

Renowacja górnicza komory Jezioro Wessel na poziomie III Kopalni Soli „Wieliczka” S.A.

Mining renovation of the Wessel Lake Chamber on Level II of the “Wieliczka” Salt Mine S.A.



Dr hab. inż. Kajetan d'Obyrn^{*)}



Inż. Wiesław Wiewiórka^{**)}

Treść: Zabytkowe wyrobiska Kopalni Soli „Wieliczka” S.A. wymagają prowadzenia zabiegów renowacyjnych. Prace te są wykonywane metodami robót górniczych i mają na celu poprawę stanu górniczego wyrobiska oraz zapewnienie maksymalnych warunków bezpieczeństwa przy równoczesnym zachowaniu wartości historycznych i konserwatorskich. Proces projektowania określonych zabiegów renowacyjnych wymaga uwzględnienia istotnych warunków występujących w wyrobisku oraz jego otoczeniu. W artykule przedstawiono projektowany sposób renowacji górniczej zabytkowej komory Jezioro Wessel w aspekcie historii komory, prowadzonych prac zabezpieczających, budowy geologicznej i warunków hydrogeologicznych w komorze i jej otoczeniu. Istotne dla wypracowania sposobu renowacji komory było uwzględnienie aktualnego stanu technicznego wyrobiska oraz analiza geomechaniczna.

Abstract: The historic excavations of the “Wieliczka” Salt Mine S.A. require renovation procedures. The works are performed with the application of mining works methods and aim at improving the condition of a mining excavation and providing the highest safety conditions while simultaneously preserving historic and conservational qualities. The process of designing individual renovation procedures requires a consideration of the essential conditions present in the excavation and its environs. This paper presents the designed form of mining renovation of the historic Wessel Lake Chamber in the aspects of the chamber's history, conducted securing works, its geological structure and the hydrogeological conditions in the chamber and its surroundings. The current technical status of the excavation and geomechanical analysis were considered while developing the chamber renovation program.

Słowa kluczowe:

wyrobiska zabytkowe, analiza geomechaniczna, zabezpieczenie komory

Key words:

historic excavations, geomechanical analysis, securing the chamber

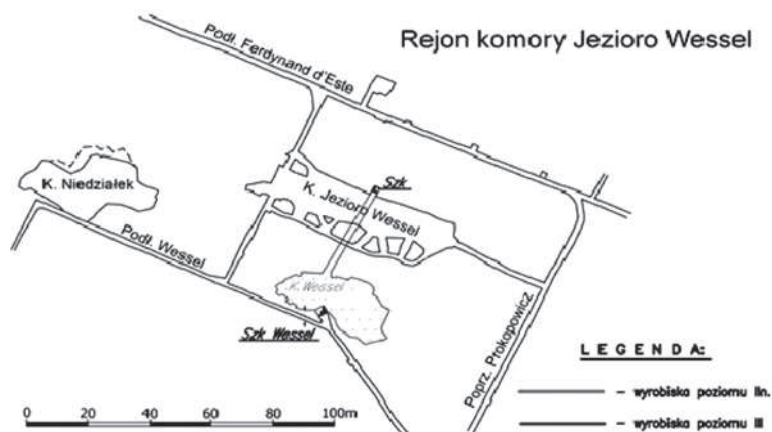
1. Charakterystyka wyrobiska

Komora Jezioro Wessel zlokalizowana jest na III poziomie kopalni, na wschód od szybu Regis i udostępniona jest dwoma wyrobiskami chodnikowymi. Zachodnią jej część połączona jest z podłużnią Ferdinand d'Este poprzez poprzeczną Wessel a wschodnią część połączona jest z poprzeczną Prokopowicz poprzez chodnik bez nazwy (rys. 1). Komora została wyeksploatowana w bryłowej partii złoża wielickiego, w bryle soli zielonej typowej. W końcowej fazie prac eksploatacyjnych była wybierana oraz urządzona z myślą o włączeniu do poszerzonej trasy turystycznej. Wymiary komory Jezioro Wessel

wynoszą: długość około 66 m, średnia szerokość około 20 m i wysokość od 11÷15 m.

W jej najbliższym otoczeniu od strony zachodniej znajduje się komora Niedziałek, która jest w stanie zawałowym oraz wyrobiska korytarzowe stanowiące drogi dojścia do komory Jezioro Wessel, tj. podłużnia Ferdinand d'Este od północy i poprzeczna Prokopowicz od wschodu. Od południa, częściowo nadpoziomowo sąsiaduje komora Wessel będąca w stanie zawałowym. Na poziomie II wyższym znajdują się komory: komora Regina Średnia, Działko Zawodzie, komora Kuczków, komora Pod Szybikiem w Mistrzowicach. Na poziomie I to między innymi komora Mistrzowice, komory Tragarские, Taras, komora Marcin i szereg szybików, jak: Mistrzowice, Kuczkowski, Wessel, Zawodzie, Kuczków.

^{*)} Politechnika Krakowska ^{**)} Kopalnia Soli „Wieliczka” S.A.



Rys. 1. Wyrobiska górnicze w rejonie Komory Jezioro Wessel

Fig. 1. Mining excavations in the area of the Wessel Lake Chamber

Wyrobisko komora Jezioro Wessel w drugiej połowie XX wieku (przełom lat 60. i 70.) uległo destrukcji (podługowanie solnych ociosów komory na głębokość nawet do 5 metrów) głównie na skutek niszczącego oddziaływania solanki nienasyconej, jaka została wprowadzona do niecki (jeziora) komory (rys.2).

W latach 80. wyrobisko zostało gruntownie odrestaurowane i zabezpieczone, a w latach 90. zostało zaadoptowane dla celów leczniczo-rehabilitacyjnych i taką funkcję pełni obecnie. Pomimo poważnych dewastacji spowodowanych lokowaniem w komorze nienasyconej solanki, obecny stan zachowania substancji zabytkowej po przeprowadzonych pracach zabezpieczających jest zadowalający. Podczas prac renowacyjnych zrealizowanych do 1988 r. wypełniono podługowania ociosów i filarów, odizolowano i podbudowano je od strony wyrobiska murem licowanym z cegły. Strop we wschodniej części komory zabezpieczono drewnianymi stopnicami wzmocnionymi dodatkowo ukośnymi, krótkimi zastrzałami mocowanymi w gniazdach ociosowych. Zmieniono nieco charakter zabezpieczenia chodnika północnego z półdrzwiami otwartymi od strony komory na półodrzwiu ze stojakami i barierkami oddzielającymi chodnik obejściowy od jeziora solankowego. Obudową drewnianą odrzwiową wzmocniono chodnik południowy, który w zasadniczej części przebiega w górotworze płonny. Lokalne uszkodzenia północnego ociosu wypełniono betonem, a w stropie zastosowano miejscowe, niewielkie deskowania. Naprawiono i zrekonstruowano zniszczone fragmenty przyociosowych pomostów widokowych oraz pomost nad jeziorem w zachodniej części komory. Zrekonstruowano dwie murowane bramy z napisem „Jezioro Wessel” i godłem górniczym. Rejony spękań powstałych w ociosach wzmocnione zostały techniką kotwienia zarówno w pierwszym etapie prac, jak i w czasie późniejszych działań podejmowanych po 1988 r. Od połowy lat 80. XX w. wyciek solanki migrującej przez strop komory w jej środkowej części ujmowany jest poprzez różnej konstrukcji okapy.

Przeprowadzone dotychczas działania zabezpieczające nie uszkodziły śladów techniki eksploatacji komory. Zachowały się na stropie i ociosach czytelne zaciosy, powstałe podczas ręcznego wykonywania wrębów. Na ociosach widoczne są kolejne fazy eksploatacji komory realizowanej 2,5 – 3 metrowymi warstwami. Przetrwiała data „1908” wykuta na solnym ociosie północnym, określająca precyzyjnie czas prowadzonych w tym miejscu komory prac górniczych. Lokalnie zachowały się ślady comiesięcznych odbiórek sztygarskich, malowane czerwoną farbą, które precyzują cykliczny postęp robót [1].

Charakter zastosowanych zabezpieczeń nie zburzył oryginalnych walorów widokowych całej przestrzeni komory. Podkreślić należy zwłaszcza nienaruszoną, pierwotną strukturę wszystkich sześciu przecinek tworzących wnęki ociosowe, poprowadzonych z południowego chodnika obejściowego do przestrzeni wyrobiska. Nie ucierpiały również walory przyrodnicze komory. Jednak, niestety, wskutek procesów deformacyjnych zachodzących w górotworze otaczającym komorę z upływem czasu powstały nowe spękania i odspojenia w caliznie, szczególnie w południowo wschodniej części komory oraz deformacji (wypiętrzeniu) uległ most solny znajdujący się w środkowej części komory.

Lokalizację wyrobisk w rejonie komory przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 2. Komora Jezioro Wessel lata 80 XX wieku Fot. Filip Kalwajtys

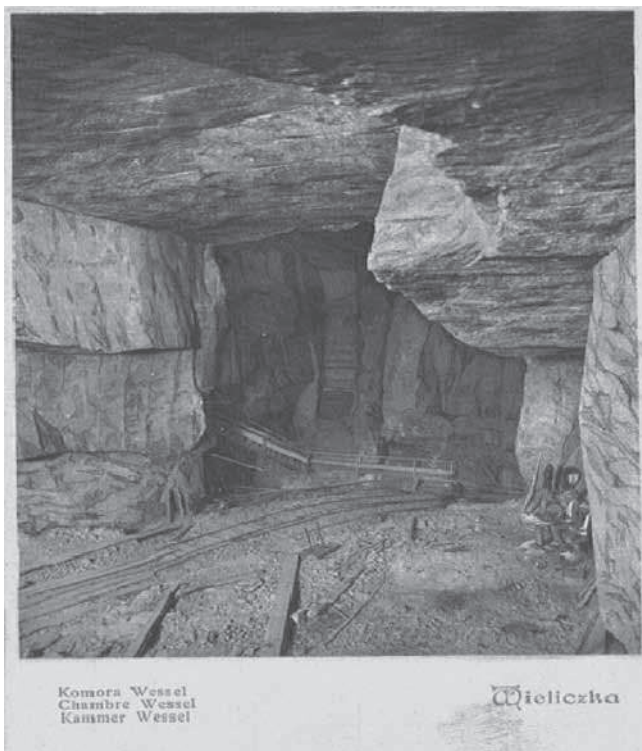
Fig. 2. The Wessel Lake Chamber in 1980s. Photo: Filip Kalwajtys

2. Historia komory Jezioro Wessel

Eksploatację komory podjęto w latach 80. XIX w. W pierwszej fazie prace skierowano na zachód od poprzeczni Wessel, a po szybkim dotarciu do granicy bryły, w drugiej kolejności – na wschód. W 1907 r. wyrobisko miało 80 m długości, a więc maksymalny zasięg po rozciągłości i do 15 m szerokości. W rejonie poprzeczni Wessel komora wybrana była do wysokości 15 m, natomiast wschodnia jej część tylko przystropowym, trzymetrowym pasem na finalnej szerokości. Powstał wówczas projekt połączenia tego rejonu wyrobiska chodnikiem podłużnym i szybikiem wentylacyjnym z poprzeczną Prokopowicz, który zrealizowano w 1908 r.

Wybieranie soli w komorze Jezioro Wessel prowadzono techniką wrębu ręcznego i strzelania. Roboty realizowano warstwami 2,5 ÷ 3 metrowej wysokości. Zachodnią część wybierano od spągu do stropu z urobku pozostawionego na spągu komory. Wschodnia część komory eksploatowana była w kierunku przeciwnym – od stropu do spągu. Kruchy soli powstałe w wyniku działania materiału wybuchowego, transportowano wagonikami podziemnej kolei do szybu Regis, przy którym na powierzchni funkcjonował młyn. Już w pierwszych latach XX w., po zorientowaniu się co do wielkości i ułożenia bryły komory Jezioro Wessel, podjęto decyzję o włączeniu wyrobiska po jego wyeksploatowaniu, do trasy turystycznej. Autorami pomysłu byli zapewne inicjatorzy budowy kaplicy Św. Kingi. Wybieranie soli prowadzono tak, by stworzyć oryginalną architekturę wnętrza komory. Potwierdza to wydana przez Jana Czerneckiego w 1906 r. pocztówka, ilustrująca prowadzone prace górnicze (rys.3).

W latach 1908÷1910 wykonano podłużny południowy chodnik obejściowy, a z niego sześć poprzecznych przecinek. Przed 1910 r. powstały dwa północne chodniki poprzeczne i łączący je szybik dla komunikacji z górną, galeryjną częścią komory. Następnie spąg wyrobiska zalany został nasyconą solanką, skierowaną tu ze zrobów poziomu I i okolicznych wycieków. Prace górnicze, jak i wystrój wnętrza ukończony został przed wybuchem I wojny światowej [2].



Rys. 3. Komora Jezioro Wessel w trakcie eksploatacji (Pocztówka, nakład J. Czerneckiego, Wieliczka 1906)

Fig. 3. The Wessel Lake Chamber during production (Postcard, published by J. Czernecki, Wieliczka (1906))

W końcowym etapie eksploatacji przewidziano dwa poziomy wyrobiska: dolny – dla komunikacji i na zbiornik solanki oraz górny – widokowy. Komorę podzielono również na część wschodnią i zachodnią bramą, którą utworzono z dwóch filarów przyociosowych zwieńczonych pomostem solnym. W filarach wykonano przebicia komunikacyjne. Otwór centralny bramy solnej sięga dna i wypełniony jest solanką. Komorę otaczają chodniki komunikacyjne. Chodnik południowy wykonany został na pograniczu bryły i górotworu płonne-

go, w odległości 3 do 8 m od ociosu południowego komory, z którą połączony jest wspomnianymi sześcioma przecinkami. Usytuowane pod różnymi kątami do osi podłużnej komory, tworzą oryginalne okna widokowe uskokowo zwięzające się przy stropie. Ponadto wydzielają wieloblokowe, nieregularne filary solne podtrzymujące strop i południową łuskę solną komory. Północny chodnik komunikacyjno-widokowy powstał w rezultacie podebrania z tej strony łuski solnej w bezpośrednim sąsiedztwie komory (rys. 4). Wzmocniono go obudową drewnianą wykonaną z półdrzwi podwójnych z zastrzałami. Strop i ocios za obudową wyłożony został deskami, a dla kontrastu elementy zabezpieczenia drewnianego pomalowano na biało. Zachodnie obejście komory tworzy drewniany pomost przerzucony nad solanką, natomiast wschodnie – wyżej usytuowany spąg [2, 3].

Przy wejściu do komory, w poprzeczni Wessel i przy wschodnim wyjściu do poprzeczni Prokopowicz zbudowano ceglane bramy z lukowymi zwieńczeniami i napisem „Jezioro Wessel” oraz ozdobiono godłem górniczym. Komunikację pomiędzy dolną i górną częścią komory umożliwia szybik i dwa kilkumetrowe chodniki na obu poziomach. Wszystkie trzy wyrobiska wydrążono w solnej łusce ochronnej ociosu północnego. Górna kondygnacja wyposażona została w przyociosowe pomosty widokowe, których drewniane konstrukcje nośne posadowiono w soli. Nad bramą solną wykonano łącznik komunikacyjny, zabezpieczony, podobnie jak pomosty, barierkami drewnianymi.

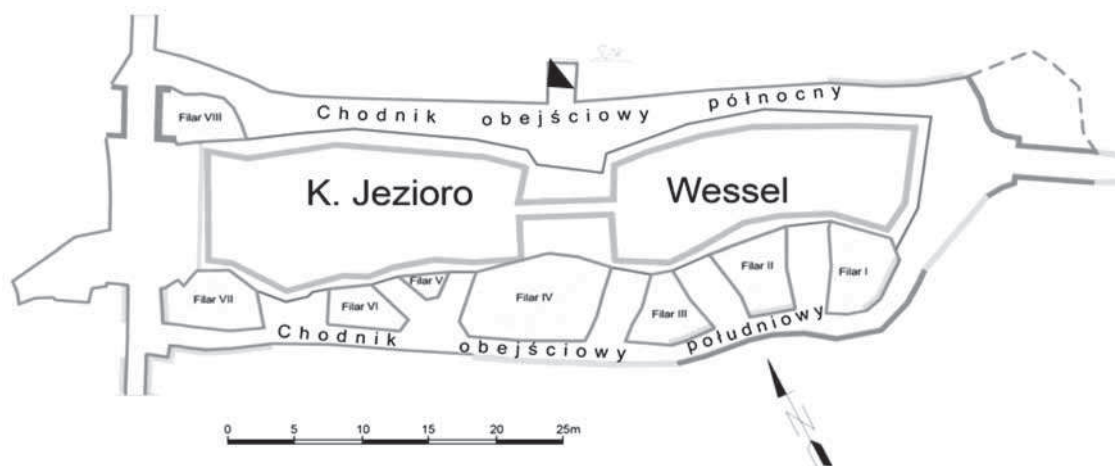
3. Budowa geologiczna i warunki hydrogeologiczne

Komora Jezioro Wessel wyeksploatowana została w bryłowej partii złoża Wieliczka, w bryle soli zielonej typowej ZBt. Ta partia złoża spoczywa na utworach złoża pokładowego, budującymi północno zachodni kraniec struktury zwanej kopułą Grot Kryształowych. Bryła komory w przekroju poziomym ma kształt wydłużonej elipsy, której dłuższa oś przebiega w kierunku NWW – SEE

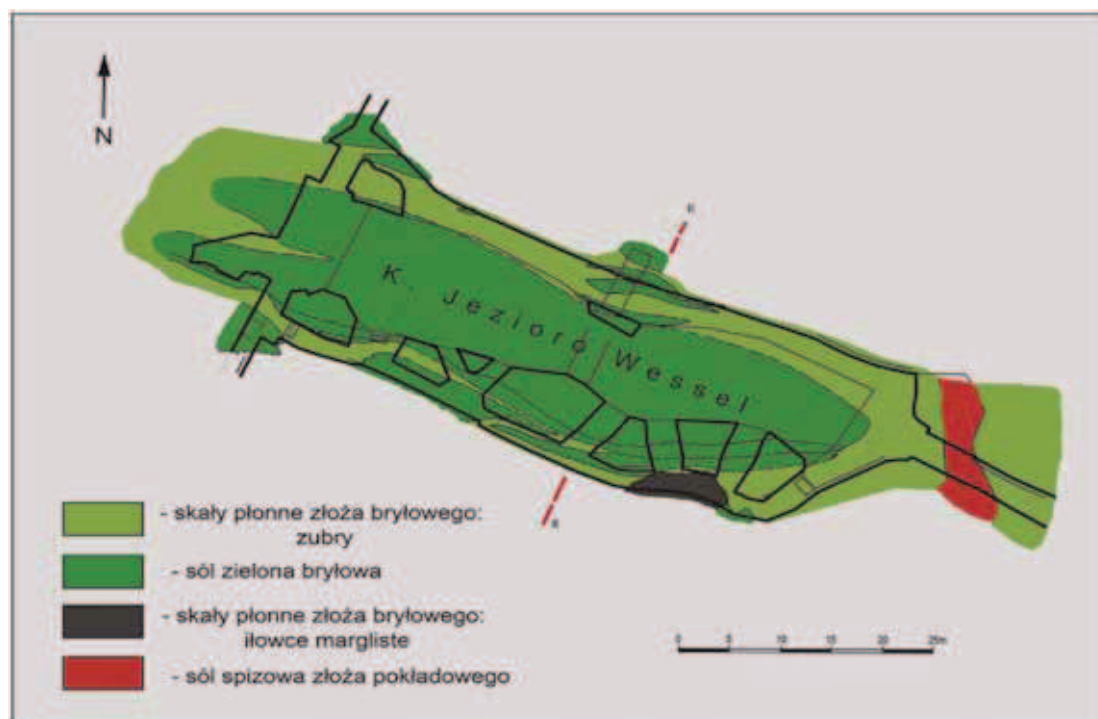
Analizowana partia górotworu charakteryzuje się obecnością blisko siebie położonych brył soli zielonych typowych (laminowanych) ZBt oraz wielokryształicznych (witrażowych) ZBw. Większość z nich wykazuje pewien stopień uporządkowania, w przekroju poziomym dłuższe ich osie układają się na kierunku NWW – SEE. Skąły płonne wykształcone są w postaci iłowców marglistych i zubrów. W zubrach spotykane są fragmenty skał fliszu karpackiego - bloki szaro-kremowych piaskowców oraz pstrych iłowców. Spękania w skałach wypełnione są wtórnie wykształconą solą włóknistą. W bryłach soli zielonej typowej ZBt występują laminy czystych soli tak zwanych jarczystych. Są to przewarstwienia o miąższości dochodzącej do kilku cm zbudowane z czystych, rozsypliwych soli. Są one niekorzystne ze względu na stan techniczny komór – często na ich bazie następuje pęknięcie ociosów i stropów komór. Zjawisko to obserwowane jest w komorze Jezioro Wessel w jej południowej części. Wzdłuż przewarstwienia soli jarczystej w jednej z wnek w galerii obejściowej powstało pęknięcie skorupy solnej.

Bryła komory jezioro Wessel jest lekko pochylona w kierunku na NNE, pod kątem około 10÷15°. Cechą charakterystyczną dla niej jest przyleganie do niej mniejszych brył soli zielonej typowej ZBt oraz soli zielonej wielokryształicznej ZBw. Bryły te przylegają ściśle, lub też oddzielają je od bryły komory niewielkie partie zubrów. Widoczne jest to szczególnie w południowej galerii obejściowej komory i w ociosach wnek zlokalizowanych w jej obrębie.

Komora Wessel wykonana została w bryle soli zielonej typowej ZBt. W chodniku w rejonie nad komorą Jezioro Wessel



Rys. 4. Komora Jezioro Wessel, rzut spągu
Fig. 4. The Wessel Lake Chamber, floor view



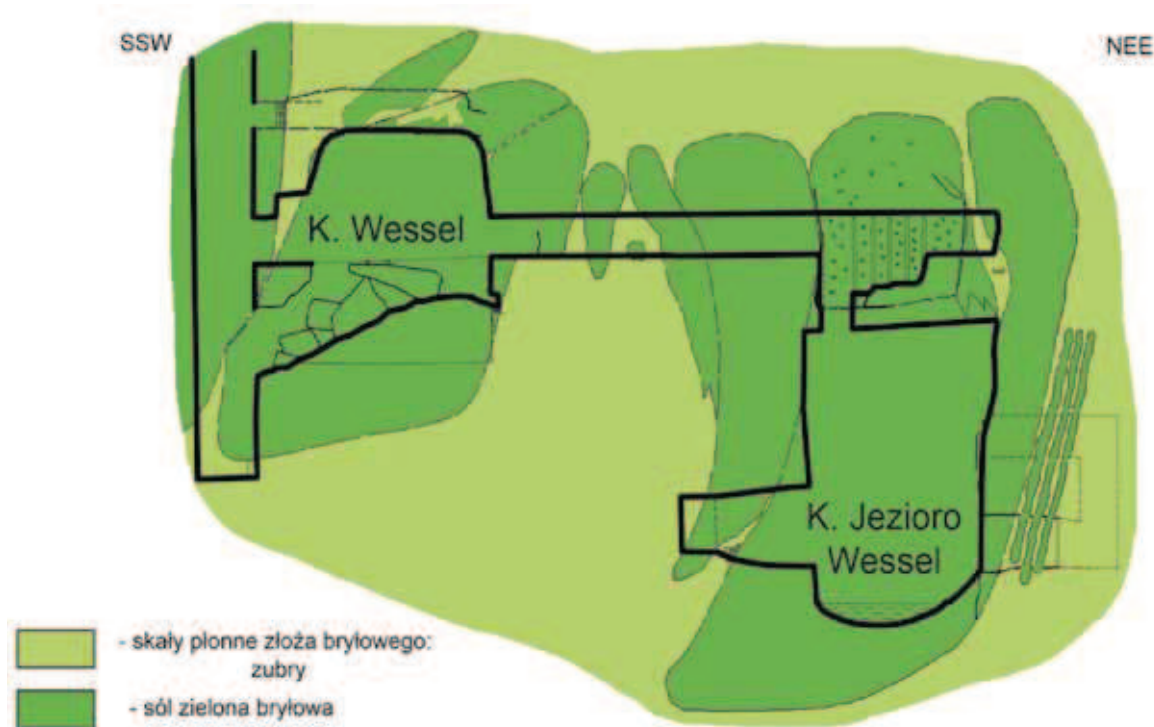
Rys. 5. Komora Jezioro Wessel mapa geologiczna rzut spągu (rys. J. Przybyło)
Fig. 5. The Wessel Lake Chamber, geological map, floor view (fig. J. Przybyło)

odslaniają się blisko siebie położone bryły soli zielonej typowej ZBt oraz wielko krystalicznej ZBw. Z uwagi na bardzo bliską lokalizację pod chodnikiem, komory Jezioro Wessel, zinterpretowano je jako kontynuację brył odsłaniających się na poziomie III oraz głównej bryły tej komory. W tej bryle w chodniku odsłania się skompresowana podsadzka wypełniająca wyrobisko dawnej eksploatacji. Wyrobisko to można wiązać z eksploatacją wyżej położonej komory Mistrowice. Można zatem przyjąć, że nad komorą Jezioro Wessel w tej samej bryle soli zielonej typowej ZBt prowadzono niegdyś eksploatację, która była kontynuacją prac górniczych wykonywanych na poziomie I. Te dawne wyrobiska, obecnie niedostępne, są źródłem współczesnych dopływów solanki do komory

Sytuację geologiczną górotworu w najbliższym otoczeniu komory Jezioro Wessel przedstawiono na rzucie poziomym spągu komory (rys. 5) oraz na przekroju pionowym (rys. 6).

Komora Jezioro Wessel zlokalizowana jest w części złoza brylowego zaliczonej do I stopnia zagrożenia wodnego. Złoże bryłowe, z uwagi na dużą w nim obecność skał ilastych, w stanie nienaruszonym spełnia rolę naturalnej izolacji kopalni przed dopływem wód pozazłożowych, tj. z neogeńskich warstw chodenickich (przyległych do złoza od północy) oraz z nadległego poziomu czwartorzędowego. Omawiana komora znajduje się w znacznej odległości od północnej strefy granicznej, jak również od występujących w kopalni niewielkich dopływów wód z warstw podsolnych.

W historii kopalni zanotowano szereg zawałów komór (wyeksploatowanych na poziomie I) dochodzących do powierzchni. W wyniku tych zawałów powstały na powierzchni znacznych rozmiarów zapadliska, a do kopalni zwykle przedostawała się woda czwartorzędowa, poprzez spękania i szczeliny rozluźnionego górotworu [4]. Oprócz zapadlisk terenu, wody czwartorzędowe mogą dopływać do kopalni



Rys. 6. Przekrój geologiczny przez górotwór w najbliższym otoczeniu komory Jezioro Wessel (rys. J. Przybyło).
Fig. 6. Geological cross section of the rock mass in the closest vicinity of the Wessel Lake Chamber (fig. J. Przybyło)

wzdłuż wyrobisk pionowych (szybów i otworów wiertniczych).

Bezpośrednio nad analizowaną komorą Jezioro Wessel, nie zarejestrowano żadnego zapadliska – zawału sięgającego do powierzchni. Nie wykonano tutaj także wyrobisk wychodzących poza złożę. W niewielkiej jednak odległości (ponad 50 m na północny wschód i około 100 m na południowy zachód) od komory powstały w historii kopalni następujące zapadliska [4]:

- w komorze Tragarские (XVII w.), rozległe zapadlisko z zapadnięciem się czterech domów i ogrodu,
- w komorze Kuczków (XVIII w.), którego skutkiem było silne zawilgocenie komory,
- w komorze Oszust (XVII w.) do komory wdarła się woda z powierzchni zagrażając również sąsiednim wyrobiskom: Gospoda, Janik i Michał.

Prawdopodobnie z ww. zapadliskami wiąże się w znacznej mierze zawodnienie górnych poziomów kopalni w omawianym rejonie.

Zawodnienie górnych poziomów w analizowanym rejonie może być także związane z dopływem wód poprzez nieczynne i niedostępne obecnie szyby, których dokumentacja jest bardzo skąpa, oraz przez otwory wiertnicze z powierzchni.

W komorze Jezioro Wessel zarejestrowany jest wyciek WIII-20 z szybika (rys. 7), którego wylot znajduje się w stropie komory, przy jej południowo – zachodnim ociosie. Wyciek został ujęty w szybiku i odprowadzony na spąg komory. Wielkość dopływu do ujęcia wynosiła $100 \div 480$ kropli/min. występowały też przecieki poza ujęcie o wielkości do 50 kropli/min. Obecnie ujęcie w szybiku komory Jezioro Wessel jest niesprawne i zbiera tylko część dopływu wynoszącą około 300 kropli/min. Natomiast przy południowym ociosie komory (na S od filara w jej środkowej części) występują wycieki kropłowe wielkości ok. 200 kropli/min. rozprzestrzenione na powierzchni około 16 m^2 . Natomiast w stropie zachodniej części komory występuje pęknięcie w kształcie litery „L”, z którego wyciek wynosi około 50 kropli/min. Dopływy so-

lanki do komory Jezioro Wessel rejestrowano już od 1944r. w ilości $0,24 \div 0,7 \text{ dm}^3/\text{min}$.



Rys. 7. Szybik Wessel – poz. III. Fot. Jerzy Przybyło 2011r.
Fig. 7. The Wessel's foreshaft – Level III. Photo: Jerzy Przybyło (2011)

Dopływ w stropie komory Jezioro Wessel pochodzi przypuszczalnie z szybika Wessel (poz. I – III), zlokalizowanego na S od komory Wessel (rys. 7). Wlot do niego znajduje się nad poz. II przy upadowej z podłużni Przykos, gdzie rejestrowano wyciek około 600 kropli/min. Obecnie dojście do szybika możliwe jest z podłużni Wessel na poz. III i tu występują gęste wycieki kropłowe solanki nasyconej w ilości około 500 kropli/min. Wyciek w szybiku Wessel występuje już na planie odwadniania kopalni z roku 1818.

4. Stan techniczny komory Jezioro Wessel

Przeprowadzona inwentaryzacja stanu technicznego komory wykazała, że w komorze Jezioro Wessel na skutek naturalnego procesu deformacyjnego przebiegającego w otaczającym ją górotworze oraz oddziaływania na nią między innymi wyżej leżącej komory Wessel nastąpiło znaczne pogorszenie jej stanu technicznego. Objawem ww. oddziaływań jest między innymi zaciskanie się wyrobiska widoczne w postaci wypiętrzania się mostu solnego, a szczególnie znaczny wzrost spękań i rozwarstwień calizny solnej filarów między przecinkami (niszami) zlokalizowanymi w ociosie południowym komory z widoczną tendencją do dalszego rozwarstwiania się po przewarstwieniach. Szczególnie duże szczeliny (do kilkunastu centymetrów) występują w stropie i ociosach chodników pomiędzy filarami w części południowej komory. Charakter i kierunek tych szczelin wskazuje na dążenie do zniszczenia filarów tj. odpajanie się dużych fragmentów ich calizny solnej i przemieszczanie do wewnątrz komory. Stwierdzono również szczelinę pionową na ociosie południowym powyżej filarów, 1, 2, 3, jak i w ich części przyspągowej. Również lokalnie (głównie w rejonie mostu solnego) rozwarstwienia występują na ociosie północnym komory. W efekcie parcia bocznego na filary mostu solnego wystąpiło jego wypiętrzanie, a zniszczeniu uległy elementy drewniane – rozpory (z okrągłaków $\varnothing 15\div 18$ cm) między tymi filarami. Dotychczasowa obudowa drewniana chodników odchodowych północnego i południowego, jak również galeryjek i pomostów jest w dobrym stanie technicznym. Niewielkiemu rozwarstwieniu uległ mur z cegieł przy wlocie wschodnim komory.

5. Analiza geomechaniczna rejonu komory Jezioro Wessel

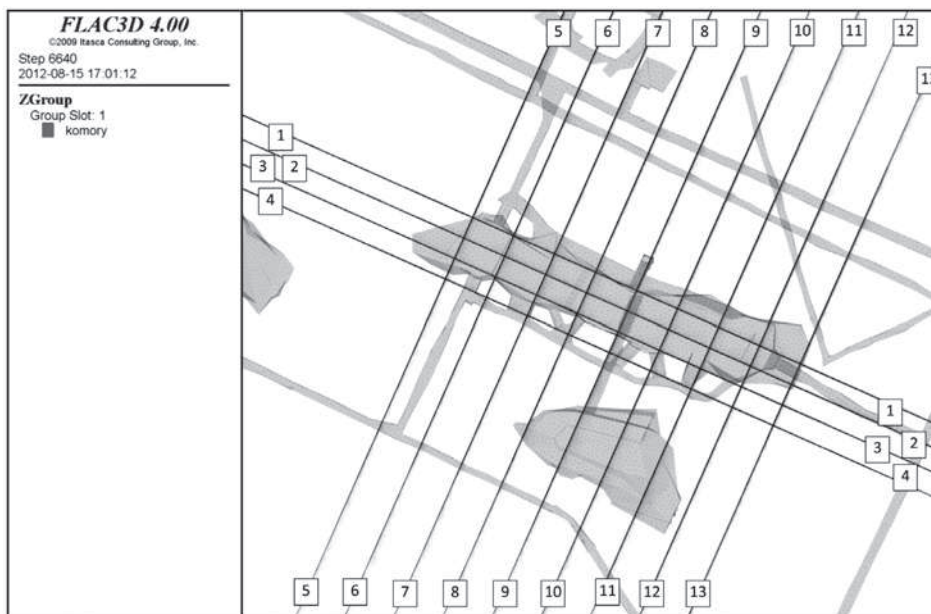
W ramach dokumentacji projektowej zabezpieczenia górniczego komory Jeziora Wessel została wykonana analiza geomechaniczna [5] obejmująca:

- analizę rozkładu naprężeń górotworu w przedmiotowym rejonie,
- ocenę zagrożenia stateczności górotworu w rejonie komory Jezioro Wessel,
- ocenę wpływu analizowanego układu komór na powierzchnię terenu.

Obliczenia numeryczne przeprowadzono przy wykorzystaniu programu metody różnic skończonych FLAC 3D v. 5.0. Program FLAC używa jawnej metody kolejnych kroków dla rozwiązania układu równań różniczkowych, po wykonaniu których zmienia każdorazowo układ równań. Umożliwia prowadzenie symulacji numerycznych dla złożonych zagadnień geotechnicznych i geomechanicznych z uwzględnieniem skomplikowanych warunków brzegowych. Dla analizy rozkładu naprężeń oraz oceny zagrożenia stateczności górotworu przeprowadzono obliczenia wskaźnika stateczności, a wyniki zaprezentowano dla rozkładu „stopnia wyęźnienia”. Przez pojęcie „stopnia wyęźnienia” należy rozumieć stosunek naprężenia maksymalnego wynikającego z hipotezy Coulomba-Mohra do średniego naprężenia zredukowanego w elemencie. Wyniki przeprowadzonych obliczeń numerycznych zaprezentowano dla wybranych przekrojów, których rozmieszczenie przedstawiono na rysunku nr 8.

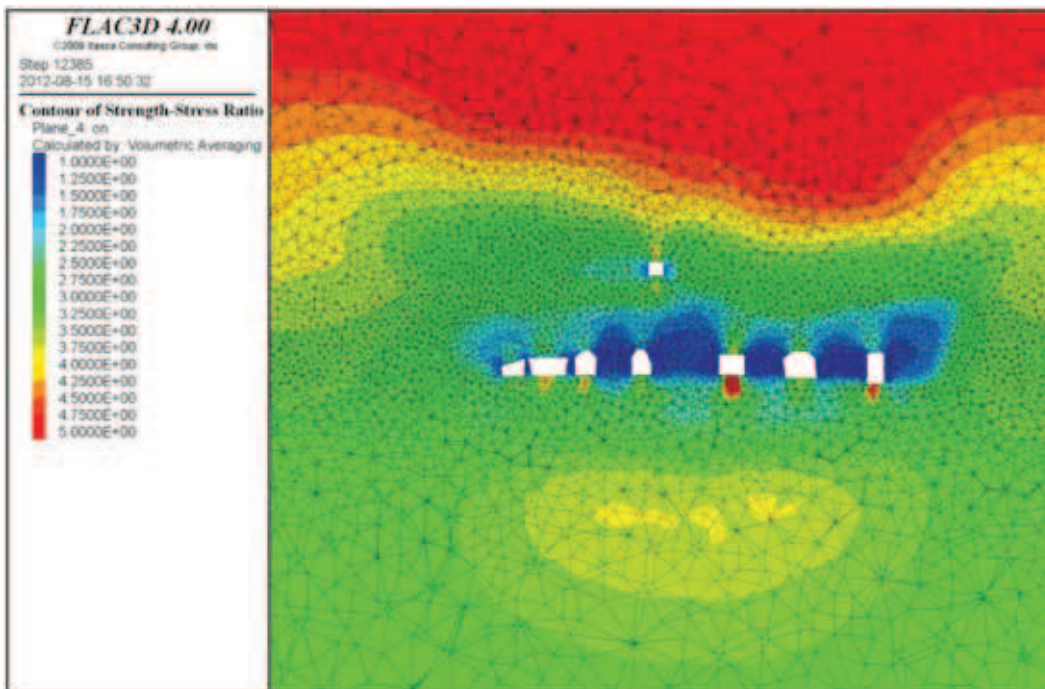
Przeprowadzone obliczenia numeryczne wskazują, że maksymalne naprężenia rozciągające w stropie wynoszą ok. 660 kPa. Uzasadnia to zastosowanie kotwienia oraz podparcia stropu. Maksymalne naprężenia ściskające wynoszą około 8,5 MPa. Przy czym strefy wysokich naprężeń ściskających charakteryzują się lokalnym zasięgiem i występują przede wszystkim w ociosie komory Wessel oraz w filarach i ociosie komory Jezioro Wessel.

Mapę wskaźników wyęźnienia przedstawiono przykładowo w przekroju 4-4, którego lokalizację zaprezentowano na rysunku 8. Wskaźnik wyęźnienia, który wykorzystano do oceny stopnia zagrożenia stateczności górotworu, przyjmując wartości bliskie 1,0 (kolor niebieski) oznacza stan bliski zniszczeniu, natomiast wartość 5,0 wskazuje na brak oznak zniszczenia. Kolor biały na rysunkach 9 i 10 oznacza wyrobiska (pustki)



Rys. 8. Przekroje wykorzystane do prezentacji wyników analizy geomechanicznej dla komory Jezioro Wessel.

Fig. 8. Cross sections used to present the results of geomechanical analysis for the Wessel Lake Chamber



Rys. 9. Mapa wskaźników wyężenia w przekroju nr 4-4
 Fig. 9. Map of equivalent strength indexes in cross section no. 4-4

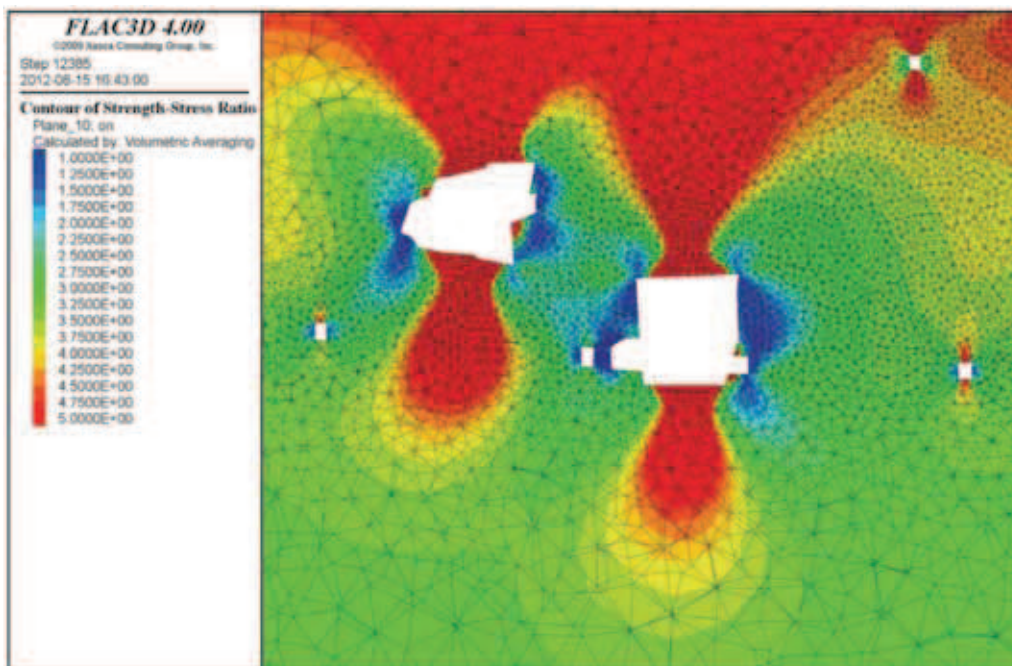
poeksploatacyjne. Analiza rysunku 9 potwierdza występowanie wyężen któremu ulegają filary po południowej stronie komory Jezioro Wessel. Tak znaczne wyężenie prowadzi do spękań w ociosach i stropie filarów. Otoczenie komór Wessel i Niedziałek również znajduje się w stanie znacznego wyężenia. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń numerycznych, można stwierdzić, że wpływ komory Niedziałek na stateczność komory Jezioro Wessel jest niewielki. Natomiast wpływ komory Wessel jest znacznie większy, co widać zwłaszcza na przekroju 10-10 (rys. 10), ale nie zagraża to stabilności komory.

Wpływ komór na powierzchnię terenu jest niewielki, chociaż większa część odkształceń występuje w fazie defor-

macji reologicznych soli, których w niniejszej analizie nie uwzględniono.

Na podstawie przeprowadzonej analizy numerycznej można ponadto stwierdzić, że:

- Największe obszary o znacznym wyężeniu występują w ociosach komory Jezioro Wessel oraz w filarach po stronie południowej. Filary, w związku z ich niewielką powierzchnią przekroju poziomego, znajdują się w stanie uplastycznienia.
- Rezultaty przeprowadzonych obliczeń numerycznych wskazują na występowanie stref wysokich naprężeń oraz rejonów górotworu o znacznym wyężeniu znajdują



Rys. 10. Mapa wskaźników wyężenia w przekroju nr 10-10
 Fig. 10. Map of equivalent strength indexes in cross section no. 10-10

potwierdzenie w wynikach obserwacji przeprowadzonych podczas wizji lokalnej. Na rozwój procesów zniszczenia w otoczeniu komory Jezioro Wessel wskazują obserwowane spękania górotworu.

- Wpływ komory Jezioro Wessel na powierzchnię jest niewielki. Niecka osiadań nad komorą będzie powoli powiększać się na skutek reologicznego charakteru soli, jednak zjawisko to nie powinno mieć gwałtownego przebiegu.
- Ze względu na występowanie stref znajdujących się blisko granicy plastyczności oraz na reologiczny charakter soli, należy liczyć się ze stałym narastaniem deformacji. Przejawem tych procesów będzie między innymi powiększanie się szczelin w filarach po południowej stronie komory.

W związku z powyższym należy dążyć do zabezpieczenia ociosów komory Jezioro Wessel, a szczególnie – filarów między przecinkami (niszami) po południowej stronie komory. Zabezpieczenia takie można wykonać na przykład poprzez kotwienie, jak i wypełnianie szczelin.

6. Zakres projektowanych robót zabezpieczających

W celu wzmocnienia filarów między przecinkami (niszami) projektuje się [6] ich kotwienie w sposób przedstawiony na rysunku 11, poprzez m.in.: wykonanie ankrowania filarów kotwami szkłoepoksydowymi długości około $3 \div 6$ mb z podkładkami i nakrętkami zabudowanymi w siatce kotwienia $1,0 \times 1,0 \text{ m} \pm 0,2 \text{ m}$. Kotwy osadzone będą prostopadłe do płaszczyzn ociosu i osadzone w górotworze spoiwem na bazie cementów mineralnych. Kotwienie stropu przecinek między filarami wykonane powinno zostać kotwami szkłoepoksydo-

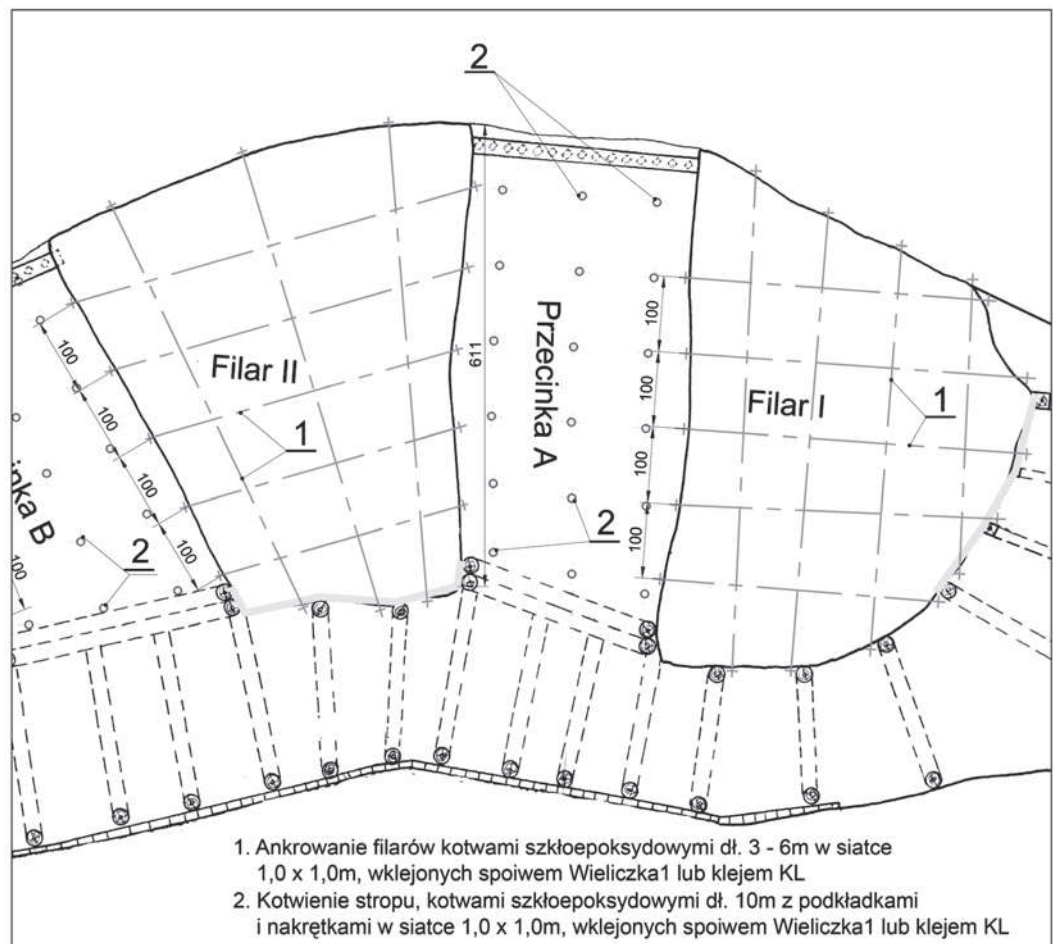
wymi o długości 10 m z podkładkami i nakrętkami. Siatka kotwienia powinna wynosić $1,0 \times 1,0 \text{ m} \pm 0,2 \text{ m}$. Kotwie osadzone będą w górotworze na całej ich długości w spoiwie mineralnym.

Po zabezpieczeniu filarów pozostała powierzchnia ociosu zostanie zabezpieczona obudową kotwową z kotew długich, szkłoepoksydowych o długości 10 m z nakrętkami i podkładkami, w siatce kotwienia $1,0 \times 1,0 \text{ m} \pm 0,2 \text{ m}$ i utwierdzonych w górotworze na całej ich długości klejem KL lub spoiwem Wieliczka I w zależności od stwierdzonego stanu górotworu.

Ocios północny, zachodni i wschodni projektuje się zabezpieczyć obudową kotwową z kotew szkłoepoksydowych o długości 10 m z podkładkami i nakrętkami. Kotwy należy generalnie zabudowywać w siatce $1,5 \times 1,5 \text{ m} \pm 0,2 \text{ m}$, a lokalnie tj. np. w rejonie mostu solnego oraz narożnika północno – zachodniego w siatce $1,0 \times 1,0 \text{ m} \pm 0,2 \text{ m}$. Kotwy zabudowane będą generalnie prostopadłe do płaszczyzny ociosów przy czym w rejonie naroży komory w sposób wachlarzowy.

W rejonie północnym komory w miejscach gdzie ociosy wzmocnione były kotwami i torkretem planowane jest okruszenie odpajającego się torkretu, a powierzchnia ta powinna zostać osłonięta siatką ochronną Hucka, mocowaną kotwami projektowej obudowy kotwowej.

Po przeprowadzeniu analizy stanu technicznego mostu w odniesieniu do naturalnego procesu dążącego do zaciskania wyrobiska, którego efektem jest wypiętrzenie przęsła mostu, obecnie nie ma konieczności prowadzenia prac zabezpieczających. Planowany jest jedynie demontaż zniszczonych rozpór z okrągłaków $\varnothing 15 \text{ cm}$, znajdujących się pod ww. przęsłem i zabudowę w to miejsce 3 warstw okrągłaków $\varnothing 20 \text{ cm}$ i o długości około 1,9 m, których końce należy osadzić w gniazdach filarów mostowych o głębokości około 15 cm.



Rys. 11. Sposób zabezpieczenia filarów i przecinek w rejonie ociosu południowego komory Jezioro Wessel

Fig. 11. Method of securing pillars and crosscuts in the area of the southern sidewall of the Wessel Lake Chamber

7. Wnioski

W trakcie eksploatacji komory Jezioro Wessel w początkach wieku XX, została podjęta decyzja o włączeniu komory do funkcjonującej w tym czasie trasy turystycznej co było powodem powstania wyrobiska o skomplikowanej układzie architektonicznym a zarazem niskiej wytrzymałości geomechanicznej. Komora Jezioro Wessel wyeksploatowana została w bryłowej partii złoże, w bryle soli zielonej typowej, jednak południowy chodnik obejściowy został wybrany na pograniczu bryły i górotworu płonnego.

Analiza geomechaniczna wykazała występowanie stref wysokich naprężeń oraz rejonów górotworu o znacznym wyęzieniu które znajdują się w rejonie południowego chodnika obejściowego i w ociosach komory Wessel co znajduje potwierdzenie w wynikach obserwacji przeprowadzonych podczas wizji lokalnej. Na rozwój procesów zniszczenia w otoczeniu komory Jezioro Wessel wskazują obserwowane spękania górotworu. Na podstawie przeprowadzonej analizy geomechanicznej należy stwierdzić, że na warunki komory Jezioro Wessel wpływ wywiera sąsiedztwo komory Wessel. Wpływ ten nie stanowi jednak zagrożenia dla stateczności przedmiotowej komory. Konieczne jest zabezpieczenie ociosów komory Jezioro Wessel, a szczególnie – filarów między przecinkami (niszami) po południowej stronie komory. W związku z niewielką powierzchnią przekroju poziomego filarów przy południowym chodniku obejściowym, znajdujących się w stanie uplastycznienia, należy je zabezpieczyć poprzez spięcie kotwami szkłoepoksydowymi, wklejonymi

na całej długości mieszając Wieliczka 1 lub klejem KL z podkładkami i nakrętkami z obu stron. Stropy w przecinkach pomiędzy filarami powinien zostać wzmocniony kotwami szkłoepoksydowymi, wklejonymi na całej długości osadzonych w siatce 1,0m × 1,0m. Końcówki kotew powinny być maskowane w sposób nie powodujący zmian w zabytkowym charakterze wyrobiska

Literatura

1. *J. Charkot, W. Gawroński.*: Studium Historyczno Konserwatorskie Komory Jezioro Wessel na poziomie III Kopalni Soli Wieliczka S.A. mat. Arch. Kopalni Soli „Wieliczka” S.A. 2012
2. *W. Jaworski, P. Kurowski, R. Kurowski.*: Charakterystyka zabytkowych wyrobisk w kopalni soli w Wieliczce, „SMDŻ”, Wieliczka, tom XIII, 1984, s.17 ÷ 107.
3. *Ł. Walczy.*: Rozwój przestrzenny i przemiany w technice eksploatacji w kopalni wielickiej w latach 1810 ÷ 1918, „SMDŻ”, Wieliczka, tom XXII, 2002, s. 23 ÷ 54.
4. *K. Kolasa, K. Kubik.*: Poeksploatacyjne zapadliska wielickie, „SMDŻ”, Wieliczka, tom XII, 1983, s. 7 ÷ 64.
5. *M. Cala, J. Flisiak, M. Bellej, M. Kowalski, A. Stopkowicz.*: Wykonanie analizy geomechanicznej metodami numerycznymi dla komory Jezioro Wessel Praca pod kierunkiem prof. Marka Cały, Kraków. Opracowanie niepublikowane 2012
6. Projekt Techniczny Zabezpieczenia Komory Jezioro Wessel na poziomie III Kopalni Soli „Wieliczka” S.A. KGHM CUPRUM sp. z o. o. – CBR we Wrocławiu, 2012 r.