

*Witold M. Pytel**, **

UWARUNKOWANIA TECHNICZNE I GEOMECHANICZNE DRAŻENIA GŁÓWNEJ KOMORY LABORATORIUM ASTROFIZYCZNEGO W GÓROTWORZE KOPALNI POLKOWICE–SIEROSZOWICE

1. Wstęp

Od roku 2008 spółka KGHM Cuprum CBR bierze udział jako partner przemysłowy w europejskim projekcie — Europejskiej infrastruktury dla Wielkiego Detektora dla celów opracowania teorii Wielkiej Unifikacji oraz do badań astrofizyki neutrin (Design of a Pan European Infrastructure for Large Apparatus Studying Grand Unification and Neutrino Astrophysics, LAGUNA). Ten wieloletni projekt ma za zadanie wskazać najdogodniejszą lokalizację dla budowy wielkiego podziemnego laboratorium mieszczącego unikalne urządzenia badawcze. Jedną z siedmiu rozpatrywanych lokalizacji przyszłego laboratorium jest obszar górniczy kopalni rudy miedzi Polkowice–Sieroszowice należącej do KGHM Polska Miedź S.A. Ze względu na bardzo niskie tło naturalnego promieniowania skał, komora solna lub anhydrytowa w Sieroszowicach uważana jest za „idealną” lokalizację dla niskotłowego laboratorium fizyki.

Obecnie projekt znajduje się na etapie zawężania wyboru perspektywicznych lokalizacji na podstawie przygotowanych studiów wykonalności i wstępnych projektów całkowicie nowej podziemnej infrastruktury, opcjonalnie w zastosowaniu do trzech typów wielkich detektorów i związanych z nimi technologii: (a) wodnego detektora Čerenkova (MEMPHYS), (b) detektora wykorzystującego tzw. płynny scyntylator (LENA), oraz (c) detektora wypełnionego 100 kt ciekłego argonu (GLACIER).

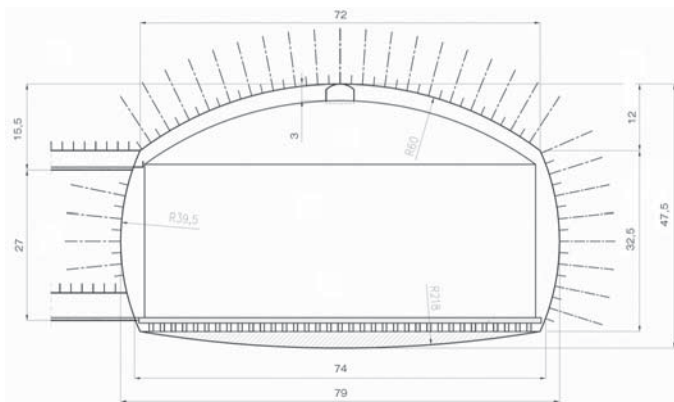
Pracownicy KGHM CUPRUM Sp. z o.o. — CBR byli zaangażowani głównie w realizacji pakietu roboczego dotyczącego podziemnej infrastruktury i aspektów inżynierskich,

* Instytut Górnictwa, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Politechnika Wroclawska, Wrocław

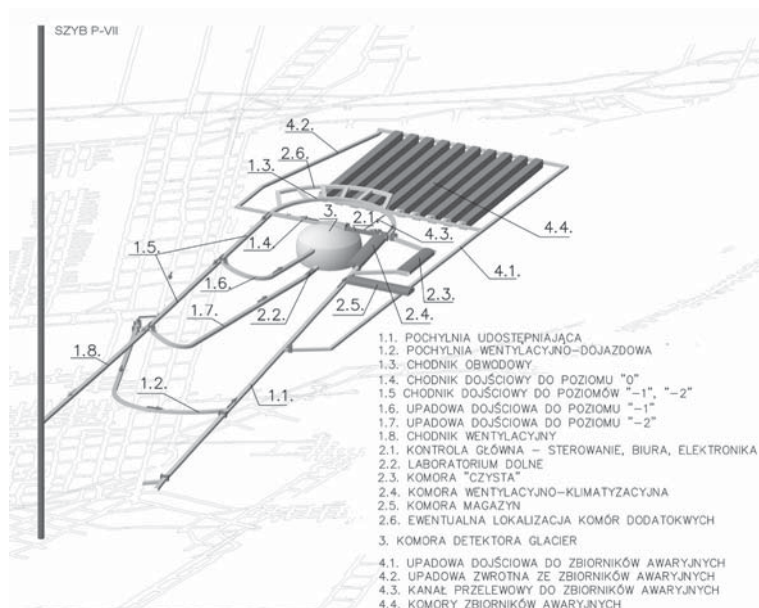
** KGHM Cuprum Centrum Badawczo Rozwojowe, Wrocław

a w tym sprawdzenia stateczności głównej komory laboratorium [3]. Z uwagi na ograniczenia w występujących warunkach geologiczno-górnictwowych a także ze względu na specyficzne wymagania dotyczące strony fizycznej eksperymentu, wspomniane prace skoncentrowały się głównie na możliwościach umieszczenia detektora typu GLACIER w komorze o kształcie jednostronnie spłaszczonej elipsy obrotowej o wymiarach 79×47,5 m (patrz rys. 1).

Przy pracach nad wyborem odpowiedniej lokalizacji Głównej Komory Detektora (GKD) pod uwagę brano dwa rodzaje środowiska skalnego: masyw solny oraz utwory budowane przez związane skały siarczanowe (anhydryty) i węglanowe (dolomity) serii Cechsztynu.



Rys. 1. Ostatecznie przyjęte wymiary Głównej Komory Detektora GLACIER [3]



Rys. 2. Planowana lokalizacja oraz struktura laboratorium SUNLAB [4]

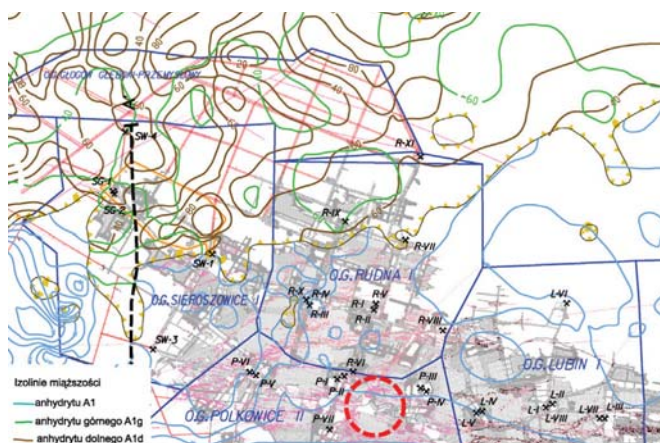
Głównymi kryteriami właściwego wyboru były: (a) możliwości dostępu do lokalizacji (sieć istniejących i planowanych dróg komunikacyjno–transportowych, (b) odpowiednia odległość do najbliższego szybu o funkcji transportowej, (c) lokalne złożo soli lub anhydrytu o miąższości znacznie większej niż planowana wysokość komory, (d) obecność złoża anhydrytu lub soli na głębokości większej niż wartość minimalna wymagana dla prawidłowego funkcjonowania detektora, (e) dostatecznie duża odległość od obszarów wzmożonej aktywności sejsmicznej z uwzględnieniem planowanych robót górniczych, oraz (f) odpowiednio niska temperatura skał otaczających.

Na podstawie przeprowadzonej analizy stwierdzono, że najkorzystniejszą lokalizacją komory detektora jest obszar położony w pobliżu szybu P–VII kopalni Polkowice (rys. 2), gdzie istnieje możliwość posadowienia laboratorium na głębokości 636 m ppt. w pokładzie anhydrytu o odpowiedniej miąższości, w warunkach pełnego uzbrojenia technicznego.

2. Techniczne studium wykonalności komory detektora

2.1. Planowane rozmieszczenie (komora główna i komory pomocnicze)

Preferowana lokalizacja dla detektora GLACIER znajduje się w otoczeniu szybu wentylacyjnego P–VII Kopalni „Polkowice–Sieroszowice” o średnicy 7,5 m, którego zasadniczą funkcją jest transport dużych maszyn używanych w podziemnych wyrobiskach. Lokalizacja w pobliżu szybu P–VII jest bardzo obiecująca ponieważ istnieje tam duża „wyspa” nie wyeksploatowanej rudy, która może służyć, jako mocny fundament dla kompleksu laboratorium. Jednocześnie zakłada się, że ruda miedzi z obszaru otaczającego komorę będzie wcześniej całkowicie wybrana, co oznacza brak aktywności sejsmicznej w rejonie. Problemy spowodowane składowaniem odpadów skały płonnej mogą być rozwiązane poprzez umieszczanie tych materiałów w wyrobiskach wyeksploatowanych. Wybraną lokalizację laboratorium na tle mapy miąższości anhydrytów przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Wybrana lokalizacja laboratorium SUNLAB w maszywie anhydrytu

2.2. Parametry geomechaniczne materiałów w wybranej lokalizacji

Podstawowe parametry skał były wyznaczane w oparciu o dostępne dane uzyskane podczas całego okresu eksploatacji złoża rudy miedzi na omawianym obszarze. Wykorzystane dane są przechowywane w odpowiednich działach kopalń KGHM (Geologiczny, Hydrogeologiczny, Górniczy i in.), jak i w KGHM CUPRUM (razem z innymi wynikami badań laboratoryjnych) i zawierają: (a) ogólne mapy budowy geologicznej, (b) przekroje geologiczne, (c) infrastrukturę podziemną i powierzchniową, geometrię wyrobisk, (d) wyniki laboratoryjnych badań wytrzymałości skał, (e) krzywe pełzania soli pobrane z rozpatrywanego obszaru, (f) pomiary połowe parametrów mechaniczno–wytrzymałościowych soli kamiennej na podstawie analizy odwrotnej.

W celu uzyskania reprezentatywnych parametrów wytrzymałościowych skał w warunkach *in situ*, wartości odpowiednich parametrów uzyskane laboratoryjnie zostały zredukowane przy wykorzystaniu podejścia Hoeka [1] (tabela 1).

TABELA 1
Charakterystyka skał: redukcja parametrów zgodnie z metodą Hoeka

Typ skały	wytrzymałość na ściskanie otrzymana w badaniach laboratoryjnych	kąt tarcia wewnętrznego	kohezja	wytrzymałość na ściskanie w masywie skalnym	wytrzymałość na rozciąganie	moduł odkształcenia w masywie skalnym	współczynnik Poissona	kąt dyatacji
	σ_{ci} [MPa]	φ [°]	c [MPa]	σ_{cm} [MPa]	σ_{tm} [MPa]	E_m [MPa]	ν	Kąt dyl. [°]
Piaskowiec kwarcowy LSAN	62,1	30,1	2,12	6,43	0,06	4734	0,26	2,57
Łupek ilasty IL	25,3	24,7	0,62	1,47	0,003	1302	0,29	0,26
Anhydryt podstawowy A2	93,3	35,26	4,8	19,64	0,24	13270	0,24	5,19
Dolomit główny Ca2	157,6	47,57	14,42	72,92	1,02	47146	0,2	12,5
Anhydryt górny A1g	87,4	34,25	4,2	16,51	0,2	11260	0,24	4,65
Anhydryt dolny A1d	106,25	37,56	6,3	27,55	0,36	18329	0,23	6,45
Wapień i Dolomit Ca1	184,1	53,31	20,0	105,0	1,49	67489	0,18	16,3
Czerwony piaskowiec RS	10,075	22,7	0,52	2,77	0,03	1983	0,3	0

Ponieważ badania laboratoryjnie wykazały, że anhydryt zachowuje się jak typowe ciało sprężysto–plastyczne z osłabieniem, tego więc rodzaju model został mu przypisany w ostatecznej analizie geomechanicznej, podczas gdy wszystkie pozostałe materiały (z wykluczeniem utworów trzecio– i czwartorzędowych) zostały zamodelowane jako ciała sprężysto–doskonale plastyczne stosujące się do kryterium Coulomba–Mohra.

2.3. Charakterystyka tensora naprężeń pierwotnych w górotworze

Podstawą określenia charakterystyk tensora naprężeń pierwotnych były pomiary naprężeń *in situ* wykonane w roku 1997 w oddziale G-11 kopalni Rudna [2] w obrębie pokładu twardego dolomitu Ca1. Składowe tensora naprężeń wyrażone pierwotnie we współrzędnych naprężeń głównych (1-2-3) zostały przekształcone do systemu (h - H - z) (h — kierunek najmniejszej składowej poziomej, H — kierunek największej składowej poziomej, z — kierunek składowej pionowej), a następnie brzegi prostopadłościennej bryły modelu górotworu zostały obciążone równomiernym przemieszczeniem poziomym tak wyskalowanym, aby w warstwie dolomitu Ca1 wartości naprężeń poziomych były równe wyliczonym (składowa największego naprężenia poziomego $\sigma_H = 44,4$ MPa, wartość najmniejsza $\sigma_h = 19,8$ MPa). Tym samym największe składowe poziome występujące w obrębie pozostałych warstw skalnych zostały wyskalowane zgodnie z relacją pomiędzy wartościami ich modułów odkształcenia.

3. Modelowanie komory detektora z wykorzystaniem metody różnic skończonych

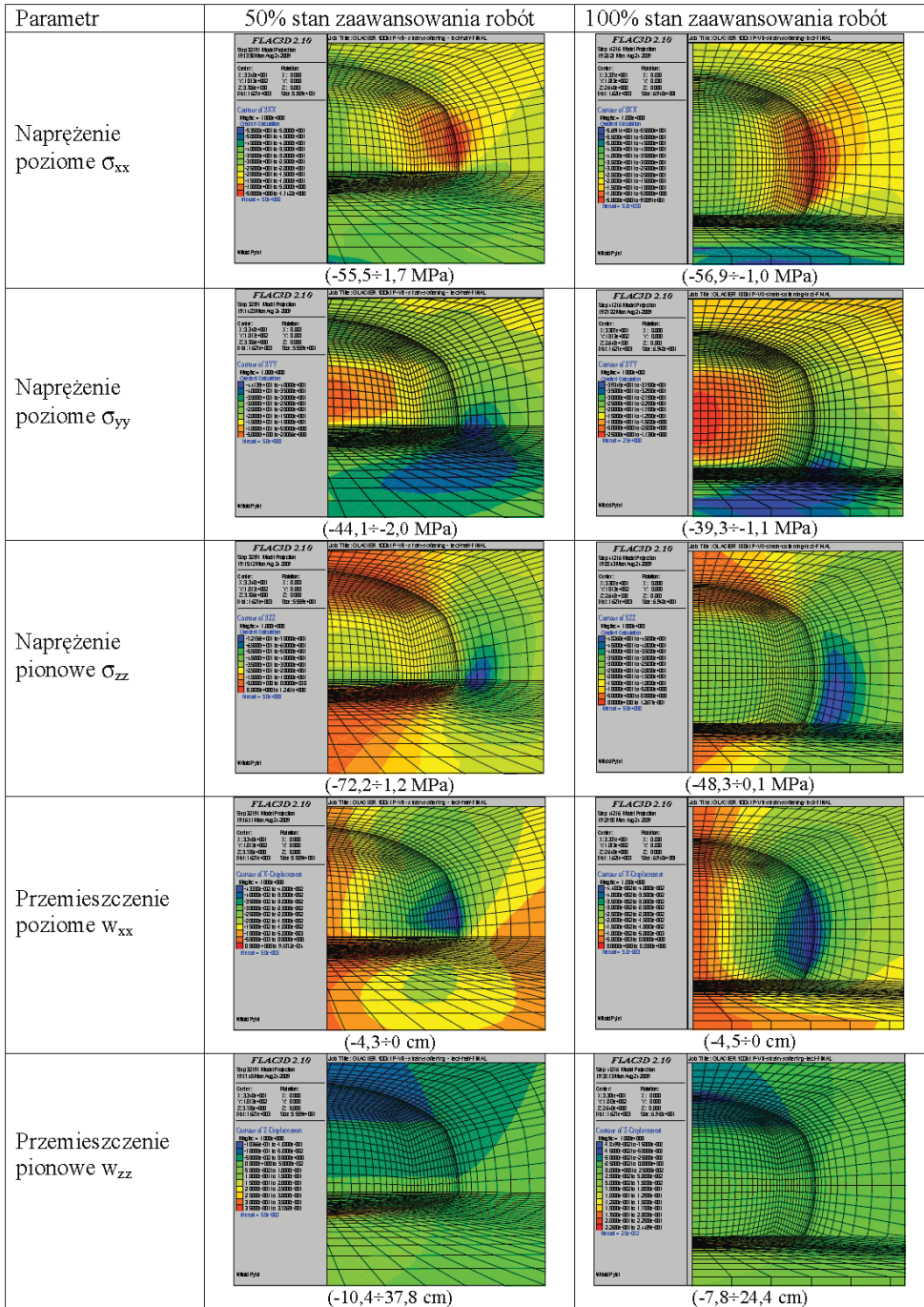
Analizę geomechaniczną komory detektora GLACIER o geometrii udostępnionej przez firmę Technodyne (rys. 1) przeprowadzono wykorzystując program komputerowy FLAC 3D oparty na metodzie różnic skończonych. Obliczenia dla ostatecznie przyjętego kształtu komory wykonano dla etapu 50% wykonanych prac oraz dla finalnego kształtu komory (100% wykonanych prac górniczych). Wybrane wyniki obliczeń przedstawiono na rysunku 4.

4. Oszacowanie ogólnego współczynnika bezpieczeństwa

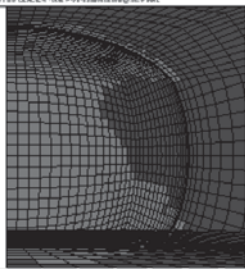
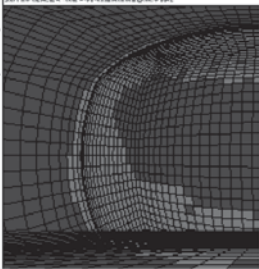
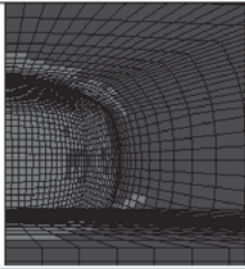
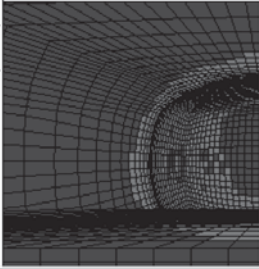
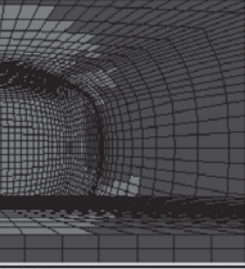
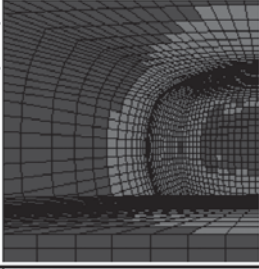
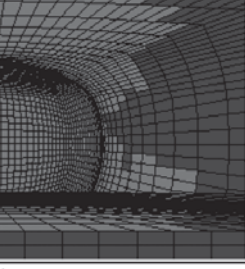
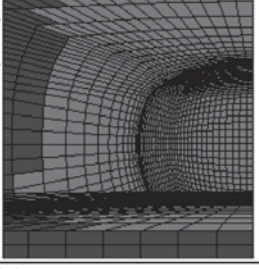
Ogólny współczynnik bezpieczeństwa służący ocenie zagrożenia GKD zjawiskiem niestateczności został określony wykorzystując procedurę redukcji parametrów wytrzymałościowych anhydrytu An2. Ponieważ obliczonej niestateczności modelu odpowiada współczynnik bezpieczeństwa równy $F_p = 1,0$, stanom przedniszczeniowym może być przypisany współczynnik bezpieczeństwa równy relacji aktualnych wartości parametrów oraz wartości najmniejszych, którym towarzyszy przewidziana rachunkami niestateczność. Na podstawie wyników obliczeń, których część przedstawiono na rysunku 5, można wnioskować, że współczynnik ogólnej stateczności komory jest nie mniejszy niż $F_p = 2,5$.

5. Uwagi końcowe

Biorąc pod uwagę wyniki prezentowanej analizy technicznej i geomechanicznej wnioskować można, że utwory anhydrytowe w bliskiej odległości od szybu P-VII są odpowiednią lokalizacją dla Komory Detektora Głównego. Pomimo wielkiej kubatury projektowanego obiektu (około 150 tys. m³), jego bezpieczeństwo ogólne pozostaje w racjonalnych granicach, jednakże, co także wskazała przeprowadzona analiza numeryczna, możliwe jest po-



Rys. 4. Rozkłady sił wewnętrznych i przemieszczeń Głównej Komory Detektora

Model	Widok XZ	Widok YZ
0% redukcji wartości parametrów wytrzymałościowych: $F_p=2,5$		
20% redukcji wartości parametrów wytrzymałościowych: $F_p=2,0$		
40% redukcji wartości parametrów wytrzymałościowych: $F_p=1,5$		
60% redukcji wartości parametrów wytrzymałościowych: $F_p=1$		
80% redukcji	Model niestacynny: $F_p < 1$	Model niestacynny: $F_p < 1$

Rys. 5. Lokalizacja obszarów uplastycznienia w obrębie modelu GKD w zależności od przyjętych wartości parametrów wytrzymałościowych anhydrytu An_2

jawienie się zjawisk płytkiego łuszczenia się ociosów komory. Stwierdzono także [3], że wpływ spodziewanych zjawisk sejsmicznych jest pomijalny.

Skala projektu powoduje, że jego ranga w nauce światowej jest jedną z możliwie najwyższych i każda instytucja z jego realizacją związana wspiera tym samym rozwój nauki na

poziomie międzynarodowym. KGHM Polska Miedź S.A. angażując się pod tym względem w sprawę „polskiej lokalizacji” wspomnianego laboratorium, staje w gronie sponsorów Nauki, co z punktu widzenia prestiżu i sposobu postrzegania firmy jest wartością nie do przecenienia.

LITERATURA

- [1] *Hoek E.*: Practical Rock Engineering (2007 ed.). <http://www.rocsience.com/education/>
- [2] *Katulski A., Bugajski W., Bryja Z., Fabjanczyk M.*: Pomiar przedeksploatacyjnego pola naprężeń w KGHM Polska Miedź, O/ZG Rudna. Mat. Konf. Szkoły Eksploatacji Podziemnej '97, CPPGSMiE PAN i Zakład Górnictwa Podziemnego AGH, Kraków 1997. s. 67–75
- [3] Praca zbiorowa. SIEROSZOWICE (SUNLAB). LAGUNA Design Study. Underground Infrastructure and Engineering Interim Report, (EU, FP7: Work Package 2: Deliverable 2.5), KGHM Cuprum CBR oraz IGSMiE PAN, Wrocław–Kraków 2010
- [4] *Pytel W., Sadecki Z., Hanzel S., Markiewicz A., Cygan S., Mertuszka P., Raczyński M.*: Raport za rok 2009 z prac realizowanych w ramach projektu (LAGUNA) pan–Europejskiej infrastruktury dla Wielkiego Detektora dla celów opracowania teorii Wielkiej Unifikacji oraz do badań astrofizyki neutrin. Raport KGHM Cuprum CBR dla KGHM Polska Miedź S.A., Wrocław 2009