pewno, gdy pustka znajdzie się w strefie zawału lub spękań prowadzonej niżej eksploatacji.

W praktyce jednak obserwuje się aktywizację starych płytko położonych wyrobisk nawet przy bardzo dużej odległości między starą a nową eksploatacją.

Przykładowo, w rejonie Chorzowa częściowa eksploatacja z podsadzką suchą pokładu o grubości 1,2 m na głębokości 180 m zaktywizowała zroby pokładów siodłowych wyeksploatowanych systemem zabierkowym z dużymi stratami na głębokości do 60 m. Odległość zatem między dawną i nową eksploatacją wynosiła w pionie więcej niż 120 m. W podobnych więc warunkach prowadzenia eksploatacji pod płytkimi zrobami - prognozę wystąpienia zapadliśk należy wykonać jak dla wybiierki eksploatowanego pokładu.

ad c) Pożary płytko zalegających zrobów mogą być przyczyną deformacji nieciągłych w postaci szczelin, którymi gazy pożarowe przedostają się na powierzchnię, czego przykładem jest rejon Chorzowa.

ad d) Wstrząsy pochodzenia górniczego i sejsmicznego mają wpływ na tworzenie się zapadliśk przez:

- przyspieszenie ruchu strefy zawału i spękań do powierzchni,
- utratę stateczności sklepienia w górotworze.

W praktyce wpływ wstrząsu w górotworze na powstanie zapadliśka jest trudny do określenia. Jednak obwały wyrobisk i rozszerzanie się strefy zawału są zjawiskami obserwowanymi w takich warunkach.

ad e) Zmiany obciążenia powierzchni wpływają na stan równowagi gruntu i mogą się przyczynić do powstania zapadliśk. Znane są przypadki wystąpienia zapadliśk wzdłuż szlaków kolejowych (ruch ciężkich pociągów), dróg i tras (ruch ciężkiego taboru samochodowego) czy w rejonie pracy ciężkich urządzeń mechanicznych.

ad f) W rejonach wychodni uskoków i eksploatowanych pokładów należy się spodziewać wzmożonych tendencji do występowania zapadliśk. Zagadnienie to dotyczy zwłaszcza uskoków zawodnionych.

ad g) Wiele zapadliśk zinwentaryzowanych na terenie GOP spowodowanych zostało istnieniem starych zlikwidowanych lub niezlikwidowanych szybów, szybików, "biedaszybów". Zapadliśka występują wskutek zniszczenia z biegiem lat zawarcia szybowego lub wystąpienia wyrwy w obudowie murowej szybu. Zdarza się również, że woda przepływająca poza obmurzem szybu wywołuje zapadliśko pod czynną wieżą szybową (kop. "Bobrek", rok 1975).

Wyniki całokształtu przeprowadzonej w niniejszym rozdziale oceny uzasadniają przyjęty i scharakteryzowany w pkt. 3.2 model górotworu podatnego na występowanie zapadliśk.

5. BADANIA MODELOWE

Dla szczegółowego rozpoznania i prześledzenia procesu tworzenia się w górotworze i na powierzchni zapadłisk przeprowadzono badania modelowe. W badaniach tych wykonano z materiałów skałopodobnych fragmenty górotworu, odwzorowujące możliwie wiernie ustalone poprzednio i wytypowane modele górotworu podatnego na powstawanie zapadłisk. Do modelowania górotworu w skali 1:50 wykorzystano materiały piaskowo-mikowo-parafinowe o odpowiednio ustalonym składzie i preparacji modelu górotworu. Poszczególne modele odznaczały się właściwą sobie budową litologiczną, a zmieniającymi się cechami modeli były:

- własności materiałów,
- wzajemne zaleganie warstw i struktura modelu,
- grubości górotworu związłego nadkładu oraz poszczególnych warstw,
- szerokości jak też objętości pierwotnych pustek w górotworze.

Zadaniem podjętych badań modelowych było uściślenie zależności jakościowych i ilościowych pomiędzy parametrami górotworu a parametrami zapadłisk, które ustalono na podstawie inwentaryzacji i analizy. Realizację założonego programu badań modelowych uzyskano poprzez:

- wyznaczenie związków przyczynowo-skutkowych w tworzeniu się na powierzchni zapadłisk,
- rozpoznanie procesu rozwoju w górotworze zawałowego sklepienia, przemieszczanie się tego sklepienia ku górze w górotworze związłym oraz obserwowanie momentu jego działania w górotworze nadkładowym sypkim,
- ustalenie geometrycznych proporcji pomiędzy wymiarami górotworu, warstw górotworu, pustek pierwotnych i wtórnych, kształtami tych pustek itp. a charakterystykami zapadłisk,
- określenie wpływu struktury modelu i jego budowy na rozprzestrzenianie się strefy zawału i spękań górotworu oraz formy zapadłisk,
- ocenę jakościową i ilościową wpływu czynników naturalno-górnicznych górotworu na wielkość zapadłiska,
- skuteczność odnawiania ruchów górotworu przez działanie wybranych czynników aktywizujących i inne.

Z uwagi na pracochłonność badań modelowych jak też ograniczony czas ich realizacji, z badań celowo wyeliminowano czas jako czynnik determinujący procesy deformacji górotworu. Wpływ czasu został bowiem szczegółowo prześledzony na podstawie analizy zebranych obserwacji.

Ponadto, z uwagi na ograniczone wymiary stanowiska badawczego i przyjętą skalę modelowania w badaniach modelowych, realizowano tylko pojedyncze przypadki zapadliśk.

Podobieństwo modelu do warunków rzeczywistych uzyskano przez zachowanie zasad i kryteriów podobieństwa geometrycznego i mechanicznego.

Kryteria te można wyrazić w skrócie następującymi cechami:

- identycznością początkowego stanu układów,
- podobieństwem warunków przebiegu zjawisk podczas badań,
- geometrycznym podobieństwem układów, w których przebiega proces,
- proporcjonalnością stałych fizykomechanicznych materiałów służących do wykonania modelu o charakterystycznych własnościach, takich jak: ciężar objętościowy, wytrzymałość na ściskanie, zginanie oraz na rozciąganie.

W oparciu o przeprowadzoną analizę warunków geologicznych rejonów występowania deformacji nieciągłych ustalono typową budowę górotworu podanego na zapadliśka.

Wytypowano przekroje stratygraficzne i litologiczne dla ośmiu modeli o poziomym zaleganiu warstw i dwa - ukośnego zalegania, przyjmując, że górotwór nad pokładem węgla zbudowany jest z piaskowców, łupków, iłów oraz skał luźnych, których rzeczywiste wielkości własności mechanicznych podano w tabelicy 11.

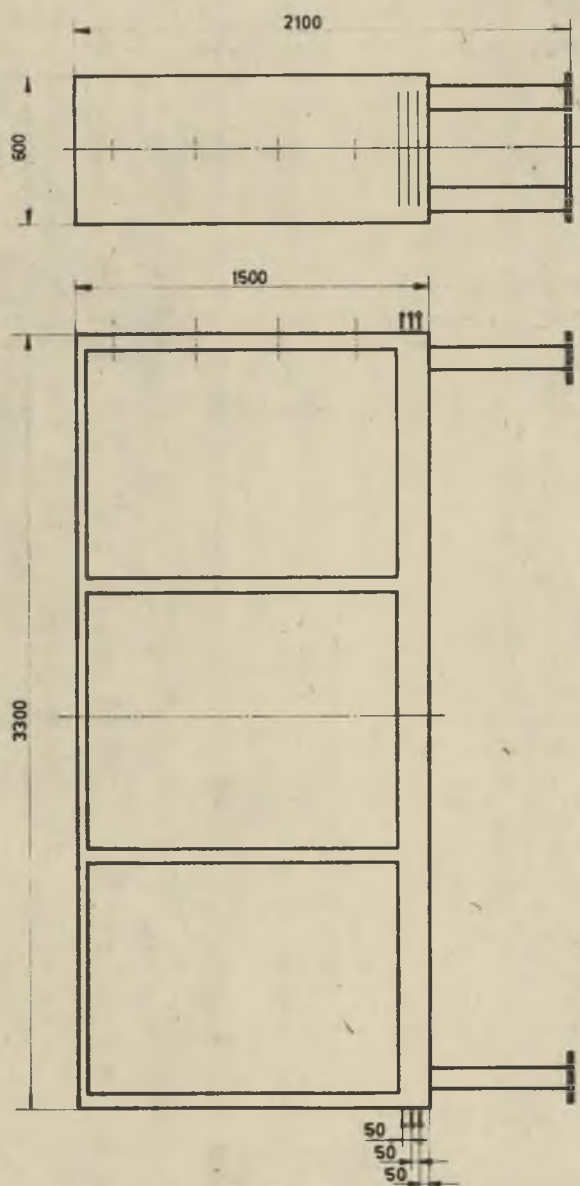
Tablica 11

Własności mechaniczne skał górotworu wytypowanego do badań modelowych

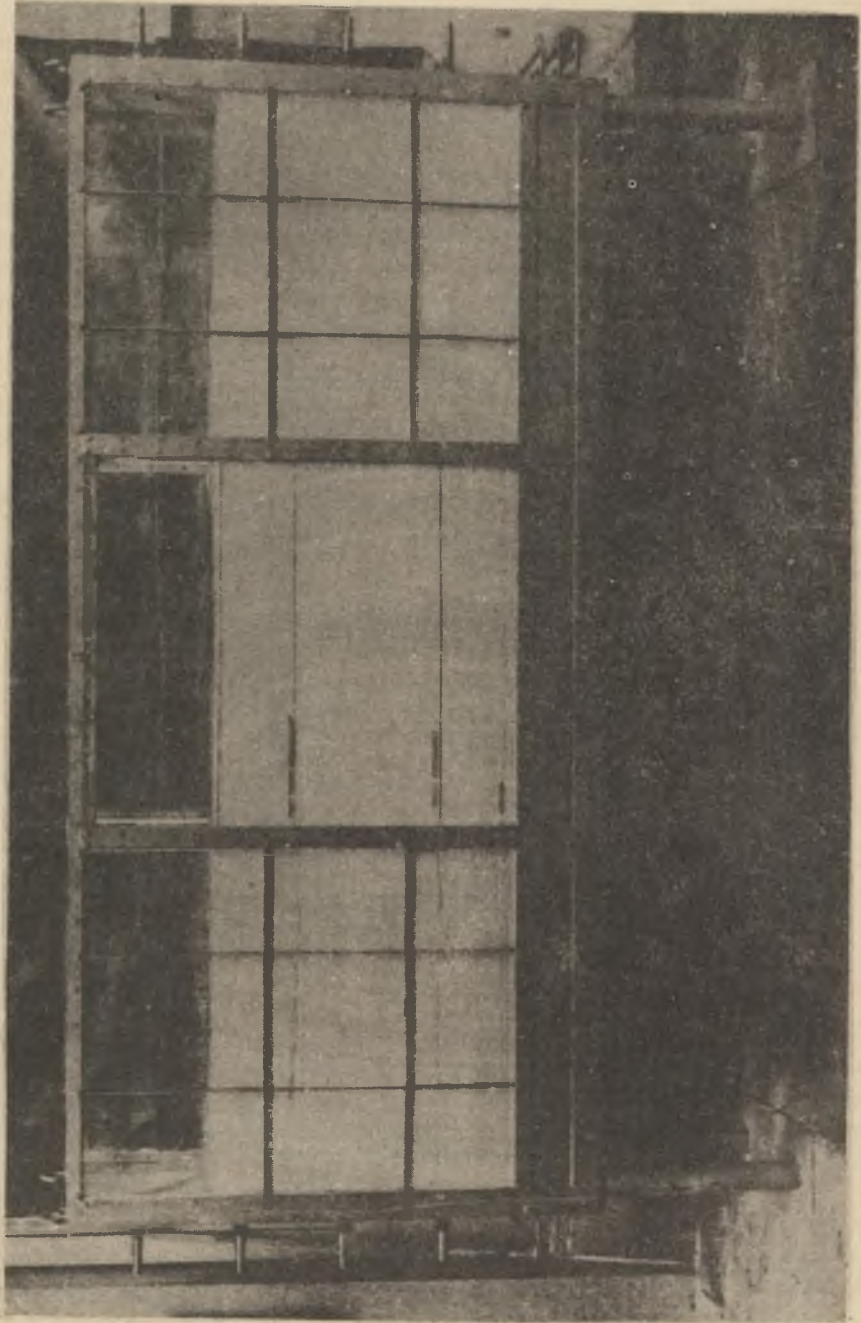
Lp.	Rodzaj skały	R_c [MPa]	R_g [MPa]	α	c [MPa]	Ciężar objętościowy [N/cm ³]
1	Piaskowce	25,0	5,0 - 7,0	30°	2,5	2,35
2	Łupki	8 - 15	2,0	26 - 30°	0,8 - 1,0	2,4
3	Iły	1,5 - 2,0	plast.	20°	0,1 - 0,5	2,3
4	Skały luźne (żwir, piaski)	-	-	20°	-	-

Zachowując skalę modelowania 1:50, w myśl warunków podobieństwa modelowego wyznaczono wymagane parametry wytrzymałościowe materiałów ekwiwalentnych, z których następnie wykonano modele. Wyniki obliczeń zestawiono w tabelicy 12. Charakterystykę litologiczną profili górotworu wytypowanego do badań modelowych podaje zestawienie w tabelicach 13-20.

Stanowisko badawcze pokazano na rys. 20 i 21. W dolnej części umieszczono trzy przesuwne płyty metalowe, imitujące przez wysuwanie eksploatację pokładów o modelowych grubościach: 5, 10, 15 cm (pokłady grubości 2,5-5,0 m i 7,5 m). Ściany boczne stoiska wykonano z przezroczystego materiału



Rys. 20. Schemat skrzyni do badań modelowych zapadliak



Rys. 21. Widok stanowiska badawczego

Tablica 12

Parametry wytrzymałościowe i skład materiałów ekwiwalentnych modelowego górotworu

Rodzaj skały	Ilość piasku [%]	Ilość miki [%]	Procent parafiny	R _c [MPa]	R _g [MPa]
Piaskowiec	81	19	3	0,12	0,076
Łupek	81	19	2	0,03	0,024
Ił	79	21	2	0,02	0,014

Tablica 13

Litologiczna budowa modeli I i II

Przekrój stratygraficzny	Głębokość od - do [m]	Miąższość [m]	Opis warstwy	Modelowa miąższość warstwy [m]
Czwartorzęd (nadkład)	0,0 - 0,3	0,3	gleba	0,02
	0,3 - 6,7	6,4	piasek średnio- i drobnoziarnisty	0,42
Karbon (górotwór zwięzły)	6,7 - 13,1	6,4	piaskowiec różnoziarnisty	0,42
	13,1 - 17,2	4,1	łupek ilasty	0,28
			węgiel kamienny	

Tablica 14

Litologiczna budowa modelu III

Przekrój stratygraficzny	Odległość od - do [m]	Miąższość [m]	Opis warstwy	Modelowa miąższość warstwy [m]
Czwartorzęd (nadkład)	0,0 - 5,0	5,0	gleba, piasek średnio- i drobnoziarnisty	0,1
Karbon (górotwór zwięzły)	5,0 - 20,0	15,0	łupek ilasty	0,3
	20,0 - 25,0	5,0	ił	0,1
	25,0 - 50,0	25,0	piaskowiec różnoziarnisty	0,5
			węgiel kamienny	

Tablica 15

Litologiczna budowa modelu IV

Przekrój stratygraficzny	Głębokość od - do [m]	Miąższość [m]	Opis warstwy	Modelowa miąższość warstwy [m]
Czwartorzęd (nadkład)	0,0 - 5,0	5,0	gleba, piasek średnio- i drobnoziarnisty	0,1
Karbon (górotwór zwięzły)	5,0 - 26,0	21,0	łupek ilasty	0,42
	26,0 - 28,0	2,0	skały luźne pokruszone, żwiry 10-20 mm	0,04
	28,0 - 50,0	22,0	piaskowiec różnoziarnisty	0,44
			węgiel kamienny	

Tablica 16

Litologiczna budowa modelu V

Przekrój stratygraficzny	Głębokość od - do [m]	Miąższość [m]	Opis warstwy	Modelowa miąższość warstwy [m]
Czwartorzęd (nadkład)	0,0 - 5,0	5,0	gleba, piasek średnio- i drobnoziarnisty	0,1
Karbon (górotwór zwięzły)	5,0 - 15,0	10,0	ił	0,2
	15,0 - 26,0	11,0	piaskowiec różnoziarnisty	0,22
	26,0 - 28,0	2,0	skały luźno pokruszone, żwiry 10-20 mm	0,04
	28,0 - 39,0	11,0	łupek ilasty	0,22
	39,0 - 50,0	11,0	piaskowiec różnoziarnisty	0,22
			węgiel kamienny	

Tablica 17

Litologiczna budowa modelu VI

Przekrój stratygraficzny	Głębokość od - do [m]	Miąższość [m]	Opis warstwy	Modelowa miąższość warstwy [m]
Czwartorzęd (nadkład)	0,0 - 5,0	5,0	gleba, piasek średnio- i drobnoziarnisty	0,1
Karbon (górotwór zwięzły)	5,0 - 11,0	6,0	ił	0,12
	11,0 - 18,0	7,0	piasek różnoziarnisty	0,14
	18,0 - 20,0	2,0	skały luźne, pokruszone, żwiry 0-10 mm	0,04
	20,0-27,0	7,0	łupek ilasty	0,14
	27,0-34,0	7,0	piaskowiec różnoziarnisty	0,14
	34,0-36,0	2,0	skały luźne pokruszone, żwiry 10-20 mm	0,04
	36,0-43,0	7,0	łupek ilasty	0,14
	43,0 - 50,0	7,0	piaskowiec różnoziarnisty	0,14
			węgiel kamienny	

Tablica 18

Litologiczna budowa modelu VII

Przekrój stratygraficzny	Głębokość od - do [m]	Miąższość [m]	Opis warstwy	Modelowa miąższość warstwy [m]
Czwartorzęd (nadkład)	0,0 - 5,0	5,0	gleba, piasek średnio- i drobnoziarnisty	0,1
Karbon (górotwór zwięzły)	5,0 - 30,0	25,0	łupek ilasty	0,5
	30,0 - 35,0	5,0	ił	0,1
	35,0 - 50,0	15,0	piaskowiec różnoziarnisty	0,3
			węgiel kamienny	

Tablica 19

Litologiczna budowa modelu VIII

Przekrój stratygraficzny	Głębokość od - do [m]	Mięższość [m]	Opis warstwy	Modelowa mięższość warstwy [m]
Czwartorzęd (nadkład)	0,0 - 5,0	5,0	gleba, piasek średnio- i drobnoziarnisty	0,1
Karbon (górotwór zwięzły)	5,0 - 25,0	20,0	łupek ilasty	0,4
	25,0 - 30,0	5,0	ił	0,1
	30,0 - 50,0	20,0	piaskowiec różnoziarnisty	0,4
			węgiel kamienny	

Tablica 20

Litologiczna budowa modeli IX i X o ukośnym zaleganiu warstw

Przekrój stratygraficzny	Głębokość od - do [m]	Mięższość [m]	Kąt upadu	Opis warstwy	Modelowa mięższość warstwy [m]
Czwartorzęd (nadkład)	0,0 - 5,0	5,0	0,0	gleba, piasek	0,1
Karbon (górotwór zwięzły)	5,0 - 50,0	-	45°	łupki	0,9
				węgiel kamienny	

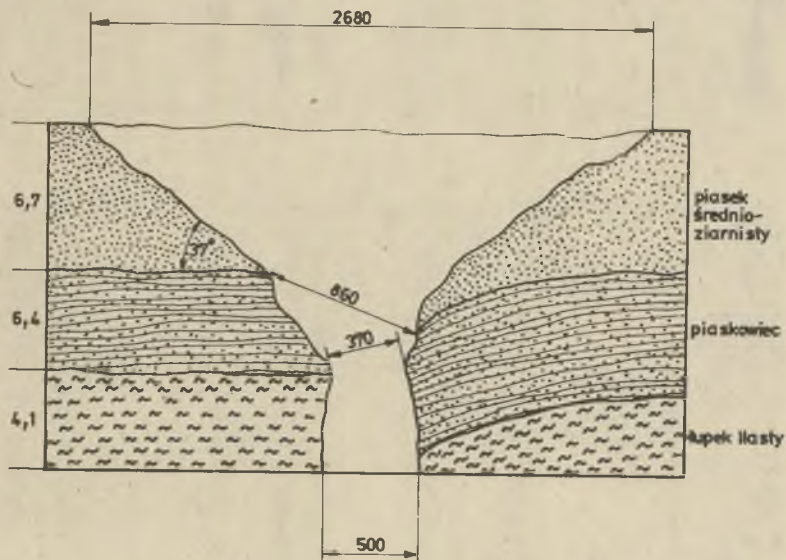
(pleksiglas), co pozwoliło na dokładną obserwację górotworu i śledzenie procesu tworzenia się deformacji nieciągłych na powierzchni. W ściankach bocznych umieszczono otwory, pozwalające na wprowadzenie wody do zbudowanego modelu i prowadzenie obserwacji przebiegu procesu w górotworze zawodnionym. Budowa ekwiwalentnego modelu górotworu odbywała się przez zastosowanie właściwej technologii.

Dla każdego z badanych modeli przyjęto następujący tok postępowania:

1. Ustalenie budowy litologicznej górotworu do odwzorowania w modelu.
2. Ustalenie składu mieszanin ekwiwalentnych oraz wyznaczenie kontrolnych własności.
3. Przygotowanie mieszanin i wykonanie modelu górotworu w stoisku.
4. Imitowanie eksploatacji jednego pokładu przez wysunięcie pierwszej płyty.
5. Obserwacje, pomiar, zdjęcia, opis.
6. Imitacja eksploatacji drugiego pokładu (wysunięcie drugiej płyty).

7. Obserwacje, pomiar, zdjęcia, opis.
8. Usunięcie całego rumoszu skalnego przez wysunięcie trzeciej płyty.
9. Obserwacje, pomiar, zdjęcia, opis.

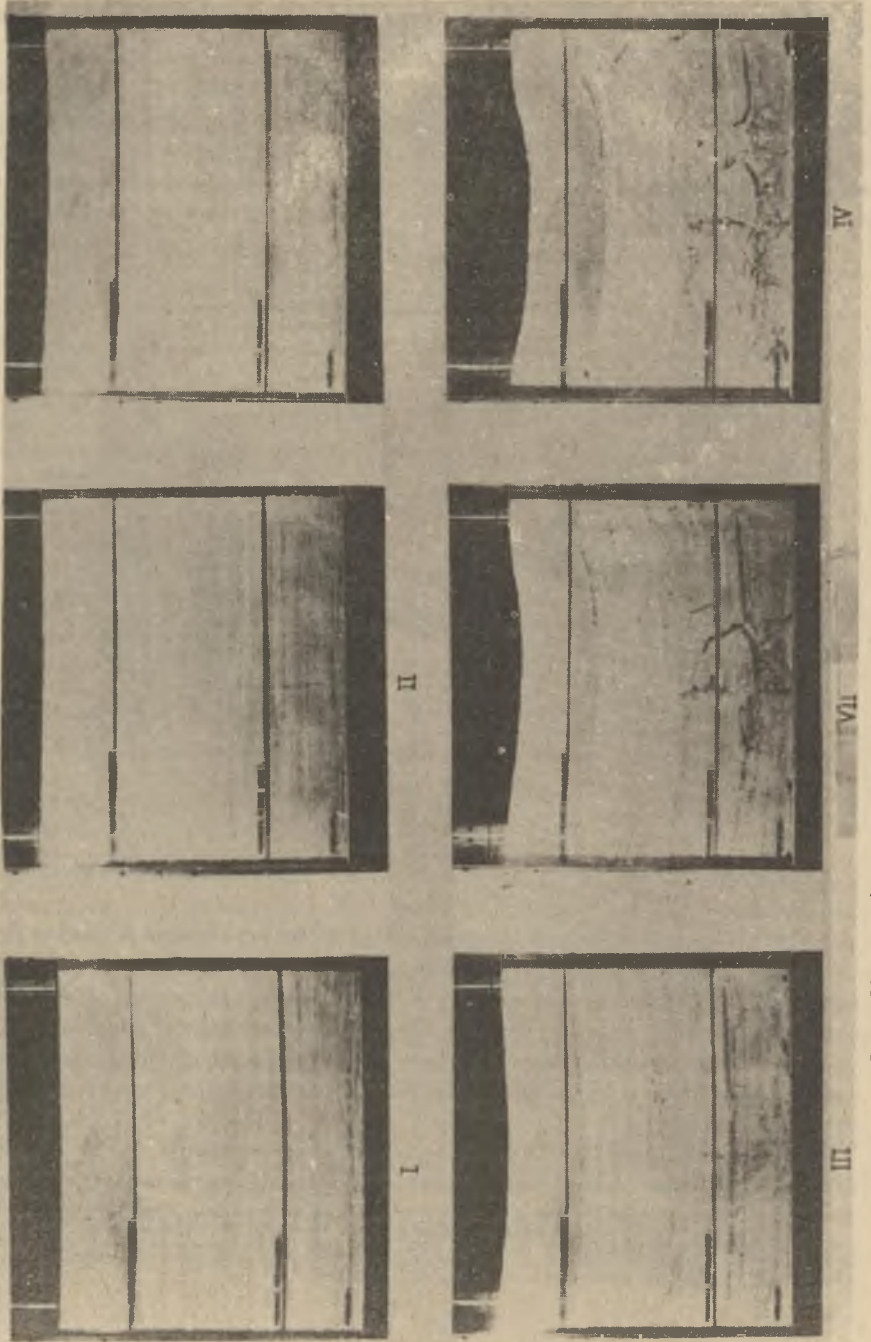
Szczególnym badaniom i obserwacjom poddano te elementy procesu powstawania zapadlisk, które są trudne do śledzenia z powierzchni. Ponadto dążono do ustalenia związków i zależności ilościowych, których jednoznaczne stwierdzenie na podstawie materiałów z kopalń było niemożliwe. Badania modelowe miały potwierdzić również słuszność dotychczasowych ustaleń.



Rys. 22. Końcowy wynik badań modelu I w postaci pełnego zapadliska

Ze względu na znaczną obszerność materiałów uzyskanych z badań modelowych przytacza się syntetyczne wyniki w postaci opisu przebiegu procesu tworzenia się zapadlisk, zawartego w tablicach 21-29, a rys. 22-32 przedstawiają końcowe fazy utworzonego zapadliska dla każdego modelu; natomiast zdjęcia dotyczą poszczególnych etapów rozwoju pustki w modelowym górotworze dla wybranych i wytypowanych przypadków modelu o poziomym i pochylonym zaleganiu warstw.

Zrealizowane badania modelowe umożliwiły zgromadzenie wielu informacji i danych na temat jakościowego przebiegu procesu tworzenia się zapadlisk, jak również deformacji górotworu poprzedzających samo zjawisko. W naturalnych warunkach procesy te nie są możliwe do pełnego śledzenia. Poniżej zwrócono uwagę na ważniejsze elementy badań.



Rys. 23. Przebieg procesu tworzenia się zepadliaka w modelu II



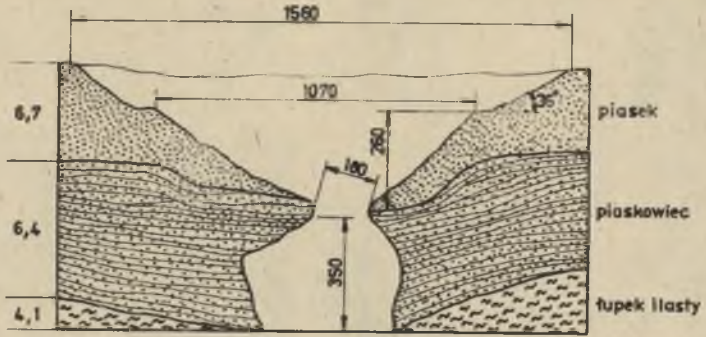
Rys. 23. Przebieg procesu tworzenia się zapadliaka w modelu II



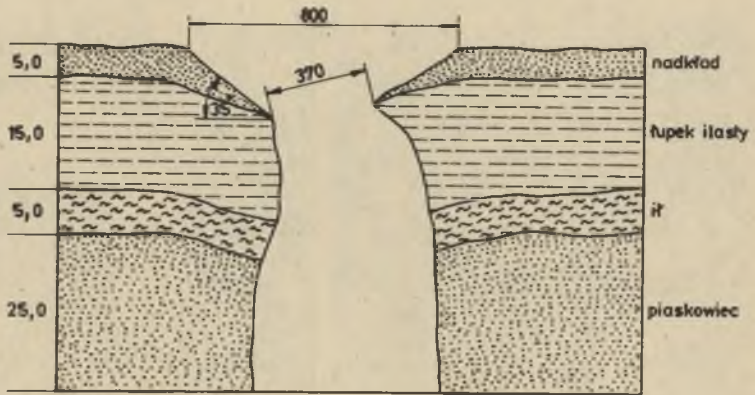
Rys. 23. Przebieg procesu tworzenia się zapadliśka w modelu II



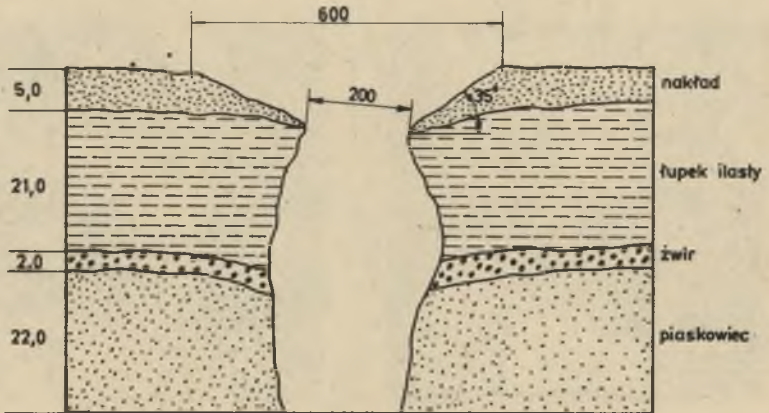
Rys. 23. Przebieg procesu tworzenia się zapadliśka w modelu II



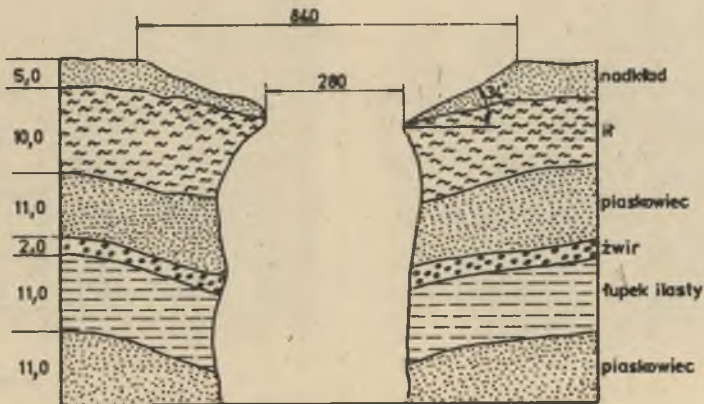
Rys. 24. Końcowy wynik badań modelu II



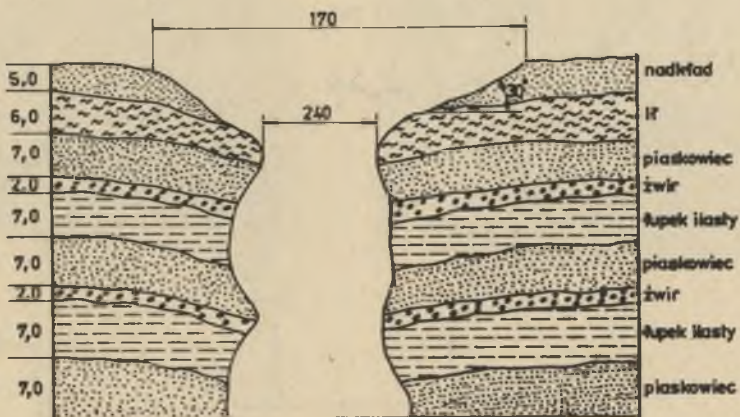
Rys. 25. Końcowy wynik badań modelu III



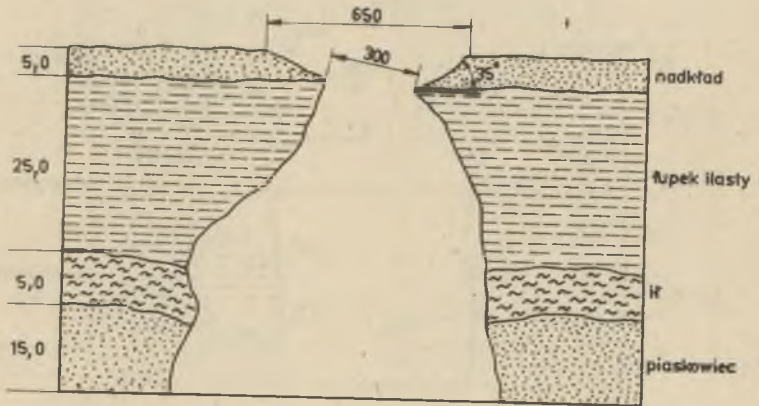
Rys. 26. Końcowy wynik badań modelu IV



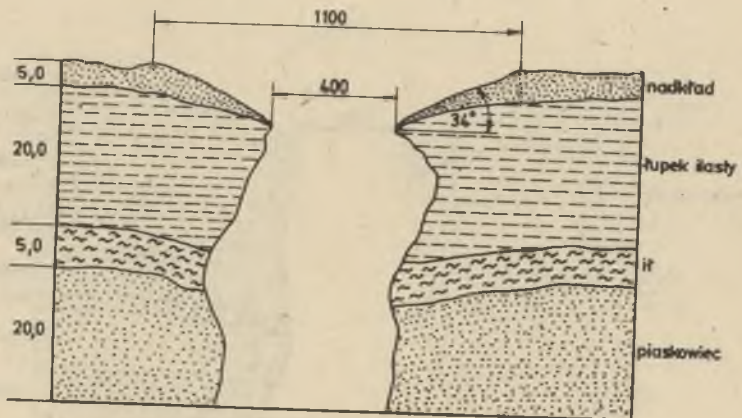
Rys. 27. Końcowy wynik badań modelu V



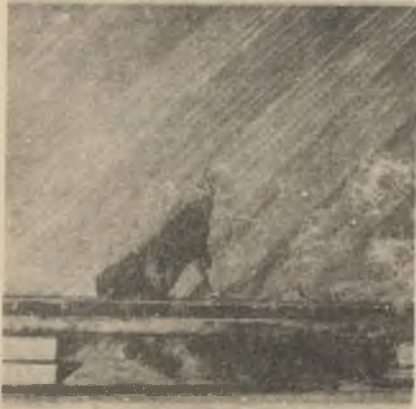
Rys. 28. Końcowy wynik badań modelu VI



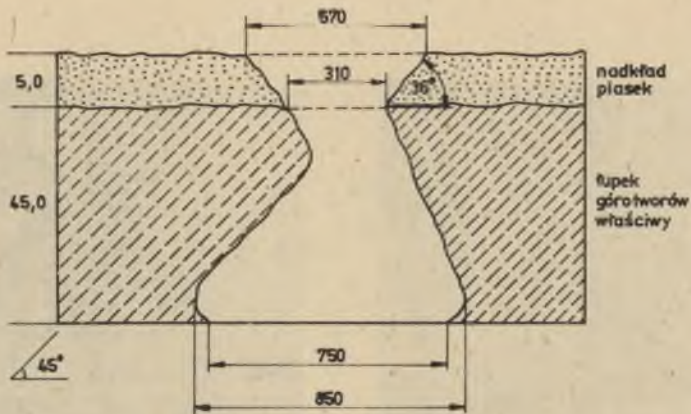
Rys. 29. Końcowy wynik badań modelu VII



Rys. 30. Końcowy wynik badań modelu VIII



Rys. 31. Rozwój pustki w modelu górotworu o pochylonym zaleganiu warstw



Rys. 32. Końcowy wynik badań modelu X

Tablica 21

Przebieg tworzenia się zapadłisk w modelu I

Lp.	Płyta	Wielkość rozróżnienia płyt [m]	Osiedlenie warstw [m]	Przebieg procesu w górotworze
1	2	3	4	5
1	I	0,5	0,007 - 0,012	Wystąpiło pęknięcie warstw łupku i piaskowca na wysokości 0,4 m. Na powierzchni dały się zaobserwować niewielkie deformacje obrazujące nieckę osiadania
2		1,0	0,012 - 0,018	Poszerzenie i wydłużenie szczeliny w łupku i piaskowcu do wysokości 0,5 m
3		1,8	0,018 - 0,042	Zarysowanie się strefy spękań nad wyrobiskiem. Dalsze poszerzenie się szczelin, odspojenie warstw łupku od piaskowca
4	II	0,5	0,042 - 0,070	Przesuwanie się strefy spękań ku stropowi skał zwiezłych, dalsze odspojenia wzdłuż żupliwości
5		1,0	0,070 - 0,095	Wyraźne osiadanie powierzchni, zarysy tworzenia się deformacji nieciągłych

1	2	3	4	5
6	II	2,5	0,095 - 0,100	Nasilenie spękań warstw łupku i poszerzenie szczelin ograniczających strefę spękań. Powiększenie się deformacji nieciągłych na powierzchni w kształcie leja stożkowego o wym. 1,9 x 7; 2,13 x 7 i 3,8 x x 5 cm
7	III	0,5	0,100 - 0,120	Wyraźne odpajanie się warstw piaskowca wzdłuż jego żupliwości. Powiększenie się utworzonego leja zapadliskowego, utworzenie się niewielkich osuwisk
8		1,0	0,120 - 0,135	Powiększenie leja i osuwisk, dalsze spękania warstw łupku
9		1,5	0,135 - 0,150	Osiągnięcie przez szczeliny warstw luźnego nadkładu jego wypywanie się w szczeliny. Utworzenie ostatecznego leja na powierzchni

Tablica 22

Przebieg tworzenia się zapadlisk w modelu II

Lp.	Płyta	Wielkość rozsunęcia płyt [m]	Osiadanie warstw [m]	Przebieg procesu w górotworze
1	2	3	4	5
1	I	0,5	0,000 - 0,007	Widok środkowej części modelu przed wysunięciem płyty I (rys. 23 faza I). Wyraźne pęknięcie warstw łupku i piaskowca występujące w osi nad wybranym złożem (faza II)
2		1,0	0,007 - 0,015	Poszerzenie szczeliny i wydłużenie jej ku powierzchni (rys. 23 faza III)
3		1,5	0,015 - 0,045	Rozwarstwienie warstw łupku i piaskowca, dalsze spękania (rys. 23 faza IV)
4	II	0,5	0,045 - 0,08	Silne spękania dochodzące do warstw luźnego nadkładu wykształcenie wyraźnej strefy spękań obejmującej całą środkową część skrzyni badawczej (rys. 23 faza V)
5		1,0	0,08 - 0,105	Dalsze spękania i kruszenia skał łupku i piaskowca, utworzenie się pustek w górotworze (rys. 23 faza VI)

cd. tablicy 22

1	2	3	4	5
6	III	0,5	0,105 - 0,130	Powiększenie się powstałych pustek w górotworze, wyraźne odspojenie się poszczególnych warstw (rys. 23 faza VII)
7		1,0	0,130 - 0,145	Skruszone łupki i piaskowce odspajają się zasypując powstałe uprzednio pustki. Przesuwanie pustek ku stropowi piaskowca (rys. 23 faza VIII i IX)

Tablica 23

Przebieg tworzenia się zapadlisk w modelu III

Lp.	Płyta	Wielkość rozsunięcia płyt [m]	Przebieg procesu w górotworze
1	2	3	4
1	I	0,2	Pęknięcie warstw piaskowca. Długość szczeliny 0,4 m
2		0,4	Pęknięcie warstw łupku. Wydłużenie szczeliny do spęgu nadkładu
3		0,75	Odepojenie warstw piaskowca do wysokości 0,25 m
4		1,2	Zawał blokowy piaskowca. Powstawanie pustki o wysokości 0,02 m i szerokości 0,7 m. Poszerzenie szczeliny
5	II	0,8	Powiększenie pustki do wysokości 0,06 m
6		1,2	Dalsze powiększenie pustki nad zawałem
7	III	0,4	Ugięcie warstw iłu i łupku. Powiększenie pustki
8		1,2	Osiadanie pokruszonych bloków piaskowca. Powiększenie pustki do wysokości 0,14 m. Dalsze ugięcie warstw iłu i łupku
9	I	1,4	Zawał piaskowca. Spękanie warstw iłu i łupku. Na powierzchni powstała niecka
10	II	1,4	Poszerzenie spękań w łupku i dojście ich do nadkładu. Powstanie pustek w górotworze. Odspojenie iłu od warstwy łupku. Łamanie piaskowca

Przebieg tworzenia się zapadlisk w modelu IV

Lp.	Płyta	Wielkość rozsunięcia płyt [m]	Przebieg procesu w górotworze
1	I	0,2	Wystąpienie pęknięcia warstw piaskowca na wysokości 0,4 m i łupku na wysokości 0,33 m. Pęknięcia w piaskowcu i łupku przesunięte względem siebie o 0,04 m
2		0,4	Poszerzenie i wydłużenie szczelin w piaskowcu i łupku
3		0,7	Wyraźne odspojenie warstw piaskowca wzdłuż jego łupliwości. Zawał piaskowca na wysokości 0,21 m
4	II	0,4	Wytworzenie się pustki w piaskowcu o wysokości 0,02 m. Blokowe złamanie piaskowca
5		0,5	Dalsze osiadanie bloków piaskowca. Powiększenie pustki
6		0,6	Załamanie bloków piaskowca. Powiększenie pustki
7		0,7	Wytworzenie się pustki o szerokości 0,46 m. Poszerzenie szczelin
8	III	0,7	Powiększenie pustki
9	I	1,0	Powiększenie pustki do szerokości 0,77 m. Ugięcie warstw piaskowca. Odspojenie skał luźnych (żwiru od łupku)
10		1,4	Blokowe załamanie piaskowca. Spękanie łupku. Dojście strefy spękań do nadkładu. Wytworzenie się niecki na powierzchni
11	II	1,4	Powiększenie spękań łupku i piaskowca. Dalsze osiadanie warstw
12	III	1,4	Blokowe załamanie piaskowca. Dalsze osiadanie warstw. Powiększenie niecki na powierzchni. Dalsze spękania i kruszenie warstw łupku

Tablica 25

Przebieg tworzenia się zapadlisk w modelu V

Lp.	Płyta	Wielkość rozsunięcia płyt [m]	Przebieg procesu w górotworze
1	2	3	4
1	I	0,2	Pęknięcie I warstwy piaskowca i łupku na wysokości 0,44 m

1	2	3	4
2	I	0,6	Poszerzenie i wydłużenie szczeliny, pęknięcie II warstwy piaskowca
3		0,8	Spękania w I warstwie piaskowca. Odspojenie skał luźnych od II warstwy piaskowca
4		1,1	Dalsze spękania I warstwy piaskowca i łupku. Spękanie i odspojenie się warstwy II piaskowca. Ugięcie łożu
5		1,4	Blokowy zawał I warstwy piaskowca. Poszerzenie spękań II warstwy piaskowca. Ugięcie warstw i częściowe spękanie łożu
6		II	0,6
7	II i III	1,4	Powiększenie się pustki między II warstwą piaskowca a skałami luźnymi. Wyraźne odsparowanie się warstwy II piaskowca. Spękanie łożu. Powstanie niecki na powierzchni

Tablica 26

Przebieg tworzenia się zapadlisk w modelu VI

Lp.	Płyta	Wielkość rozsunienia płyt [m]	Przebieg procesu w górotworze
1	2	3	4
1	I	0,2	Pęknięcie I i II warstwy piaskowca i łupku. Powstawanie szczelin w warstwie żwiru 0,06 m
2		0,4	Poszerzenie szczelin. Pęknięcie pozostałych warstw skalnych do spęgu nadkładu
3		0,6	Spękanie I warstwy piaskowca i łupku oraz zawał tych warstw do wysokości 0,28 m do spęgu II warstwy piaskowca
4	I, II, III	0,8	Powiększenie pustki. Poszerzenie spękań II warstwy piaskowca i łupku
5	I	1,4	Spękanie i pokruszenie I warstwy piaskowca i łupku. Blokowy zawał II i III warstwy piaskowca oraz II warstwy łupku. Ugięcie łożu. Powstanie niecki na powierzchni
6	II i III	1,4	Spękanie łożu. Dojście zawału do nadkładu. Powstanie pustek w górotworze. Powiększenie niecki na powierzchni

Tablica 27

Przebieg tworzenia się zapadlisk w modelu VII

Lp.	Płyta	Wielkość rozsunięcia płyt [m]	Przebieg procesu w górotworze
1	2	3	4
1	I	0,2	Wystąpienie pęknięcia warstw, piaskowca iłu i łupku na wysokość 0,62 m
2		0,6	Poszerzenie i wydłużenie szczeliny
3		1,0	Wyraźne odspojenie iłu od łupku, spękanie piaskowca i zawał do wysokości 0,4 m
4	II i III	0,6	Wytworzenie się pustki o szerokości 0,6 m. Blokowe łamanie piaskowca
5		1,0	Powiększenie pustki między spągłem łupku a zawałem do wysokości 0,17 m. Dalsze poszerzenie szczeliny
6	I	1,5	Spękanie łupku. Dojście zawału do nadkładu. Powstanie deformacji nieciągłej (zapadliska) na powierzchni
7	II i III	1,5	Osiadanie pokruszonych skał. Wypanie luźnego nadkładu do powstałej pustki

Tablica 28

Przebieg tworzenia się zapadlisk w modelu VIII

Lp.	Płyta	Wielkość rozsunięcia płyt [m]	Przebieg procesu w górotworze
1	2	3	4
1	I	0,2	Pęknięcie warstw piaskowca i iłu. Długość szczeliny 0,46 m
2		0,4	Poszerzenie szczeliny, odspojenie iłu od łupku. Ugięcie warstw. Spękanie piaskowca
3		0,7	Wydłużenie szczeliny. Dalsze ugięcie warstw
4		1,0	Poszerzenie szczeliny. Odspojenie warstw piaskowca na wysokość 0,31 m. Blokowe łamanie piaskowca
5	II	0,6	Spękanie piaskowca, iłu i łupku dochodzące do luźnego nadkładu. Utworzenie się pustki w górotworze
6		1,0	Blokowy zawał piaskowca. Powiększenie się powstałych pustek w górotworze. Wyraźne odspojenie się warstw łupku

1			
7	III	0,6	Powiększenie pustek w górotworze. Dojście strefy zawałowej do łupku. Powstanie niecki na powierzchni
8		1,0	Powiększenie pustki w górotworze. Poszerzenie spękań łupku
9	I	1,4	Dojście strefy spękań do nadkładu. Poszerzenie szczelin. Powiększenie niecki na powierzchni

Tablica 29

Przebieg tworzenia się zapadlisk w modelach IX i X

Lp.	Płyta	Wielkość rozsunęcia płyt [m]	Osiadanie warstw [m]	Przebieg procesu w górotworze
1	2	3	4	5
1	I	0,5	brak	W modelu brak oznak tworzenia się strefy spękań pomimo odczekania znacznego okresu czasu
2		0,6	brak	Podobnie jak poprzednio
3		0,7	brak	Podobnie jak poprzednio
4	II	0,5	brak	Występowanie pierwszych spękań, powstanie pierwszego obwałowania niesymetrycznie położonego względem pustki od strony upadu (rys. 31 faza I)
5		0,6	brak	Brak zmian w deformacji modelu
6		0,7	brak	Powiększenie się strefy spękań i zruszeń. Powstanie charakterystycznej pustki w kształcie trójkąta od strony upadu warstw. Podpieranie zwisającego bloku skał przez rumowisko (rys. 31 faza II). Brak spękań w modelu poza strefą zruszenia
7	III	0,5	brak	W modelu nie wystąpiły dalsze zmiany
8		0,7	brak	Usunięcie części pokruszonego materiału spowodowało po dłuższym okresie wyczekiwania oberwanie się modelu w postaci dużych bloków i brył. Obwały te wywołane zostały odspojeniem się skał modelu w płaszczyznach uwarstwienia. Stwierdza się ponadto brak spękań wokół strefy bezpośrednich zruszeń (faza III). Pustka przyjmuje charakterystyczny kształt równobocznego trójkąta prostokątnego w wierzchołku.

1	2	3	4	5
				Podstawa tego trójkąta w końcowej fazie posiada wymiar o około 30 cm większy od szerokości rozsunienia płyt. Dalsze usunięcie materiału nie powoduje powiększenia zasięgu pustki
9	I	0,8	brak	Dalsze rozsuniecie płyt nie powoduje zmian w ukształtowaniu strefy zruszeń
10	I i II	0,9	brak	Bardzo intensywne rozszerzenie się strefy zruszeń i powstanie pustki o dużym zasięgu (faza IV). Utrzymanie się charakterystycznego trójkątnego kształtu pustki. Stwierdza się, podobnie jak poprzednio, całkowity brak w modelu spękań związanych z wytworzoną pustką oraz brak osiadań modelu podczas badań

Modelowane wycinki górotworu wykazywały stosunkowo dużą stateczność i bezwładność w przenoszeniu się wpływów wyrobisk górniczych na górotwór i powierzchnię. Świadczy to o tym, że deformacje nieciągłe są procesami ściśle reologicznymi, a doraźne ich analizowanie z pominięciem czynnika czasu jest dużym uproszczeniem. Bardziej ściśle informacje w tym zakresie można uzyskać w drodze pogłębienia analizy dokumentów statystycznych.

Spostrzeżenie to potwierdza wcześniejsze stwierdzenie o losowym tworzeniu się na powierzchni deformacji nieciągłych. Stosunkowo duża powszechność zapadłisk w tym względzie nie eliminuje przypadkowości ich powstawania. Potwierdza się bowiem słuszność wprowadzenia współczynnika zagęszczenia zapadłisk na jednostkę powierzchni " w_n " jako miernika wyodrębnienia obszarów i podziału ich na kategorie dla górotworu o budowie zbliżonej lub podobnej do modelu podatnego na deformacje nieciągłe. Na tej podstawie można również wnieść o niskiej miarodajności wysiłków zmierzających do wskazywania miejsc zapadłisk, gdyż można tu mówić jedynie o ich lokalizowaniu w określonym obszarze na przestrzeni pewnego czasu. Fakt ten wskazuje ponadto na utrzymywanie się zagrożenia deformacjami w postaci zapadłisk w bardzo długim okresie czasu od momentu zaprzestania wykonywania robót górniczych. Potwierdza się tym samym wcześniejszy wniosek o braku związków przyczynowych i skutkowych pomiędzy deformacjami nieciągłymi a ciągłymi związanymi z niecką górniczą. Ponadto potwierdza się wskazanie, że dla obszaru GOP problem występowania deformacji nieciągłych związany jest głównie a nawet przede wszystkim z wyrobiskami starymi, pochodzącymi nawet sprzed kilkudziesięciu lub stukilkudziesięciu lat. Ewentualne rozważanie i analizy tego problemu ze względu na aktualnie prowadzoną eksploatację mogą dotyczyć wyłącznie ściśle wydzielonych niewielkich obszarów, w których za-

padliska są zjawiskami oczekiwanymi. Takie jednak postawienie problemu eliminuje możliwość prowadzenia eksploatacji górniczej.

Dalsze uwagi dotyczą mechanizmu procesów początkowych doprowadzających do powstawania zapadlisk.

Załamywanie się stropu w modelu górotworu nad imitowaną pustką związane jest, jak stwierdzono, z własnościami skał i budową geologiczną górotworu oraz objętością i kształtem pustki. Własności mechaniczne skał, z których najistotniejsze wydają się być wytrzymałość na łamanie, ściskanie oraz wielkość rozluzowania skał wyrażona przez współczynnik rozluzowania określają przebieg deformacji skał, stany jego wtórnej równowagi, bezwładność górotworu itp. Wysoka jednorodność skał, monolityczną strukturą, zwartość - to cechy dotychczas nieidentyfikowane, a w zasadniczym stopniu wpływające na własności skał i stany graniczne górotworu. Stwierdzono bowiem, że w warunkach doraźnego badania modeli górotworu stany graniczne w skałach osiąga się dopiero przy znacznych rozpiętościach pustki, co w efekcie wpływa na niezachowanie rygoru skali modelowania. Tak więc zagadnienie powstawania zapadlisk na powierzchni praktycznie nie występuje przy aktualnie prowadzonej zawałowej eksploatacji wykonywanej racjonalnie, nawet na małych głębokościach (kilkadziesiąt metrów od powierzchni), lecz dla wyrobisk lub pustek po wyrobiskach pozostających w górotworze, gdy pustki te posiadają nawet niewielkie wymiary - zwłaszcza poziome. W każdym bowiem przypadku badań modelowych stwierdzono zjawisko samopodsadzenia przez rozluzowane skały.

Zjawisko samopodsadzenia hamuje proces rozwoju deformacji nieciągłych górotworu i sprzyja tworzeniu się typowej niecki górniczej, która w tym przypadku eliminuje możliwość występowania zapadlisk.

Znaczenie tych ustaleń prowadzi do dwóch ważnych wniosków:

1. Obszary zawałowej eksploatacji górniczej prowadzonej na dowolnej głębokości, w których dochodzi do wytwarzania się pełnej niecki osiadania, pozbawione zostają podatności na tworzenie się deformacji nieciągłych w postaci zapadlisk.

2. Wysokość strefy kruszenia i zawału skał stropowych nad pustką "W_Z" jest zależna od objętości pustki. Dla powstania na powierzchni zapadliska konieczna jest pustka o odpowiedniej objętości, mieszczącej przemieszczający się pokruszony materiał skalny z warstw przypowierzchniowych i nadkładowych.

Ponadto w badaniach modelowych stwierdzono wpływ budowy i załęgania warstw górotworu na rozwój obszaru zawału nad pustką. Górotwór uwarstwiony, zbudowany ze skał o zróżnicowanych własnościach, wykazywał na ogół większą stateczność czy też skłonność do występowania wtórnej równowagi poprzez samopodsadzenie niż górotwór jednorodny. W górotworze jednorodnym osiągnięcie stanu granicznego w skałach stropowych ze względu na łamanie skał powoduje szybko rozprzestrzenianie się obszaru zruszeń w stropie, co w ustalonych wcześniej warunkach wywołuje zapadliska. W górotworze uwarstwionym

załamywanie warstw odbywa się etapowo, w poszczególnych etapach mogą występować okresy równowagi wtórnej w górotworze. Wymienione ustalenia wykorzystane zostaną dla opracowania teoretycznego opisu procesów deformacji górotworu prowadzących do powstania na powierzchni zapadlisk.

Badania modelowe pozwoliły ponadto na wysunięcie następujących wniosków:

1. Decydującym czynnikiem tworzenia się deformacji nieciągłych jest usunięcie rumożu skalnego ze strefy zawału. W żadnym z modeli nie doszło do zapadliska, zanim nie otworzono dolnej płyty i nie usunięto pokruszonej skały, która podtrzymywała sklepienie. Otwarcie dolnej płyty w modelu równoznaczne jest z doprowadzeniem wody do zawału lub z uszczelnieniem zawału.

2. Wymiary deformacji zależą od powierzchni okna w stropie górotworu związłego oraz grubości i składu skał w nadkładzie. Powierzchnia okna zależy od promienia "r", który można wyliczyć, znając wymiary wyrobiska i przebieg elipsy strefy spękań.

3. Pominięcie czynnika czasu w badaniach modelowych zdeterminowało przyjęcie szeregu uproszczeń, a więc: zwiększenie grubości pokładu eksploatawanego oraz szerokości wyrobiska. Wysiunięcie każdej płyty oznacza wyeksploatowanie pokładu o grubości 2,5 m (3 płyty = $g = 7,5$ m).

Wysiunięcie płyty na 20 cm przy skali 1:50 oznacza szerokość wyrobiska 10 m. Płyty wysuwano do 1 m a nawet 1,5 m, co jest równoznaczne z szerokością wyrobiska 50 m - 75 m.

W praktyce w kopalniach węgla kamiennego nie spotkano tak szerokich wyrobisk, związanych z deformacjami nieciągłymi.

4. Przebieg strefy zawału i spękań wyraźnie zatrzymuje się na płaszczyznach uwarstwienia górotworu.

5. Warstwy iłu hamują (tłumią) proces przenoszenia się strefy zawału i spękań w stronę powierzchni.

6. Eksploatacja pokładu o małej grubości nie wywołuje deformacji nieciągłej. Dla uzyskania zapadliska muszą wystąpić czynniki aktywizujące, takie jak: doprowadzenie wody do zrobów, aktywizacja przez wybranie dolnego pokładu, usunięcie rumożu skalnego (uszczelnienie zawału).

7. We wszystkich modelach o poziomym zaleganiu warstw przed wystąpieniem zapadliska następuje ugięcie powierzchni, z czego należy wnioskować, że deformacje ciągłe wyprzedzają w czasie powstanie zapadlisk.

Istnieje możliwość prognozowania wystąpienia zapadlisk na podstawie sukcesywnych (bardzo częstych) pomiarów deformacji ciągłych w rejonie prowadzenia eksploatacji w obciążeniach istniejących w górotworze pustek.

8. W modelach IX i X o ukośnym zaleganiu warstw stwierdzono na powierzchni zwiększoną podatność na deformacje w kształcie szczelin i progów. Powstające zapadliska jak i rozwijająca się pustka w górotworze cechują się niesymetrycznym usytuowaniem względem wybranej przestrzeni, a występowaniu zapadlisk nie towarzyszy ugięcie warstw. Zauważa się silny wpływ uławiczenia na kształt zawałowej pustki w górotworze.

6. OPIS PROCESU POWSTAWANIA ZAPADLISK

Obserwacje przebiegu zjawiska tworzenia się deformacji nieciągłych w modelach potwierdzają możliwość odwzorowania górotworu i spowodowania procesu podobnego do przebiegającego w naturze. Przebieg tworzenia się strefy zawału, spękań, przemieszczania się pustki do nadkładu i wystąpienia zapadliska jest adekwatny do procesu w górotworze. Analizując proces można zauważyć podobieństwo w przebiegu tych zjawisk.

Zarówno w modelach, jak i w naturze wysokość strefy spękań w kształcie elipsy rośnie w miarę wzrostu szerokości wyrobiska "L". Pustka poeksploatacyjna w sprzyjających warunkach (dostęp wody, uszczelnienie zawału) przesuwa się sukcesywnie w górę, aż do spągu nadkładu. Następnym etapem jest tworzenie się okna w skałach zwięzłych, przez które luźne utwory nadkładu mogą wsypać się do pustki wtórnej, tworząc na powierzchni zapadlisko.

Wielkość i forma zapadlisk tak w modelu jak i w naturze jest zależna od tych samych czynników geologiczno-górnictwowych. Jedynie w modelach IX i X o ukłonym zaleganiu warstw górotworu przebieg deformacji nieciągłej był odmienny. Modeli tych jednak nie można porównać z żadnym z zarejestrowanych rejonów zapadliskowych. Stwierdzono, że warstwy plastyczne odpowiedniej grubości utrudniają przebieg procesu deformacji nieciągłych (zapadlisk).

6.1. Przebieg tworzenia się strefy zawału nad wyrobiskiem

Dla teoretycznego opisu kształtowania się w górotworze obszarów zruszeń i spękań, a tym samym wyznaczenia ich wysokości " W_z " i " W_s " poczyniono założenia upraszczające, możliwe jednak do przyjęcia ze względu na poprzednio ustalone własności modelu górotworu podatnego na tworzenie się zapadlisk (rys. 33).

1. Górotwor zbudowany jest ze skał jednorodnych, o małej wytrzymałości na rozzerwanie.

2. Ciężar objętościowy skał jest stały dla danej skały i niezależny od wielkości ciśnienia w górotworze.

3. Współczynnik Poissona skał, wyrażony przez liczbę "m" w przedziale głębokości do 150 m, jest stały dla danego rodzaju skały.

4. Przyjmuje się eliptyczny kształt strefy zruszeń i spękań, przy czym ta ostatnia posiada obrys poza obszarem wyrobiska.

Podstawowym warunkiem prawidłowego prognozowania zapadłisk jest obliczenie wysokości strefy zawału nad płytke położonym wyrobiskiem. Warunkiem zatrzymania rozwoju zawałowego sklepienia jest samopodsadzenie pustki.

Warunek samopodsadzania można wyrazić następująco:

$$F_z \cdot k = F_z + F_w.$$

Równanie oznacza, że skały w sklepieniu zawałowym po rozluźowaniu zajmą powierzchnię wyrobiska oraz sklepienia zawałowego. Po jego przekształceniu uzyskuje się:

$$F_z = \frac{F_w}{k - 1}.$$

Ze względu na występowanie zapadłisk na powierzchni wymagane jest wyznaczenie wysokości strefy zawału "W_z", od której uzależniona jest wielkość powierzchni "F_z". W tym celu dokonuje się porównania powierzchni obszarów zruszenia w postaci elipsy, ustalonych ze względu na wymiary geometryczne wyrobiska oraz warunek samopodsadzania. W obliczeniach pomija się wpływ przyociosowych fragmentów obszaru elipsy zruszenia skał opisanej na wyrobisku - jako mało istotny ze względu na niewielką powierzchnię.

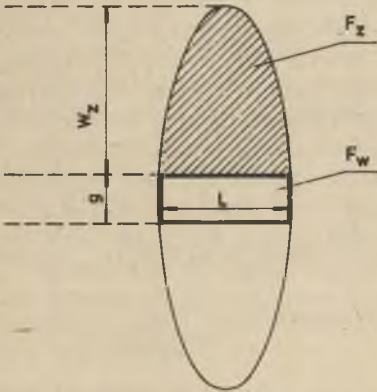
Powierzchnia elipsy ze względu na wymiary geometryczne wyrobiska wynosi:

$$F_e = \pi \cdot \frac{L}{2} (W_z + \frac{g}{2}).$$

Powierzchnia elipsy ze względu na warunek samopodsadzania wynosi:

$$F_e = 2F_z + F_w = \frac{2F_w}{k - 1} + F_w = \frac{2F_w + (k - 1)F_w}{k - 1} = \frac{F_w(2 + k - 1)}{k - 1}$$

$$F_e = \frac{g \cdot L(k + 1)}{k - 1}.$$



Rys. 33. Obrys strefy zawału nad wyrobiskiem górniczym

F_z - powierzchnia strefy zawału,
F_w - powierzchnia wyrobiska (F_w = L · g), F_e - powierzchnia elipsy (F_e = 2F_z + F_w)

Porównując prawe strony równań uzyskuje się warunek:

$$\pi \frac{L}{2} (W_z + \frac{g}{2}) = \frac{g L (k + 1)}{k - 1}$$

W równaniu niewiadomą jest wielkość "W_z".

Przekształcając uzyskuje się:

$$W_z = \frac{g}{2} = \frac{g(k + 1)}{k - 1} \frac{2}{\pi}$$

skąd:

$$W_z = \frac{2g(k + 1)}{\pi(k - 1)} \frac{g}{2} = g \left[\frac{2(k + 1)}{\pi(k - 1)} - \frac{1}{2} \right] = g \left[\frac{4(k + 1) - \pi(k - 1)}{2\pi(k - 1)} \right]$$

Oznaczając wyrażenie w nawiasie przez "K" uzyska się:

$$W_z = gK.$$

Wielkość "K" jest stała dla danych warunków naturalno-geologicznych górotworu, gdyż zależy tylko od współczynnika rozluźnienia skał "k".

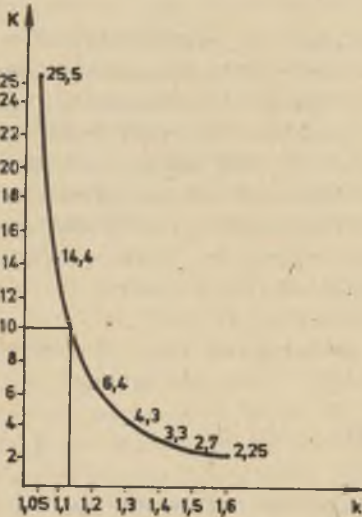
Z uzyskanych równań wynika, że wysokość strefy zawału nad pustką "W_z" zależy od współczynnika rozluźnienia skał "k" oraz od wysokości pustki "g", a nie zależy od jej szerokości "L", co potwierdza spostrzeżenia i wnioski ustalone na podstawie badań modelowych.

Nadmienia się, że spełnienie warunku:

$$W_z \geq H - h$$

prowadzi do zapadliśk na powierzchni.

Dalsza analiza tego zagadnienia może dotyczyć jedynie problemu, czy warunek ten występuje i ma miejsce w rozpatrywanej partii górotworu ze względu na czynniki naturalno-górniczne.



Rys. 34. Zależność stałej "K" od współczynnika rozluźnienia

'Wielkość "K" wyrażona przez równanie:

$$K = \frac{4(k + 1) - \pi(k - 1)}{2\pi(k - 1)}$$

a którą przedstawia wykres na rys. 34, jest funkcją ze względu na własności skał wyrażone przez współczynnik rozluźniania. Jest ona jednak wielkością stałą dla konkretnej partii górotworu. Zatem również i w tym przypadku problem sprowadza się do jej wyznaczenia ze względu na własności i rodzaj skał budujących górotwór.

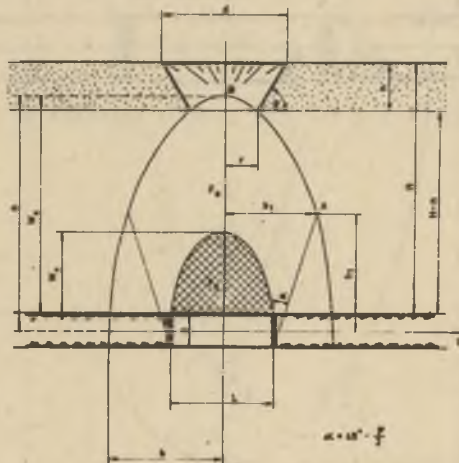
Z podanych zależności oraz krzywej na rys. 34 wynika potwierdzenie wcześniejszych ustaleń o wysokości strefy zawału wynoszącej od kilku do kilkunastu wysokości pustki (grubości pokładu).

Uwzględnienie czynnika czasu (uszczelnienie zawału na przestrzeni lat) względnie dopływu wody do strefy zawału może zmniejszyć współczynnik "k" do 1,1 i spowodować strefę zawału o wysokości 14,4 razy wyższą od grubości pokładu.

Potwierdza się zatem słuszność przyjęcia dużej wysokości strefy zawału nad płytko położonymi wyrobiskami.

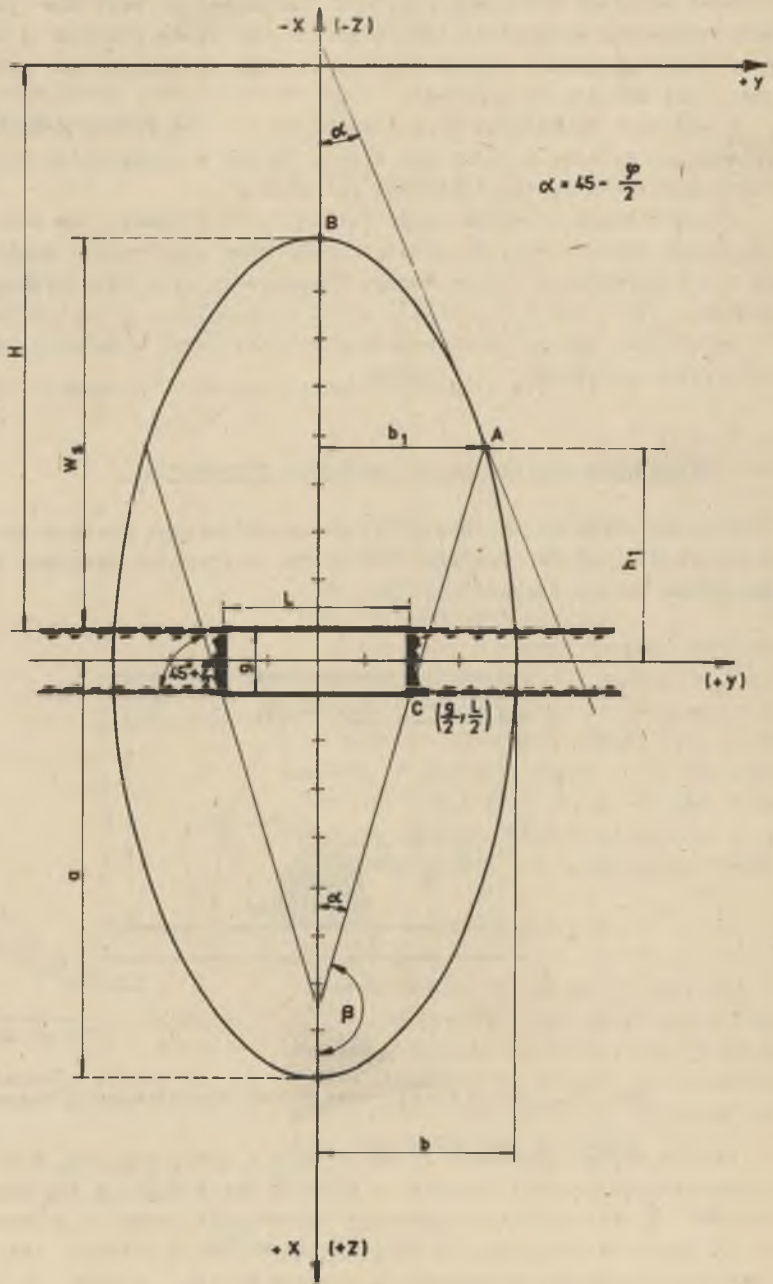
6.2. Określenie zasięgu strefy spękań w górotworze

Wraz ze wzrostem szerokości wyrobisk górniczych ulegają zwężeniu naprężenia w ociosach wyrobisk. Występuje tu zjawisko spękania ociosów i poszerzenia strefy spękań (rys. 35).



Rys. 35. Obrys strefy spękań nad wyrobiskiem górniczym

Proces spękań górotworu związany jest z występowaniem w ociosach wyrobiska płaszczyzn poślizgowych, w których skała podlega ścinaniu pod kątem $\alpha = 45 - \frac{\varphi}{2}$. Kliny ścięcia powodują poszerzenie pustki i przesunięcie punktu "A" oparcia sklepienia strefy spękań w głąb górotworu. Kąt przecięcia płaszczyzn poślizgu w ociosach z obrysem strefy spękań wynosi $90 - \varphi$. Uwzględniając te warunki, przy poprzednich założeniach można obliczyć wy-



Rys. 36. Wyznaczenie zasięgu strefy spękań

sokość i rozpiętość strefy spękań. Dla ułatwienia obliczeń zakłada się nowy układ osi X, Y (rys. 36), w którym wielkość "y" w układzie X, Y jest równa wielkości "y" w układzie Z, Y , natomiast wielkość $x = Z - H$. Dalsze rozważania przeprowadza się w układzie przesuniętym X, Y . Równanie ogólne strefy spękań określa wzór elipsy:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1.$$

Styczną do krzywej opisującej obrys strefy w punkcie "A" o współrzędnych:

$$x_A = h_1; \quad y_A = b_1$$

jest prosta o równaniu:

$$\frac{x \cdot h_1}{a^2} + \frac{y \cdot b_1}{b^2} = 1.$$

Prosta ta, jak wynika z geometrycznych warunków, musi być nachylona do osi X pod kątem α , a jej równanie kierunkowe ma postać:

$$y = b_1 \operatorname{tg}\alpha(x - h_1).$$

Jednocześnie punkt "A" leży na krzywej tak, że jego współrzędne spełniają to równanie:

$$\frac{h_1^2}{a^2} + \frac{b_1^2}{b^2} = 1.$$

Z równań tych otrzymuje się:

$$y = -\frac{h_1}{b_1} \cdot \frac{b^2}{a^2} \cdot x + \frac{b^2}{b_1}$$

oraz

$$y = \operatorname{tg}\alpha \cdot x - \operatorname{tg}\alpha \cdot h_1 + b_1.$$

Ponieważ są to równania tej samej prostej, to:

$$-\frac{h_1}{b_1} \cdot \frac{b^2}{a^2} = \operatorname{tg}\alpha$$

oraz

$$\frac{b^2}{b_1} = -\operatorname{tg}\alpha \cdot h_1 + b_1.$$

Z pierwszego równania wyznacza się:

$$h_1 = -\frac{a^2 b_1 \cdot \operatorname{tg}\alpha}{b^2},$$

Wykorzystując ten związek i oznaczając $\frac{a}{b} = M$ otrzymuje się:

$$\frac{M^4 \cdot b_1^2 \cdot \operatorname{tg}^2\alpha}{M^2 \cdot b^2} + \frac{b_1^2}{b^2} = 1.$$

Mnożąc dwustronnie przez b^2 otrzymuje się:

$$b^2 = b_1^2 (M^2 \cdot \operatorname{tg}^2\alpha + 1)$$

i w efekcie:

$$b_1 = \pm \frac{b}{\sqrt{M^2 \cdot \operatorname{tg}^2\alpha + 1}}.$$

Rzut jednej z płaszczyzn poślizgu w ociosach na płaszczyznę prostopadłą do osi podłużnej wyrobiska (płaszczyzna rysunku) obrazuje prostą przechodzącą przez punkt "C" o współrzędnych:

$$x = \frac{g}{2}; \quad y = \frac{l}{2}.$$

Prosta ta nachylona jest do osi pionowej pod kątem:

$$\beta = 180 - \alpha.$$

Równanie tej prostej ma postać:

$$y = \frac{l}{2} = \operatorname{tg}\beta(x - \frac{g}{2}),$$

$$\operatorname{tg}\beta = -\operatorname{tg}\alpha.$$

Prosta ta przechodzi przez punkt "A", tak więc jego współrzędne spełniają równanie:

$$b_1 = \frac{L}{2} = -\operatorname{tg}\alpha(h_1 - \frac{g}{2}),$$

skąd:

$$b_1 = -\operatorname{tg}^2\alpha(h_1 - \frac{g}{2}) + \frac{L}{2}.$$

Dalej otrzymuje się:

$$\pm \frac{b}{\sqrt{M^2 \operatorname{tg}^2\alpha + 1}} = \frac{L}{2} - (h_1 - \frac{g}{2}) \operatorname{tg}\alpha.$$

Wtedy wielkość h_1 przyjmie postać:

$$h_1 = \mp \frac{M^2 \cdot b \cdot \operatorname{tg}\alpha}{M^2 \operatorname{tg}^2\alpha + 1}.$$

Po podstawieniu dostaje się:

$$\pm \frac{b}{\sqrt{M^2 \operatorname{tg}^2\alpha + 1}} = \frac{L}{2} + (\frac{g}{2} \pm \frac{M^2 b \operatorname{tg}\alpha}{M^2 \operatorname{tg}^2\alpha + 1}) \operatorname{tg}\alpha.$$

W rozpatrywanym przypadku wielkość b_1 jest dodatnia, tak więc powyższe równanie będzie miało postać:

$$\frac{b}{\sqrt{M^2 \operatorname{tg}^2\alpha + 1}} = \frac{L}{2} + (\frac{g}{2} + \frac{M^2 b \operatorname{tg}\alpha}{M^2 \operatorname{tg}^2\alpha + 1}) \cdot \operatorname{tg}\alpha$$

i dalej

$$\frac{b}{\sqrt{M^2 + \operatorname{tg}^2\alpha + 1}} = \frac{L}{2} + \frac{g}{2} \operatorname{tg}\alpha + \frac{M^2 b \operatorname{tg}^2\alpha}{\sqrt{M^2 \operatorname{tg}^2\alpha + 1}}$$

$$\frac{b(1 - M^2 \operatorname{tg}^2\alpha)}{\sqrt{M^2 \operatorname{tg}^2\alpha + 1}} = \frac{1}{2}(L + g \cdot \operatorname{tg}\alpha).$$

stąd:

$$b = \frac{M^2 \operatorname{tg}^2 \alpha + 1}{2(1 - M^2 \operatorname{tg}^2 \alpha)} (L + g \operatorname{tg} \alpha).$$

Po przekształceniach uzyskuje się:

$$\frac{\frac{x^2}{M^2(M^2 \operatorname{tg}^2 \alpha + 1)} \cdot \frac{(L + g \operatorname{tg} \alpha)^2}{4(1 - M^2 \operatorname{tg}^2 \alpha)^2} + \frac{y^2}{(M^2 \operatorname{tg}^2 \alpha + 1)} \cdot \frac{(L + g \operatorname{tg} \alpha)^2}{4(1 - M^2 \operatorname{tg}^2 \alpha)^2}}{1} = 1$$

lub

$$\frac{x^2}{M^2} + y^2 = \frac{(L + g \operatorname{tg} \alpha)^2 (M^2 \operatorname{tg}^2 \alpha + 1)}{4(1 - M^2 \operatorname{tg}^2 \alpha)^2}.$$

Rozpiętość strefy spękań nad wyrobiskiem wynosi:

$$b_1 = \frac{\sqrt{M^2 \operatorname{tg}^2 \alpha + 1} (L + g \operatorname{tg} \alpha)}{2(1 - M^2 \operatorname{tg}^2 \alpha) \cdot M^2 \operatorname{tg}^2 \alpha + 1}.$$

czyli:

$$b_1 = \frac{L + g \operatorname{tg} \alpha}{2(1 - M^2 \operatorname{tg}^2 \alpha)}.$$

Równanie elipsy wyznaczającej obrys strefy spękań można zapisać w postaci:

$$y = \pm \sqrt{\frac{(L + g \operatorname{tg} \alpha)^2 (M^2 \operatorname{tg}^2 \alpha + 1)}{4(1 - M^2 \operatorname{tg}^2 \alpha)^2} - \frac{x^2}{M^2}}.$$

Ponieważ $x = Z - H$

$$y = \pm \sqrt{\frac{(L + g \operatorname{tg} \alpha)^2 (M^2 \operatorname{tg}^2 \alpha + 1)}{4(1 - M^2 \operatorname{tg}^2 \alpha)^2} - \frac{(Z - H)^2}{M^2}}.$$

Z równania tego wynikają ograniczenia:

$$(1 - M^2 \operatorname{tg}^2 \alpha)^2 \neq 0$$

oraz

$$\frac{(L + g \operatorname{tg} \alpha)^2}{4(1 - M^2 \operatorname{tg}^2 \alpha)^2} \frac{(M^2 \operatorname{tg}^2 \alpha + 1)}{M^2} > \frac{(Z - H)^2}{M^2}$$

Obecnie w zależności od wielkości "M" można dla danego górotworu i wyrobiska wyznaczyć równanie elipsy.

Wstawiając natomiast w miejsce "y" wielkość $y = x(0)$ można wyznaczyć szukaną wysokość "W_g" ze wzoru:

$$W_g = x(0) - \frac{g}{2} = \pm M \sqrt{\frac{(L + g \operatorname{tg} \alpha)^2}{4(1 - M^2 \operatorname{tg}^2 \alpha)^2} \frac{(M^2 \operatorname{tg}^2 \alpha + 1)}{M^2}} - \frac{g}{2}$$

Dla schematu jak na rys. 36 należy przyjmować znak (-). Wzorem tym można wyznaczyć wysokość strefy spękań dla danego wyrobiska. Znając parametry górotworu H, h oraz przyjmując warunek $W_g < H - h$ można wyliczyć dopuszczalną szerokość "L" lub wysokość "g" wyrobiska, tak by nie dopuścić do powstania zapadlak na powierzchni.

Tablica 30

Przeciętne parametry górotworu dla wyliczenia wysokości strefy spękań

Rodzaj skały	$\operatorname{tg} \varphi$	$\angle \varphi$	$\angle \alpha$	$\operatorname{tg} \alpha$	$\operatorname{tg}^2 \alpha$	Liczba "m"	Stosunek osi elipsy a/b = M
Węgiel	1,5	57°	16°	0,2867	0,082	3	2
Łupek miękkki	2,0	64°	13°	0,2309	0,053	5	4
Łupek	3,0	72°	9°	0,1584	0,025	6	5
Piaskowiec miękkki, wapień	4,0	76°	7°	0,1228	0,015	7	6
Łupek piaszczysty	5,0	79°	6°	0,1051	0,011	8	7
Piaskowiec	6,0	80°	5°	0,0875	0,0076	10	9

W tablicy 30 przykładowo podano średnie parametrów górotworu występujących we wzorze dla najczęściej spotykanych skał w karbonie. Wartości przyjęte w tablicy 30 stanowią ilustrację ich zmienności dla różnych rodzajów skał i mogą posłużyć do określenia przedziału dla skał słabych i mocnych (np. α od 16° dla węgla, do 5° dla piaskowca).

Z wyznaczonych zależności wynika, że wyliczana wysokość stref spękań skał nad wyrobiskami jest znaczna i większa od dotychczas wyznaczanej przy wykorzystaniu znanych zależności. Wielkości te są jednak zgodne ze stwier-

dzonymi podczas inwentaryzacji pustek położonych na większych głębokościach. Ponadto potwierdza się spostrzeżenie, że sieć naturalnych spękań górotworu może obejmować cały obszar górotworu związłego, a wtedy na powierzchni uaktywnić się mogą pustki po wyrobiskach położonych nawet na średnich głębokościach. Należy podkreślić, że miarodajność wyliczeń uzależniona będzie od ustalenia wielkości charakteryzujących analizowany górotwór.

7. WYTYCZNE DLA PROGNOZOWANIA ZAPADLISK NA POWIERZCHNI

Dotychczasowa analiza wpływu warunków naturalnych górotworu na proces tworzenia się zapadlisk potwierdza istnienie kilku ogólnych czynników decydujących o ich powstawaniu i rozmiarach.

- a. Eksploatacja prowadzona na głębokości rzędu kilkudziesięciu metrów.
- b. Typowy górotwór podatny na zapadliska zbudowany jest z następujących warstw geologicznych:
nadmokre - utwory sypkie; piaski, żwiry, rumosz, zwietrzelina, górotwór zwięzły - skały zwięzłe i kruche; łupki, piaskowce, złoża - podlegające eksploatacji; węgiel, ruda, względnie pustka po wyrobisku w skałach płynnych.
- c. Nadkład posiada grubość od kilku do kilkudziesięciu metrów.
- d. W górotworze nad wyrobiskiem górniczym powstaje obszar spękań, którego przybliżone granice można wyznaczyć analitycznie.
- e. W przypadku, gdy wysokość strefy spękań " W_s " jest mniejsza od grubości skał zwięzłych " $H - h$ ", zapadlisko nie powstaje. Jeżeli strefa spękań " W_s " dochodzi do spągu nadkładu, powstają warunki do utworzenia się zapadliska. Gdy natomiast strefa zawału " W_z " dochodzi do spągu nadkładu - wystąpienie deformacji nieciągłych jest pewne.
- f. W miarę upływu czasu istnienia pustki możliwość powstania deformacji nieciągłej maleje.
- g. Zaburzenia górotworu zwiększają prawdopodobieństwo wystąpienia deformacji nieciągłych. Do zaburzeń zaliczyć należy: uskoki, wychodnie pokładów, warstwy kurzawkowe jak również obecność w skałach spękań i szczelin naturalnych. Czynniki te wpływają na aktywność wyrobisk pojedynczych o małych przekrojach, położonych na większych głębokościach.

Prognozowanie zapadlisk wymaga ustalenia następujących wielkości:

- prawdopodobieństwa powstania zjawiska,
- wyznaczenia zagęszczenia deformacji w terenie wyrażonego przez wskaźnik " W_n ", podający ilość zapadlisk na 1 km^2 powierzchni,
- wielkości deformacji wyrażonej przez maksymalny wymiar na powierzchni.

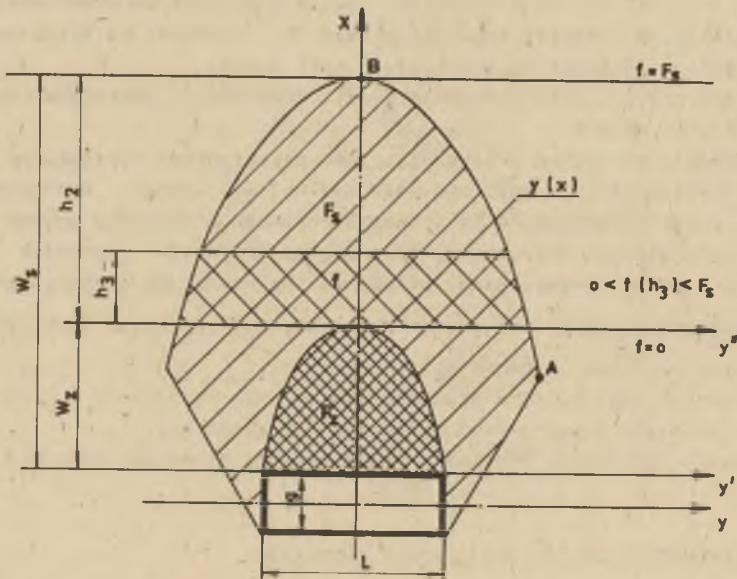
7.1. Prawdopodobieństwo powstawania zapadlisk

Z badań i obserwacji polowych wynika, że proces tworzenia się deformacji w postaci zapadlisk związany jest i uzależniony od położenia powierz-

chni spęgu nadkładu względem obciążenia zawału i spękań górotworu otaczającego wyrobisko.

Praktycznie pewnie zapadliska występują wówczas, gdy obciążenie zawału skał przenika do nadkładu. Przypadek taki - zaistniał w określonych warunkach naturalno-górnictwowych daje stuprocentowe prawdopodobieństwo wystąpienia zapadlisk. Oddalanie się położenia nadkładu od obciążenia zawału (przypadek przenikania obciążenia spękań do luźnego nadkładu), zmniejsza prawdopodobieństwo wystąpienia zapadlisk na powierzchni, które zanika całkowicie wtedy, gdy pod nadkładem związany górotwór zachowuje zwartość. Wielkość prawdopodobieństwa wystąpienia zapadlisk dla takiego przypadku ocenia się jako zero. Tak więc wnioskuje się, że prawdopodobieństwo występowania zapadlisk terenu zmienia się funkcyjnie w warunkach przenikania strefy spękań górotworu wokół wyrobiska do luźnego nadkładu: od wielkości 1 - dla przypadku przenikania obciążenia zawału do nadkładu, do wielkości 0 - dla przypadku położenia wierzchołka obciążenia spękań poza nadkładem. W warunkach braku luźnego nadkładu (zwietrzliny, utworów młodszych) o wystąpieniu na powierzchni zapadlisk decyduje położenie strefy zawału względem powierzchni.

Wobec powyższego, prawdopodobieństwo wystąpienia zapadlisk na powierzchni definiuje się jako miarę wielkości powierzchni obciążenia spękań górotworu nad strefą zawału przenikającego do nadkładu, zgodnie z poprzednio ustalonymi warunkami tworzenia się zapadlisk. W celu określenia prawdopodobieństwa wystąpienia zapadlisk wprowadza się pomocnicze wielkości przedstawione na rys. 37, które oznaczają:



Rys. 37. Schemat górotworu do ustalenia prawdopodobieństwa wystąpienia zapadlisk na powierzchni

F_s - jest powierzchnią obszaru spękań o wysokości " h_2 " nad strefą zawału,
 f - jest powierzchnią umownego obszaru spękań nad strefą zawału ograniczonego krzywą $y(x)$ i prostą położoną na wysokości " h_3 ". Wysokość " h_3 " określa w rzeczywistości położenie stropu górotworu związanego (spęgu nadkładu) względem wierzchołka strefy zawału.

Wtedy powierzchnia $F_s - f$ jest obszarem przenikania strefy spękań do nadkładu i zarazem miarą prawdopodobieństwa wystąpienia zapadliśk. Wielkość $h_2 = W_s - W_z$ jest obszarem określoności zmiennej wielkości " h_3 ", ponieważ:

$$0 < h_3 < h_2$$

a wtedy:

$$0 < f(h_3) < F_s.$$

Wielkość prawdopodobieństwa "P" występowania zapadliśk określa się przez funkcję:

$$P(h_3) = \frac{F_s - f(h_3)}{F_s}$$

z następującymi warunkami brzegowymi:

$$f(0) = 0; \quad P(0) = 1; \quad \text{bo } W_z \geq H - h$$

$$0 < f(h_3) < F_s; \quad 0 < P(h_3) < 1 \quad \text{bo } W_z < H - h \quad \text{ale } W_s \geq H - h$$

$$f = F_s; \quad P(h_2) = 0 \quad \text{bo } W_s < H - h.$$

Tak określona funkcja "P" spełnia definicję prawdopodobieństwa, które można wyrażać bądź w postaci ułamka, bądź też w procentach po pomnożeniu ułamka przez 100.

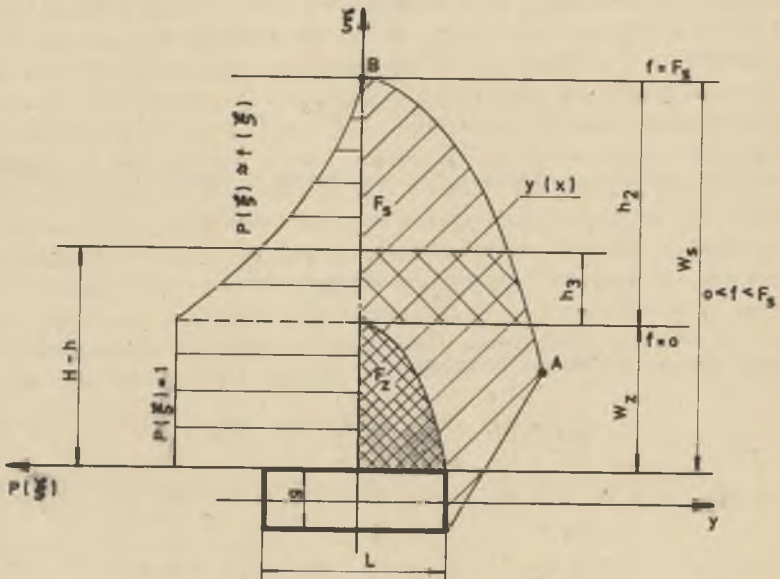
Wielkości powierzchni F_s i $f(h_3)$ można wyliczyć, a prawdopodobieństwo wyrazić za pomocą wzoru całkowego:

$$P(h_3) = \frac{\int_0^{h_2} y(x) dx - \int_0^{h_3} y(x) dx}{\int_0^{h_2} y(x) dx}$$

Całka w granicach $0 - h_2$ jest w tym przypadku wielkością stałą. Traktując wielkość " h_3 ", stanowiącą odległość stropu skał zwięzłych od wierzchołka strefy zawału nad pustką jako zmienną losową, można przedstawić krzywą gęstości prawdopodobieństwa, zdefiniowaną poprzednio podaną zależnością jako funkcję o równaniu:

$$P = f(\xi) = a + b\xi + c\xi^2 + \dots + n\xi^m.$$

Krzywa rozkładu prawdopodobieństwa jest zatem wielomianem, a jej przebieg przedstawiono na rys. 38.



Rys. 38. Rozkład prawdopodobieństwa tworzenia się zapadlak w zależności od powierzchni obszaru spękań przenikającego do nadkładu

Wyznaczenie jednak w praktyce prawdopodobieństwa wystąpienia zapadlak na powierzchni podaną metodą jest trudne, a niejednokrotnie niemożliwe ze względu na brak informacji. Wymaga bowiem ustalenia wielkości powierzchni, obszaru zawału i spękań na podstawie danych, których na ogół dla dawnych eksploatacji brak, względnie które wymagają szczegółowych poszukiwań w materiałach źródłowych, badań własności skał, identyfikacji pustek po wyrobiskach, wierceń rozpoznawczych itp. Ponadto dla ustalenia wielkości powierzchni obszaru spękań konieczna jest znajomość równań opisujących jej zasięg w górotworze.

W związku z powyższym podaje się uproszczoną metodę opisu i przedstawienia rozkładu prawdopodobieństwa "P" występowania zapadlak na powierz-

chni za pomocą zależności łatwych do ustalenia oraz miarodajnych parametrów i wskaźników górotworu. Stwierdzono, że istnieją podstawy dla dokonania pewnych uogólnień, powiązania i wyrażenia elementów prognozowania zapadliśk przez czynniki naturalno-górniczne górotworu możliwe do szybkiego i łatwego wyznaczenia, a zależności uzyskane przy ich wykorzystaniu posiadają wystarczającą dokładność dla obliczeń praktycznych. Należy bowiem pamiętać, iż na ogół każda dawna eksploatacja sprzed kilkudziesięciu lat nie posiada pełnej i skompletowanej dokumentacji.

Z wyników badań wynika, że miarodajnym i prostym do wyznaczenia, a jednocześnie istotnym determinantem procesu powstawania zapadliśk jest wskaźnik "Z", wyrażony za pomocą zależności:

$$Z = \frac{H - h}{g}$$

którego znaczenie fizyczne objaśniono w poprzednich rozdziałach pracy.

Dla zwiększenia więc praktycznego znaczenia wyników pracy dąży się do przedstawienia rozkładu prawdopodobieństwa "P" występowania zapadliśk w terenie od wielkości tegoż wskaźnika zawierającego się w obszarze stref zawału i spękań nad wyrobiskiem.

Z badań modelowych wynika, że strefa zawału i spękań górotworu nad wyrobiskiem położonym na małej głębokości o małych nawet gabarytach przeczynnych lecz znacznych objętościach, dla których nie zachodzi przypadek samopodsadzenia, sięga na ogół wysoko nad wyrobiskiem i stanowi znaczną wielokrotność wysokości pustki, czy też grubości pokładu. Chodzi tu o wskaźnik obrazujący wielokrotność grubości pokładu lub wysokości pustki, odnoszony do grubości górotworu zwężłego. Można więc dokonać tożsamościowego przyporządkowania zmiennej niezależnej " ξ " w wyrażeniu przedstawiającym rozkład prawdopodobieństwa "P" wskaźnikowi "Z" i wyrażenia prawdopodobieństwa przez ten wskaźnik, tzn.:

$$\xi \cong Z.$$

Tak więc, zdefiniowana wielkość prawdopodobieństwa może być zapisana jako:

$$P = f(\xi) \cong f(Z)$$

w obszarze strefy zawału i spękań górotworu nad wyrobiskiem górniczym.

Ponadto można dokonać dalszych uogólnień i uproszczeń w ocenie wymiarów geometrycznych obszarów zawału i spękań górotworu. Przeciętna bowiem wysokość obszaru zawału nad wyrobiskami pozostawionymi w górotworze waha się od kilku do kilkunastu grubości pokładu lub wysokości pustki. Spostrzeżenie to potwierdzają również wyliczenia, wykonane przy wykorzystaniu warunku samopodsadzenia. Ścisłej, wielkość " W_z " odpowiada najczęściej około dziesięciokrotnej wysokości pustki. Proponuje się zatem przyjąć dla celów progno-

zowania założenie upraszczające zagadnienie lecz wystarczająco miarodajne ze:

$$W_{z \max} \approx 10 \text{ g.}$$

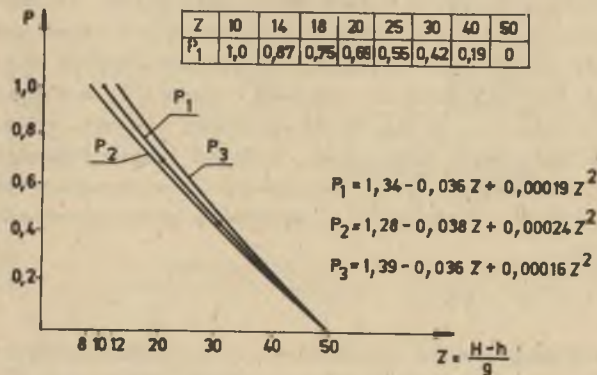
Postępując analogicznie stwierdzono, że zasięg pionowy strefy spękań w górotworze waha się w granicach kilkudziesięciokrotnej wysokości pustki i wynosi w przybliżeniu przeciętnie:

$$W_g \approx (10-50) \text{ g.}$$

W praktyce stwierdzono kilka sporadycznych przypadków, dla których wielkość ta dochodziła do przyjętej górnej granicy. Wnioskuje się, że przypadki te miały miejsce w warunkach istnienia rozwiniętej i bogatej sieci spękań naturalnych w górotworze zwięzłym.

W praktycznych obliczeniach dla zwiększenia bezpieczeństwa proponuje się więc przyjąć założenie, że:

$$W_{s \max} \approx 50 \text{ g.}$$



Przy tak ustalonych założeniach dokonano wyznaczenia funkcji rozkładu prawdopodobieństwa "P" w zależności od wskaźnika bezwymiarowego "Z", którą przedstawiono na rysunku 39.

Funkcja ta jest wielomianem:

$$P_1 = 1,34 - 0,036 \cdot Z + 0,00019 \cdot Z^2.$$

Rys. 39. Krzywe rozkładu prawdopodobieństwa wystąpienia zapadliśk

Funkcję tę skorelowano, uzyskując wysoki współczynnik korelacji wynoszący 0,99, wskazujący na miarodajność tej zależności.

Na rys. 39 wykreślono ponadto dwie inne krzywe P₂, P₃ przy założeniu że:

$$W_{z \max} = 8 \text{ g} \text{ i } W_{z \max} = 12 \text{ g.}$$

Krzywe te ilustrują błąd w ocenie prawdopodobieństwa wystąpienia zapadlisk przy innej wysokości strefy zawału od przyjętej dla prognozowania ($W_{z \max} = 10 \text{ g}$).

Jak z powyższego wynika, błąd taki jest nieduży i nieistotny dla praktycznych rozważań. W praktycznej więc ocenie prawdopodobieństwa występowania zapadlisk w terenie zaleca się posługiwać zależnościami uproszczonymi ze wskazaniem zależności ustalonej dla poprzednio podanych założeń upraszczających. Zależność tę po wyliczeniach przedstawiono w tabelicy 31 dla ułatwienia odczytu prawdopodobieństwa.

Tablica 31

Prawdopodobieństwo wystąpienia zapadliska jako funkcja wskaźnika "Z"

Z	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
P	1,0 (0,999)	0,96	0,93	0,90	0,87	0,84	0,81	0,78	0,75	0,72	0,69
Z	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
P	0,66	0,63	0,60	0,58	0,55	0,52	0,50	0,47	0,44	0,42	
Z	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
P	0,39	0,37	0,35	0,32	0,30	0,28	0,26	0,23	0,21	0,19	
Z	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	
P	0,17	0,15	0,13	0,11	0,09	0,07	0,05	0,03	0,03	0	

Wobec powyższego, wielkości wyznaczone przy wykorzystaniu zależności szczegółowych proponuje się stosować do sprawdzania wyników. Przedstawione rozważania znajdują uzasadnienie w analogiach po zestawieniu ich z rysunkiem 15, przedstawiającym zależność między ilością zapadlisk a wskaźnikiem "Z".

Analiza i porównanie zależności pozwala stwierdzić, że:

- wielkości $\xi = 0$ odpowiada $Z = 10$,
- wielkości $\xi = h_2$ odpowiada $Z = 50$.

Z całości kształtu przeprowadzonej analizy wynika, że przyjęty taki sposób prognozowania zapadlisk jest zgodny z wynikami uzyskiwanymi w praktyce górniczej. Przyjęcie wysokich stref zawału ($W_z = 10 \text{ g}$) i spękań ($W_g = 50 \text{ g}$) daje zwiększenie bezpieczeństwa nieodzownego przy prognozowaniu możliwości wystąpienia zapadlisk.

Posługiwanie się w prognozowaniu zapadlisk wskaźnikiem "Z" oraz przyporządkowanym mu funkcyjnie prawdopodobieństwem "P" stwarza podstawy klasyfikacji terenów. I tak, ze względu na wielkość wskaźnika "Z" tereny zapadliskowe proponuje się podzielić na kategorie, dla których liczbowa wielkość "Z" stanowi kryterium ich wyodrębnienia.

1. Teren kategorii A

Wskaźnik "Z" przyjmuje wielkość od 0 do 10. Oznacza to, że strefa z wału osiąga lub przekracza spąg nadkładu. W terenie takim występuje bardzo duże prawdopodobieństwo wystąpienia zapadlisk i wynosi:

$$P = 1$$

2. Teren kategorii B

Wskaźnik "Z" przyjmuje wielkość od 10 do 30. Oznacza to, że strefa zawału nie osiąga spągu nadkładu, ale strefa spękań przenika do nadkładu. Prawdopodobieństwo wystąpienia zapadlisk w takim terenie jest duże ($10 < Z \leq 20$) i średnie ($20 < Z \leq 30$), odpowiednio: $1 > P > 0,69$; $0,69 > P \geq 0,42$.

3. Teren kategorii C

Wskaźnik "Z" przyjmuje wielkość od 30 do 50. Bardzo wysoka strefa spękań (wapienie, piaskowce) osiąga spąg nadkładu. Prawdopodobieństwo wystąpienia zapadlisk w takim terenie jest małe. Tylko 2% zarejestrowanych zapadlisk wystąpiło przy wielkości wskaźnika "Z" większej od 30. Dla kategorii C: $0,42 > P > 0$.

4. Teren kategorii D

Wskaźnik "Z" większy od 50 oznacza, że wierzchołek strefy spękań jest położony poniżej spągu nadkładu. Prawdopodobieństwo wystąpienia zapadlisk spada do zera.

Podział terenu na kategorie A, B, C, D można zobrazować graficznie za pomocą wykresu (rys. 40).

Proste na rysunku dzielą płaszczyznę na cztery strefy: A, B, C, D - odpowiadające wyodrębnionym kategoriom terenu ze względu na prawdopodobieństwo wystąpienia zapadlisk. Odnosząc na taki wykres faktyczne wielkości "H", "H-h" oraz "g" w przecięciu otrzymuje się punkt "T", którego położenie wskazuje, z jakim prawdopodobieństwem wystąpienia deformacji nieciągłych należy się liczyć.

Tak więc przy:

$$H = 80 \text{ m}$$

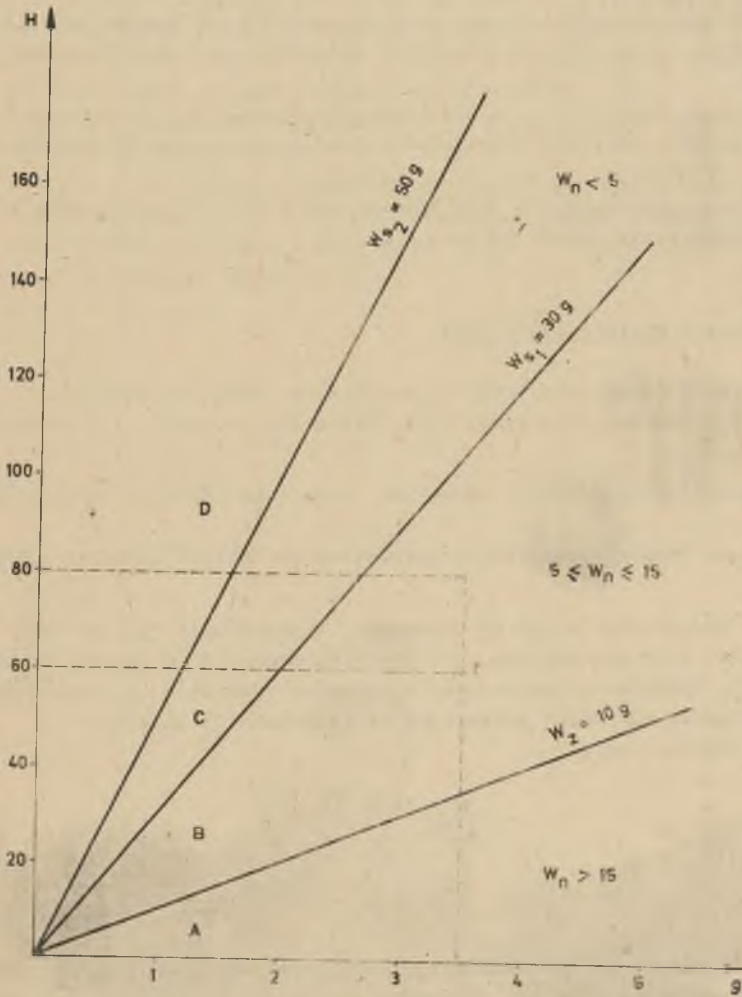
$$h = 20 \text{ m}$$

$$H - h = 60 \text{ m}$$

$$g = 3,5 \text{ m}$$

$$Z = \frac{60}{3,5} = 17,2$$

Punkt "T" położony jest w obszarze kategorii B, a więc prawdopodobieństwo wystąpienia deformacji jest duże i wynosi $P = 0,78$.



Rys. 40. Podział terenu na kategorie A, B, C, D w zależności od liczby "Z"

7.2. Zagęszczenie zapadliśk w terenie

Z wielkości zamieszczonych w tablicy 6 i przeprowadzonej analizy wynika, że podział terenów na kategorie ze względu na wskaźnik "Z" jest adekwatny do ich podziału, dokonanego ze względu na wskaźnik zagęszczenia " W_n " deformacji nieciągłych. I tak:

1) dla terenu kategorii A, dla którego wskaźnik "Z" jest mniejszy od 10, przyjmuje się wysoki wskaźnik zagęszczenia " W_n " - większy jak 15 zapadliśk / 1 km^2 , $W_n > 15$,

2) dla terenu kategorii B, dla którego wskaźnik "Z" wynosi od 10 do 30, wskaźnik zagęszczenia " W_n " przyjmuje się w przedziale 5 do 15 zapadliśk / km^2 ; $5 \leq W_n \leq 15$,

3) dla terenu kategorii C - dla którego wskaźnik "Z" przyjmuje wielkość od 30 do 50 - wskaźnik zagęszczenia jest mniejszy jak 5 zapadliśk / km^2 ; $W_n < 5$,

4) dla terenu kategorii D, dla którego wskaźnik "Z" jest wyższy od 50, wskaźnik zagęszczenia maleje do zera.

7.3. Spodziewane wymiary zapadliśka

Jako wielkość zapadliśka przyjęto maksymalną średnicę deformacji konwencjonalnej w postaci leja stożkowego. Założenie to czyni się ze względu na:

- różny kształt stwierdzanych zapadliśk, przy czym dominują tu leje stożkowe,
- przydatność tego wymiaru dla projektowania budowli na terenach zapadliśkowych.

Średnica zapadliśka zależy od głębokości eksploatacji "H", grubości nadkładu "h" oraz grubości pokładu "g". Dla prognozowania średnicy zapadliśk proponuje się wykorzystać zależności ustalane w rozdziale 4 odpowiednimi wzorami względnie wykresami pokazanymi na rysunkach 8, 10 i 12.

Każda z trzech funkcji:

$$d = f(H)$$

$$d = f(h)$$

$$d = f(g)$$

określona została dwoma zależnościami, podającymi wielkość średnią średnic " d_1 " i maksymalne średnice " d_2 ". Ponadto dla każdej zależności podany został przedział od średnicy wypadkowej do maksymalnej. Z tych wielkości zostaje wyliczona średnica arytmetyczna, która podaje ostateczny przedział

średnic spodziewanych zapadlisk. Ze względu na szereg innych czynników, mających wpływ na wielkość zapadliska, należy się liczyć z tym, że mogą się zdarzyć sporadycznie zapadliska o większych średnicach.

Umownie deformacje można podzielić na 4 grupy w zależności od wielkości ich średnicy na powierzchni:

- Grupa 1 - deformacje o średnicy do 0,5 m; stanowią zagrożenie dla szlaków komunikacyjnych i uzbrojenia terenu, jeżeli wykonane jest ono bez należytego zabezpieczenia. Zagrożają budowlom mniejszym, niedostatecznie lub wcale nie zabezpieczonym na tego rodzaju deformacje powierzchni ziemi. Przy dużym zagęszczeniu mogą zagrażać budynkom dużym.
- Grupa 2 - deformacje o średnicy do 10 m; zagrażają budynkom małym, średnim oraz dużym, nieodpowiednio zabezpieczonym.
- Grupa 3 - deformacje o średnicy do 20 m; zagrażają wszelkim budynkom i obiektom powierzchniowym.
- Grupa 4 - deformacje o średnicy powyżej 20 m; zagrażają zniszczeniem lub poważnym uszkodzeniem nawet największym i dobrze zabezpieczonym budowlom. Tereny zagrożone deformacjami grupy 4 należy uznać za całkowicie nieprzydatne dla budownictwa.

8. PRAKTYCZNA METODA PROGNOZOWANIA I KLASYFIKACJI TERENÓW ZAPADLISKOWYCH

Prognozowania zapadlisk terenu należy dokonywać przez wyznaczenie trzech podstawowych wskaźników:

- 1 - wskaźnika "Z" wyrażającego prawdopodobieństwo wystąpienia deformacji w terenie,
- 2 - wskaźnika "W_n" wyrażającego przewidywane zagęszczenie deformacji na 1 km² powierzchni,
- 3 - wskaźnika "d" będącego średnicą pojedynczej deformacji w postaci lejka konwencjonalnego.

Natomiast praktycznie użyteczna klasyfikacja terenów zagrożonych powstawaniem zapadlisk powinna spełniać następujące wymagania:

- oceniać przyczyny i rzeczywiste prawdopodobieństwo występowania deformacji nieciągłych w analizowanym terenie,
- określać maksymalną oraz przeciętną, najbardziej oczekiwaną ich wielkość oraz zagęszczenie deformacji nieciągłych,
- umożliwiać w prosty sposób zaliczanie terenów do poszczególnych kategorii ze względu na zagrożenie deformacjami nieciągłymi.

Podana w pracy klasyfikacja spełnia wymienione wymagania.

Tok postępowania przy klasyfikowaniu terenu ze względu na deformacje nieciągłe powierzchni w świetle uzyskanych wyników powinien być następujący:

1. Ustala się zasięg wpływu pustki na nadkład i powierzchnię.
2. Ustala się prawdopodobieństwo wystąpienia deformacji.
3. Uwzględnia się czas jaki upływał od eksploatacji.
4. Wyznacza się wskaźnik W_n zagęszczenia deformacji na 1 km².
5. Oblicza się maksymalną średnicę deformacji konwencjonalnej w formie lejka stożkowego.

6. Na podstawie wyznaczonego prawdopodobieństwa wystąpienia zapadlisk oraz wyliczonej średnicy deformacji konwencjonalnej zalicza się teren do odpowiedniej kategorii ze względu na deformacje nieciągłe wg tablicy 32. Pełne oznaczenie kategorii terenu zagrożonego deformacjami nieciągłymi proponuje się podawać w formie składającej się z oznaczenia wielkości deformacji i prawdopodobieństwa jej wystąpienia. Przykładowo symbol 3 C oznacza, że max. wymiar deformacji dla danego terenu wynosi $d \leq 20$ m, ponieważ teren kategorii 3 C charakteryzuje wskaźnik $30 < Z < 50$, to prawdopo-

Klasyfikacja terenów ze względu na zapadliska

Kryterium oceny	Kategoria lub grupa			
	Kat. A	Kat. B	Kat. C	Kat. D
Prawdopodobieństwo wystąpienia deformacji nieciągłych	$0 < Z \leq 10$	$10 < Z \leq 30$	$30 < Z \leq 50$	$Z > 50$
	$P = 1$	$1 > P \geq 0,42$	$0,42 > P > 0$	$P = 0$
Wskaźnik zagęszczenia	Kat. A	Kat. B	Kat. C	Kat. D
	$W_n > 15$	$15 \geq W_n \geq 5$	$W_n < 5$	$W_n = 0$
Maksymalna średnica deformacji nieciągłej w postaci leja	Grupa 4	Grupa 3	Grupa 2	Grupa 1
	$d > 20$	$d \leq 20$	$d \leq 10$	$d \leq 5$

dobieństwo wystąpienia zapadlisk jest małe ($0 < P < 0,42$), o ile nie zaistnieją okoliczności mogące zaktywizować proces tworzenia się zapadlisk w tym rejonie.

7. Dla pełnej charakterystyki powierzchni obok oznaczenia kategorii terenu ze względu na deformacje nieciągłe należy podać dotychczasowe oznaczenia kategorii ze względu na odkształcenia właściwe poziome spowodowane deformacjami ciągłymi.

Przykład: Oznaczenie terenu symbolem III 2A oznacza:

III - wielkość odkształceń właściwych poziomych $\epsilon \leq 6$ mm/m

2 - maksymalny wymiar deformacji nieciągłej - na powierzchni, $d < 10$ m

A - strefę, w której deformacje nieciągłe wystąpią na pewno, a ich zagęszczenie będzie duże.

Taki sposób oznaczania kategorii terenu zagrożonego deformacjami nieciągłymi spełnia wszystkie wymagania sformułowane na początku rozdziału. Sposób ten może być podstawą podejmowania miarodajnych decyzji odnośnie lokalizacji inwestycji na terenach zagrożonych deformacjami nieciągłymi, ich odpowiedniego zabezpieczenia przed skutkami tych deformacji, jak również może zapoczątkować rozwój i systematykę profilaktyki górniczej i budowlanej, zmierzającej do likwidacji zagrożenia powierzchni deformacjami nieciągłymi. Dla zobrazowania trafności ocen w myśl zaproponowanej klasyfikacji przytocza się poniższe przykłady.

Przykład I - Zapadliśko Nr 28, Rejon "Bolesław Śmiały 2"

$$\begin{aligned} H &= 17 \text{ m} & Z &= \frac{17 - 4}{1,6} = 8,1 \\ h &= 4 \text{ m} \\ g &= 1,6 \text{ m} & P &= 1,0 \\ & & W_n &> 15 \end{aligned}$$

średnica ze względu:

$$\begin{aligned} \text{na } H: & \quad d_1 = 3,5 \quad \text{do} \quad d_2 = 5,5 \\ \text{na } "H": & \quad d_1 = 3,7 \quad \text{do} \quad d_2 = 13,0 \\ \text{na } "g": & \quad d_1 = 3,6 \quad \text{do} \quad d_2 = 6,5 \end{aligned}$$

Należy się zatem liczyć ze średnicami zapadliśk do 6,5 m z tym, że sporadycznie średnice mogą dochodzić do 13 m. Teren należy zaliczyć do kategorii 3A.

W rejonie "Bolesław Śmiały 2" stwierdzono $W_n = 15,7$, a średnica zapadliśka Nr 28 wyniosła 4 m. Maksymalne średnice zapadliśk stwierdzone w tym rejonie wyniosły 12 m.

Przykład II - Zapadliśko Nr 23 - Rejon "Milowice I"

$$\begin{aligned} H &= 40 \text{ m} & Z &= \frac{40 - 20}{2} = 10 \\ h &= 20,0 \text{ m} \\ g &= 2,0 \text{ m} & W_n &> 15 \\ & & P &= 1,0 \end{aligned}$$

średnica ze względu:

$$\begin{aligned} \text{na } H: & \quad d_1 = 4,3 \text{ m} \quad \text{do} \quad d_2 = 6,5 \text{ m} \\ \text{na } "h": & \quad d_1 = 5,2 \text{ m} \quad \text{do} \quad d_2 = 24,0 \text{ m} \\ \text{na } "g": & \quad d_1 = 3,5 \text{ m} \quad \text{do} \quad d_2 = 8,0 \text{ m} \end{aligned}$$

Należy się zatem liczyć z przeciętną średnicą zapadliśk do 8,0 m z tym, że średnice mogą dochodzić sporadycznie do 24 m. Teren należy zaliczyć do kategorii 4 A, ponieważ strefa zawału przekracza spąg nadkładu, a średnice zapadliśk mogą być większe jak 20 m.

W rejonie "Milowice 2" stwierdzono $W_n = 57,7$, a średnica zapadliśka Nr 23 wynosi 6 m. Maksymalne wielkości zapadliśk, stwierdzone w rejonie "Milowice 1", wynoszą 14 m a jedno (nieforemne - bliźniacze) nawet 35 m.

Przykład III - Zapadliśko Nr 47 - Rejon "Milowice 3"

$$\begin{aligned} H &= 70 & Z &= \frac{70 - 30}{4,3} = 9,3 \\ h &= 30 & W_n &> 15 \\ g &= 4,3 & P &= 1,0 \end{aligned}$$

średnica ze względu:

na "H": $d_1 = 4,8$ do $d_2 = 7,4$

na "h": $d_1 = 6,0$ do $d_2 = 29,0$

na "g": $d_1 = 4,0$ do $d_2 = 10,0$

Należy się liczyć ze średnicą zapadlisk do 10 m, a sporadycznie do 29 m. Teren należy zaliczyć do kategorii 4 A.

W rejonie "Milowice 3" stwierdzono $W_n = 25$, a średnica zapadliska Nr 47 wyniosła 8 m. Maksymalna wielkość zapadlisk stwierdzona w rejonie "Milowice 3" wynosi 10 m.

Jak wynika z tablicy 32 i przykładów, kryteria prawdopodobieństwa i zagęszczenia są ze sobą powiązane, natomiast kryterium wielkości deformacji (wielkość średnicy) jest niezależne od obu poprzednich. Oznacza to, że w pewnych szczególnych przypadkach (np. rejon KWK "Komuna Paryska") można teren klasyfikować do kategorii 4 C, co oznacza, że prawdopodobieństwo wystąpienia deformacji będzie bardzo małe, ich zagęszczenie również bardzo małe, ale może wystąpić jedno zapadlisko o średnicy większej niż 20 m.

Proponowana klasyfikacja terenów uwzględnia zależność między parametrami górotworu i zapadlisk w przeciętnych warunkach. Można ją rozszerzyć przez dodanie odpowiednich oznaczeń dla czynników sprzyjających powstawaniu zapadlisk, jak np.:

U - dla oznaczenia terenów wzdłuż wychodni uskoków i pokładów,

S - dla oznaczenia terenów przy starych szybach, szybkach i "biedaszybach",

P - dla oznaczenia terenów, gdzie wiadomo, że w płytkich zrobach istnieje ogniska pożarowe.

Znajomość wymienionych zależności umożliwia opracowanie nomogramu w układzie współrzędnych prostokątnych, w którym przeznaczono:

Ćwiartkę III - na podanie zależności określającej prawdopodobieństwo wystąpienia zapadlisk,

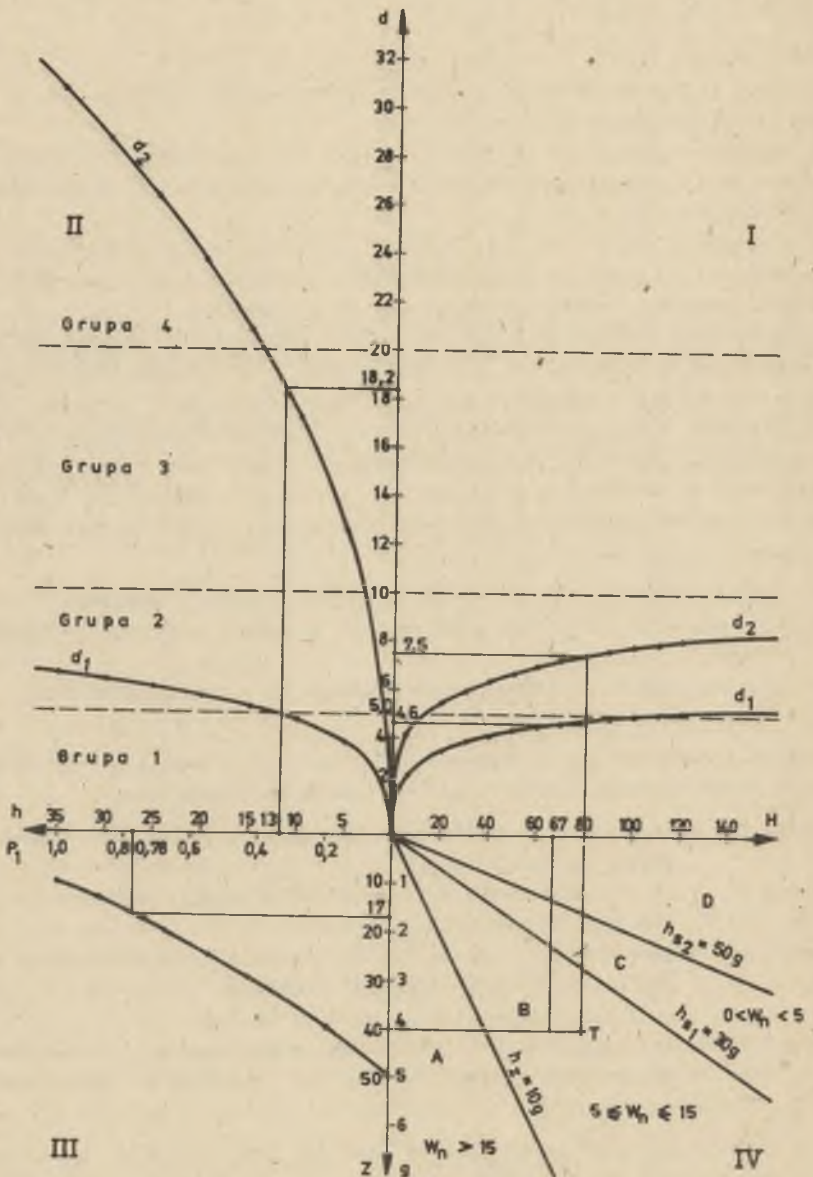
Ćwiartkę IV - na przedstawienie zależności określającej kategorię terenów i zagęszczenie zapadlisk,

Ćwiartkę I - na przedstawienie zależności określających maksymalne i przeciętnie oczekiwane średnice zapadlisk ze względu na głębokość eksploatacji (występowania pustki),

Ćwiartkę II - na przedstawienie zależności określających maksymalne i przeciętnie oczekiwane średnice zapadlisk ze względu na grubość nadkładu.

Tak skonstruowany nomogram ułatwia operacje prognozowania i zaliczania terenu do odpowiedniej kategorii. Przedstawiony on został na rys. 41.

Opracowanie nomogramu oparto na ustalonych empirycznie i wyznaczonych analitycznie zależnościach matematycznych. Nomogram ten może stać się na-



Rys. 41. Nomogram klasyfikowania terenu do odpowiedniej kategorii ze względu na zapadlika

rzędziem projektantów wykorzystujących opracowaną w pracy metodę. Sposób posługiwania się nomogramem najkorzystniej zobrazować za pomocą przykładu.

Przykład I - Na rysunku 41 pokazano sposób prognozowania i klasyfikacji według nomogramu rejonu o następujących parametrach i wskaźnikach:

$$\begin{aligned} H &= 80 & Z &= \frac{67}{4} = 17 \\ h &= 13 \\ g &= 4 & P &= 0,5 \\ H - h &= 67 & 5 &\leq W_n \leq 15 \end{aligned}$$

Punkt przecięcia "T" znajduje się w sektorze kategorii B, w której strefa zawału nie osiąga spągu nadkładu, ale strefa spękań przerodka do nadkładu.

W ćwiartce I dla głębokości $H = 80$ m odczytuje się średnicę wypadkową $d_1 = 4,6$ m i maksymalną $d_2 = 7,5$ m. W ćwiartce II na osi "h" odcina się 13 m i odczytuje średnicę wypadkową $d_1 = 5,0$ m i maksymalną $d_2 = 18,2$ m. Prognozowane zatem wielkości średnic będą wynosiły do 7,5 m, a sporadycznie mogą dochodzić do 18 m.

W ćwiartce III na osi "Z" odcina się liczbę 17 i odczytuje prawdopodobieństwo wystąpienia zapadliska, wynoszące 0,78.

W ćwiartce IV na osi "g" odcina się 4,0 m a na osi "H" wielkości 80 i 67.

Wskaźnik zagęszczenia będzie się mieścił w przedziale 5 do 15 zapadlisk w km^2 . Teren należy zaliczyć do kategorii 3 B, a prawdopodobieństwo wystąpienia zapadlisk wynosi 0,78.

Przykład II - Zapadlisko Nr 2 zarejestrowane w rejonie "Grodziec".

Parametry i wskaźniki charakteryzujące rejon górotworu wynoszą:

$$\begin{aligned} H &= 18,0 \text{ m} & Z &= \frac{H - h}{g} = \frac{17}{1} = 17 \\ h &= 1,0 \text{ m} \\ g &= 1,0 \text{ m} & P &= 0,78 \\ d &= 3,5 \text{ m} & 5 &\leq W_n \leq 15 \end{aligned}$$

W ćwiartce III na osi "Z" odcina się liczbę 17 i odczytuje prawdopodobieństwo wystąpienia deformacji wynoszące 0,78.

W ćwiartce IV na osi "g" odcina się 1,0 m, a na osi "H" wielkości 17 i 18 m. Punkt przecięcia "T" znajduje się w sektorze kategorii B, w której strefa zawału nie osiąga spągu nadkładu, ale strefa spękań przenika do nadkładu. Wskaźnik zagęszczenia będzie się mieścił w przedziale od 5 do 15 zapadlisk/ km^2 .

W ćwiartce I dla głębokości $H = 18$ m odczytuje się średnicę wypadkową $d_1 = 3,5$ m i maksymalną $d_2 = 7,0$ m.

W ćwiartce II na osi "h" odcina się $1,0$ m i odczytuje średnicę wypadkową $d_1 = 2,0$ m oraz maksymalną $d_2 = 4,0$ m. Średnice mieszczą się zatem w przedziale do $7,0$ m. Teren należy więc zaliczyć do kategorii 2 B, co oznacza, że wskaźnik zagęszczenia wynosi $5 \leq W_n \leq 15$, a spodziewana maksymalna średnica do $10,0$ m.

W rejonie "Grodziec 1" zapadlisko Nr 2 ma średnicę $3,5$ m, a maksymalna średnica zapadliska występującego w tym rejonie wynosi $7,0$ m. Wskaźnik zagęszczenia W_n dla rejonu "Grodziec 1" wynosi 6 .

Przykład III - Zapadlisko Nr 11 zarejestrowane w rejonie "Polska" ("Prezydent")

Parametry i wskaźniki charakteryzujące rejon górotworu wynoszą:

$$H = 29$$

$$h = 2$$

$$g = 6,4$$

$$d = 1,0$$

$$Z = \frac{29 - 2}{6,4} = \frac{27}{6,4} = 4,2$$

$$P = 1,0$$

$$W_n > 15.$$

Prawdopodobieństwo wystąpienia deformacji dla $Z = 4,2$ wynosi 100% ($1,0$). Punkt "T" znajduje się w sektorze kategorii A ze wskaźnikiem zagęszczenia $W_n > 15$. Dla głębokości $H = 29$ odczytuje się średnicę przeciętnie oczekiwaną $d_1 = 4,0$ oraz maksymalną $d_2 = 5,0$ m. Dla grubości nadkładu $h = 2$ m odczytuje się odpowiednio średnicę $3,0$ i $5,0$ m.

Średnice maksymalne mieszczą się zatem w przedziale do $5,0$ m. Teren należy zaliczyć do kategorii 1 A o 100% prawdopodobieństwie wystąpienia deformacji i maksymalnych średnicach do $5,0$ m. W rejonie "Polska" zapadlisko Nr 11 ma średnicę $1,0$ m, a największa zarejestrowana średnica wynosi $5,0$ m.

Przedstawioną metodą przeanalizowano wszystkie pozostałe rejonu występowania deformacji w postaci zapadlisk, uzyskując bardzo wysoką zgodność obliczeń przy wykorzystaniu podanych zależności z wielkościami zarejestrowanymi podczas inwentaryzacji. Opracowany więc sposób prognozowania i klasyfikowania terenów górniczych zagrożonych przez deformacje nieciągłe w postaci zapadlisk jest miarodajny i dokładny i może służyć do obliczeń praktycznych.

DEFORMACJE NIECIĄGŁE W OBSZARACH GÓRNICZYCH

S t r e s z c z e n i e

Praca zawiera wieloletnie wyniki badań i studiów nad zagadnieniem występowania deformacji nieciągłych w obszarach GOP. Problematykę podjęto ze względu na potrzeby budownictwa. W obszarze GOP odczuwa się coraz bardziej brak terenów przydatnych pod rozbudowę miast, osiedli i zakładów przemysłowych. Przeprowadzona w latach 1968-76 szczegółowa inwentaryzacja terenów zapadliskowych doprowadziła do zgromadzenia bardzo wielu cennych i miarodajnych materiałów dotyczących deformacji nieciągłych oraz danych na temat eksploatacji górniczej w analizowanych obszarach. Na ich podstawie wyprobowano wzory oraz graficzne ujęcie zależności pozwalających na prognozowanie deformacji nieciągłych o charakterze zapadliskowym przy uwzględnieniu naturalno-górnicych czynników górotworu.

Studia nad przedmiotowym zagadnieniem rozszerzono o badania modelowe i próby analitycznego opisu procesu tworzenia się zapadlisk. Ustalono kryteria i normy charakteryzujące same deformacje, jak również służące do klasyfikacji terenów górniczych. W wyniku tych rozważań opracowano praktyczną metodę prognozowania i wyznaczania deformacji nieciągłych w postaci zapadlisk dla terenów objętych wpływami dawnej i płytkiej eksploatacji górniczej. Ponadto przedstawiono propozycje klasyfikacji terenów zapadliskowych, która to klasyfikacja jest niezbędna przy projektowaniu zagospodarowania terenów górniczych. Dokonano oceny i sprawdzenia podanej metody oraz proponowanej klasyfikacji dla większości przypadków inwentaryzowanych zapadlisk. Uzyskano wysoką zgodność wyników prognozowania zapadlisk proponowaną metodą ze stanem faktycznym, co wskazuje na dużą przydatność opracowanej metody.

ТЕКТОНИЧЕСКИЕ РАЗРЫВЫ В ШАХТНЫХ ПОЛЯХ

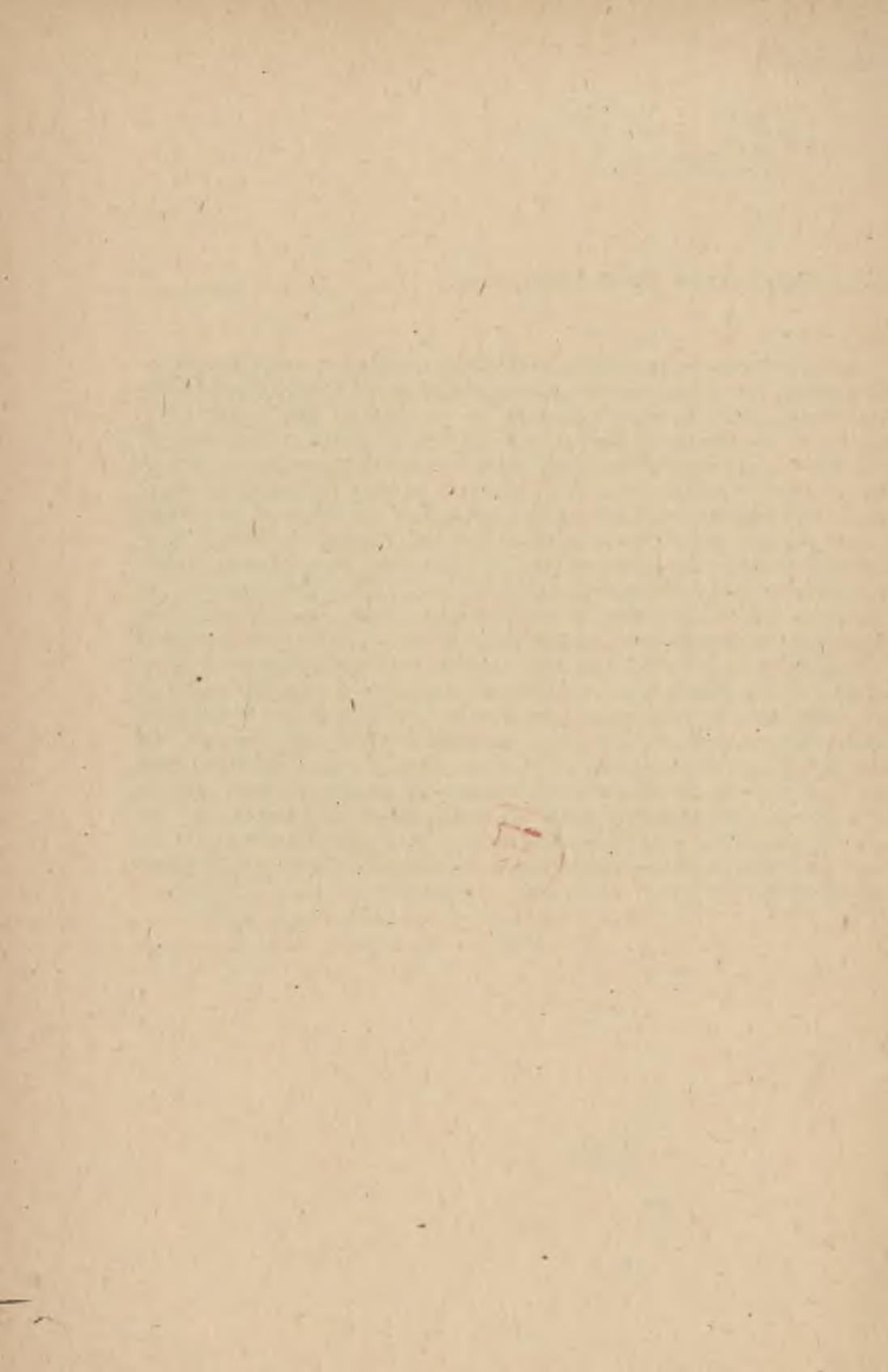
Резюме

Работа содержит многолетние результаты исследований и изысканий, касающиеся вопроса нахождения тектонических разрывов в шахтных полях в Верхнесилезском промышленном округе (ГОП). Учитывая нужды строительства, предпринята разработка этой проблематики. На территории ГОП все больше ощущается нехватка мест пригодных для расширения городов, пригородов и промышленных предприятий. Проведенная в 1968-76 годах подробная инвентаризация районов с провалами привела к накоплению очень многих весьма веских и достоверных материалов относительно тектонических разрывов, а также данных на тему горной эксплуатации в анализируемых полях. На их основании выведены формулы а также графически представлены зависимости, позволяющие прогнозировать тектонические разрывы, имеющие характер провалов с учетом естественных горных факторов массива горных пород. Изыскания по предметному вопросу были расширены путем модельных исследований и попытки аналитического описания процесса образования провалов. Определены критерии и нормы, характеризующие лишь одни деформации, а также служащие для классификации горных районов. В результате этих рассуждений разработан практический метод прогнозирования и определения тектонических разрывов в виде провалов для охваченных влияниями бывшей и неглубокой горной эксплуатацией районов. Кроме того представлены предложения классификации районов с провалами, которая необходима при проектировании благоустройства горных районов. Проведены оценка и проверка указанного метода, а также предлагаемой классификации для большинства случаев инвентаризованных провалов. Полученные предлагаемым методом результаты прогнозирования провалов в высокой мере соответствуют фактическому состоянию, что указывает на большую пригодность разработанного метода.

NONCONTINUOUS DEFORMATIONS IN MINING AREAS

S u m m a r y

The paper contains many years' results of studies and investigation into a phenomenon of noncontinuous deformation in the Upper Silesian Industrial District. The task was taken up for the needs of construction. Within the Upper Silesian Industrial District little terrain is suitable for the town and plant development. The 1968-76 detailed inventory of the collapsed terrain has led to an accumulation of valuable and essential information referring to the noncontinuous deformation and the data on mining in the analysed areas. Basing on these data the formulae and graphic illustration of the relationship which allow to forecast noncontinuous deformation of collapsible pattern with the account for geological factors of rocks were deduced. The studies were extended to modelling and analytical attempts of describing the process of collapses. Criteria and standards characterizing the deformations were defined. They can also be used in classifying mining areas. As a result of these solutions a practical method of forecasting and determining noncontinuous deformations in the form of collapses were developed. They are for the areas affected by the past and shallow excavating. Moreover, the classification of the collapsed areas was suggested. It is indispensable in designing the site-planning of the mining areas. The suggested method was both assessed and checked. A high rate of compatibility of forecasting results of the collapses with the actual state was obtained which indicates to high suitability of the method developed.



WYDAWNICTWA NAUKOWE I DYDAKTYCZNE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ MOŻNA NABYC W NASTĘPUJĄCYCH PLACÓWKACH:

- 44-100 Gliwice — Księgarnia nr 096, ul. Konstytucji 14 b
- 44-100 Gliwice — Spółdzielnia Studencka, ul. Wrocławska 4 a
- 40-950 Katowice — Księgarnia nr 015, ul. Zwirki i Wigury 33
- 40-096 Katowice — Księgarnia nr 005, ul. 3 Maja 12
- 41-900 Bytom — Księgarnia nr 048, Pl. Kościuszki 10
- 41-500 Chorzów — Księgarnia nr 063, ul. Wolności 22
- 41-300 Dąbrowa Górnicza — Księgarnia nr 081, ul. ZBoWiD-u 2
- 47-400 Racibórz — Księgarnia nr 148, ul. Odrzańska 1
- 44-200 Rybnik — Księgarnia nr 162, Rynek 1
- 41-200 Sosnowiec — Księgarnia nr 181, ul. Zwycięstwa 7
- 41-800 Zabrze — Księgarnia nr 230, ul. Wolności 288
- 00-901 Warszawa — Ośrodek Rozpowszechniania Wydawnictw Naukowych PAN — Pałac Kultury i Nauki

Wszystkie wydawnictwa naukowe i dydaktyczne zamawiać można poprzez Składnicę Księgarską w Warszawie, ul. Mazowiecka 9.