

Katarzyna SZAFULERA, Marek JENDRYŚ

Politechnika Śląska, Gliwice

Katedra Geomechaniki, Budownictwa Podziemnego i Zarządzania Ochroną Powierzchni

OCENA STATECZNOŚCI GÓROTWORU W SĄSIEDZTWIE PŁYTKICH WYROBISK PORUDNYCH W OPARACIU O ODKSZTAŁCENIOWY WARUNEK STANU GRANICZNEGO

Streszczenie. Na podstawie wyników obliczeń numerycznych zbadano możliwość wystąpienia stanu granicznego w górotworze, w sąsiedztwie płytkich wyrobisk porudnych. Stan graniczny określony został przy wykorzystaniu odkształceniowego warunku stanu granicznego, zaproponowanego przez M. Kwaśniewskiego (2010).

ASSESSMENT OF ROCK MASS STABILITY IN THE VICINITY OF SHALLOW ORE EXCAVATION ON THE BASIS OF STRAIN-BASED FAILURE

Summary. On the base of numerical calculation possibility of occurrence of critical state of strain has been examined in rock mass in the vicinity of shallow ore excavation. Limiting state has been determined by strain-based failure criterion elaborated by M. Kwasniewski (2010) and this state has been compared with the octahedral shear strain and mean normal strain occurring in numerical model of rock mass.

1. Wprowadzenie

Oddziaływanie podziemnej eksploatacji złóż na środowisko obejmuje szerokie spektrum czynników. Jednym z nich są deformacje w postaci nieciągłej. Występowanie ich na powierzchni stanowi duże zagrożenie dla obiektów zlokalizowanych na terenach górniczych. Szczególnie zagrożone występowaniem deformacji nieciągłych są rejony płytkiego kopalnictwa rudnego, gdzie na małych głębokościach występuje zjawisko utraty stateczności górotworu w sąsiedztwie wyrobisk.

Jedną z form utarty stateczności górotworu w sąsiedztwie wyrobisk (M. Borecki, 1980; M. Chudek, 1981) jest działanie stanów naprężeniowo-deformacyjnych, wywołanych eksploatacją. Zniszczenie struktury skały następuje po przekroczeniu granicznych odkształceń, a w otoczeniu wyrobisk wytwarza się strefa skał spękanych. Skały spękane pod wpływem ciężaru własnego mogą ulec przemieszczeniu w kierunku wyrobisk i spowodować ich samopodsadzenie. W takim przypadku punktem wyjściowym w analizie stateczności wyrobisk jest informacja o kształtowaniu się pól naprężeń i odkształceń górotworu w ich sąsiedztwie.

W ramach niniejszego artykułu, na podstawie wyników obliczeń numerycznych (K. Szafulera, 2011) i odkształceniowego warunku stanu granicznego (M. Kwaśniewski, 2010), została zbadana możliwość wystąpienia stanu granicznego w górotworze, w sąsiedztwie płytkich wyrobisk porudnych, co w konsekwencji może skutkować wystąpieniem deformacji nieciągłych.

2. Charakterystyka analizowanego obszaru

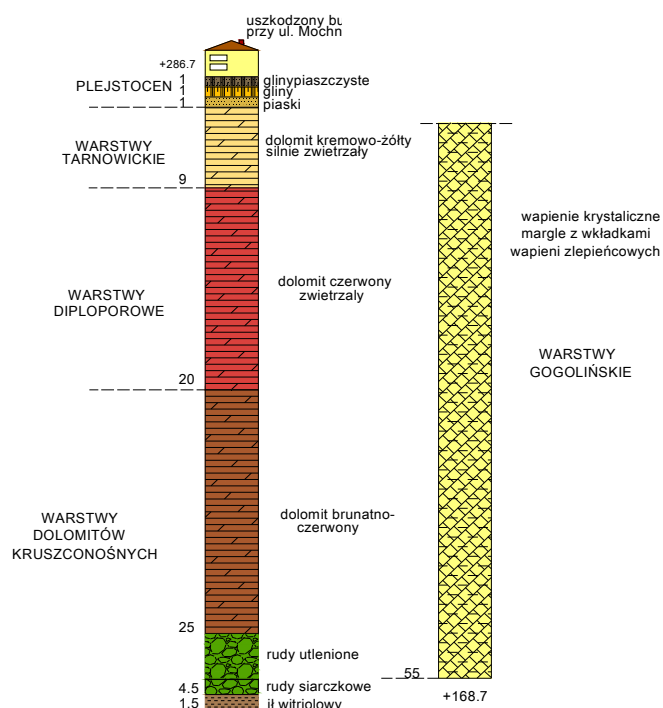
W celu zbadania stateczności górotworu w sąsiedztwie płytkich wyrobisk porudnych został wybrany obszar górotworu, w rejonie którego w okresie kilkunastu lat zinwentaryzowano na powierzchni 7 deformacji nieciągłych (zapadlisk).

W obszarze tym, w latach 1945 – 1984, na głębokości 57 m była prowadzona eksploatacja rud cynku i ołowiu. Rudy wybierano systemem filarowo-komorowym. Polegał on na drażeniu z chodnika eksploatacyjnego wąskich zabierek o maksymalnej szerokości 5 m i długości do 40 m, przy stałej grubości wybieranej warstwy równej 4,5 m; złożę wybierano z zawałem i ochroną stropu.

Rudy cynku i ołowiu zalegały wśród słabych dolomitów czerwonych i beżowych oraz iłu wiotriolowego, a nad zwietrzalymi utworami triasowymi zalegała cienka warstwa utworów czwartorzędowych (rys. 1).

Eksploatacja rudy spowodowała, że dolomity kruszconośne powyżej poziomu robót górniczych zostały całkowicie osuszone [9]. Istniejące dopływy wody do wyrobisk górniczych pochodziły przede wszystkim z infiltracji wód atmosferycznych. Występujące w spągu warstwa iłu wiotriolowego oraz kompleks wapieni izolowały wody opadowe na poziomie dolomitów kruszconośnych od ucieczki w głąb górotworu. W czasie gdy prowadzono eksploatację rudną dopływ wód był kontrolowany, a jej nadmiar

odpompowywany. Jednak gdy zakończono wybieranie rud, wody opadowe gromadziły się na poziomie wyrobisk porudnych.



Rys. 1. Źródłowy profil litologiczny, na podstawie którego został zbudowany model numeryczny
Fig. 1. Litological profile, which is the basic information for numerical model

Od momentu zakończenia eksploatacji rud cynku i ołowiu (1984 rok) do końca 1988 roku w promieniu zasięgu oddziaływania nie była prowadzona eksploatacja węgla. Dopiero od 1989 roku systemami ścianowymi rozpoczęto wybieranie pokładów węgla z zawałem stropu i podsadzką hydrauliczną w przedziale głębokości od 300 do 700 m. Wpływy tej eksploatacji naruszyły strukturę górotworu, niszcząc naturalną izolację w spągu wyrobisk porudnych, czego wynikiem była ucieczka zgromadzonej wody w głąb górotworu. W tym czasie w podsadzonych wyrobiskach mogły powstać wtórne pustki (pogórnice).

3. Zastosowany warunek stanu granicznego

W celu oceny stateczności płytkich wyrobisk skorzystano z warunku M. Kwaśniewskiego (2010), zgodnie z którym odpowiadające granicy wytrzymałości, oktaedryczne odkształcenie postaciowe jest liniowo rosnącą funkcją największego odkształcenia głównego (największego skrócenia). Hipotezę tę wyraża równanie:

$$\gamma_{oct} = a + b\varepsilon_1, \quad (1)$$

gdzie:

ε_1 – największe odkształcenie główne (największe skrócenie),

a, b – stałe materiałowe.

Parametry a i b są stałymi materiałowymi, określanymi na podstawie prób wytrzymałościowych, i są zależne od rodzaju skały i jej cech mineralogiczno-petrograficznych, tj. składu mineralnego, rozkładu i wielkości ziaren oraz rodzaju spoiwa.

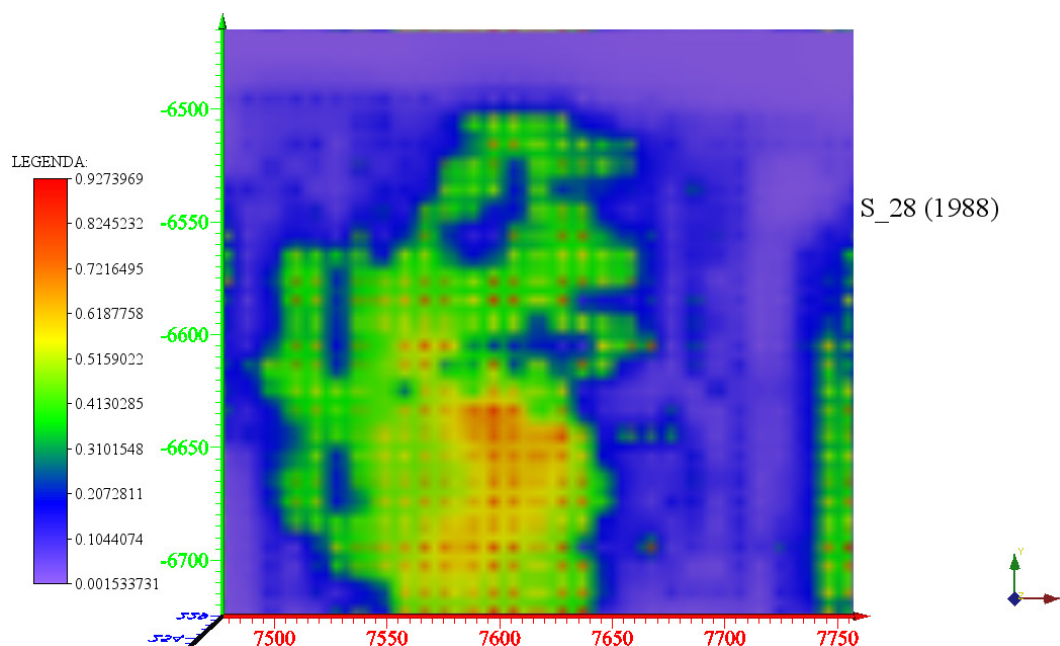
Wartości liczbowe parametrów a i b zostały ustalone przez Kwaśniewskiego (2010) dla piaskowca z kopalni „Rozbark” oraz kilku piaskowców i iłowupku z terytorium Japonii (M. Kwaśniewski i M. Takahashi, 2010; M. Kwaśniewski, 2010). Wartości parametru a wahają się w granicach od -0,073% do 0,341%, parametru b od 0,945% do 1,853%. Dla dolomitów wartości tych stałych, jak dotąd nie zostały ustalone. Dlatego na podstawie analizy podanych przez M. Kwaśniewskiego (2010) wartości tych parametrów oraz rodzaju skały zalegającej w stropach analizowanych wyrobisk porudnych, a przede wszystkim uzyskanych wyników obliczeń przyjęto, że wartość parametru a jest równa 3,6 mm/m, a parametr b jest równy 1,0.

4. Ocena stateczności płytkich wyrobisk porudnych

Aby ocenić stateczność płytkich wyrobisk porudnych na podstawie odkształceniowego warunku stanu granicznego, określonego równaniem (1), konieczna jest znajomość wartości odkształceń głównych i oktaedrycznych odkształceń postaciowych wywołanych w górotworze prowadzonymi robotami górniczymi.

Odształcenia główne i oktaedryczne odkształcenie postaciowe górotworu wyznaczono, opierając się na modelu numerycznym i równiu mechaniki ośrodka ciągłego [11, 12]. W wyniku obliczeń przeprowadzonych za pomocą programu FLAC3D zostały określone wartości składowych tensora odkształcenia dla każdego punktu przestrzennej siatki obliczeniowej w warstwie dolomitu brunatnoczerwonego (4698 punktów) (Szafulera, 2011), na podstawie których zostały następnie obliczone wartości odkształceń głównych i wartości oktaedrycznych odkształceń postaciowych. Przyjęte do analizy wartości odkształceń głównych zostały pokazane w pracy K. Szafulera i M. Jendryś, (2012).

Określone za pomocą obliczeń numerycznych wartości oktaedrycznych odkształceń postaciowych (γ_{oct}) w płaszczyźnie stropu analizowanych wyrobisk po zakończeniu eksploatacji rud zostały przedstawione na rys. 2.



Rys. 2. Rozkład oktaedrycznego odkształcenia postaciowego (γ_{oct}) w płaszczyźnie stropu rud cynku i ołowiu modelowanej bryły górotworu po zakończeniu eksploatacji
Fig. 2. Distribution of the octahedral shear strain (γ_{oct}) in the plain of ore roof

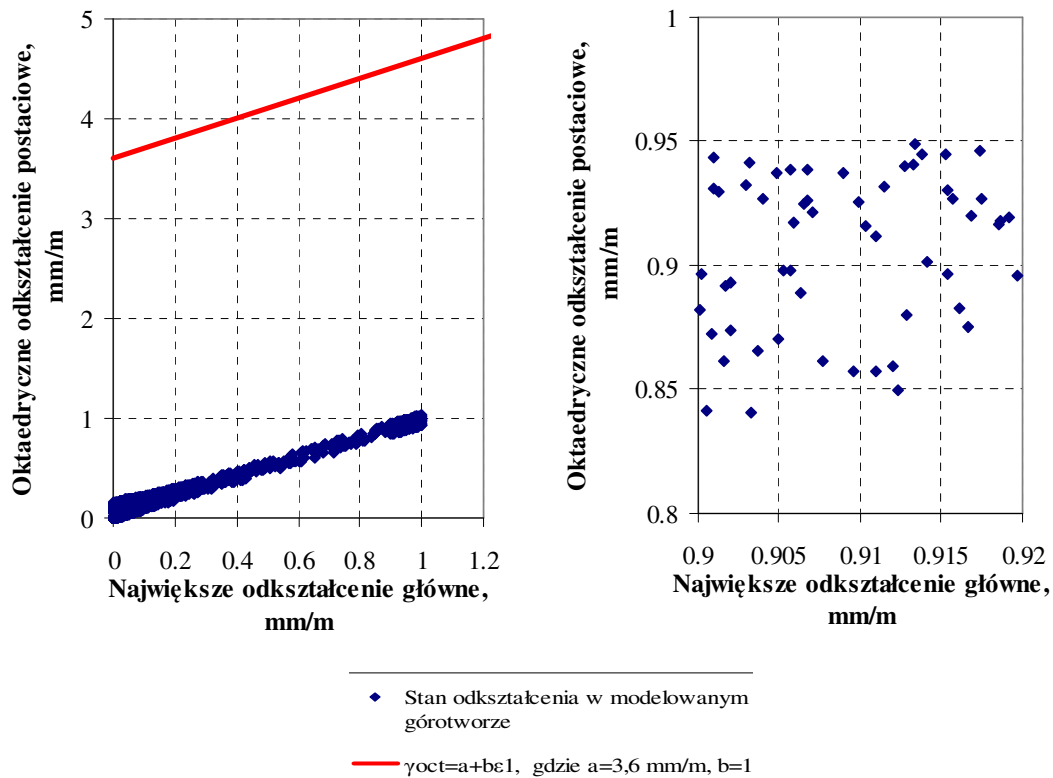
Na rys. 3 zostały pokazane wyniki obrazujące stan odkształcenia modelowanego górotworu oraz linia określająca graniczny stan odkształcenia według warunku (1).

W celu oceny stateczności górotworu do dalszych rozważań wprowadzono pojęcie wyężenia, będącego miarą niebezpieczeństwa wystąpienia stanu granicznego w górotworze, w złożonym stanie naprężenia. Wyężenie górotworu jest określone równaniem:

$$w = \frac{\gamma_{oct}}{F \gamma_{oct}}. \quad (2)$$

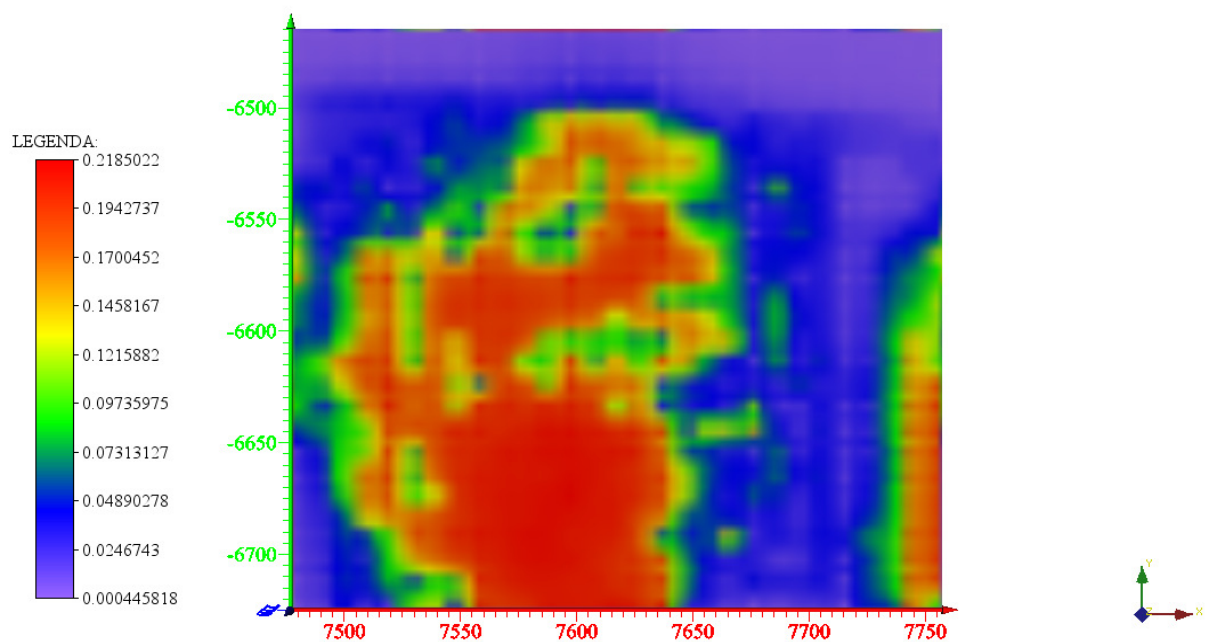
Przyjęto, że gdy:

- $0 \leq w < 1$ – w górotworze nie wystąpił stan graniczny,
- $w \geq 1$ – w górotworze wystąpił stan graniczny.



Rys. 3. Stan odkształcenia w modelowanej bryle górotworu oraz linia granicznego stanu odkształcenia
 Fig. 3. State of strain in numerical model and line of limiting strain state

Na rys. 4 przedstawiono rozkład wyężenia górotworu w płaszczyźnie stropu wyrobisk porudnych po zakończeniu eksploatacji rud.



Rys. 4. Rozkład wyężenia górotworu w płaszczyźnie stropu analizowanych wyrobisk
 Fig. 4. Distribution of effort in the plan of roof of analyzed excavations

Jak to zostało przedstawione na rys. 3 i 4, deformacje wywołane eksploatacją rud cynku i ołowiu w warstwie dolomitu, zalegającej w stropach wyrobisk porudnych, były mniejsze od wartości granicznych. Wyężenie górotworu w rejonie analizowanych wyrobisk było mniejsze od 1. W górotworze nie powstał stan graniczny, wyrobiska nie utraciły stateczności. Jednak w analizowanym rejonie była również prowadzona eksploatacja węgla, która wywołała zmianę stanu odkształcenia górotworu i zdecydowane pogorszenie stanu jego wyężenia, co w efekcie spowodowało wystąpienie deformacji nieciągłych (Szafulera, 2011).

5. Podsumowanie

Określenie wartości odkształceń górotworu w sąsiedztwie płytkich wyrobisk i wykorzystanie właściwego warunku stanu granicznego stanowią skuteczny sposób oceny ich stateczności, a uzyskane wyniki mogą być dodatkowym czynnikiem poznawczym w analizach występowania deformacji nieciągłych.

Stan odkształcenia górotworu w sąsiedztwie płytkich wyrobisk można wyznaczyć przy użyciu metod modelowania matematycznego. Określone (przy użyciu tych metod) deformacje, a w szczególności ich zmiany wywołane eksploatacją górniczą, stanowią, wespół z warunkiem stanu granicznego, podstawę oceny stateczności wyrobisk.

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że płytkie wyrobiska utrzymują swą stateczność po zakończeniu eksploatacji rud. Na tej podstawie można przypuszczać, że w górotworze, na małych głębokościach, przez wiele lat po zakończeniu eksploatacji istnieją pustki. Mogą one stanowić zagrożenie wystąpienia na powierzchni deformacji nieciągłej, zwłaszcza wtedy, gdy w rejonie jest prowadzona dalsza eksploatacja, która będzie skutkowała znaczącym przyrostem odkształceń górotworu i w konsekwencji osiągnięciem granicznego stanu odkształcenia.

BIBLIOGRAFIA

1. Borecki M.: Mechanika budowli podziemnych. Skrypt Politechniki Śląskiej nr 904. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1980.
2. Chudek M., Janusz W., Zych J.: Studium dotyczące stanu rozpoznania tworzenia się i prognozowania deformacji nieciągłych pod wpływem podziemnej eksploatacji złóż. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo, z. 141, Gliwice 1988.
3. Chudek M.: Mechanika górotworu. Skrypt Politechniki Śląskiej nr 956/61, Gliwice 1981.
4. Janusz W., Jarosz A.: Nieciągłe deformacje powierzchni terenu wywołane płytką podziemną eksploatacją górniczą. Państwowa Akademia Nauk, Katowice 1976.

5. Jendryś M., Szafulera K.: Numeryczna analiza stanu odkształcenia górotworu w sąsiedztwie płytkich wyrobisk porudnych (nieopublikowane).
6. Kłeczek Z.: Geomechanika górnicza. Śląskie Wydawnictwo Techniczne, Katowice 1994
7. Kwaśniewski M., Takahashi M.: Strain-based failure criteria for rocks: State of the art and recent advances. Rock Mechanics in Civil and Environmental Engineering (Proceedings of the European Rock Mechanics Symposium EUROROCK 2010, Lausanne, June 15-18, 2010). Leiden, CRC Press/Balkema 2010.
8. Kwaśniewski M.: Odształceniowy warunek stanu granicznego skał. „Przegląd Górniczy”, nr 12, Katowice 2010.
9. Praca zbiorowa pod kier. Różkowskiego A., Wilka Z.: Warunki hydrogeologiczne złóż rud cynku i ołowiu regionu śląsko-krakowskiego. PAN, Instytut Geologiczny, Warszawa 1980.
10. Szafulera K.: Wpływ eksploatacji górniczej na stateczność płytkich wyrobisk porudnych i występowanie deformacji nieciągłych. Praca doktorska (nieopublikowana). Wydział Górnictwa i Geologii, Politechnika Śląska, Gliwice 2011.
11. Walczak J.: Wytrzymałość materiałów oraz podstawy teorii sprężystości i plastyczności. Tom I. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Łódź–Warszawa–Kraków 1963.
12. Walczak J.: Wytrzymałość materiałów oraz podstawy teorii sprężystości i plastyczności. Tom II. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Łódź–Warszawa–Kraków 1959.

Abstract

In the frame of this paper the possibility of loss of rock mass stability in the vicinity of shallow ore excavations has been examined. Carried out analysis concern mining area of closed coal mine, where in the past has been exploited lead and zinc ore. This area has been chosen because of relatively large number of existing and documented sinkholes, caused by reactivation of excavation localized on small depth.

In the paper state of effort of rock mass in the vicinity of excavation has been analyzed and strain-based failure criterion elaborated by M. Kwasniewski has been used as a failure criterion. In this criterion limiting state of strain is dependent on octahedral shear strain and mean normal strain occurring in the numerical model.