

MODELOWANIE NUMERYCZNE ZAGROŻEŃ NATURALNYCH DLA EKSPLOATACJI NA PRZYKŁADZIE KAMIENIOŁOMU „ODRA II”

NUMERICAL MODELLING OF NATURAL HAZARD FOR EXPLOITATION ON THE EXAMPLE OF ODRA II QUERY

Zbigniew Bednarczyk – „Poltegor-Institut” Instytut Górnictwa Odkrywkowego, Wrocław

W pracy przedstawiono ocenę możliwości wystąpienia zagrożeń naturalnych w kamieniołomie margli i wapieni. Ze względu na położenie zakładu górniczego w centrum miasta Opola w zmodyfikowanym procesie eksploatacji zrezygnowano z wykorzystania materiałów wybuchowych, wprowadzono urabianie skał koparkami łyżkowymi pracującymi podsiębiernie.

W celu określenia bezpieczeństwa eksploatacji założenia projektowe wymagały szczegółowej analizy mogących wystąpić zagrożeń naturalnych. Zakres prac obejmował analizę dokumentacji geologicznej, badania geologiczno-inżynierskie i analizy numeryczne stateczności zboczy. W celu poznania parametrów wytrzymałościowych skał wykorzystano kartowania terenowe, testy jednoosiowego ściskania oraz klasyfikację Hoeka-Browna. Na podstawie pozyskanych danych scharakteryzowano warunki geotechniczne w odkrywce. Przekroje przez zbocza odkrywki, wykorzystane w analizach stateczności, zawierały wyniki wcześniejszych dokumentacji i wykonanych prac terenowych. Kartowania skarp stwierdziły możliwość powstania zagrożeń w silnie zwietrzałych skałach wapiennych do głębokości ok. 6-8 m, zwłaszcza w warunkach saturacji wodami opadowymi. Modelowanie stateczności zboczy wykonano metodami równowagi granicznej LEM. Obliczenia metodami Felleniusa i Janbu uwzględniały warunki wynikające z przyjętej metody eksploatacji i wpływ warunków atmosferycznych. Wyniki obliczeń wykazały, że zbocza będą stateczne w warunkach suchych, dla których współczynniki stateczności F_s wynosiły od 1,19 do 2,45. Po opadach atmosferycznych w warunkach nasycenia skał wapiennych wodami opadowymi, wskaźniki stateczności F_s były zredukowane i wynosiły od 1,01 do 1,65. Modelowanie numeryczne z uwzględnieniem obciążeń statycznych i dynamicznych spowodowanych przez koparkę wykazało, że dwa z badanych przekrojów charakteryzowały się bardzo niskimi wartościami współczynnika stateczności. Wykonane analizy zawierały różne warianty lokalizacji koparki w stosunku do krawędzi zbocza, wpływ obciążeń i warunków atmosferycznych. W celu zminimalizowania zagrożeń naturalnych zalecono, że przy eksploatacji górnej części złoża do głębokości 6-8 m, koparka powinna znajdować się, co najmniej 3 m od krawędzi zbocza. Opisano także uwarunkowania geotechniczne związane z eksploatacją w kamieniołomie.

Słowa kluczowe: zagrożenia naturalne, analizy stateczności, geologia inżynierska, geotechnika

The paper presents an assessment of natural hazards occurrence in a marl and limestone quarry. Due to the location of the mine in the center of the city of Opole explosive exploitation method was abandoned. New project developed by Poltegor-Institute Institute of Direct included quarrying excavators working from the upper level. In order to determine the safety of mining processes the objectives of the design required a detailed analysis of potential natural hazards. The scope of the research included analysis of geological documentation, geological engineering investigations and numerical analysis of slope stability. In order to determine the rock strength parameters, terrain mapping, uniaxial compression testing and the rock classification by Hoek-Brown were used. On the basis of the obtained data geotechnical conditions in open-pit were characterized. The cross-sections through the slopes of the pit were used for the analysis of the slope stability. These contained the results of previous investigations and performed field works. Mapping of the slopes stated the possibilities of hazard in a strongly weathered limestone rocks to a depth of approx. 6-8 m, especially in saturated conditions caused by rainfalls. Modeling of slope stability was performed using limit equilibrium LEM methods. Calculations methods by Fellenius and Janbu took into account the conditions resulting from the exploitation method and weather conditions. The calculation results showed that the slope will be stable in dry conditions, for which the coefficients of stability F_s ranged from 1.19 to 2.45. After precipitation and saturation of limestones by rainwater, F_s were reduced and ranged from 1.01 to 1.65. The numerical modeling taking into account the static and the dynamic loads by an excavator showed that two of the analyzed sections were characterized by very low values of stability factor. This analysis included different variants of excavators location in relation to the edge of the slope, the excavator loads and weather conditions. In order to minimize natural hazards it was recommended that during the operation in the upper part of the deposit to a depth of 6-8 m, excavator should be at least 3 m from the edge of the scarp. Geotechnical recommendations associated with the operation of the quarry were also described.

Keywords: natural hazards, slope stability, engineering geology, geotechnical engineering

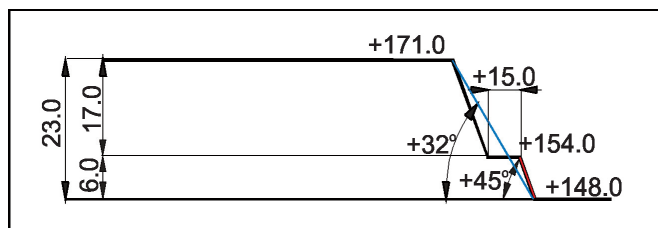
Lokalizacja

Kamieniołom wapieni i margli, zlokalizowany jest w centrum miasta Opola. Zajmuje on obszar około 60 ha i został założony w 1961 r. Jego południowa część znajduje się w pobliżu osiedla mieszkaniowego a wschodnia w pobliżu doliny rzeki Odry. W trakcie wykonywania badań eksploatację prowadzono w północno - wschodniej i centralnej części odkrywki. Podstawowe parametry eksploatacji przedstawiono w tabeli 1.

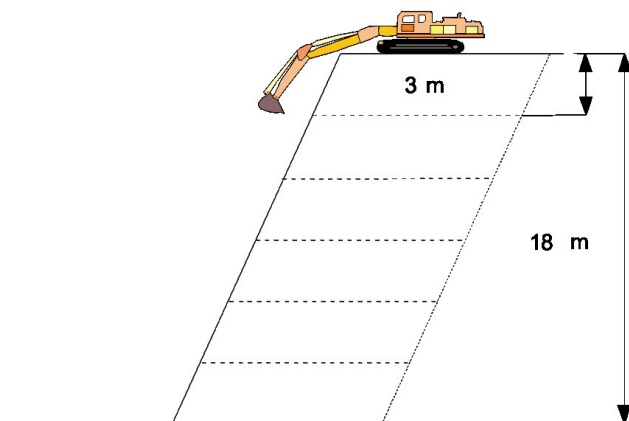
Tab. 1. Zestawienie parametrów górniczych złoża wapieni i margli kredowych „Odra II”

Table 1. Summary of mining parameters of marls and limestones “Odra II Query”

PARAMETR	Wartość
Głębokość eksploatacji	25,0 m (148 m n.p.m.)
Wysokość pięter:	dolne 18,0 m, górne 7,0 m
Kąt nachylenia pojedynczych ociosów:	75° - 60°
Kąt nachylenia ociosów w zboczach docelowych	45°
Kąt nachylenia zboczy do + 148.0 m	32°
Minimalna szerokość półek	15 m



Rys. 1. Parametry skarp i zboczy eksploataowanej części wyrobiska
Fig. 1. Slope parameters in the operated part of Odra II Mine



Rys. 2. Schemat pracy koparki Komatsu 1999-2003
Fig. 2. Schema of exploitation by Komatsu exc. 1999-2003

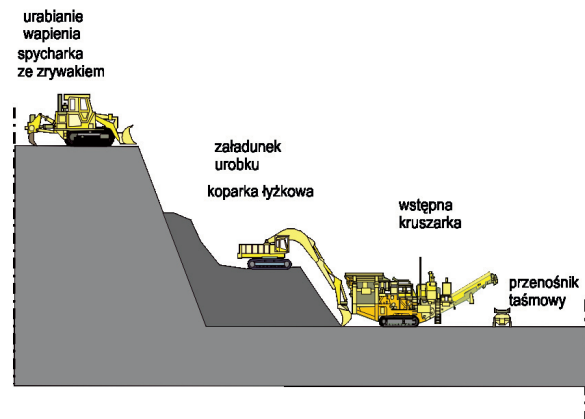
Eksploatacja w kamieniołomie była prowadzona na dwóch poziomach eksploatacyjnych: 153-156 m n.p.m. i 148-150 m n.p.m. W południowej i zachodniej jego części ukształtowanej przy użyciu materiałów wybuchowych, odkrywka osiągnęła już swój zakres docelowy. W tych regionach stoki były narażone na procesy wietrzenia od kilku do kilkudziesięciu lat. W wyniku zastosowanej metody urabiania skały charakteryzowały się licznymi spękaniami, które sprzyjały procesom wietrzenia i wpływały na stateczność zboczy. Zmiana metody eksploatacji w latach 1999-2003 spowodowała redukcję wpływu procesu

Tab. 2. Zestawienie parametrów geologicznych złoża wapieni i margli kredowych „Odra II”

Tab. 2. Summary of geological parameters of marls and limestones „Odra II Query”

PARAMETR	minimum	maksimum	mediana
Grubość nadkładu czwartorzędowego [m]	0,2	1,0	0,45
Grubość nadkładu trzeciorzędowego [m]	0,5	9,3	2,76
Mięszczość kopaliny dla całego złoża [m]	0,5	28,0	19,4
Stosunek kubatury nadkładu do złoża	0,03		
Powierzchnia złoża [mln m ²]	1,56		
Dolna granica złoża bilansowego [m. n.p.m.]	+ 148 m n.p.m.		
Gęstość pozorna [g/cm ³]	2,2		

wydobycia do strukturę skał. Wykorzystywano w tym celu koparkę hydrauliczną Komatsu 650 LC-5 (rys. 1-4). W wyniku ograniczonego zasięgu pracy koparki zaprojektowano urabianie wielu warstw o grubości w przybliżeniu ok. 3 m (rys. 2, 4, 5). W 2005 roku technologia urabiania została zmieniona. Aktualna technologia eksploatacji złoża polega na urabianiu wapieni spycharko zrywarką typu TD 40 (rys. 6). Następnie spycharka zrzuca urobioną skałę wapienną na niższy poziom, gdzie formuje się usyp. Rozkruszone skały z usypu ładowane są koparką łyżkową do kosza zasypowego mobilnej kruszarki



Rys. 3. Aktualny schemat eksploatacji
Fig. 3. Actual schema of exploitation

(rys. 3). Z kruszarki mobilnej rozkruszone wapienie o uziarnieniu 0 – 80 mm podawane są przenośnikiem taśmowym na poziomy przenośnik taśmowy, którym transportowane są do cementowni (rys.7).

Opis budowy geologicznej

Warstwy wapieni i margli w kamieniołomie „Odra II” zalegały prawie poziomo lub były nachylone pod kątem 0,5-1° w kierunku SW. W południowej części kamieniołomu ich kąt



Rys. 4. Górna część kamieniołomu z koparką urabiającą
Fig. 4. Upper part of the mine, mining excavator



Rys. 5. Dolna część kamieniołomu
Fig. 5. Foot part of the mine



Rys. 6. Urabianie skał wapiennych spycharką ze zrywakiem
Fig. 6. Mining of limestone rocks by crawler with ripper



Rys. 7. Załadunek wapieni koparką Komatsu
Fig. 7. Loading of limestones by Komatsu excavator

nachylenia zwiększał się nieznacznie w kierunku wschodnim. Było to spowodowane prawdopodobnie przez uskoki i zaburzenia tektoniczne. Litologia reprezentowana była przez pięć głównych serii zaczynając od najstarszych, które przedstawiono poniżej.

- 1) piaski i piaskowce margliste – Cenoman,
- 2) margle ilaste dolne - Turon dolny, o wysokim stopniu plast., zaw. 22-30 %, miąższości 10-14 m,
- 3) margle dolne - Turon dolny, warstwowane równoległe, zaw. CaCO_3 36-41 %, miąższ. 10-15 m,
- 4) wapienie margliste - Turon dolny i górny /zwięzłe zaw. CaCO_3 44-48 %, miąższość 9-16,
- 5) margle ilaste górne - Turon górny, kruche, zaw. CaCO_3 26-33 %, miąższość 16 m.

Kamieniołom eksploatuje margle i wapienie serii 3 i 4 na poziomie I i serii 2 na poziomie II.

W obszarze gdzie wykonano badania najbardziej regularnie była wykształcona seria Nr 3, o miąższości 16-18 m. Miąższości serii Nr 2 była zmienna. Wymycia erozyjne, lokalne strefy zwietrzelin wypełnione trzeciorzędowymi ilami zostały stwierdzone w północno-wschodniej części kamieniołomu (rys. 8).



Rys. 8. Procesy wietrzeniowe na skarpie w nieczynnej, NE część kamieniołomu
Fig. 8. Erosion in NE, not operated part of the mine

Ocena warunków hydrogeologicznych

W kamieniołomie rozpoznano dwa poziomy wód gruntowych. Pierwszy poziom w czwartorzędowych piaskach o małej miąższości. Poziom ten występował tylko miejscami w północnej nieeksploatowanej części złoża. Druga kredowa warstwa wodonośna położona była w turońskich marglach i piaskowcach. Ta warstwa wodonośna miała decydujący wpływ na warunki wodne w odkrywce. Poziom wód gruntowych znajdował się na rzędnej +156 m n.p.m. Kamieniołom położony jest blisko rzeki Odry. Najmniejsza odległość od rzeki wynosiła około 1200 m. Poziom kredowy wód gruntowych znajdował się kilka metrów powyżej poziomu wody w rzece Odrze +149 m n.p.m. Ze względu na skomplikowane warunki hydrogeologiczne układ odwadniania kopalni musiał odprowadzać w przybliżeniu ok. 35 m³ / h wody z poziomu wydobywczego I i II. Strefa depresji miała około 200 m (wg dokumentacji geologicznej z 1968 r.). Nieprzepuszczalne warstwy ilaste były kolektorem wód opadowych. Wpływy wody ze skarp kamieniołomu występowały po opadach atmosferycznych. Po intensywnych opadach, zbierały się one u podnóża stoków (rys. 11).

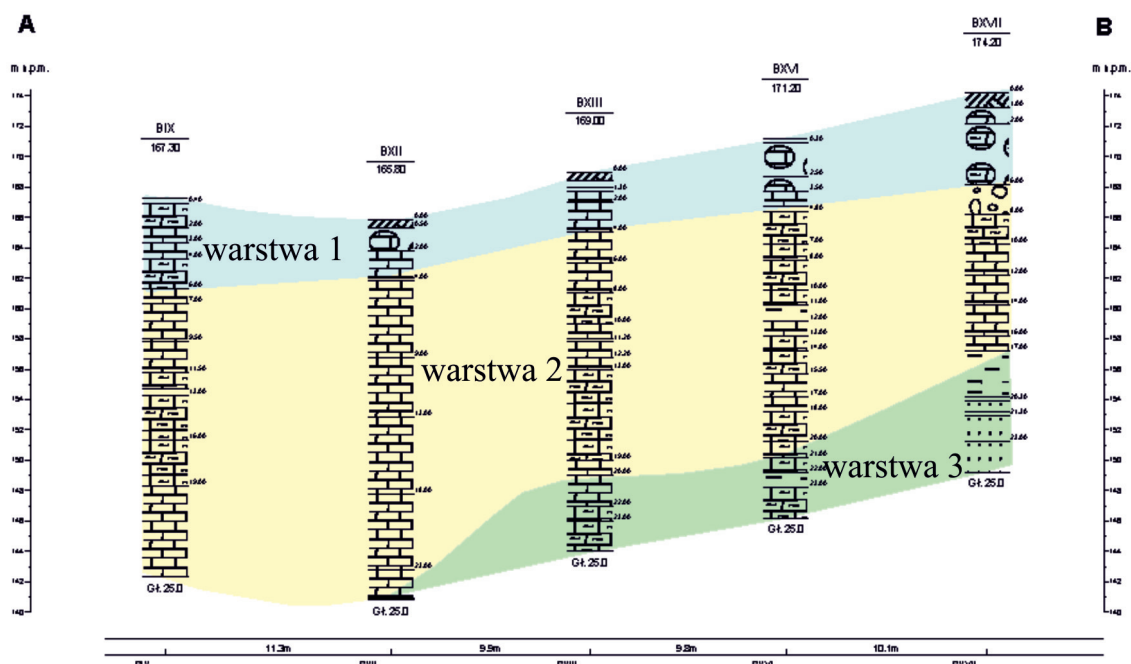
Analiza warunków geologiczno-inżynierskich

Dla określenia warunków geologiczno-inżynierskich w odkrywce wykorzystano kartowania terenowe połączone z analizą wyników wierceń dokumentacyjnych (rys. 9). Ze względu na duże nachylenie i trudny dostęp do stoków, prace terenowe zostały ograniczone do wydzielenia warstw geologiczno-inżynierskich w terenie i charakterystyki procesów występujących na skarpach. Wykonane prace zawierały określenie lokalizacji procesów erozyjnych, uskoków nieciągłości i fałdów, wpływów wód gruntowych ze skarp i miejsc jej nagromadzenia (Bednarczyk 2005). W rezultacie opisano szesnaście profili geologiczno-inżynierskich, które posłużyły do wykonania przekrojów przez skarpy wyrobiska. Zawierały

one wszystkie zebrane dane terenowe, opis litologii i stratygrafii i wyniki badań laboratoryjnych. Dla określenia parametrów wytrzymałościowych używano procentowego (średnią ważoną) uzysku rdzenia dla każdej z wydzielonych warstw. Do analiz stateczności zboczy wykorzystano wykonane prostopadłe do krawędzi wykopu przekroje. Wskazywały one na dużą zmienność litologiczną. Wydzielono trzy główne warstwy geologiczno-inżynierskie, charakteryzujące się odmiennymi parametrami fizyko-mechanicznych (rys. 9).

- Warstwa I** – wapienie, silnie spękanе, niekorzystne parametry wytrzymałościowe. Silny stopień spękania w strefie o miąższości 4 – 12,2 m. Przeciętna miąższość tej warstwy wynosi ok. 6 metrów. Cechuje się ona niższymi procentami uzysku rdzenia w porównaniu z innymi warstwami (20-80%).
- Warstwa II** – margle wapniste, cechuje się bardziej korzystnymi parametrami wytrzymałościowymi w stosunku do warstwy I. Miąższość 11-19 m. Procent uzysku rdzenia jest większy i wynosi 60-90%.
- Warstwa III** – margle ilaste miąższości ok. 3-5 m. Warstwa ta nie występuje w południowo-zachodniej części odkrywki. Procent uzysku rdzenia wynosi 70-100%.

Analizowane zbocza w zachodniej, północnej i południowej części odkrywki były eksploatowane przy użyciu materiałów wybuchowych. Eksploatacja w tych rejonach została zakończona. Zbocza zlokalizowane w tych rejonach były narażone na długoterminowe procesy erozyjne. Sprzyjały temu liczne szczeliny i spękania powstałe w trakcie eksploatacji, które w następnym okresie były podatne na infiltracje wód opadowych i procesy wywiewania (eoliczne). Ślady tych procesów można było zobaczyć na stokach w postaci licznych otworów, wymięć erozyjnych i otworów na powierzchni skarp. W wielu częściach stoków procesy erozyjne były bardzo widoczne (rys. 8,10). W niektórych niższych partiach odkrywki po opadach tworzyły się zbiorniki bezodpływowe u podnóża skarp, co mogło także niekorzystnie wpływać na ich stateczność (rys. 11).



Rys. 9. Przekrój geologiczny, kamieniołom „Odra II”
Fig. 9. The geological cross-section, “Odra II” Mine

Analiza parametrów wytrzymałościowych

W celu określenia parametrów wytrzymałościowych skał budujących zbocza kamieniołomu pobrano 36 próbek różnych odmian skał i przeprowadzono 24 badania laboratoryjne wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie w stanie powietrzno-suchym i 12 po nasyceniu wodą. Otrzymane wyniki wskazują zmienne wartości wytrzymałości na ścinanie w stanie suchym, która wynosiła od 11,3 do 29,5 MPa. Po nasyceniu próbek wodą następował znaczny spadek wytrzymałości 5,6-16,6 MPa.

Wyniki przeprowadzonych badań przedstawiono w tabeli 3.

Tab. 3. Wyniki badań wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie

Tab. 3. Results of uniaxial compression strength tests

PARAMETR/ Numer próbki	Wytrzymałość na ściskanie w stanie powietrzno-suchym MPa						Wytrzymałość na ściskanie po nasyceniu wodą MPa					
1 zwięzły wapień	16,6	25,3	21,9	28,2	17,2	30,9	5,9	9,9	5,7	5,6	6,3	7,0
2 spękany wapień	17,1	25,1	21,1	32,0	28,7	27,3	7,5	9,4	6,5	5,8	5,0	16,5
3 wapień	29,7	18,5	21,3	25,6	20,3	24,9						
4 margiel	11,4	12,3	9,6	18,6	11,3	15,2						



Rys. 10. Procesy erozyjne w pobliżu ul. Luboszyckiej
Fig. 10. Erosion processes near the Luboszycka street

Analizy stateczności

Analizy stateczności zboczy kamieniołomu miały za zadanie określenie potencjalnych powierzchni poślizgu, sił wpływających na stateczność masywu skalnego oraz stopnia stateczności poszczególnych zboczy. W przypadku rozpatrywanych skarp w części gdzie prowadzona była eksploatacja, musiały one również uwzględnić ich obciążenie przez koparkę i siłę ich urabiania, a także zmienność parametrów wytrzymałościowych. Analizy wykonano na podstawie dokumentacji geologicznej złoża, kartowań terenowych zboczy odkrywki, przekrojów geologiczno-inżynierskich oraz mapy

w skali 1: 2000. Do obliczeń zastosowano metody równowagi granicznej według Janbu i Felleniusa (LEM). Umożliwiło to określenie przypuszczalnej lokalizacji najbardziej prawdopodobnych kołowych powierzchni poślizgu (Bednarczyk 2004). Skały budujące zbocza kamieniołomu charakteryzowały się wysoką zmiennością parametrów fizycznych i mechanicznych oraz wieloma powierzchniami nieciągłości. Widoczny był także wpływ innych czynników wewnętrznych i zewnętrznych wpływającymi na ich stopień stateczności. Obrywy i przemieszczenia masowe były spowodowane głównie przez procesy erozyjne lub poprzednio używaną metodę eksploata-



Rys. 11. Nagromadzenia wód opadowych w dolnej cz. kamieniołomu
Fig. 11. Water reservoirs in in foot part of the mine

cji. Przemieszczenia skał marglistych i margli czasami mogły być aktywowane przez przesunięcia na granicach warstw i płaszczyznach uskokowych. Kierunek zapadu i kąt nachylenia warstw i występowanie uskoków, spękań i stref zwietrzliny miało duże znaczenie dla stateczności skarp. W celu określenia parametrów wytrzymałościowych skał budujących skarpy odkrywki pobrano próbki różnych odmian skał i przeprowadzono badania laboratoryjne wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie w stanie powietrzno-suchym i nasycenym wodą. Podstawowym parametrem decydującym o stateczności zbocza lub skarpy była wytrzymałość masywu skalnego na ścinanie, która uwarunkowana jest wartością kąta tarcia wewnętrznego ϕ

i kohezją c . W skarpach zbudowanych ze skał zwięzłych model Coulomba-Mohra nie mógł zostać użyty dla zdefiniowania wytrzymałości na ścinanie, ponieważ w skałach nie ma liniowej zależności pomiędzy wytrzymałością na ścinanie i obciążeniem. W związku z tym do obliczeń zastosowano model Hoecka & Browna (1980), który pozwala na zastosowanie klasycznych równań równowagi granicznej do skarp zbudowanych ze skał zwięzłych. W modelu tym kąt tarcia wewnętrznego ϕ i kohezja c masywu skalnego działająca wzdłuż określonej powierzchni poślizgu jest zdefiniowana jako:

$$\operatorname{tg} \phi = AB (\sigma' / \sigma_c - T)^{B-1} \quad (1)$$

$$C = A \sigma_c (\sigma' / \sigma_c - T)^B - \sigma' \operatorname{tg} \phi \quad (2)$$

gdzie: σ_c = wytrzymałość na ściskanie,

σ' = siła działająca w podstawie każdej potencjalnej powierzchni poślizgu,

A, B, T = współczynniki korelacyjne dla określonych rodzajów skał.

W celu, możliwie jak najbardziej, wiarygodnego określenia parametrów wytrzymałościowych skał zwięzłych charakteryzujących się występowaniem spękań, stref zwietrzałych, zawodnionych i innych osłabień do oceny parametrów skarp do obliczeń zastosowano powszechnie stosowaną na świecie klasyfikację RMR (Bieniewski 1989). Wyróżnia ona pięć klas utworów skalnych zależnych od: parametrów wytrzymałościowych skały, jej stopnia spękania, wielkości i długości spękań, ich wyglądu, warunków wodnych oraz stopnia uzyskania rdzenia w otworach wiertniczych znajdujących się w pobliżu skarp. Uzyskane z badań laboratoryjnych parametry wytrzymałościowe oraz wymienione powyżej klasyfikacje użyto do analiz stateczności za pomocą obliczeń numerycznych z wykorzystaniem dwóch różnych metod obliczeniowych Felleniusa i Janbu. W metodzie Felleniusa obliczenia stateczności przeprowadzono wzdłuż powierzchni kołowo-cylindrycznych (w przekroju poprzecznym). Jako miarę bezpieczeństwa zbocza przyjęto tzw. wskaźnik stateczności (współczynnik pewności), określony jako stosunek całkowitego momentu sił utrzymujących zbocze do całkowitego momentu sił dążących do naruszenia równowagi. W metodzie Janbu uwzględnione zostały obie składowe siły wzajemnego oddziaływania pasków. Dodatkowym założeniem umożliwiającym uzyskanie rozwiązania jest przyjęcie położenia linii ciśnień, wyznaczającej punkty działania tych składowych na granicy między paskami.

Ze względu na złożoność zagadnienia stateczności zboczy, a w szczególności parametrów skarp i zboczy uformowanych w utworach skalnych charakteryzujących się dużą zmiennością parametrów fizyko-mechanicznych, jak również szeregu czynników wpływających na ich stateczność, w tym obciążeń wynikających z pracy koparki urabiającej surowiec skalny, w opracowaniu posłużono się modelowaniem numerycznym. W obliczeniach uwzględniono obciążenia statyczne i dynamiczne wynikające z pracy koparki. Uwzględniając typ koparki KOMATSU o mocy silnika 228 kW, masie 42600 kg, objętości łyżki 1,3 -2,2 m³, szerokości standardowej gąsienic 600 mm i powierzchni kontaktu z podłożem 5,26 m² obliczono współczynnik zwiększający, uwzględniający obciążenia dynamiczne urabiania. Do obliczenia nacisku jednostkowego P_n [kN/m²] posłużono się wzorem:

$$P_n = k \frac{Q}{F}$$

gdzie: k = współczynnik korygujący = 1,5

F = powierzchnia kontaktu z podłożem

Obliczona i wykorzystana w analizach stateczności, wartość P_n wynosiła 122 kN/m². Wartości współczynnika RMR określono na podstawie wielkości wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie, procent uzysku rdzenia RQD, odległości pomiędzy spękaniami widocznymi w obrębie ścian eksploatacyjnych, charakteru tych spękań, przybliżonych wielkości wypływów wód ze ścian. Procent uzysku rdzenia obliczono, jako średnią ważoną dla każdej wydzielonej warstwy geotechnicznej na podstawie analizy danych dokumentacyjnych i wykonanych interpretacji profili otworów geotechnicznych. Współczynniki korelacyjne A, B, T (dla margli i wapieni) zastosowane w obliczeniach przedstawiono poniżej.

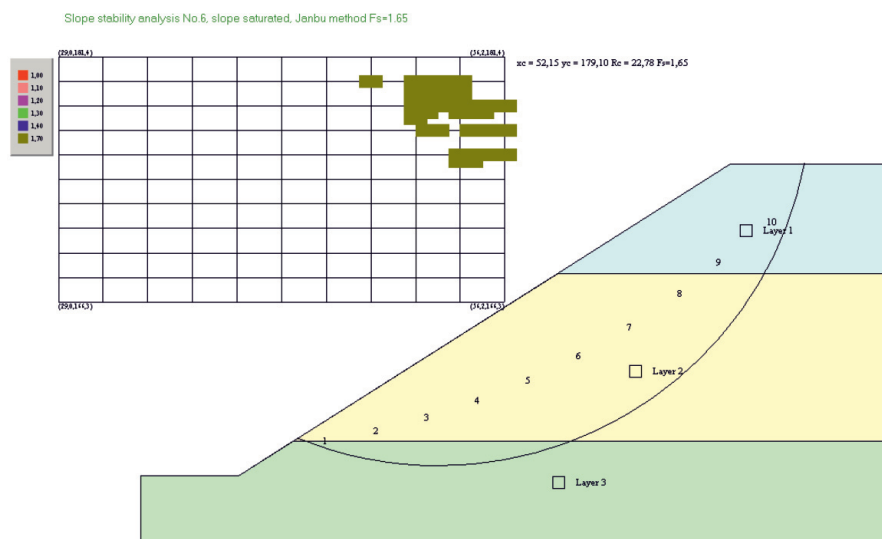
RMR=100	A=0,816	B=0,658	T=-0,140
RMR=85	A=0,651	B=0,679	T=-0,028
RMR=65	A=0,369	B=0,669	T=-0,006
RMR=44	A=0,198	B=0,066	T=-0,007
RMR=23	A=0,115	B=0,646	T=-0,002
RMR=0	A=0,042	B=0,534	T=0,0

Wyniki modelowania numerycznego

Ogółem wykonano 10 zestawów analiz stateczności dwiema metodami obliczeniowymi dla warunków suchych i po nasączeniu wodą. Obliczenia z użyciem wartości wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie po nasączeniu próbek wodą przeprowadzono w celu sprawdzenia zachowania się skarpy w warunkach zbliżonych do warunków po długotrwałych, intensywnych opadach atmosferycznych. W sumie wykonano 40 analiz. Ośiem analiz uwzględnia obciążenia statyczne i dynamiczne pochodzące od pracy koparki w rejonach eksploatacji z uwzględnieniem jej pracy na wyższej i niższej półce eksploatacyjnej jak również suchych i mokrych warunków. W obliczeniach założono, że maszyna pracuje bezpośrednio przy krawędzi skarpy eksploatacyjnej. W celu określenia wpływu maszyny na stateczność zbocza wykonywano obliczenia porównujące warunki stateczności zbocza z uwzględnieniem obciążeń wywołanych przez koparkę jak również stateczność samego zbocza. Wyniki obliczeń stateczności przedstawiono w tabeli 4, a przykładowe wyniki obliczeń na rysunkach 12-14. Wartości otrzymanych współczynników stateczności F_s były wyższe w metodzie Janbu. Skarpy stałe w warunkach suchych (bez obciążeń wynikających z pracy koparki) wskazywały na małe lub znikome prawdopodobieństwo rozwoju procesów osuwiskowych ($F_s = 1,19$ do $2,56$). Najniższe wartości współczynnika stateczności dla tych warunków przez wpływ obciążeń koparki otrzymano dla przekroju 3 i 4 (I i II wariant). W warunkach nasycenia wodami opadowymi stopień stateczności ulegał znacznemu obniżeniu $F_s = 0,76$ - $1,15$. Należy zaznaczyć, że przy współczynnikach stateczności zbliżonych do wartości $F_s = 1,0$ istnieje duże prawdopodobieństwo rozwoju procesów osuwiskowych. Najniższe, bardzo niekorzystne wartości współczynnika stateczności uzyskano dla warunków nasycenia zbocza wodą w przekroju Nr 3 ($F_s = 0,76$). Wpływ obciążeń statycznych i dynamicznych wynikających z nowego systemu eksploatacji analizowano dla różnych wariantów eksploatacji.

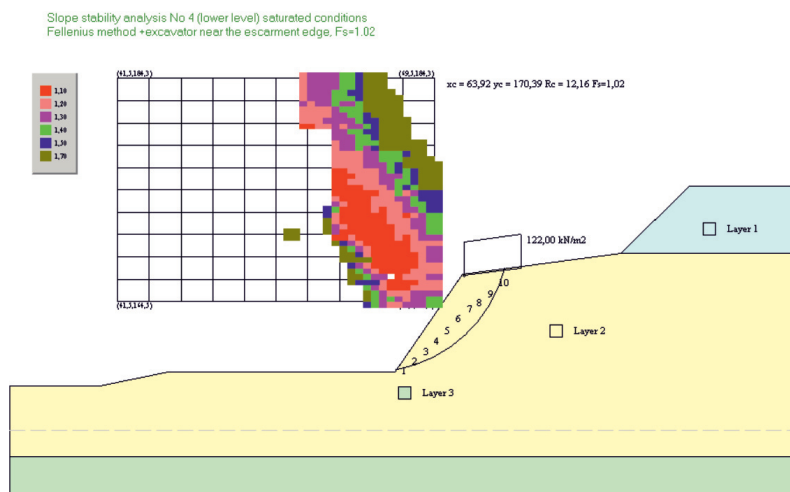
Tab. 4. Zestawienie wyników analiz stateczności
Tab. 4. The summary of slope stability analysis results

Lp	Wspól. stateczności F_s - skarpa sucha		Wspól. stateczności F_s - skarpa mokra		Uwagi
	Metoda Felleniusa	Metoda Janbu	Metoda Felleniusa	Metoda Janbu	
1	1.90	2.21	1.19	1.45	
2	1.30	1.59	1.01	1.24	+ koparka
3	0.99	1.15	0.76	0.89	+ kop. na I poz. (Iw)
4	1.70	1.99	1.02	1.21	+ kop. na II poz. (IIw)
5	1.94	2.31	1.42	1.66	
6	2,41	2.56	1.51	1.65	
7	1.71	2.03	1.25	1.46	
8	2.21	2.45	1.42	1.63	
9	1.44	1.71	1.11	1.32	
10	1.16	1.37	0.90	1.14	+ kop. na I poz. (IIIw)



Rys. 12. Analiza stateczności Nr 6, warunki saturacji wodami gruntowymi, $F_s=1,65$

Fig. 12. Slope stability analysis No.6, saturated conditions, $F_s=1.65$

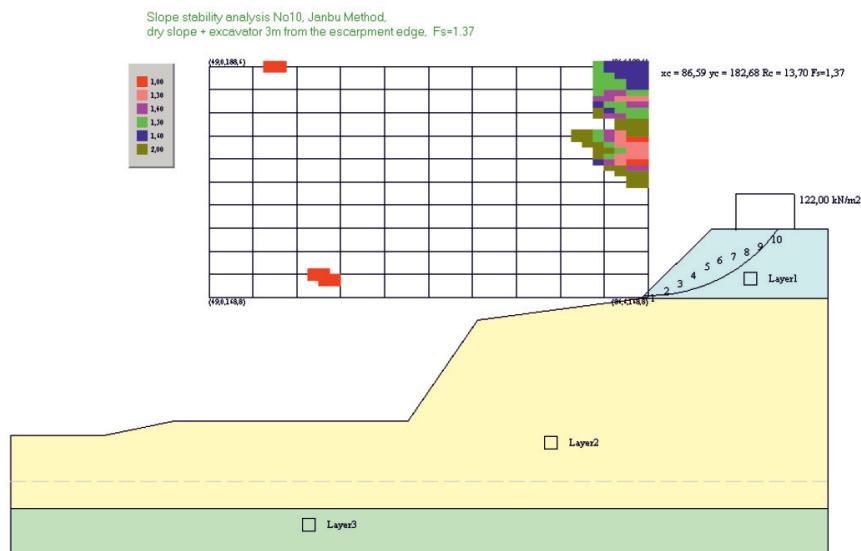


Rys. 13. Analiza stateczności Nr 4, war. mokre + wpływ koparki, bezpośrednio przy krawędzi skarpy, poziom dolny, $F_s=1,0$

Fig. 13. Slope stability analysis No.4, saturated condit. with mining excavator at the lower level, near the scarp edge, $F_s=1.0$

Analizy nr 2-4 były oparte na założeniu, że koparka pracuje bezpośrednio w pobliżu krawędzi skarpy. W analizie nr 2 stwierdzono stateczność skarpy w warunkach suchych, jednakże w warunkach mokrych wartość współczynnika stateczności była niska $F_s = 1,01$ (metoda Felleniusa).

Analizy nr 3 i 4 rozpatrujące dwie lokalizacje koparki na górnym i dolnym piętrze eksploatacyjnym wykazały wahania współczynnika stateczności F_s w zakresie 1,02 - 1,70. Wyniki obliczeń wskazywały na stosunkowo dobre warunki stateczności, gdy zbocza były suche, a niekorzystne, gdy były nasycone



Rys. 14. Analiza stateczności Nr 4, war. mokre + wpływ koparki, 3 m od krawędzi krawędzi skarpy, poziom górny, $F_s=1,37$
Fig. 14. Slope stability analysis No.4, dry condit. with mining excavator at the upper level, 3 m from the scarp edge. $F_s=1.37$

wodami opadowymi. W najbardziej negatywnych warunkach zakres wskaźników stateczności F_s wahał się od 0,76 do 0,90. W analizie nr 3 wartości F_s były niekorzystne zarówno dla warunków suchych, jak i mokrych. Wnioski uzyskane z obliczeń wskazywały na konieczność wyeliminowania operacji górniczych prowadzonych przez koparkę usytuowaną bezpośrednio, na skraju skarpy. Należy zaznaczyć, że po eliminacji wpływu obciążeń spowodowanych przez koparkę stwierdzono stosunkowo wysoki współczynnik stateczności (np. analiza nr 2-4). W celu ustalenia bezpiecznej odległości koparki od krawędzi skarpy, zastosowano różne obliczenia odległości koparki od krawędzi skarpy. Przy odległości 3 metrów (analiza 10 III wariant) otrzymane wielkości współczynników stateczności wynosiły dla warunków suchych 1,16-1,37 natomiast dla mokrych 0,9-1,14 (na granicy utraty stateczności). W wyniku tych obliczeń stwierdzono, że najniższa bezpieczna odległość od skarpy powinna wynosić 3 metry. Dlatego zalecono żeby koparki pracowały w odległości większej niż 3 metry od krawędzi skarpy. Zalecono także wstrzymanie eksploatacji złoża po długotrwałych intensywnych opadach atmosferycznych, które mogą spowodować znaczące pogorszenie warunków stateczności (aż do czasu wyschnięcia skał). Szczególnie dotyczyło to stropowych części złoża.



Rys. 15. Osiedle mieszkaniowe zlokalizowane bezpośrednio przy zboczu kamieniołomu

Fig. 15. Apartment buildings located closely to the mine

Wnioski

W artykule przedstawiono ocenę zagrożeń naturalnych mogących powstać w kamieniołomie wapieni i margli „Odra II” przy zmianie sposobu eksploatacji złoża. Badania wykazały, że przy odpowiednim zaprojektowaniu sposobu eksploatacji możliwe jest zminimalizowanie zagrożeń. Zastosowana metoda eksploatacji w mniejszym wymiarze wpływa na stopień spękania skał w obrębie zboczy kamieniołomu i jest mniej uciążliwa dla jego otoczenia. W niektórych miejscach należy się jednak liczyć z możliwością występowania zagrożeń naturalnych związanych z brakiem stateczności zboczy. Wpływ na to mogą mieć rozwinięte procesy wietrzenia i stopień spękania masywu skalnego spowodowany poprzednią metodą eksploatacji i zmiennymi warunkami geologiczno-inżynierskimi. Analizy stateczności wykazały, że w warunkach suchych zbocza były stateczne, a ich współczynniki stateczności F_s wynosiły 1,19-2,45. Wykonane analizy stwierdziły, że po opadach atmosferycznych należy spodziewać się znaczącego zmniejszenia stateczności, na co wskazują wartości do $F_s = 1,01-1,65$. Wprowadzenie do obliczeń wpływu obciążeń spowodowanych przez sposób urabiania skał wskazuje, że po opadach atmosferycznych istnieje możliwość powstania na zboczach odkrywki zagrożeń naturalnych. Bardzo niskie współczynniki stateczności $F_s = 0,76-0,86$ otrzymane metodą Felleniusa i $F_s = 1,01-1,24$ metodą Janbu są charakterystyczne jednak tylko dla w niektórych rejonów złoża. Obliczenia mają charakter przybliżony, z powodu dużej liczby trudnych do identyfikacji czynników wpływających na stopień stateczności zboczy. Bardziej wiarygodne zbadanie tych czynników wymaga wykonania szczegółowych profili zboczy, a nie było możliwe ze względu na ich słabą dostępność. Zastosowanie do eksploatacji złoża w latach ubiegłych prac strzałowych, miało znaczący wpływ na parametry wytrzymałościowe skał. Badania terenowe w północnej i zachodniej części odkrywki i analizy stateczności stwierdziły możliwość występowania w niektórych rejonach wysokiego ryzyka zagrożeń naturalnych spowodowanych przez procesy wietrzenia, erozji i przemieszczeń masowych. Niektóre obszary stwarzały ryzyko dla położonych powyżej budynków mieszkalnych i ulicy Luboszyckiej (rys. 15). Ryzyko przemieszczeń masowych stwierdzono w mocno zwietrzałych skałach i

zwietrzelinach wapiennych położonych we wschodniej części odkrywki do głębokości około 6 m. Procesy erozji i wypływy wód gruntowych z podnóża skarp, zwłaszcza w zachodniej części kamieniołomu, mogą mieć bardzo negatywny wpływ na stateczność zboczy. Przedstawione zalecenia związane były z poprawą systemu odwodnienia odkrywki, co powinno umożliwić odpływ wody z rejonów u podnóża skarp. Szczególną ostrożność zalecono również przy prowadzeniu eksploatacji górniczej. To ograniczenie dotyczyło rejonów występowania procesów erozyjnych i zwietrzelin na zboczach. W celu zapewnienia bezpieczeństwa eksploatacji górniczej zalecono pracę koparki urabiającej w odległości większej niż 3 m od

krawędzi skarpy. Zalecenia obejmowały także zaprzestanie działalności wydobywczej w czasie intensywnych opadów atmosferycznych, które mogą spowodować znaczne pogorszenie warunków stateczności. Zmiana sposobu eksploatacji poprzez urabianie wapieni na najwyższym poziomie przez koparkę ze zrywakiem przyczyniła się do poprawy warunków jej bezpieczeństwa podczas urabiania i mniejszego zużycia koparki. Podane uwagi dotyczące kontroli warunków geotechnicznych dotyczyły szczególnie górnej części odkrywki. Zbocza formowane wcześniej z użyciem materiałów wybuchowych powinny być poddane rekultywacji i zabezpieczeniu.

Literatura

- [1] Bednarczyk, Z. 2004. *Ekspertyza dotycząca stateczności skarp i zboczy kamieniołomu wapieni i margli Odra II*, Poltegor-Institut, Wrocław
- [2] Bieniawski, Z.T. 1976. *Rock mass classification in rock engineering*. In Exploration for Rock Engineering, Proc. of the Symp., (ed. Z.T. Bieniawski), Balkema: 97-106
- [3] Geological documentation of Odra II Marl Deposit, A + C1 category 1968 Geological Company in Krakow
- [4] Hoek, E. and Brown, E.T. 1980. *Empirical strength criterion for rock masses*. J. Geotech. Eng. Div., ASCE 106 1013-1035



Widok na Kopalnię Wszachów II

Fot. Kamil Rogosz