ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2006
Seria: GÓRNICTWO z. 271 Nr kol.1715

Henryk KLETA

Katedra Geomechaniki, Budownictwa Podziemnego i Zarządzania Ochroną Powierzchni
Politechnika Śląska

Marek POZZI

Instytut Geologii Stosowanej
Politechnika Śląska

STATECZNOŚĆ POZIOMÓW EKSPLOATACYJNYCH ZŁOŻA WAPIENI W ŚWIETLE BADAŃ GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKICH I NUMERYCZNYCH

Streszczenie. W artykule przedstawiono zagadnienie określania stateczności poziomów eksploatacyjnych w odkrywkowych kopalniach wapienia. Przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych i terenowych oraz obliczeń numerycznych umożliwiających określenie optymalnych parametrów wyrobisk eksploatacyjnych w odkrywkowych zakładach górniczych.

THE STABILITY OF WORKING BENCH IN THE LIMSTONE QUARRY IN THE LIGHT OF GEOTECHNICAL AND NUMERICAL INVESTIGATIONS

Summary. In the paper problem of stability of working bench in the limstone quarry was discussed. The results of laboratory and field investigations , numerical modelling results for determination of working excavation dimensions in the quarry was presented.

1. Wprowadzenie

Dla potrzeb bezpiecznej i efektywnej odkrywkowej eksploatacji kopalin pospolitych konieczne jest określenie warunków stateczności i parametrów skarp i zboczy, budujących wyrobiska górnicze. Mając na uwadze złożoność zagadnienia stateczności zboczy, a szczególnie zmienność parametrów wytrzymałościowych i odkształceniowych, decydujących o zachowaniu się zboczy, konieczne jest wykonanie podstawowych badań geologiczno-

inżynierskich, które wraz z modelowaniem numerycznym, pozwalają na określenie warunków utrzymania stateczności odkrywkowych wyrobisk górniczych.

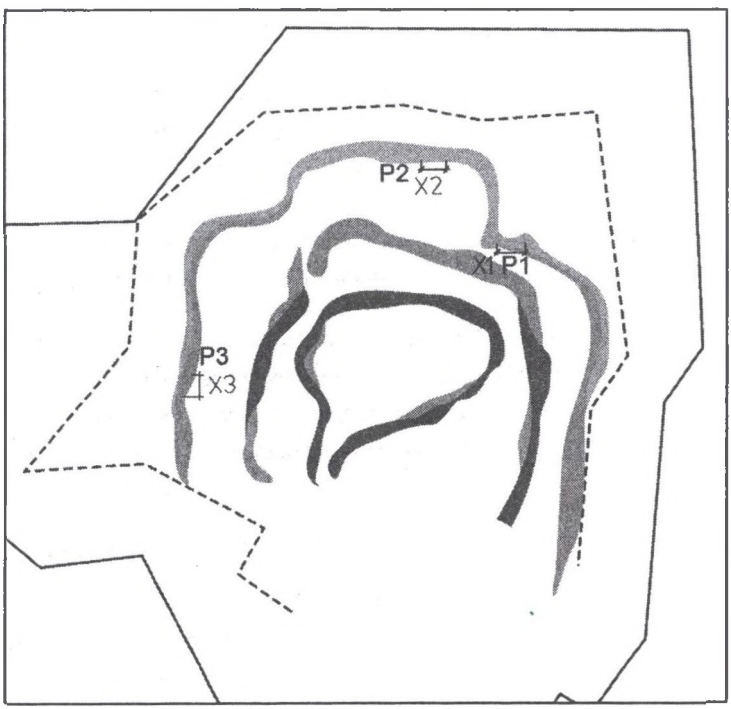
2. Charakterystyka złoża wapieni „Strzelce Opolskie”

Zakład górniczy „Strzelce Opolskie" leży w tzw. Opolskim Okręgu Eksploatacji Surowców Węglanowych w zasięgu trzech jednostek morfologicznych: na północy to Nizina Śląska, na południu Wyżyna Śląska, a na północnym wschodzie Wyniesienie Krakowsko-Wieluńskie. Kopalnia wapienia „Strzelce Opolskie" położona jest na północ od miejscowości Strzelce Opolskie. W obrębie złoża kopalni w piętrze górnego, środkowego i dolnego wapienia muszlowego wyróżnia się warstwy gogolińskie, górażdżańskie, terebratulowe i karchowickie [1, 3]. Warstwy gogolińskie występują na najniższym poziomie eksploatacyjnym. Wykształcone są jako cienkoławicowe wapienie margliste barwy ciemnoszarej lub siwej z wkładkami wapienia falistego oraz ilastymi w postaci wkładek i wypełnień szczelin. W stropie tych warstw występuje tzw. siwy spągowiec. Warstwy górażdżańskie występują w postaci wapieni gruboławicowych, zbitych, często porowatych o barwie kremowo-szarej. Miąższość tych warstw wynosi średnio 17 m. Warstwy terebratulowe występują na całym udokumentowanym obszarze złoża. Zbudowane są z wapieni krystalicznych, marglistych, twardych i zbitych z wkładkami margli i iłu o zabarwieniu szarym. W utworach tych występuje charakterystyczna ławica wapieni zwanych ławą krynoidową barwy kremowej. Warstwy karchowickie (z wyjątkiem części południowej złoża) występują na całym badanym obszarze stanowiąc jego najwyższą warstwę złożową. Miąższość serii złożowej waha się od 10 m w części południowo-wschodniej do 35 m w północnej i zachodniej części złoża, a ich średnia miąższość w obrębie wyrobiska wynosi ok. 11,5 m. Nadkład zbudowany jest z utworów czwartorzędowych składających się z piasków drobno-, średnio- i gruboziarnistych. Występują także gliny morenowe oraz rumosz wapienny zagliniony [1, 3].

3. Badania geologiczno-inżynierskie masywu skalnego złoża wapieni

3.1. Własności wytrzymałościowe

Dla oceny własności wytrzymałościowo-odkształceniowych skał wapiennych z kamieniołomu „Strzelce Opolskie" wykonano badania laboratoryjne, które obejmowały wyznaczenie wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie, wytrzymałości na rozciąganie, modułu sprężystości i współczynnika Poissona [1]. Miejsce pobrania prób do badań laboratoryjnych przedstawiono na rys. 1.



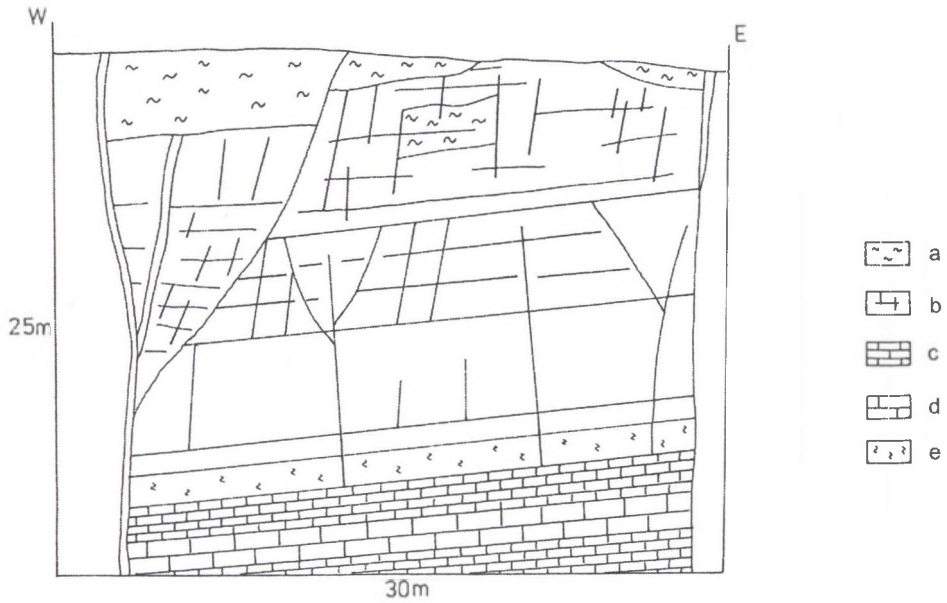
Rys. 1. Obszar górniczy „Strzelce Opolskie" wraz z zasięgiem warstw triasowych złoża i rozmieszczeniem miejsc badań (P1 – miejsce kartowania profili skarp eksploatacyjnych, X1 – miejsce pobrania prób do badań laboratoryjnych)

Fig. 1. Mining area of „Strzelce Opolskie Quarry", triassic beds and localisation of investigation places (P1 – bench slope section location, X1 – sampling location)

3.2. Badania terenowe

Badania terenowe dla potrzeb ustalenia optymalnych parametrów poziomów eksploatacyjnych kopalni obejmują przede wszystkim profilowanie skarp eksploatacyjnych,

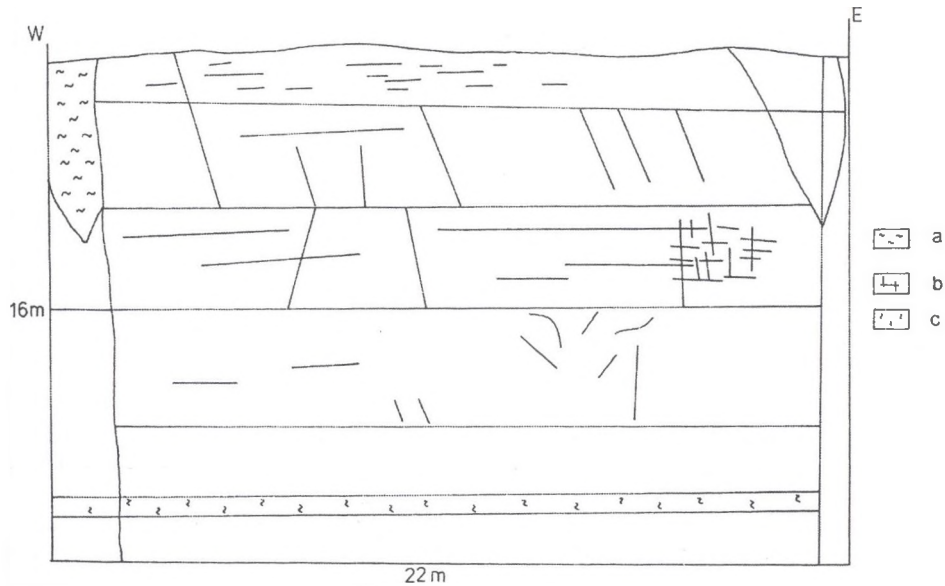
które zostały wykonane w trzech odcinkach, odpowiadających miejscom pobrania próbek do badań laboratoryjnych. Przykładowe wyniki kartowania w północno-wschodniej części skarpy eksploatacyjnej Pl przedstawia rys. 2. Profil tej skarpy obejmuje formę krasową - kras międzyławicowy oraz leje krasowe wypełnione utworami ilastymi, spękane warstwy wapieni karchowickich, granicę pomiędzy warstwami karchowickimi i terebratulowymi oraz wykształcenie warstw wapieni terebratulowych jako utwory cienkoławicowe i gruboławicowe z liczną fauną. W środkowej części profilu strop warstw karchowickich posiada wychodnię na powierzchni, w pozostałej części profilu przykryty jest cienką warstwą zwietrzeliny i glebą. W warstwach karchowickich występują liczne pionowe szczeliny puste lub wypełnione osadami ilastymi.



Rys. 2. Profil P1 skarpy eksploatacyjnej na poziomie I w kamieniołomie „Strzelce Opolskie" (a – formy krasowe zailone, b – spękania w warstwie wapieni karchowickich, c – warstwy terebratulowe cienkoławicowe, d – warstwy terebratulowe gruboławicowe, e – rumosz skalny)

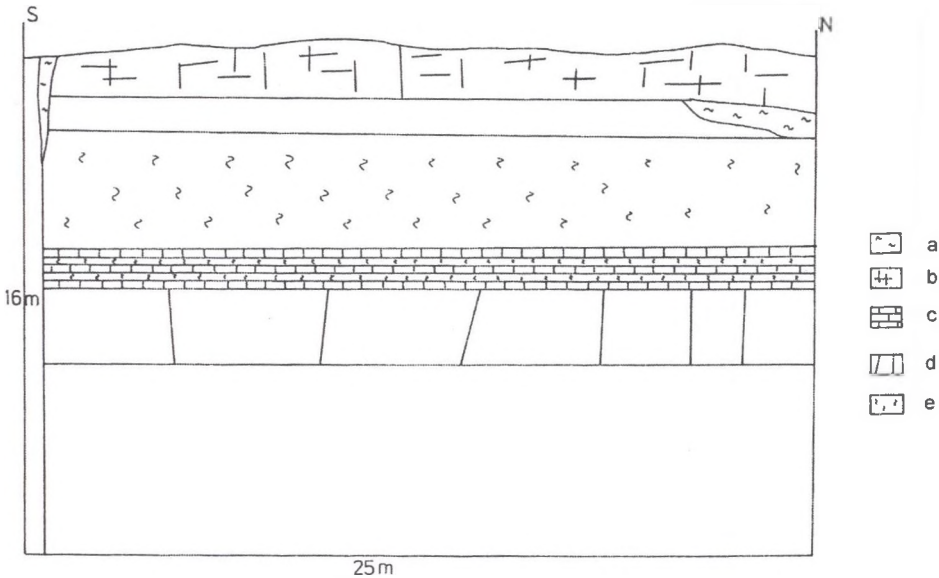
Fig. 2. Section P1 of slope on the working bench no I in the „Strzelce Opolskie Quarry" (a - karstic clayey structures, b – fracture in the Karchowice Beds, c – foliated Terebratula Beds, d – unfoliated Terebratula Beds, e – caved material)

W obrębie skarpy P2 na poziomie I wyrobiska, występują jedynie spękane i gruboławicowe wapienie warstw karchowickich, z silnymi zjawiskami krasowymi w postaci lejów (rys. 3). Na głębokości ok. 15 m od powierzchni zalega warstwa rumoszu skalnego o grubości ok. 0,5 m.



Rys. 3. Profil P2 skarpy eksploatacyjnej na poziomie I w kamieniołomie „Strzelce Opolskie" (a – lej krasowy zailony, b – warstwy karchowickie gruboławicowe, c – rumosz skalny)
Fig. 3. Section P2 of slope on the working bench no I in the „Strzelce Opolskie Quarry" (a – karstic clayey structure, b – unfoliated Karchowice Beds, c – caved material)

Profil P3 skarpy eksploatacyjnej przedstawiony na rys. 4 wykonany jest w warstwach karchowickich i terebratulowych. Pod warstwą nadkładu zbudowanego z utworów czwartorzędowych piaszczystych i piaszczysto-ilastych o grubości 0,5 m zalegają spękane wapienie warstw karchowickich o grubości ok. 2 m, następnie warstwa rumoszu skalnego o grubości ok. 5 m. Poniżej występują naprzemianległe warstwy cienkoławicowego wapienia i rumoszu skalnego, a następnie gruba ławica spękanego wapienia.



Rys. 4. Profil P3 skarpy eksploatacyjnej na poziomie I w kamieniołomie „Strzelce Opolskie" (a – formy krasowe zailone, b – warstwy karchowickie, c – warstwy terebratulowe cienkoławicowe, d – warstwy terebratulowe gruboławicowe, e – rumosz skalny)
Fig. 4. Section P 3 of slope on the working bench no I in the"Strzelce Opolskie Quarry (a – karstic clayey structure, b – Karchowice Beds, c – foliated Terebratula Beds d – unfoliated Terebratula Beds, e – caved material)

Zasadniczą różnicę w budowie masywu skalnego na badanych skarpach eksploatacyjnych stanowi jego struktura, a mianowicie [3]:

- w przypadku skarpy Pl masyw skalny jest pozazębiany, częściowo zaburzony składający się z wielościennych ostrokrawędziowych brył, z licznymi spękaniami i szczelinami prostopadłymi oraz równoległymi do uławicenia, o szerokości 0,5 - 5 cm, o powierzchniach szorstkich, lekko zwietrzałych,
- masyw skalny w obrębie skarpy P2 uformowany w postaci blokowej, o powierzchni szorstkiej, lekko zwietrzałej, z nielicznymi spękaniami prostopadłymi do uławicenia o szerokości ok. 5 mm,
- skarpę P3 buduje masyw blokowy, o strukturze ostrokrawędzistej, ze spękaniami prostopadłymi do uławicenia o szer. do 5 mm oraz szczelinami do 8 cm wypełnionymi materiałem ilastym, oraz częściowo blokowy, ze spękaniami szerokości 0,3 - 0,5 cm;

o strukturze częściowo zaburzonej, uformowanej przez wiele przecinających się zespołów, o powierzchni zwietrzałej.

3.3. Wskaźnik GSI dla badanych skarp eksploatacyjnych

Ustalenie optymalnych parametrów poziomów eksploatacyjnych, spełniających warunki bezpieczeństwa, jak i efektywności procesów technologicznych wymaga uwzględnienia własności masywu skalnego. Z tego względu podstawową rolę posiada rozpoznanie własności wytrzymałościowo – odkształceniowych skał, ale również cech budowy geologicznej masywu, które charakteryzują inżynierskie klasyfikacje masywów skalnych. Szczególne znaczenie przy ustalaniu parametrów geometrycznych poziomów eksploatacyjnych za pomocą modelowania numerycznego ma przyjęcie parametrów modelu, charakteryzujących własności masywu skalnego. Z tych względów dla oceny ilościowej i jakościowej własności masywu skalnego złoża wapieni zastosowano klasyfikację opartą na wskaźniku GSI (Geological Strength Index), która zawiera w sobie zespół informacji o wpływie strukturalnych czynników geologicznych na zachowanie masywu skalnego [2]. Wskaźnik GSI obrazuje z jednej strony strukturę skał, a z drugiej jakość powierzchni skały, uzyskane w trakcie obserwacji w terenie. Charakterystyczne parametry masywu skalnego, takie jak wytrzymałość na ściskanie (R_c), moduł sprężystości (E), spójność (c) i kąt tarcia wewnętrznego (ϕ), można określić na podstawie wartości GSI z odpowiednich diagramów [2]. W ten sposób w procesie modelowania numerycznego prowadzonego dla potrzeb ustalenia optymalnych parametrów geometrycznych skarp eksploatacyjnych można używać własności masywu skalnego. W tablicy 2 zestawiono wielkości wskaźnika GSI oraz własności masywu skalnego w obrębie badanych skarp eksploatacyjnych.

Tablica 2

Wskaźnik GSI oraz własności skał i masywu skalnego w obrębie badanych skarp eksploatacyjnych złoża wapieni

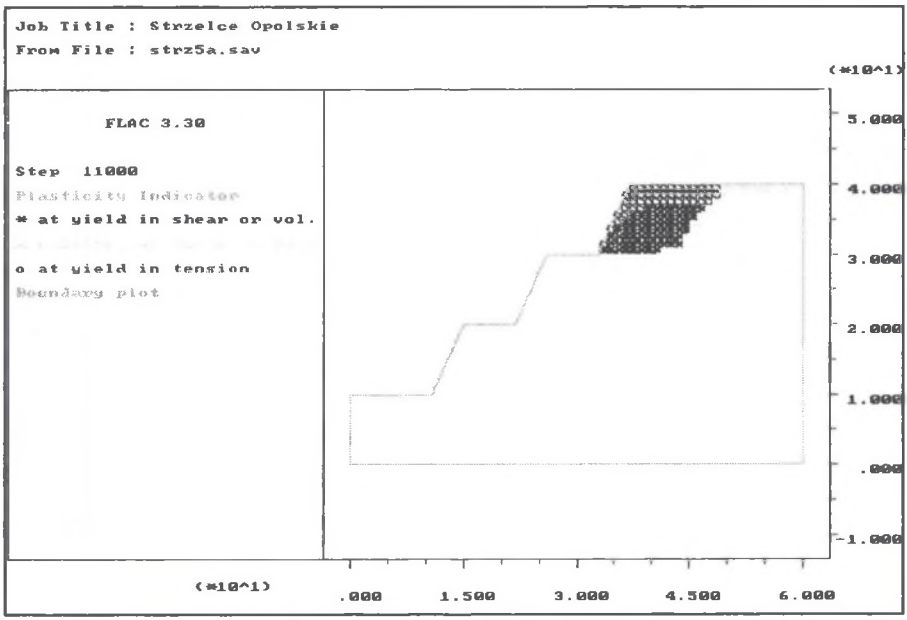
Skarpa	GSI	Własności próbek skał				Własności masywu skalnego			
		R_c [MP]	E [MPa]	c [kPa]	ϕ [°]	R_c [MP	E [MPa]	c [kPa]	ϕ [°]
P1	53	59,0	64021	12,0	57,9	8,69	10163	2,36	33,2
P2	64	57,8	61436	10,8	60,7	22,21	22298	5,78	35,4
P3	35	58,5	54549	9,7	63,2	5,71	4907	1,75	27,2

4. Badania numeryczne

Badania numeryczne wykonano przyjmując model geometryczny i fizyczny skarp eksploatacyjnych ustalony w oparciu o wstępne określenie bezpiecznych - statecznych ich wymiarów i własności masywu skalnego złoża wapieni.

Przyjęte modele numeryczne charakteryzowały się następującymi założeniami:

- modele I – II posiadają trzy poziomy eksploatacyjne zbudowane z wapieni, przy czym poziomy eksploatacyjne posiadają wysokość ok. 10 m, a nachylenie zboczy wynosi ok. 70^0; do obliczeń w poszczególnych wariantach przyjęto zmienne własności masywu skalnego, charakteryzujące wpływ spękań,
- modele III i IV – poziom eksploatacyjny I zbudowany jest ze zwietrzeliny gliniasto–wapiennej również o wysokości ok. 10 m. Obliczenia numeryczne wykonano przy zastosowaniu metody redukcji parametrów wytrzymałościowych skał budujących modelowaną skarpę.



Rys. 5. Położenie stref zniszczenia w modelowanej skarpie eksploatacyjnej
Fig. 5. Zones of destruction in the modelling working slope

Tablica 3

Wyniki modelowania numerycznego skarp eksploatacyjnych dla złoża wapieni

Model	Charakterystyka stateczności i przemieszczeń masywu skalnego
I/1	Brak zniszczenia, zachowanie stateczności, przemieszczenia ok. 2 mm,
I/2	Zniszczenie poz. II z uwagi na ścinanie, max. przemieszczenia pionowe ok. 0.6 m, Zachowana stateczność poz. I i III
II/1	Zachowana stateczność poz. I, II i III (brak zniszcz.), przemieszczenia ok. 2 mm
II/2	Zniszczenie poz. II z uwagi na ścinanie, max. przemieszczenia pionowe ok. 0.45 m, Zachowana stateczność poz. I i III
II/3	Zniszczenie poz. II z uwagi na ścinanie, max. przemieszczenia pionowe ok. 0.45 m, Zachowana stateczność poz. I i III
II/4	Brak zniszczenia, zachowanie stateczności, przemieszczenia ok. 2 mm,
II/5	Brak zniszczenia, zachowanie stateczności, przemieszczenia ok. 2 mm,
II/6	Brak zniszczenia, zachowanie stateczności, przemieszczenia ok. 2 mm,
III	Zniszczenie poz. I z uwagi na ścinanie i rozciąganie, max. przemieszczenia pionowe ok. 0.6 m, Zachowana stateczność poz. II i III
IV	Zachowana stateczność poz. I, II i III (brak zniszcz.), przemieszczenia ok. 3 mm

Wyniki obliczeń numerycznych dla przyjętych modeli numerycznych przedstawiających trzy poziomy eksploatacyjne w wapieniach wskazują, że przy nachyleniu zboczy

eksploatacyjnych wynoszących około 70^0 i wysokości poziomów eksploatacyjnych 10 – 15 m spełnione są warunki stateczności wyrobisk. Dla przypadku gdy w obrębie poziomu I - na całej jego wysokości występuje zwietrzelina gliniasto-wapienna, w warstwie tej następuje przekroczenie wytrzymałości na ścinanie, a stateczność zbocza na poziomie I nie jest zachowana.

Przeprowadzona analiza numeryczna określenia stateczności poziomu I w przypadku wystąpienia w jego obrębie (na całej wysokości) zwietrzeliny gliniasto-wapiennej wskazuje, że zmniejszenie nachylenia zbocza w tym przypadku do około 28^0 może zapewnić jego stateczność. Bezpieczne z uwagi na zjawisko poślizgu i zachowanie stateczności zbocza dla przyjętych średnich parametrów wytrzymałościowych masywu skalnego w przedmiotowym rejonie są zbocza o nachyleniu do około 75^0 przy wysokości od 10 do około 15 m. W przypadku dwóch pięter zbocza ich wzajemne wyprzedzenie winno wynosić co najmniej 6 m.

5. Podsumowanie

Dla potrzeb prowadzenia bezpiecznej i efektywnej odkrywkowej eksploatacji górniczej konieczne jest określenie warunków stateczności i parametrów skarp eksploatacyjnych. Warunki stateczności skarp określane są na podstawie odpowiednich obliczeń, dla potrzeb których niezbędna jest znajomość własności masywu skalnego. Rozpoznanie własności masywu skalnego, w którym projektuje się odkrywkowe wyrobiska, wymaga wykonania badań geologiczno – inżynierskich. Mając na uwadze złożoność zagadnienia stateczności skarp, a szczególnie zmienność parametrów wytrzymałościowych i odkształceniowych skał, decydujących o zachowaniu się skarp, konieczne jest wykonanie podstawowych badań geologiczno-inżynierskich, które wraz z modelowaniem numerycznym pozwalają na określenie warunków utrzymania stateczności odkrywkowych wyrobisk górniczych. Szczególną rolę pełni tutaj zastosowanie klasyfikacji masywów skalnych, które wraz z wynikami badań laboratoryjnych pozwalają na budowę modeli numerycznych.

Literatura

1. Badania własności fizykomechanicznych skał w Kopalni Wapienia „Strzelce Opolskie". PUG-G A-Z GEOMETR s.c., 2000.
2. Hook E., Brown E.T.: Praktical Estimates of Rock Mass Strength. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Vol. 34, no. 8, 1997.
3. Liszka I.: Własności geologiczno – inżynierskie masywu skalnego w świetle współczesnych klasyfikacji na przykładzie złoża wapieni w Strzelcach Opolskich. Praca magisterska, Gliwice 2005.
4. Pinińska J.: Systemy geologiczno-inżynierskiej oceny skał i masywów skalnych. Przegląd Geologiczny, vol. 49, nr 9, 2001.
5. Wiłun Z.: Zarys geotechniki. Warszawa 1976.
6. Zabuski L., Thiel K., Bober L.: Osuwiska we fliszu Karpat polskich. Geologia – modelowanie – obliczanie stateczności. IBW PAN, Gdańsk 1999.

Recenzent: Dr inż. Andrzej Kotyrba

Abstract

The safety conditions and eficency of working in the open pits and quarrys due to determination of geological, water and geotechnical conditions. Geotechnical safety depend on high working bench , slope failure etc. In the paper the result of geotechnical investigations and numerical modelling of limstone deposit in the „Strzelce Opolskie Quarry" for determination of working excavation dimensions in the quarry was presented. On the basis of geotechnical properties of rock samples evaluated in the laboratory test and the result of cartography analysis of working slopes the properties of rock mass in the limstone quarry using Geological Strength Index (GSI) were determined. The determination of rock masss properties enable to evaluate the parameters of working bench using numerical modelling.