

Janusz Chmura*, Andrzej Lasoń**

PROJEKT ZABEZPIECZENIA KOMORY „WAŻYN”***

1. Wstęp

Kilkusetletnia działalność górnicza spowodowała znaczne sferforowanie górotworu bocheńskiego. Działanie czasu doprowadziło do niszczenia unikatowego zabytku ukształtowanego działalnością wielu pokoleń górników. Spektakularnym przykładem destrukcyjnej działalności górotworu są postępujące zniszczenia komory „Ważyn”. Proces zaciskania wyrobisk w kopalni bocheńskiej jest zdecydowanie wyraźniejszy niż w kopalni wielickiej. Jest to na pewno spowodowane charakterystycznym układem tego złoża. Dlatego też niezbędne jest prowadzenie prac zabezpieczających, zmierzających do zachowania podziemnej, unikalnej substancji zabytkowej. Temu celowi miał służyć projekt zabezpieczenia komory „Ważyn” (rys. 1).



Rys. 1. Komora „Ważyn” — widok części zachodniej

* Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

** Zakład Robót Górniczych i Wysokościowych „AMC”

*** Artykuł wykonany w ramach pracy finansowanej przez Komitet Badań Naukowych nr 5 T12A 024 23

Założeniem podstawowym przy opracowaniu projektu zabezpieczenia było wprowadzenie takiego systemu zabezpieczającego, by przy zapewnieniu pełnego bezpieczeństwa osobom przebywającym w komorze nie wprowadzać dodatkowej obudowy zawężającej światło wyrobiska. Te podstawowe cele były przesłankami wyjściowymi do opracowania projektu technicznego zabezpieczenia komory „Ważyn”.

2. Warunki geologiczno-hydrogeologiczne w rejonie komory „Ważyn”

Budowa geologiczna

Złoże solne Bochni położone jest na granicy dwóch wielkich krain geograficznych: kotliny sandomierskiej i Karpat fliszowych. Złoże to jest tektonicznym wzbogaceniem chemicznych osadów (seria ewaporatów) zamkniętej zatoki morskiej, istniejącej w dolnym tortonie w zapadlisku przedkarpackim. W ostatnim etapie piętra opolskiego nastąpiła końcowa faza górotwórcza Karpat, w wyniku której utwory fliszu karpackiego zostały wydźwignięte, spiętrzone w fałdy i obalone z południa na północ. Połączone to było ze znacznym przesunięciem tych utworów na północ. Jedno z tych sfałdowań stanowi antyklina bocheńska, której oś o kierunku równoleżnikowym wschód-zachód przebiega przez środek Bochni. W północnym skrzydle fałdy bocheńskiego znajduje się obecnie w dużej mierze wyeksploatowane złoże solne. Fałd bocheński uległ w swej górnej części erozyjnemu zniszczeniu, co ułatwiło udostępnienie i odsłonięcie złoża soli.

Występująca w tym rejonie seria ewaporatów składa się z warstw soli kamiennej i warstw soli kamiennej i warstw płonych (rys. 2):

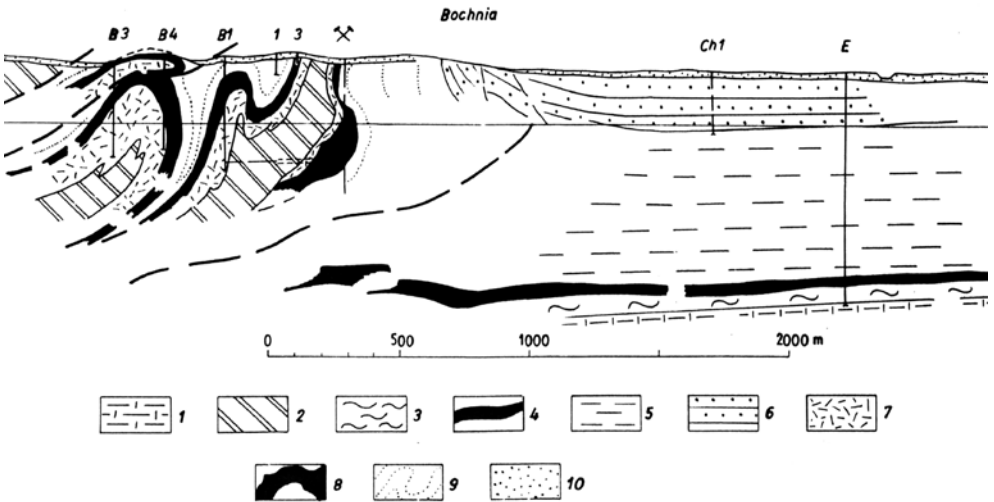
- ilów marglistych,
- ilowców anhydrytowych,
- ilowców solnych.

W wyniku plastyczności soli, w czasie sfałdowania pierwotnego złoża osadowego warstwy solne uległy większemu przemieszczeniu i wyciskaniu niż sztywniejsze warstwy płone, co spowodowało wzbogacenie złoża solnego Bochni. Ma ono kształt stromo nachylonej soczewy, o kierunku rozciągłości wschód-zachód na długości około 3600 m i generalnym upadzie na południe. Średnie nachylenie złoża w górnej części wynosi około 50°, a poniżej od 30° do 45°. Szerokość złoża jest zmienna i wynosi od kilkudziesięciu metrów u góry do kilkuset metrów na głębokości 300+400 m.

W rejonie komory „Ważyn” złoże solne budują trzy kompleksy solne rozdzielone skałami płonymi. Są to:

- 1) kompleks soli południowych „S” zbudowany głównie z soli średnio- i gruboziarnistych o strukturze „porfirowej”, partie najczystsze odznaczają się niewyraźną pasiastością, tzn. sól biała laminowana jest solą szarą;

- 2) kompleks soli środkowych „M” tworzy kilka warstw o zróżnicowanej budowie strukturalno-teksturalnej;
- 3) kompleks soli północnych to kompleks naprzemianległych warstw soli i iłowca anhydrytowego o miąższości od 0,1 do 1,0 m; sole te są zwykle drobnoziarniste, ciemnoszare zanieczyszczone ılem i anhydrytem.



Rys. 2. Przekrój geologiczny przez złoże bocheńskie wg [9]: 1 — kreda, 2 — utwory fliszu karpackiego, 3 — utwory spągowe serii solnej, 4 — seria solna, 5 — warstwy chodenickie, 6 — warstwy grabowieckie, 7 — utwory spągowe serii solnej, 8 — seria solna nasunięta, 9 — utwory stropowe serii solnej, 10 — czwartorzęd

Wskutek silnych zaburzeń tektonicznych doszło miejscami do wyklinowania się utworów rozdzielających sole środkowe i północne, co powoduje ich bezpośredni kontakt, ma to miejsce w rejonie komory „Ważyn” na poziomach I i III. W efekcie czego doszło do tzw. tektonicznej rafinacji soli kamiennej, czyli znacznego wzrostu miąższości warstw solnych. Utwory płone rozdzielające kompleksy solne to głównie ıłowce anhydrytowe oraz zubry, odznaczają się dużym zróżnicowaniem petrologicznym oraz większą sztywnością w procesach fałdowania w stosunku do mas solnych — co spowodowało ich odklucie.

Komora „Ważyn” została założona w prawie pionowo zalegającej warstwie soli środkowych, wzbogaconej tektonicznie pomiędzy poziomami I a V. Wspomniana warstwa poniżej poziomu V zmienia zaleganie, na około 40+50° na S, redukując swą miąższość z 50+60 m do około 10 m, natomiast powyżej poziomu I ulega wyklinowaniu. Natomiast zwielokrotnieniu miąższości podlegają wówczas sole północne, które kontaktują z solami środkowymi, częściowo z pominięciem wyklinowanego ıłowca anhydrytowego który je przedziela w nor-

malnym położeniu. Od strony południowej występuje duży kompleks skal płonnych, o miąższości rzędu 10÷40 m zalegający prawie pionowo (około 70÷80° na S), który oddziela sole środkowe od soli południowych. W obrębie kompleksów solnych występują silne zaburzenia tektoniczne oraz zaburzenia wywołane procesami sedymentacyjnymi. Powodują one silny wzrost anizotropowości górotworu.

Warunki hydrogeologiczne

Kopalnia Soli „Bochnia” zaliczona jest do pierwszego stopnia zagrożenia wodnego. Dotychczasowe rozpoznanie warunków hydrogeologicznych prowadzi do wniosku, iż obecnie kopalni nie zagraża niebezpieczeństwo katastrofalnego wdarcia się wód do wyrobisk górniczych. Główne zagrożenie wodne stwarzają wody z czwartorzędowego nadkładu, które przedostają się do wyrobisk dołowych poprzez źle zlikwidowane dawne szyby. Wyrobiska te przebijają wodoniepruszczalną otulinę warstw nadsolnych i podsolnych wykształconych jako utwory ilaste. Poprzez te zlikwidowane szyby słodkie wody dopływają do wyrobisk górniczych czynnych, a głównie starych zrobów, ługując calizny solne i osłabiając szkielet nośny kopalni. Wody te migrują w głąb kopalni, stopniowo nasycając się chlorkiem sodu. Największą degradację górotworu powodują one do głębokości poziomu „Sienkiewicz”.

W wyniku prowadzonych od 2001 roku robót pojawiły się pierwsze zmiany w sytuacji hydrogeologicznej kopalni świadczące o skuteczności prowadzonych prac zmierzających do likwidacji zagrożenia wodnego.

Zagrożenie wodne istniało jedynie podczas próby przebicia jądra antykliny bocheńskiej poprzecznikami „Baum” i „Cabalini” na poz. „Danielowiec” i „Wilson-Paderewski”. Miały wówczas miejsce niewielkie wycieki solanek z warstw fliszowych.

Część złoża obejmująca komorę „Ważyn” jest położona pomiędzy dwoma drogami migracji wody w głąb kopalni z powierzchni. Komora „Ważyn” we wschodniej części jest sucha. Zarejestrowano jeden wyciek w segmencie terapii ruchowej oraz stwierdzono obecność solanki nad stropem komory w rejonie szybika „Ważyn”. Zawilgocone jest również dojście od strony szybu „Sutoris” na poziomie „Sienkiewicz”. W rejonie upadowej wejściowej od strony wschodniej w czasie budowy komory stwierdzono zastoisko solanki o kubaturze około 5 m³ za ociosem północnym. Wiercenia badawcze we wschodniej części komory „Ważyn” ujawniły przepływ solanki za jej północnym ociosem. Od strony południowej stwierdzono zastoisko solanki w poprzeczniku od obejścia komory „Ważyn” zlokalizowanego ok. 100 m na W od koła wodnego. Regularnej obserwacji podlegają trzy rząpia S-1, S-2, S-3, które są zlokalizowane w obrębie dojścia do komory „Ważyn” od szybu „Sutoris”. W rząpiach tych utrzymuje się bez pompowania stały poziom solanki. Prawdopodobnie dopływ jest tak mały, że nadmiar przecieka na niższe poziomy lub odparowuje. Ponadto rejestrowano awarie rurociągów wodnych, z których wyciekająca woda migrowała na poziom „Podmoście”.

Generalnie stwierdzić należy, że sytuacja hydrogeologiczna w rejonie komory „Ważyn” jest stabilna i dobra.

3. Zarys historii eksploatacji w rejonie komory „Ważyn”

Początki eksploatacji solanek i warzelnictwa w okolicy Bochni sięgają neolitu. W połowie XIII w. w trakcie pogłębiania studni solankowych natrafiono na sól kamienną. Od tego czasu, tj. od roku 1248 datuje się rozwój eksploatacji soli w Żupie Bocheńskiej. Początkowo urabiano sól ręcznie, systemem dostosowanym do warunków geologicznych, tj. wąskimi komorami po rozciągłości, schodowo-stropowymi z podszadką suchą. Jako podszadkę stosowano sól zanieczyszczoną tzw. „szpetną” i skałę płoną.

W połowie XVIII wieku zaczęto stosować materiały wybuchowe, a w latach 60. XX w. kopalnie przestawiono na produkcję solanki metodą podziemnego ługowania. Eksploatację komory „Ważyn” rozpoczęto w 1697 roku. Był to zespół trzech wyrobisk, którego górną część stanowi obecna komora sanatoryjna. W komorach tych urabiano bogaty pokład soli środkowych aż do lat 50. XX w. Sól wydobywaną w komorze „Ważyn” transportowano początkowo szybikiem „Ważyn” na poziom I „August”. Natomiast w trakcie prowadzonej w XX w. reeksploatacji urobek transportowano tzw. suwaczkami wygrodzonymi w podszadce na poziom V „Podmoście”.

W latach 80. XX w. górną część komory „Ważyn” przebudowano kombajnem, dostosowując ją do potrzeb sanatoryjnych. Wykonano wówczas upadowe łączące je z poziomem „August” i „Sienkiewicz”. W otoczeniu komory sanatoryjnej występuje cały szereg starych zrobów, których lokalizacja, stan podszadzania i stopień komprymacji podszadzki można określić jedynie w sposób przybliżony.

Z zasobów złoża solnego „Bochnia”, szacowanych na około 19 mln ton NaCl, w trakcie 700-letniej eksploatacji wydobyto około 9 mln ton. Wysoki stopień wykorzystania zasobów złoża wynika z faktu wielokrotnej reeksploatacji pokładów oraz z urabiania metodami ługowniczymi podszadek solnych wypełniających stare zrobry. Od lat 60. XX w. do momentu zakończenia wydobywania stosowano metodę podziemnego ługowania soli otwartymi komorami ługowniczymi.

Po południowej stronie komory „Ważyn” (patrz rys. 4) zlokalizowane są następujące stare wyrobiska:

- komory „Rabsztyń Ruprecht”,
- zrobry „Gargulowe”,
- wyrobiska chodnikowe,
- podłużnia „Sienkiewicz”,
- poprzeczniki i schody „Gargulowe”.

Nad stropem komory zlokalizowana jest komora „Ernest” północny komora „Kieratowa” oraz bliżej niezlokalizowane wyrobiska o charakterze wąskich komór i szybiki. Od północnej strony zlokalizowano szereg wąskich wysokich komór wypełnionych podszadką.

4. Określenie aktualnego stopnia zagrożenia górotworu w otoczeniu komory „Ważyn”

Komora „Ważyn” (a właściwie zespół dawnych komór „Ważyn”) znajduje się ok. 10 m nad poz. III — „Sienkiewicz” na głębokości ok. 260 m od powierzchni terenu. Jej obecny kształt jest efektem prac prowadzonych w latach 1986–1988, zmierzających do optymalizacji profilu wyrobiska (profilowanie wytrzymałościowe) [11, 12, 20, 21, 22, 23]. W trakcie wspomnianych prac połączono w jedną całość trzy komory (o dawnej numeracji 38, 39 i 40) posiadające duże zróżnicowanie wielkości kształtu i rzeźby w poszczególnych przekrojach poprzecznych i podłużnych. Wszystkie komory charakteryzowały się posiadaniem stosunkowo dużej ilości różnokierunkowych płaszczyzn spękań i odspojień. Liczne poważne i drobne rozluźnienia oraz odspojenia w części stropowej i obszarach przyociosowych były przyczyną samoczynnego odpadania elementów skalnych od calizny.

Stateczność można było im zapewnić poprzez nadanie odpowiedniego kształtu i wielkości przekroju poprzecznego. Z obliczeń wynikało, że takim przekrojem, gwarantującym względne bezpieczeństwo będzie wycinek elipsy (lub krzywej do niej zbliżonej) o określonym ilorazie wysokości do projektowanej szerokości komory. W 1985 r. w trakcie badań laboratoryjnych, wykonywanych w laboratoriach AGH [11] określono podstawowe parametry fizykomechaniczne zarówno dla soli, jak i skał płonych pobranych bezpośrednio z konturu projektowanej komory „Ważyn”. Uśrednione wówczas wartości podstawowych parametrów fizykomechanicznych przedstawia tabela 1.

TABELA 1

Uśrednione wartości podstawowych parametrów fizykomechanicznych

Rodzaj parametru	Wymiar	Dla skały solnej		Dla iłowca marglistego	
		od–do	średnio	od–do	średnio
Ciężar objętości γ	KN/m ³	20,90÷21,15	21,00	19,45÷21,84	20,55
Wytrzymałość na rozciąganie R_t	MPa	0,98÷1,80	1,20	0,05÷0,15	0,10
Wytrzymałość na ściskanie R_c	MPa	21,80÷40,60	36,00	2,88÷4,76* 10,98÷31,20**	3,60* 17,50**
Moduł Younga E	MPa	930÷1300	1100	460÷810* 794÷1350**	660* 986**
Liczba Poissona ν	–	0,25÷0,32	0,28	0,23÷0,40* 0,22÷0,34**	0,31* 0,25**

* dane dla czystego iłowca marglistego,

** dane dla iłowca z wkładkami anhydrytu i soli.

Dla istniejących wówczas, uśrednionych parametrów geotechnicznych określono graniczne wartości tego ilorazu, przy których spełniony był warunek stateczności komory (dla z góry założonej wartości współczynnika bezpieczeństwa).

Zbliżony do obecnego wygląd i gabaryty komory „Ważyn” uzyskano w latach 1984–1990. Ze względu na konieczność zagwarantowania maksymalnej stateczności modelowanej komory wykonywano górnicze roboty adaptacyjne za pomocą kombajnu chodnikowego typu „Alpine AM-50”. Technologia ta gwarantowała uzyskanie stosunkowo gładkiego konturu wyrobiska zgodnie z zaleceniami podanymi w pracy [8]. Ustalenie bezpiecznego kształtu i wymiarów oraz wykonana na ich podstawie przebudowa komory kombajnem umożliwiła nadanie komorze „Ważyn” bezpiecznego kształtu i likwidację zagrożeń zawałami. W konsekwencji pozwoliło to na adaptację przebudowanej komory do celów rekreacyjno-sanatoryjnych.

Ponadto w rejonach, gdzie stwierdzono obecność starych zrobów (głównie wzdłuż północnego ociosu komory), wyprofilowany strop został dodatkowo zabezpieczony przez podparcie organami i kasztami wypełnionymi urobkiem solnym. Po kilkunastu latach eksploatacji na konturze nieobudowanej komory i w najbliższym jej sąsiedztwie dają się zauważyć uszkodzenia górotworu w postaci spękań o różnych wielkościach szczelin, odspojień płatów skał solnych oraz ubytków skalnych (przeważnie wkładek ilastych). Geneza tych uszkodzeń związana jest głównie z odprężaniem się górotworu solnego, jego lokalnym zawilgoceniem, zmienną budową geologiczną oraz nieustannym oddziaływaniem starych zrobów. Dotąd nie zlokalizowane zaszczości eksploatacyjne w postaci pustek rozmieszczonych w sąsiedztwie komory — wywierają niekorzystny wpływ na stateczność rozpatrywanej komory.

Spostrzeżenia te potwierdzają pomiary geodezyjne osiadań punktów konturowych, jak też konwergencja pionowa i pozioma. Pomiary te realizowane są od maja 1993 r. do chwili obecnej. Wykonane dotychczas geodezyjne pomiary odkształceń komory wskazują na znaczną nierównomierność procesu odkształcania wzdłuż osi komory. Zwraca uwagę, że średnie wartości pomieszczeń są największe dla zachodniego końca komory. Ponadto większymi odkształceniami odznacza się ocios północny i sklepienie komory w stosunku do ociosu południowego. Wartość pionowych przemieszczeń reperów zawiera się w granicach od 1 do 9 mm w przeciągu 3 miesięcy (częstotliwość dokonywania pomiarów).

Niejednorodność procesu konwergencji spowodowana jest anizotropią górotworu, a mianowicie:

- rozkładem pustek oraz różnym stanem ich podsadzenia i zawodnienia;
- niejednorodnością budowy geologicznej; granice sól — ilowce są płaszczyznami poślizgu warstw.

Bliższe rozeznanie stanu naprężeń w górotworze było niezbędne do zaprojektowania robót zabezpieczających komorę sanatoryjną przed destrukcyjnymi skutkami procesu zaciskania komory.

Pomiary geodezyjne dla oceny intensywności zaciskania komory „Ważyn” realizowane są systematycznie przez służbę mierniczo-geologiczną kopalni od ponad 11 lat. Są to generalnie okresowe pomiary zaciskania (konwergencji) przestrzeni wyrobisk na kierunku piono-

wym i wybranych kierunkach poziomych [5]. W komorze obserwowane jest systematycznie 20 odcinków pionowych i 7 odcinków poziomych. W tym okresie zrealizowano 34 cykle pomiarowe. Generalnie obserwacje prowadzone są w interwałach kwartalnych.

W wyniku analizy materiału pomiarowego można stwierdzić, że:

- prędkości osiadania stropu zawierają się w granicach $-1,1 \div -2,0$ mm/miesiąc i są generalnie większe po stronie ociosu N.
- prędkości osiadania spągu są znacznie mniejsze; obserwuje się nawet lekkie wypiętrzanie spągu; wypiętrzenia spągu mają miejsce w kilku rejonach komory; ich tempo jest zróżnicowane i wynosi:
 - przy ociosie S rzędu $+0,2$ mm/miesiąc;
 - w części środkowej jest największe: od $+0,5$ do $+0,2$ mm/miesiąc;
 - przy ociosie N jest rzędu $+0,2$ mm/miesiąc;
- prędkości zaciskania pionowego są silnie zróżnicowane (wykresy na poszczególnych bazach pionowych i pionowych); przeciętne wartości zawierają się w granicach od $-0,5 \div -2,2$ mm/miesiąc i są generalnie bardziej zróżnicowane i większe w zachodniej części komory w jej środku i przy ociosie północnym.
- prędkości zaciskania poziomego są nieco mniejsze i zawierają się w granicach $-0,5 \div -1,5$ mm/miesiąc, z wyjątkiem dwu pierwszych profili od strony zachodniej, gdzie są w granicach $-1,6 \div -1,8$ mm/miesiąc; istotne jest jednak zróżnicowanie rejestrowanych wielkości; granice rozrzutu: wahają się w przedziale $0 \div 4,5$ mm/miesiąc — dla kierunku poziomego oraz $-0,2 \div -3,4$ mm/miesiąc dla kierunku pionowego.

5. Próba modelowania numerycznego współpracy kotwi z górotworem

Dla uzyskania odpowiedzi na pytanie, jak zachowują się górotwór i kotwie w otoczeniu komory „Ważyn” przeprowadzono obliczenia numeryczne. Wszystkie obliczenia w poniższym rozdziale przeprowadzono za pomocą programu Metody Różnic Skończonych FLAC v. 4.0. Podstawy teoretyczne MRS, założenia przyjęte przez twórców programu oraz charakterystyka dostępnych modeli ośrodka są szczegółowo opisane w literaturze [1, 28, 29, 30]. Poniżej ograniczono się więc do skrótowego przedstawienia modelu konstytutywnego ośrodka oraz charakterystyk zastosowanych specjalnych elementów do modelowania obudowy.

Model Coulomba – Mohra pozwala na uwzględnienie plastyczności górotworu czyli nielinowości jego charakterystyki naprężeniowo-odkształceniowej. Uwzględnianie plastyczności górotworu polega generalnie na przyjęciu założenia, że w obszarze ograniczonym pewnymi powierzchniami górotwór zachowuje się liniowo sprężyste, a poza tym obszarem plastycznie. W programie MRS FLAC plastyczność opiera się na założeniu, że całkowity przyrost odkształcenia jest rozdzielany na przyrost odkształcenia sprężystego oraz przyrost odkształcenia plastycznego. Model numeryczny stanowiła prostokątna tarcza utwierdzona u dołu i po bokach, obciążona od góry obciążeniem ciągłym wynikającym z grawitacji. Założono, że w środku wykonana jest komora o sklepionym stropie i szerokości 14,4 m oraz

wysokości 7,2 m. Problem rozpatrzono w płaskim stanie odkształcenia. Na dolnej krawędzi tarczy przyjęto warunki przemieszczeniowe. Na obu bocznych założono przyjęto zerowe przemieszczenia w kierunku osi X. Do krawędzi górnej przyłożono ciśnienie 6 MPa wynikające z grawitacji. Rozpatrywano górotwór uwarstwiony zachowujący się zgodnie z modelem sprężysto-plastycznym Coulomba – Mohra oraz z modelem *ubiquitous* pozwalającym symulować występowanie szczelin. Przyjęto, że dla podtrzymania zniszczonego górotworu solnego w otoczeniu komory zabudowane urabialne kotwie szklano-epoksydowe KSE o długości 10 m. Rozmieszczenie kotwi dobrano tak aby jak najbardziej ograniczały niekorzystne rozwarstwianie się górotworu solnego w otoczeniu komory.

Wyniki obliczeń numerycznych otrzymano w postaci map stanu przemieszczenia i wyteżenia w otoczeniu komory „Ważyn” w rozpatrywanym przekroju. Na podstawie analizy wyników obliczeń można przedstawić następujące wnioski dotyczące stateczności komory „Ważyn” po zabudowie kotwi:

- na skutek spękania masywu solnego w otoczeniu ociosów komory tworzą się strefy zniszczenia o znacznym zasięgu;
- w północnym ociosie komory zabudowane kotwie sięgają poza strefy zniszczenia, powodując ich przypięcie do zwięzłego masywu solnego;
- w południowym ociosie komory zasięg stref zniszczenia lokalnie wykracza poza końcówki kotwi; jednakże kotwie te dobrze współpracują z masywem powodując spięcie rozwarstwowionego ośrodka solnego;
- maksymalne przemieszczenia masywu solnego po jego zakotwieniu występują w ociosie południowym, a ich wartości nie powinny przekroczyć 5,5 cm;
- maksymalne siły osiowe występujące w kotwiach nie przekraczają 13,4 t i nie powinny spowodować ich wyrwania z masywu; w żadnej z kotwi nie występuje także zniszczenie na kontakcie spoiwo-masyw;
- przez wyteżenie w kotwiach rozumie się stosunek siły osiowej występującej w kotwi do jej nośności wyrażony w procentach; wyteżenie w kotwiach waha się od 14,7% do 83,6%, czyli żadna z nich nie ulegnie zniszczeniu na skutek przekroczenia jej nośności;

Podsumowując, można stwierdzić, że zaproponowane wzmocnienie masywu solnego w postaci kotew szklano-epoksydowych KSE powinno zahamować proces jego rozwarstwiania i zapewnić stateczność komory „Ważyn”.

6. Stan techniczny komory

Komora „Ważyn” znajduje się około 10 m powyżej poziomu „Sienkiewicz”, na głębokości ok. 260 m p.p.t. Komora jest wykonana na osi wschód-zachód. Komora stanowi obecnie stropową część zespołu wyrobisk pod wspólną nazwą „Ważyn”. Nie jest znany dokładny zasięg poszczególnych komór ani w miarę dokładny sposób ich likwidacji. Wiadomo jedynie, że przed wykonaną w latach 80. XX w. przebudową komory, podczas przeprowadzonej w latach 70. inwentaryzacji, wydzielony został ze względu na kształt oraz cha-

rakterystyczne zmiany przekroju poprzecznego zespół trzech komór „Ważyn” oznaczonych numerami 38, 39 i 40. Stosowany generalnie sposób eksploatacji złoża między poziomami powodował, że w miarę postępu eksploatacji komora była podsadzana urobkiem płonym oraz solą z przerostami w ten sposób, aby jej wysokość nie przekraczała 4÷5 m. Urobek z eksploatowanej komory był opuszczany na niższy poziom tzw. „suwaczkami” wygradzonymi w podsadźce. Zespół trzech komór „Ważyn” w okresie poprzedzającym ich przebudowę znajdował się w stanie zagrożenia zawałowego (rys. 3). Wyrobiska przed przebudową miały połączenie z poziomem V, obecnie zasypane. Istniejący kształt nadano komorze w latach 80., prowadząc roboty głównie przy zastosowaniu kombajnu. Maksymalna szerokość komory wynosi 14,4 m, wysokość 7,20 m, a minimalna szerokość wynosi 7,50 m przy wysokości 4,30 m. Spodek komory stanowi podsadzka wykonana w poprzednich latach oraz materiał skalny pochodzący z przebudowy kombajnem. W komorze, po jej przebudowie, odsłonięte zostały w ociosie północnym ślady starej eksploatacji w postaci podsadzki. W związku z tym w ociosie tym zabudowano szereg kasztów wypełnionych rumoszem solnym. W zachodniej części komory w stropie zabezpieczono fragmenty starego szybika.



Rys. 3. Szybik „Miczurin” w stropie starej komory „Ważyn”

W chwili obecnej komorę „Ważyn” z podłużnią „Sienkiewicz” na poz. III łączą trzy upadowe znajdujące się w zachodniej, środkowej oraz wschodniej jej części. Zachodnia część komory ma połączenie upadawą z poziomem I „August”. Na wysokości środkowej upadowej w północnym ociosie przebudowany został szybik „Ważyn”, łączący tę komorę z poprzecznikiem na poziomie „August”.

Przebudowa komory „Ważyn” spowodowała, że budowa teksturalna soli środkowych, w których zostało wybrane wyrobisko, stała się wyraźnie widoczna. Sole środkowe charakteryzują się licznymi przerostami iłowymi i iłowcowo-anhydrytowymi. Przerosty te widoczne są zarówno w ociosach, jak i w stropie komory i stanowią płaszczyznę poślizgu dla warstw solnych, szczególnie w strefach wzmoczonego oddziaływania górotworu. Tak więc obserwuje się tendencję do wykruszania i wypadania tych przerostów. Jednak główne zjawiska

destrukcyjne występują w komorze wzdłuż ociosu północnego. Prawdopodobnie wynikają one z faktu pozostawienie w czasie przebudowy zbyt cienkiej warstwy solnej przy granicy pokładu i zbliżeniu się do starych zrobów oraz skomplikowanej budowy geologicznej w tym rejonie. Kierunek laminacji warstw solnych jest tutaj prawie pionowy z lekkim skłonem ku południowi.

W trakcie przebudowy komory w latach 80. przy użyciu kombajnu odsłonięto we wschodniej części ociosu połączenie z niepodsadzoną komorą, na której spodzie znajdowało się nagromadzenie starej obudowy i różnych materiałów odpadowych. Odsłonięta podsadzka starych zrobów mogła dotyczyć kontynuacji komory „Ernest”. Nie ma jednak co do tego jednoznacznych przesłanek. Obserwacja dostępnych wyrobisk w innych rejonach kopalni odnośnie do wybierania nieregularnie zalegającego pokładu nie pozwala wykluczyć możliwości, iż zlokalizowane zroby za ociosem północnym komory są jej zrobami, powstałymi w wyniku wybierania najwartościowszych gatunków soli (sól biała) wąskimi wdzierkami po wzniosie. Potwierdzenie źródłowe posiadają również zroby komory „Laskowe”, którą wybierano w solach północnych na zachód od szybika „Ważyn” na głębokości 253 m. Nie można zatem wykluczyć, iż zroby zlokalizowane w bezpośrednim sąsiedztwie ociosu północnego są zrobami tej właśnie komory. Otwory badawcze wykonane w poprzednim okresie i prześwietlone wziernikiem peryskopowym, w ociosie południowym na głębokość 7-10 m nie wykazały występowania starych zrobów. W otworach tych nie stwierdzono również występowania większych spekań. Analiza wykształcenia złoża oraz interpretacja starych materiałów historycznych prowadzi do stwierdzenia, że występowania starych zrobów w bezpośrednim sąsiedztwie tego ociosu nie można wykluczyć

Poniżej obecnego spągu komory „Ważyn”, pomiędzy podłużnią „Sienkiewicza” a południowym ociosem komory w odległości kilkunastu metrów, znajduje się częściowo podsadzona komora „Ruprecht”. Komora ta jest obecnie niedostępna i jej stan nie jest znany. Jest ona wybrana w solach środkowych, analogicznie jak komora „Ważyn”. Za komorą „Ruprecht” w kierunku południowym zalegają znacznej miąższości serie skał płonych, oddzielających sole środkowe od soli południowych. W środkowej części komory znajduje się chodnik dojsciowy do przebudowanej w roku ubiegłym komory „Manna”.

Poza ww. wyrobiskami w najbliższym otoczeniu komory „Ważyn” należy wymienić:

- na poziomie August, bezpośrednio nad komorą „Ważyn” znajduje się komora „Kieratowa” oraz bardziej na północ przebudowany szybik „Ważyn”; komora „Kieratowa” jest po rekonstrukcji górniczo-historycznej i jest w stanie dobrym; w solach południowy tego poziomu, przy południowej granicy złoża, znajdują się komory „Kristian”;
- między poziomami IV i V w solach północnych z uwagi na znaczną miąższość pokładu zachodzi możliwość występowania starych wyrobisk we wszystkich przekrojach poprzecznych komory;
- w rejonie poziomu „Podmoście” znajduje się komora „Rabsztyn” wybrana w solach środkowych.

Jednak nie można z całą pewnością wykluczyć występowania innych niezlokalizowanych dotychczas śladów starej eksploatacji w rejonie komory „Ważyn”.

7. Projekt techniczny zabezpieczenia komory

Założenia wyjściowe i sposób zabezpieczenia komory

Stwierdzone zjawiska destrukcyjne w rejonie komory „Ważyn”, wyniki pomiarów przemieszczeń konturów wyrobiska oraz wykonane obliczenia pozwalają z dużą dozą prawdopodobieństwa stwierdzić, że górotwór solny w tym rejonie, poddany dominującemu ciśnieniu poziomemu, wynikającemu z oddziaływania parcia karpackiego oraz ciśnieniu pionowemu i dużemu perforowaniu otoczenia skalnego spowodował znaczne deformacje wyrobiska i przyczynia się do zaciskania konturów komory i rozwarstwiania się skał w wyrobisku.

Analizując obecny stan techniczny komory, tj. powstanie złuszczeń powierzchniowych, odspojen i spękań, szczególnie na ociosie północnym oraz widoczne płynięcie ociosu południowego, można przyjąć założenie, iż oba ociosy zachowują się jak belki sztywne, dwustronnie podparte. Przewaga uszkodzeń ociosu północnego w porównaniu z ociosem południowym najprawdopodobniej wynika z występowania bezpośrednio za ociosem północnym starych zrobów o niewystarczającym stopniu skompromowania podsadzki, oraz złożonej budowy geologicznej pokładu.

Powstanie naprężeń rozciągających w stropie i spągu komory, sugerowane w niektórych opracowaniach, jest mało realne. Ewentualne wypiętrzania spągu mogą być spowodowane sztywnym rozparciem, w linii N-S elementów konstrukcyjnych podłogi. W stropie komory występowanie naprężeń rozciągających jest mało prawdopodobne. Natomiast występowanie ich na ociosach północnym i południowym jest bardzo prawdopodobne, szczególnie w rejonie maksymalnej strzałki ugięcia płyt ociosowych. Ponieważ proces ten jest rozciągnięty w czasie, jego skutki nie stanowią bezpośredniego zagrożenia dla osób przebywających w komorze, natomiast zagrażają utratą stateczności komory. Zagrożenie bezpośrednio stanowią również wychodnie stropowe i ociosowe ilów. Iłowce na skutek zmian wilgotności ulegają rozwarstwieniu, dlatego stanowią bezpośrednie zagrożenie dla osób przebywających pod nimi. Nawet przy stosunkowo niewielkich rozmiarach, odspajane fragmenty iltu, przy spadku z wysokości paru metrów, mogą spowodować skaleczenia lub inne poważniejsze uszkodzenia ciała. Dlatego też założono, że najlepszym zabezpieczeniem jest szczelne zamknięcie wychodni ilowców, eliminujące wpływ zmian wilgotności powietrza na ich zwięźłość. Z obecnie dostępnych w przemyśle materiałów spełniający ten wymóg jest folia natryskowa Tekflex. Zaletą tego torkretu natryskowego jest elastyczność, co jest istotne przy konieczności jego współpracy z utworami solnymi. Niewątpliwą jego zaletą jest również łatwość i dokładność nakładania. Materiał ten jest od kilku lat stosowany z dużym powodzeniem w podobnych zabezpieczeniach w Kopalni Soli „Wieliczka”. Materiał ma odpowiednie dopuszczenia do stosowania w podziemnych zakładach górniczych.

Zabezpieczenie stateczności komory

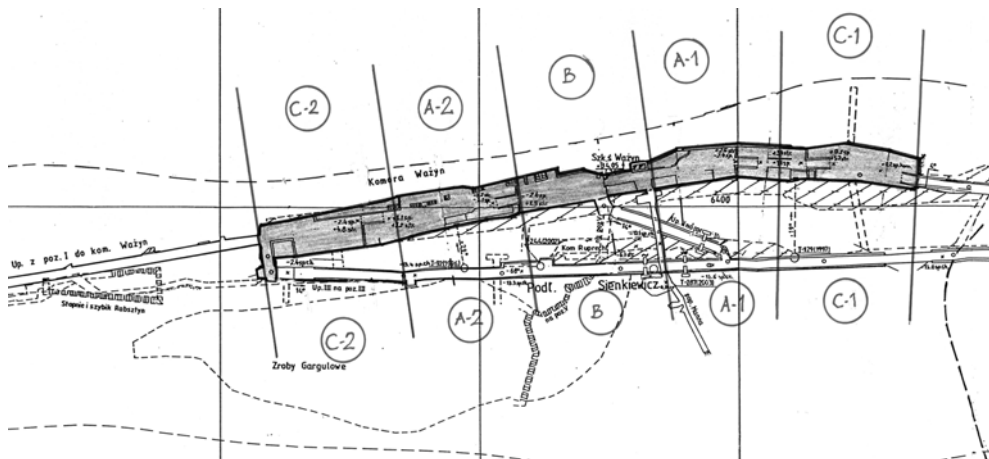
Należy założyć, iż jedyną i najprostszą metodą spowolnienia procesu zagniatania komory w linii N-S jest wykonanie kotwienia segmentowego kotwami szkłano-epoksydowymi.

mi typu KSE o długości 10,2 m, jako kotwienia spinającego. Ze względu na charakter i wykorzystanie komory nie rozpatrywano wprowadzenia obudowy podporowej, która bardzo by zawężyła światło komory. Wprowadzenie zabezpieczeń metodą kotwienia było sugerowane już w poprzednich opracowaniach. Kotwienie ma charakter spinający poszczególne warstwy i wytworzenie jednolitej dziesięciometrowej warstwy skalnej przenoszącej zmienne i nierównomierne obciążenia poza strefę spękanego górotworu. Jednocześnie zastosowanie kotwi szklano-epoksydowych stanowi rodzaj zbrojenia górotworu odpornego na oddziaływanie agresywnego środowiska. Kotwy te są stosowane od ponad 15 lat w kopalniach węgla (jako kotwy urabialne) oraz w kopalniach soli i miedzi. Bardzo dobre efekty daje zastosowanie kotwi szklano-epoksydowych w Kopalni Soli „Wieliczka”. Od 1988 roku zabezpieczono w ten sposób szereg wyrobisk o największych walorach zabytkowych, m.in. takich jak: kaplica św. Kingi, „Pieskowa Skała”, „Staszic”, „Jezioro Weimar” i „Barącza”, „Drozdowice” i „Michałowice”. Podobny charakter do warunków bocheńskich miało zabezpieczenie komory „Gołuchowski”. Zabudowano w tym okresie ponad 80 km tego typu kotew. Badania kontrolne konwergencji i rozwarstwienia górotworu w zabezpieczonych komorach wskazują na znaczne ograniczenie, a nawet prawie całkowite zatrzymanie procesu zaciskania się komory. Argumentem przemawiającym za zastosowaniem tego typu rozwiązań jest mała ingerencja w wygląd komory oraz łatwość wykonania takiego sposobu zabezpieczenia przez specjalistyczne firmy.

Założono, że wyjściowym sposobem zabezpieczenia jest tzw. kotwienie segmentowe. Podstawowa szerokość segmentu powinna odpowiadać szerokości komory. Kotwienie powinno być rozpoczęte od części środkowej komory w obu kierunkach i obu ociosach. Przyjmując szerokość segmentu kotwienia równą szerokości komory, należy pozostawić pole nie kotwione tej samej szerokości. Należy przyjąć, że kotwienie wykonane do chwili obecnej dotyczyło tylko spięcia już odspojonych fragmentów ociosu, a nie miało przeciwdziałać głównemu problemowi samozaciskania się komory. Należy jednak, ze względów technicznych założyć możliwy do zrealizowania w stosunkowo krótkim czasie zakres i sposób kotwienia. Dlatego też najlepszym rozwiązaniem, spełniającym w pełni wymogi pewnego i bezpiecznego zabezpieczenia komory będzie podzielenie całej komory na pięć segmentów, każdy długości 50 m (segment A-1, A-2, B, C-1, C-2) (rys. 4). Kotwienie w pełnym zakresie winno obejmować całą komorę w kolejności oznaczeń segmentów.

Jednak ze względu na ograniczenie kosztów założono rozłożenie procesu zabezpieczenia na dwa etapy.

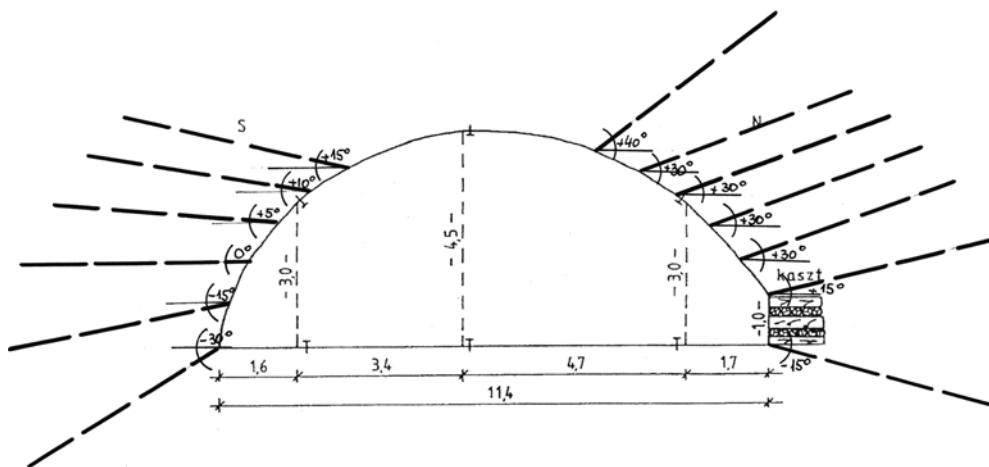
W pierwszym etapie wykonano kotwienie w segmentach A-1 i A-2. Zabezpieczenie pierwszych dwóch segmentów A-1 i A-2 winno przynieść znaczne ograniczenie zaciskania się komory. Jeżeli wyniki najbliższych pomiarów nie będą w pełni satysfakcjonujące, konieczne będzie wprowadzenie drugiego etapu polegającego na wykonaniu kotwienia w segmentach B oraz C-1 i C-2. Decyzję o wprowadzeniu drugiego etapu podjęta zostanie po otrzymaniu serii wyników pomiarów w komorze. Wstępnie złożyć należy, że okres pomiędzy etapem pierwszym a drugim winien wynieść minimum jeden rok.



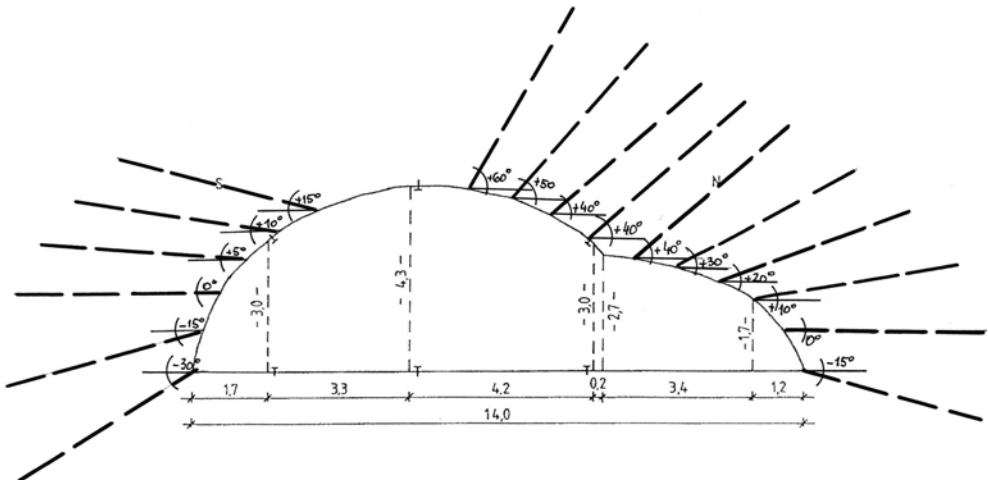
Rys. 4. Schemat kotwienia komory „Ważyń”

Kotwienie górotworu

Kotwienie w poszczególnych segmentach, (patrz rys. 4) prowadzono poszczególnymi rzędami od dołu o góry. Kotwienie wykonano w siatce; w rzędach co 1 metr i liniach pionowych co 2 metry. W segmencie A-1 w odcisie południowym wykonano 6 rzędów kotwi w 25 liniach pionowych. Każdy rząd kotwi wiercono pod odpowiednim nachyleniem (patrz rys. 5 i 6).



Rys. 5. Schemat kotwienia w segmencie A-1



Rys. 6. Schemat kotwienia w segmencie A-2

Kotwy osadzano na cemencie KL produkcji Minova — Polska. Jest on używany do osadzania kotew szklano-epoksydowych typu KSE. Dostarczany jest w postaci proszku, który po zmieszaniu w odpowiedniej proporcji z wodą tworzy tiksotropowy zaczyn gotowy do użycia. Zaletą tego tworzywa jest jego łatwość w zastosowaniu, własności tiksotropowe, odporność na agresywne środowisko solne oraz wysokie parametry wytrzymałościowe. Tworzywo to posiada odpowiednie dopuszczenia do stosowania w podziemnych zakładach górniczych.

Zabezpieczenie stropu przed odspajaniem skał i erozją

Istotnym zagadnieniem było zabezpieczenia fragmentów powierzchni stropu w miejscach wychodni ilów. Zmiany wilgotności powodują ich pęcznienie i wypadanie okruchów skał o różnych rozmiarach. Ze względu na znaczny ruch turystyczny w komorze, zjawiska te mogą stanowić zagrożenie dla osób tu przebywających. Dlatego też odpowiednim sposobem zabezpieczenia tych fragmentów stropu było wykonanie odpowiedniej warstwy powierzchniowej izolującej. Zastosowano środek mineralno-organiczny pod nazwą Tekflex. Jest to mineralno-organiczny torkret, typu elastycznej membrany, stosowany do wykonywania powłok o szerokim zastosowaniu w podziemnych wyrobiskach górniczych.

Podstawowe cechy różniące Tekflex od klasycznych materiałów do torkretowania to:

- elastyczność powłoki (wydłużenia przy zerwaniu sięgają 50÷60%),
- niewielka grubość nakładanej warstwy, zaleca się 2÷6 mm.

Nakładanie Tekflexu polega na mokrym natrysku gotowej mieszanki przy zastosowaniu specjalnej dyszy rozpylającej, zasilającej sprężonym powietrzem.

Podstawowe zalety Tekflexu to:

- zabezpieczenie skał przeciwko wietrzeniu,
- izolowanie ociosów i stropów od gazów i wycieków wody,
- uszczelnianie starych zrobów,
- zastąpienie elementów opinki takich jak siatka metalowa lub inne zapobiegających opadaniu kawałków skał w czasie ich wietrzenia,
- możliwość zabezpieczenia antykorozyjnego elementów metalowych obudowy

8. Podsumowanie

Przedstawiony w artykule projekt zabezpieczenia komory, ze względu na swą nietypowość i zakres projektowanych robót był przedsięwzięciem o wysokim stopniu komplikacji i jednocześnie w naszym górnictwie solnym jeszcze na taką skalę nie stosowanym. Dlatego też bardzo istotne będzie teraz monitorowanie całego procesu zaciskania komory po pracach zabezpieczających. Roboty zabezpieczające wykonano w bieżącym roku. Do prac tych zużyto ponad 7 kilometrów kotew szklano-epoksydowych oraz ponad 17 ton kleju KL. Według założeń teoretycznych i doświadczeń przedstawicieli Zespołu Autorskiego w zbliżonych realizacjach istnieje duże prawdopodobieństwo ograniczenia procesu zaciskania się komory po wykonaniu już pierwszego etapu robót zabezpieczających. Pierwszy pomiar w komorze po zakończeniu robót przyniósł dobre wyniki i jeżeli tendencja taka się utrzyma to stwierdzić należy, że przyjęto właściwy sposób zabezpieczenia komory.

LITERATURA

- [1] *Cala M., Flisiak J., Tajduś A.*: Mechanizm współpracy kotwi z górotworem o zróżnicowanej budowie. Bibliotek Szkoły Eksploatacji Podziemnej. Kraków, 2001
- [2] *Calka A.*: Analiza stateczności komór solnych w Kopalni Soli „Bochnia”. Kraków, AGH 1988 (praca dyplomowa)
- [3] *Centrum Badawczo-Projektowe Miedzi „Cuprum”*: Ocena stanu górotworu w rejonie zalegania komór „Ważyn” i Kaplica Bł Kingi na podstawie szczegółowej analizy geomechanicznej. Wrocław, 1993
- [4] *Cisło M.*: Analiza aktualnego stanu geotechnicznego komory „Ważyn” w Kopalni Soli „Bochnia”. Kraków, AGH 1988 (praca dyplomowa)
- [5] *Chmura J. i in.*: Ocena stateczności trasy turystycznej wraz z projektem opomiarowania nowych obiektów trasy turystycznej. Kraków, 2004
- [6] *Drosik J., Gruszka R., Machnik W.*: Wykorzystanie metody elementów brzegowych dla oceny stateczności komory „Ważyn”. Możliwość prowadzenia stałej kontroli stanu odkształceń i przemieszczeń. Konferencja Naukowo-Techniczna „Budownictwo Podziemne ‘96”, Kraków, 1996
- [7] *Dynowska M.*: Wykorzystywanie pomiarów geotechnicznych dla potrzeb kontroli stateczności Komory „Ważyn” Kopalni Soli „Bochnia”. Konferencja Naukowo-Techniczna „Budownictwo Podziemne ‘96”, Kraków, 1996
- [8] *Filcek H., Mikoś T., Zorychta A.*: Teoretyczne metody określania stanu naprężenia wokół nieobudowanych wyrobisk korytarzowych o nierównym konturze. ZN AGH Górnictwo, z. 45, 1973
- [9] *Garlicki A.*: Dokumentacja geologiczna zasobów soli kamiennej Bochnia w kategorii C1 + B + A (rozliczeniowa). Bochnia, 1990
- [10] *Gorczyca R.*: Uściślenie budowy geologicznej złoża solnego „Bochnia” pomiędzy poziomami I a VI w rejonie podziemnego sanatorium. Bochnia, 1995

- [11] *Jóźkiewicz S., Jura Z., Mikoś T.*: Opinia o aktualnej stateczności górotworu w rejonie projektowanej komory leczniczej „Ważyn” w Kopalni Soli „Bochnia”. Kraków, 1985 (praca niepublikowana)
- [12] *Jóźkiewicz S., Mikoś T.*: Ustalenie bezpiecznego kształtu i wymiarów komory „Ważyn” w kopalni soli „Bochnia” dla celów sanatoryjno-rekreacyjnych. Konferencja Naukowo-Techniczna „Zabezpieczanie i Rewitalizacja Podziemnych Obiektów Zabytkowych”, Kraków – Bochnia, 2001
- [13] *Kaczmarczyk S. i in.*: Projekt badań geologicznych dla rozpoznania otoczenia komory „Ważyn”, ze szczególnym uwzględnieniem utworów spągowych. Bochnia, 1994
- [14] *Kortas G. i in.*: Analiza warunków geologicznych, hydrogeologicznych i górniczych w rejonie komory „Ważyn” kopalni soli „Bochnia”. Kraków, Zakład Badawczo-Projektowy „Geo-Consulting” 1994
- [15] *Kortas G. i in.*: Ruch górotworu i powierzchni w otoczeniu zabytkowych kopalń soli. Kraków, Wydawnictwo IGSMiE PAN. 2004
- [16] *Łojewski A.*: Określenie optymalnego kształtu i wymiarów poprzecznych komory „Ważyn” w Kopalni Soli „Bochnia”. Kraków, AGH 1985 (praca dyplomowa)
- [17] *OBR BG „Budokop”*: Projekt celowy 9 9354 94C/1760 PC 308 pn. System kontroli stateczności komory „Ważyn” w Kopalni Soli „Bochnia”. Zadanie 2. Opracowanie teoretycznego modelu dla określenia stanu naprężeniowo-deformacyjnego w komorze „Ważyn” KS Bochnia. Mysłowice, 1994
- [18] *OBR BG „Budokop”*: Projekt celowy 9 9354 94C/1760 PC 308 pn. System kontroli stateczności komory „Ważyn” w Kopalni Soli „Bochnia”. Zadanie 3. Badania nad określeniem zjawisk geomechanicznych zachodzących w masywie solnym. Mysłowice, 1995
- [19] *OBR BG „Budokop”*: Projekt celowy 9 9354 94C/1760 PC 308 pn. System kontroli stateczności komory „Ważyn” w Kopalni Soli „Bochnia”. Zadanie 4. System kontroli stateczności i zabezpieczeń komory „Ważyn”. Mysłowice, 1996
- [20] *Praca zespołowa*: Określenie stopnia zagrożenia górotworu w otoczeniu projektowanej komory leczniczej „Ważyn” w Kopalni Soli „Bochnia”, praca ZUT NOT, Kraków, 1982 (praca niepublikowana)
- [21] *Praca zespołowa*: Dokumentacja projektowanego podziemnego sanatorium w kom. „Ważyn” Kopalni Soli „Bochnia”, 1985 (praca niepublikowana)
- [22] *Praca zespołowa pod kierunkiem Kohslinga J.*: Dokumentacja ochrony zasobów i powierzchni na obszarze górniczym Kopalni Soli „Bochnia”, praca OBR Chem., Kraków, 1986 (praca niepublikowana)
- [23] *Walaszczyk J. i in.*: Naukowa opinia o wpływie pustek poeksploatacyjnych oraz kształtu komory „Ważyn” na jej stabilność. Kraków, 1987 (praca niepublikowana)
- [24] *Wichur A. i in.*: Ocena stateczności komór „Ważyn” i „Kaplica” wraz z koncepcją ich zabezpieczenia. OBR BG „Budokop”, Mysłowice, 1993
- [25] *Wojnar W. i in.*: Badania uściślające budowę geologiczną oraz udokumentowanie występujących spękań, szczelin i pustek poeksploatacyjnych w otoczeniu komory sanatoryjnej. Kraków, Przedsiębiorstwo Projektów, Badań i Usług „Consent” 1993
- [26] *Zakład Robót Górniczych i Wysokościowych „AMC”*: Dokumentacja techniczno-technologiczna doraźnego zabezpieczenia pochylni „Ważyn” oraz fragmentów północnego ociosu komory „Ważyn” w Kopalni Soli „Bochnia”. Kraków, 1993
- [27] *Zakład Robót Górniczych i Wysokościowych „AMC”*: Dokumentacja techniczno-technologiczna uszczelnienia warstw wodonośnych w zachodniej części komory „Ważyn” w Kopalni Soli „Bochnia”. Kraków, 1993