

Mirosław CHUDEK, Henryk KLETA

Politechnika Śląska, Gliwice

Katedra Geomechaniki, Budownictwa Podziemnego i Zarządzania Ochroną Powierzchni

ANALIZA NAGŁEJ UTRATY STATECZNOŚCI GÓROTWORU ZAWODNIONEGO W OTOCZENIU USKOKU

Streszczenie. Jednymi z najbardziej niebezpiecznych zdarzeń podczas eksploatacji górniczej są przypadki nagłego wdarcia się zawodnionych warstw nadkładu do wyrobisk, które to zdarzenia stanowią również poważne zagrożenie dla powierzchni terenu. W artykule przedstawiono analizę zagrożenia dla robót górniczych i powierzchni terenu, jakim było nagłe wdarcie się zawodnionych skał nadkładu do przedziału roboczego ściany wydobywczej i przyścianowych wyrobisk korytarzowych w kopalni „S” w 2006 roku. W wyniku tego zdarzenia doszło do śmiertelnego wypadku zbiorowego oraz powstania na powierzchni terenu powierzchniowej deformacji nieciągłej w kształcie leja o średnicy około 10 m i głębokości około 31 m. W celu określenia bezpośrednich przyczyn zdarzenia przeprowadzono analizę warunków geologiczno-górnicyznych i hydrogeologicznych oraz wykonano obliczenia numeryczne do oceny warunków geotechnicznych nagłej utraty stateczności górotworu.

ANALYSIS SUDDEN OF STABILITY ROCK MASS FOR WATERED FAULT

Summary. One of the most dangerous events during mining exploitation is events of abrupt inrush of watered overburden layers to excavations. Such events are very serious dangerous for land surface. The paper presents analysis of the menace for mining works and land surface like was a inrush of watered overburden layers to working space of longwall and dog heading in mine “S” in 2006. In consequence of this event occurred fatal omnibus accident and arose on the land surface discontinuous deformation in shape of funnel with 10 m diameter and 31 m depth. For determination a proximate cause of this event, has been carried out analysis of geological, mining and hydrological conditions and executed numerical calculation for assessment of geotechnical conditions of abrupt loose of rock mass stability.

1. Wprowadzenie

Jednymi z najbardziej niebezpiecznych zdarzeń podczas eksploatacji górniczej są przypadki nagłego wdarcia się wód do wyrobisk, które to zdarzenia stanowią również poważne zagrożenie dla powierzchni terenu. Znane są w naszym kraju takie zdarzenia

w przeszłości, ale również współcześnie mogą występować potencjalne zagrożenia zarówno dla bezpiecznej eksploatacji górniczej, jak i dla powierzchni terenu, szczególnie w przypadku prowadzenia eksploatacji górniczej na małej głębokości, pod zbiornikami wodnymi, w rejonach zaburzonych tektonicznie itp.

Przyczyny powstawania deformacji nieciągłych można podzielić na przyczyny naturalne i górnicze. Przyczyny naturalne wynikają głównie z warunków geologicznych zalegania złoża. Przyczyny górnicze powstawania deformacji nieciągłych dotyczą głównie eksploatacji złóż zalegających na małej głębokości, reaktywacji starych zrobów poeksploatacyjnych, aktywizacji częściowo zlikwidowanych lub niezlikwidowanych wyrobisk górniczych, robót górniczych w strefach zawodnionych uskoków, eksploatacji w rejonie wychodni pokładu zwłaszcza pod zawodnionym nadkładem oraz przzerwania warstw wodonieprzepuszczalnych nad prowadzoną eksploatacją górniczą [1, 3].

Przykładem zagrożenia dla robót górniczych i powierzchni terenu może być przypadek nagłego wdarcia się wód ze skałami nadkładu do przedziału roboczego ściany wydobywczej i przyścianowych wyrobisk korytarzowych w kopalni „S” w 2006 roku. W wyniku tego zdarzenia doszło do śmiertelnego wypadku zbiorowego oraz powstania na powierzchni terenu powierzchniowej deformacji nieciągłej zapadliska w kształcie leja o średnicy około 10 m i głębokości około 31 m.

Analizowany przypadek wdarcia się wód i skał nadkładu można zaliczyć do deformacji typu „kominowego” [3], które tworzą się w wyniku etapowego procesu obejmującego:

- tworzenie się szczelin pomiędzy poziomami wodonośnymi w strefie maksymalnych odkształceń poziomych,
- rozrywanie i rozmywanie warstw izolacyjnych poszczególnych poziomów wodonośnych przez ciśnienie piezometryczne nadległych poziomów wodonośnych,
- transport materiału skalnego przez spływającą z góry wodę.

Proces tworzenia się formy kominowej rozpoczyna się od dołu, bezpośrednio nad czynnym wyrobiskiem górniczym, i etapowo przesuwa się do góry aż do powstania jego wlotu na powierzchni terenu. Forma kominowa powstaje w miejscach najbardziej osłabionego górotworu w wyniku odkształceń rozciągających, spowodowanych wybieraniem pokładów węgla lub innej kopaliny w strefie uskoku.

2. Warunki naturalne i górnictwe wpływające na możliwość oraz charakter procesu kształtowania się deformacji nieciągłych

Do czynników sprzyjających powstawaniu deformacji nieciągłych oraz od których zależą wielkość i przebieg procesu powstawania deformacji nieciągłych, należą:

- gabaryty pustki,
- budowa geologiczna górotworu nad i w otoczeniu pustki,
- zmiany stanu naprężenia w górotworze wskutek zachodzących w nim różnorodnych procesów zaburzających ustaloną wtórnie równowagę.

Wymiary pustki w górotworze mają podstawowe znaczenie dla procesu występowania deformacji nieciągłych. Zawał pustki o określonych wymiarach decyduje bowiem o wysokościach stref zawału i spękań górotworu. Dojście tych stref do powierzchni terenu lub stropu warstw zwięzłych decyduje o wielkości i rodzaju deformacji nieciągłych na powierzchni terenu.

Szczególne znaczenie ma tu relacja szerokości i wysokości pustki. W skrajnym przypadku, w pewnych określonych warunkach, pomimo istnienia bardzo wysokiej, ale wąskiej pustki może nie dojść do powstania zapadliska. Natomiast przy szerokiej, ale niewysokiej pustce może dojść do powstania deformacji nieciągłej w postaci zapadliska. Generalizując, wysokość pustki decyduje o potencjalnym zagrożeniu powierzchni terenu deformacjami nieciągłymi. Im ta wysokość jest większa, tym zagrożenie jest większe. Szerokość pustki decyduje o prawdopodobieństwie wystąpienia deformacji nieciągłych. Im szerokość jest większa, tym prawdopodobieństwo wystąpienia deformacji nieciągłych jest większe. Natomiast objętość pustki decyduje o wielkości deformacji nieciągłych.

Na przebieg procesu powstawania deformacji nieciągłych wpływ mają następujące czynniki określające budowę geologiczną górotworu:

- głębokość zalegania pustki od stropu warstw zwięzłych,
- budowa litologiczna skał zwięzłych zalegających nad pustką,
- własności fizykomechaniczne i chemiczne skał zwięzłych, w których znajduje się pustka,
- budowa warstw nadkładu i ich podatność na rozmywanie oraz wynoszenie przez wodę,
- tektonika i mikrotektonika oraz stan naruszenia górotworu,

- podatność górotworu zalegającego wokół pustki na deformacje i jego charakter reologiczny.

W większości przypadków w praktyce górotwór można podzielić na części składające się z warstw skalnych o istotnie różniących się własnościach fizykomechanicznych, a mianowicie:

- górotwór położony głębiej i składający się z warstw zwięzłych, zdolnych do przenoszenia dużych naprężeń,
- nadkład położony nad górotworem zwięzłym, złożony z warstw niezdolnych do przenoszenia większych naprężeń bez dużych odkształceń i przemieszczeń.

Nad wykonanym w górotworze wyrobiskiem tworzy się sklepienie ciśnień oraz powstaje strefa spękań. Jeśli wysokość strefy zawału, a w pewnych warunkach strefy spękań, jest mniejsza od grubości warstw zwięzłych zalegających nad wykonanym wyrobiskiem, to zapadlisko nie powstaje, a w górotworze wytwarza się wtórny stan równowagi. Równowaga ta może ulec zmianie pod wpływem różnych czynników, takich jak:

- działanie wody,
- podbieranie wyrobiska eksploatacją górniczą,
- wstrząsy i drgania górotworu,
- obciążenie terenu nad pustką.

Czynniki te mogą powodować zmianę stanu naprężenia w górotworze w otoczeniu pustki, a tym samym zmianę wysokości naturalnego sklepienia i zasięgu strefy spękań. W przypadku gdy wysokości te przekroczą grubość warstw zwięzłych zalegających nad pustką, może dojść do powstania deformacji nieciągłej.

Możliwość powstawania na powierzchni terenu deformacji nieciągłych typu powierzchniowego związana jest z istnieniem w górotworze faktycznej pustki, która musi ulec gwałtownemu zawałowi z wytworzeniem sklepienia ciśnień. Pustki, które ulegają powolnemu zaciskaniu, nie grożą natychmiastowymi zapadliskami powierzchni terenu i w związku z tym są mniej groźne.

Górotwór nad pustką podzielić można na dwie zasadnicze części:

- górotwór zwięzły, złożony z warstw zwięzłych sprężystych, zdolnych do przenoszenia większych naprężeń,
- nadkład, złożony z warstw luźnych (sypkich), niezdolnych do przenoszenia naprężeń.

3. Warunki geologiczno-górnice i hydrogeologiczne w jakich doszło do powstania powierzchniowej deformacji nieciągłej w kopalni „S”

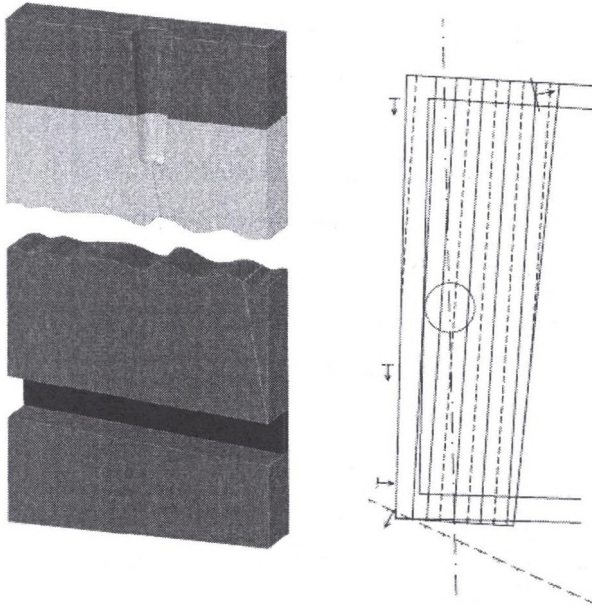
W dniu 16 listopada 2006 roku doszło do nagłego wdarcia wody z częściami stałymi do przedziału roboczego ściany „x” oraz do przyścianowych wyrobisk korytarzowych.

W budowie górotworu w przedmiotowym rejonie biorą udział następujące utwory geologiczne (rys. 1):

- zlepińce piaszczyste, do głębokości około 45 m,
- warstwy zbudowane z iłów, iłów piaszczystych, żwirów i piaskowo średniej miąższości w rejonie przedmiotowego wyrobiska wynoszącej około 160 m,
- warstwa zailonych żwirowców o grubości około 20 m,
- zailone piaskowce o miąższości do 10 m,
- żwirowce o miąższości do 10 m,
- zwięzłe iły nadległe o miąższości od 30 m do 40 m,

Wyrobisko ścianowe o długości około 60 m rozpoczęło eksploatację pokładu węgla 25 października 2006 roku tzw. systemem podbierkowym jednowarstwowym z wybieraniem pokładu z zawałem stropu. Wyposażenie ściany stanowiło 42 sekcje obudowy zmechanizowanej, a urabianie pokładu za pomocą kombajnu prowadzone było na wysokość około 4,0 m. Uwzględniając samoczynne opadanie węgla z pułapu przez okno w obudowie zmechanizowanej, sumaryczna grubość eksploatowanego pokładu mogła wynosić do 7,0 m. W dniu 4 listopada 2006 roku stwierdzono zwiększony dopływ wody w rejonie skrzyżowania chodnika przyścianowego z przecinką ścianową, początkowe natężenie wypływu wody w postaci czystej wynosiło około 80 l/min, w następnych dniach prowadzono w ograniczonym zakresie urabianie w ścianie oraz roboty technologiczne związane z zaistniałą sytuacją w ścianie. W całym tym okresie występował nieprzerwany przyptyw wody do chodnika przyścianowego taśmowego i ze stropu w przecince ścianowej. Od 11 listopada 2006 roku do wyrobiska zaczął dopływać zawodniony materiał skalny, głównie w postaci mieszaniny wody, iłów, żwirów i iłów piaszczystych. Dopływ wody do ściany wynosił od 80 l/min w dniu 4 listopada 2006 roku do 203 l/min w dniu 6 listopada 2006 roku. W dniu 16 listopada 2006 nastąpiło przerwanie stropu w przedziale roboczym ściany i wypływ zawodnionych materiałów skalnych, takich jak: iły, iły piaszczyste, żwiry. W wyniku tego nastąpiło wypełnienie – „podsadzenie” częściowe chodnika podścianowego – zawodnionym

materiałem skalnym, a na powierzchni terenu powstało zapadlisko w kształcie leja o średnicy 10,6 m i głębokości około 31 m (rys. 1).



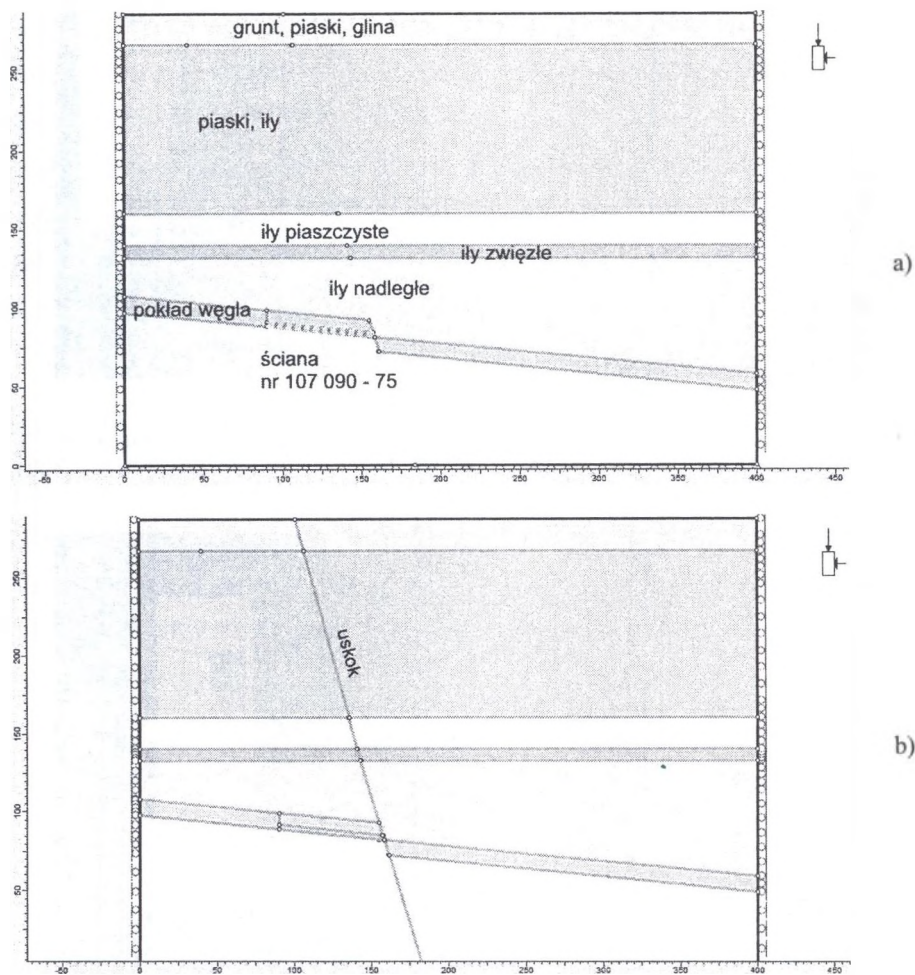
Rys. 1. Lokalizacja zapadliska w przedmiotowym rejonie
Fig. 1. Localization of collapse sink

4. Warunki powstania powierzchniowej deformacji nieciągłej w kopalni „s” w świetle obliczeń numerycznych

Model numeryczny do obliczeń został zbudowany jako płaska tarcza o wymiarach 400 x 280 metrów, która odwzorowuje wycinek górotworu w obrębie ściany „x”. Z uwagi na złożoność zagadnienia przyjęto uproszczenia, głównie w aspekcie zamiany zagadnienia przestrzennego na zagadnienie płaskie, przy czym przyjęto, że miarą zgodności tej zamiany jest wielkość przemieszczeń pionowych na powierzchni terenu nad przedmiotowym wyrobiskiem ścianowym. Wstępnie wielkość tych przemieszczeń obliczono metodą numeryczną stosowaną w prognozowaniu wpływów eksploatacji górniczej.

Przyjęty do obliczeń model numeryczny przedstawia rys. 2a, zgodny z budową górotworu w tym rejonie. Założono, że warstwy górotworu posiadają własności ośrodka plastycznego o modelu Mohra – Coulomba. Obliczenia wykonano za pomocą programu Phase, przyjmując własności masywu skalnego zgodnie z wynikami badań laboratoryjnych [2].

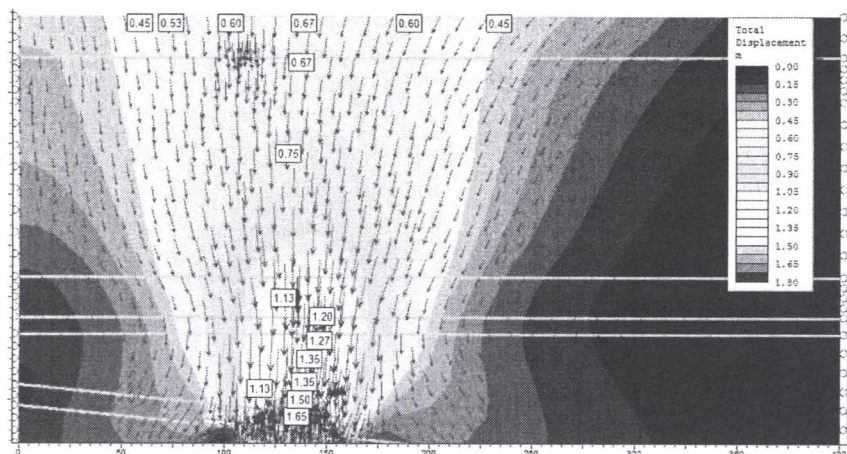
W celu oceny wpływu uskoku położonego w rejonie chodnika podścianowego na stan wyężeniowo-przemieszczeniowy górotworu, przeprowadzono obliczenia dla dwóch podstawowych modeli, a mianowicie modelu I – bez uskoku oraz modelu II – z uskokiem. Geometrię modeli przedstawiają odpowiednio rys. 2a i rys. 2b.



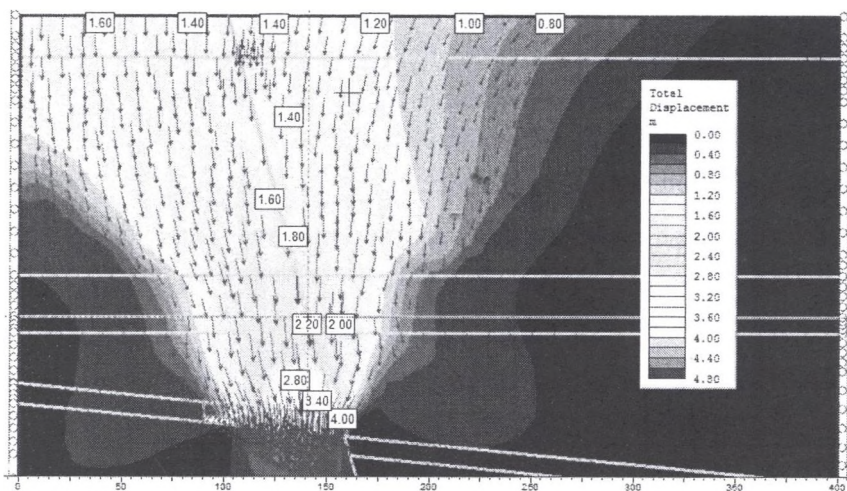
Rys. 2. Geometria modelu numerycznego górotworu przyjęta do obliczeń: a) bez uskoku, b) z uskokiem

Fig. 2. Geometry of numerical model: a) without fault, b) with fault

Wyniki obliczeń rozkładu przemieszczeń i wskaźnika plastyczności (na rysunkach: \circ – oznacza zniszczenie wynikające z rozciągania, \times – stan graniczny ze ścinania) przedstawiają rys. 3 i 4.



Rys. 3. Obliczony rozkład przemieszczeń nad wyrobiskiem ścianowym (model bez uskoku)
Fig. 3. Calculated distribution of displacement above longwall excavation (model without fault)



Rys. 4. Obliczony rozkład przemieszczeń nad wyrobiskiem ścianowym (model z uskokiem)
Fig. 4. Calculated distribution of displacement above longwall excavation (model with fault)

Przedstawiony na rys. 3 rozkład przemieszczeń i wskaźnika plastyczności wskazuje, że w otoczeniu przedmiotowej ściany wystąpiły znaczne przemieszczenia o charakterze sklepieniowym, wynoszące od około 1,13 m do 1,65 m, a rozkład wskaźnika plastyczności

wskazuje na lokalne zniszczenie warstwy iłów nadległych. Natomiast przemieszczenia wypadkowe powierzchni terenu mogą wynosić od 0,45 m do 0,67 m. Należy zwrócić uwagę na przesunięcie strefy zniszczenia w stronę upadu pokładu, tj. w kierunku chodnika podścianowego.

W przypadku obliczeń deformacji wg modelu II, tj. z zamodelowanym uskokiem (rys. 4), otrzymano większe przemieszczenia niż w modelu I, a mianowicie w strefie stropowej przedmiotowej ściany przemieszczenia wyniosły około 4,0 m bezpośrednio przy uskoku, a przemieszczenia powierzchni terenu wyniosły od około 0,80 m do 1,6 m, przy czym otrzymano większe przemieszczenia w rejonie uskoku. Z obliczeń wynika, że strefa zniszczenia (przekroczenia wytrzymałości na rozciąganie) obejmuje strefę górotworu powyżej warstwy zwartych iłów nadległych, co skutkowało nagłą utratą stateczności skał i wdarciami się zawodnionych warstw do wyrobiska ścianowego.

5. Podsumowanie i wnioski końcowe

Jednymi z najbardziej niebezpiecznych zdarzeń podczas eksploatacji górniczej są przypadki nagłego wdarcia się wód do wyrobisk, które to zdarzenia stanowią również poważne zagrożenie dla powierzchni terenu.

W świetle dokonanych analiz warunków geologiczno-górnich, hydrogeologicznych i obliczeń numerycznych, prawdopodobną przyczyną zaistniałego zdarzenia w kopalni „S”, czyli nagłego wdarcia się wód i zawodnionych utworów nadkładu, było:

- występowanie słabych warstw nadkładu, zasilanych wodami opadowymi, oraz możliwe duże zasoby wód i jej przepływy w nadkładzie,
- niewystarczająca grubość półki nadległych iłów zwartych, co w połączeniu z zaburzeniem uskokowym w bezpośrednim sąsiedztwie wyrobiska, tworzy niekorzystny układ geomechaniczny sprzyjający utracie stateczności warstw nadkładu,
- znaczna grubość eksploatowanego pokładu z zawałem stropu, co powoduje wytworzenie strefy spękań – strefy zawału wysokiego, obejmującego słabe warstwy nadkładu.

Wykonane obliczenia numeryczne wskazują, że strefa zniszczenia obejmuje strefę górotworu powyżej warstwy zwartych ilów nadległych, co zapewne skutkowało utratą stateczności skał i wdarciem się zawodnionych warstw do wyrobiska ścianowego.

BIBLIOGRAFIA

1. Chudek M.: Geomechanika z podstawami ochrony środowiska górniczego i powierzchni. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002.
2. Chudek M., Kleta H.: Ocena przyczyny nagłej utraty stateczności warstw zawodnionych i wdarcia się wody z częściami stałymi do ściany nr 107 090 – 95 oraz wyrobisk przyscianowych 107-290-15 i 107-190-15. Katowice – Tychy 2007 (praca niepublikowana).
3. Sztelak J.: Hydrogeologia górnicza i sposoby zwalczania zagrożeń wodnych w kopalniach podziemnych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1998.
4. Ochrona środowiska w Górnośląskim Donieckim Zagłębiu Węglowym. Praca zbiorowa pod red. Chudka M. i Sapickiego K.F. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2004.
5. Chudek M., Janusz W., Zych J.: Studium dotyczące stanu rozpoznawania tworzenia się i prognozowania deformacji nieciągłych pod wpływem podziemnej eksploatacji złóż. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo, z. 141, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1988.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Andrzej ZORYCHTA

Abstract

One of the most dangerous events during mining exploitation is events of abrupt inrush of watered overburden layers to excavations. Such events are very serious dangerous for land surface.

The paper presents analysis of the menace for mining works and land surface like was a inrush of watered overburden layers to working space of longwall and dog heading in mine "S" in 2006. In consequence of this event occurred fatal omnibus accident and arose on the land surface discontinuous deformation in shape of funnel with 10 m diameter and 31 m depth.

For determination a proximate cause of this event, has been carried out analysis of geological, mining and hydrological conditions and executed numerical calculation for assessment of geotechnical conditions of abrupt loose of rock mass stability.

The article presents analysis of influence of primary stress state on failure zone distribution for mining works and land surface of longwall and dog heading in mine "S".

Analysis was carried out for longwall modeled with aid of computer program Phase 2. Computations allow to estimate distribution of displacement and failure zone for mining works and land surface.