



Ograniczenie zagrożenia wodnego w Kopalni Soli „Kłodawa” S.A. poprzez likwidację wyrobisk poza filarem brzeżnym w Polu nr 1 na poz. 600 m

Reduction of water hazard in the “Kłodawa” S.A. Salt Mine by liquidation of the workings outside the salt dome’s border pillar in Field 1, Level 600 m

Kajetan D’OBYRN¹, Wacław ANDRUSIKIEWICZ², Katarzyna CYRAN²
Waldemar STASZCZAK³

¹ AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska
e-mail: dobyrn@agh.edu.pl

² AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie, Wydział Inżynierii Łądowej i Gospodarki Zasobami

³ Kopalnia Soli „Kłodawa” S.A.

¹ AGH University of Science and Technology, Faculty of Geology,

Geophysics and Environmental Protection, Av. Mickiewicza 30, 30-059 Cracow;

² AGH University of Science and Technology, Faculty of Civil Engineering and Resource Management,
Av. Mickiewicza 30, 30-059 Cracow;

³ Kłodawa” Salt Mine, Aleja 1000-lecia 2, 62-650 Kłodawa

STRESZCZENIE:

Ograniczenie zagrożenia wodnego stanowi jeden z priorytetów Kopalni Soli „Kłodawa”. Pole soli kamiennej białej nr 1 zlokalizowane jest wzdłuż wschodniej granicy wysadu. Granice Pola od strony północno-wschodniej stanowi konstrukcyjnie wyznaczona powierzchnia filara brzeżnego, który do poziomu 600 m ma grubość 50 m. Źródłem zagrożenia wodnego przy eksploatacji Pola nr 1 są północno-wschodnia granica wysadu solnego oraz południowo-zachodnia granica Pola.

W artykule przedstawiono metodykę likwidacji wyrobisk chodnikowych w filarze brzeżnym, w których stwierdzono zjawiska wodne. Odpowiedni dobór technologii likwidacji, uzależniony od miejsca występowania zjawisk wodnych ogranicza zagrożenie wodne omawianego rejonu kopalni.

Słowa kluczowe: kopalnia soli, zagrożenie wodne, likwidacja wyrobisk

ABSTRACT

Water hazard reduction is one of the priorities of the “Kłodawa” Salt Mine’s management. White rock salt Field No. 1 is situated along the eastern border of the Kłodawa salt dome. The boundaries of the field on the north-east side are equivalent to the structurally designated area of the peripheral pillar, which is 50 m thick down to the level of 600 m. The source of water hazard during the exploitation of Field No. 1 is situated in the north-eastern boundary of the salt dome and the south-western boundary of the Field. This paper presents a methodology of the liquidation of the salt mine’s workings in the peripheral pillar where water hazard has been identified. Appropriate selection of the mine decommissioning technology, depending on the places of occurrence of water leaks, can reduce the water hazard in the specific areas of the salt mine.

Keywords: salt mine, water hazard, liquidation of underground workings

WSTĘP

Pole soli kamiennej białej nr 1 zlokalizowane jest wzdłuż wschodniej granicy wysadu, na wschód od centralnych szybów kopalnianych. Długość Pola w rzucie poziomym na poziomie 600 m wynosi ok. 1030 m, a szerokość od 40 do 200 m. Południowo-zachodnią granicę Pola stanowi zredukowana seria potasonośna PZ3 (całkowity brak soli potasowej starszej K2, szarego itu solnego T3 i anhydrytu głównego A3). Sól budująca pole jest silnie sfałdowana, co szczególnie uwidacznia się w części centralnej. Ponadto na odcinku ok. 400 m występuje pośród starszej soli kamiennej białej seria epigenetycznej soli zanieczyszczonej ropą naftową, silnie zgazowanej, głównie metanem, o zmiennej miąższości dochodzącej do kilkunastu metrów.

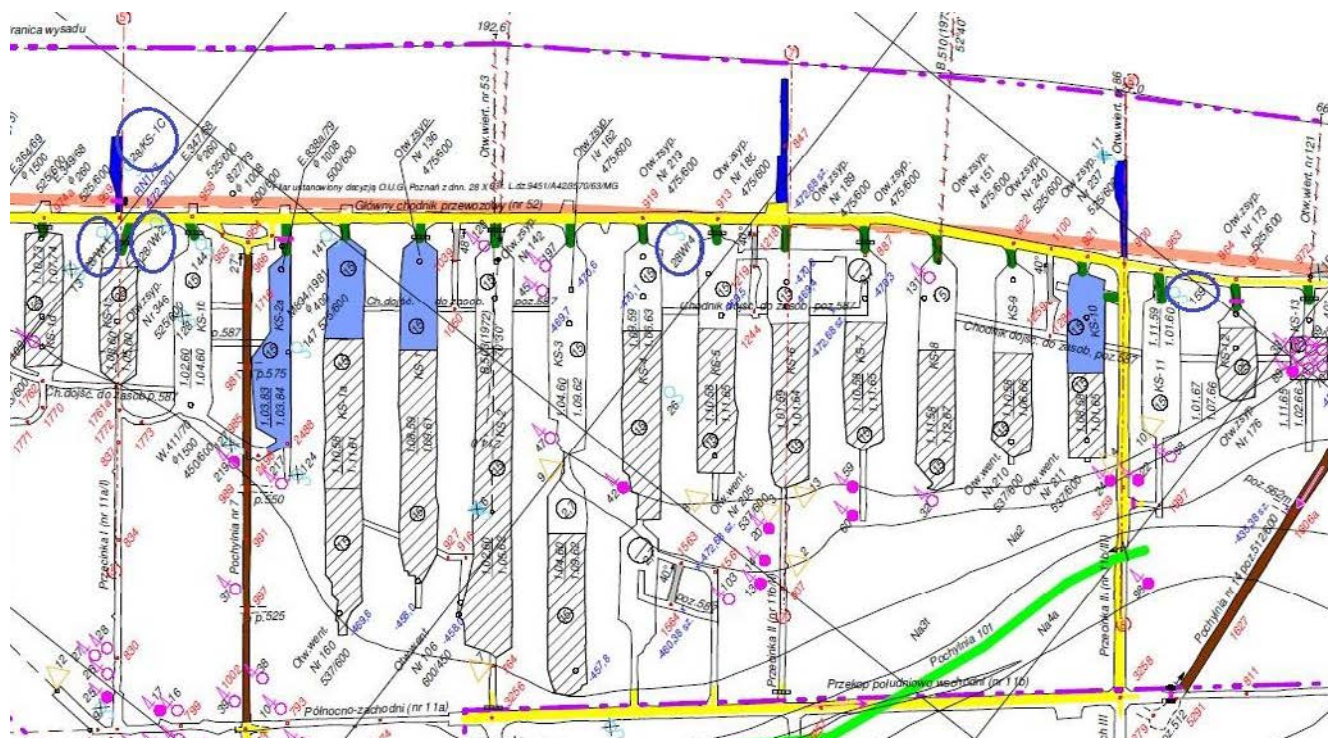
Zagrożenie wodne od strony północno-wschodniej granicy wysadu stwierdza się poziomymi otworami wiertniczymi przewiercającymi filar brzeżny. Wycieki w tej strefie cechuje stosunkowo mała wydajność przy znacznym ciśnieniu, odpowiadającym przeważnie ciśnieniu hydrostatycznemu dla danego poziomu. Wskazuje to na połączenie hydrauliczne tej strefy z wodami pozazłożowymi. Wypływającą cieczą jest nasycona NaCl solanka. Zagrożenie wodne związane z południowo-zachodnią granicą pola ma związek ze szczeliną tektoniczną po wyprasowanych ogniwach serii solnych, z której w pewnych miejscach wystąpiły niewielkie wycieki łągu. Ponieważ fuga ta sięga prawdopodobnie zwierciadła

INTRODUCTION

White rock salt Field No. 1 is situated along the eastern border of the Kłodawa salt dome, east of the central shafts of the Salt Mine. The length of the Field on horizontal plane reaches ca. 1,030 m and the width is from 40 to 200 m at Level 600. The south-western boundary of the Field is lying on the reduced PZ3 potassium-bearing series, with complete lack of K2 Older Potash, T3 Grey Pelite, or A3 Main Anhydrite units. The Field's salt deposit is strongly folded which is especially visible in the central section of the Field. In addition, white series of epigenetic salt, contaminated with crude oil, strongly saturated with gases, mainly with methane, and with changing thickness reaching a dozen of metres, occurs at the section of ca. 400 m, among the Older Halite deposits.

Water hazard occurring on the north-eastern boundary of the Field was identified upon drilling horizontal boreholes cutting through the boundary pillar. Leaks occurring in that zone were characterised by a fairly low volumes at significant pressure, corresponding mostly to the hydrostatic pressure of the given salt mine level. That would indicate that there was a hydraulic connection of the zone with the waters situated outside the salt dome. The leaking liquid consisted of brine saturated with NaCl.

Water hazard existing at the south-western boundary of the Field was associated with a tectonic crack running along the compressed salt series. Brine was leaking from the crack



Ryc. 1. Wycinek mapy poziomu 600 Pole 1 z zaznaczeniem trzech chodników przeznaczonych do likwidacji. Niebieskimi kółkami zaznaczono najważniejsze wycieki.

Fig. 1. Extract from the map of Field No. 1, Level 600, with marked three corridors intended for liquidation. Blue circles indicate the largest leaks.

solnego, unika się częstego przebijania jej wyrobiskami górnymi.

Zarówno w samym złożu Kopalni Soli „Kłodawa” S.A. jak i w jego otoczeniu nie występują zbiorniki wodne zagrażające bezpieczeństwu ruchu zakładu górnego. W rejonie projektowanych robót górniczych w Polu nr 1 w przeszłości miały miejsce wycieki i wypływy. Istnieje ryzyko, że w trakcie prowadzenia robót górniczych może dojść do połączeń hydraulicznych z już istniejącymi zjawiskami zagrożenia wodnego. W związku z powyższym istnieje prawdopodobieństwo wystąpienia nowych lub powiększenia strefy wpływu już istniejących zjawisk zagrożenia wodnego.

Przewidziane do likwidacji wyrobiska usytuowane są w południowo-wschodnim rejonie obszaru górnego i północno-wschodniej części Pola nr 1 na poz. 600. Znajdują się w strefie zidentyfikowanych zagrożeń naturalnych – zagrożenia wodnego, metanowego oraz wyrzutami gazów i skał. Wyrobiska korytarzowe wykonane w filarze brzeżnym pokazano na Ryc. 1. Długość tych wyrobisk wynosi odpowiednio: Chodnik KS-1c – 31,0 mb, Chodnik KS-6 – 54,1 mb, Przećinka III – 38,9 mb.

BUDOWA GEOLOGICZNA REJONU WYROBISK PRZEZNACZONYCH DO LIKWIDACJI

W wysadzie kłodawskim warstwy soli kamiennej występują we wszystkich czterech cyklotemach: sole najstarsze w cyklotemie PZ1, sole starsze w cyklotemie PZ2, sole młodsze w cyklotemie PZ3 i sole najmłodsze w cyklotemie PZ4. Przedmiotem eksploatacji są głównie sole starsze (Na2) i sole najmłodsze (Na4).

W Polu nr 1 przedmiotem eksploatacji były sole starsze (Na2). Starsza sól kamienna (Na2) jest to sól średnio- i gruboziarnista, biała oraz biała z szarym odcieniem. Występuje jako kompleks ławic o miąższości około 300 m i tworzy w złożu kłodawskim największe, dość jednorodne skupienia. W najbardziej typowym wykształceniu charakteryzuje się występowaniem szarych smug. Wzdłuż północno-wschodniej granicy wysadu, gdzie zalegają wyższe ogniwa stratygraficzne tego kompleksu, sole starsze zawierają średnio ok. 97,5% NaCl. W obrębie północno-wschodniej antykliny brzeżnej, na poziomach 600 i 630, przeważają sole laminowane różnokrystaliczne, od drobno- do grubokrystalicznych, z soczewami, żyłami i warstwami soli wielokrystalicznej (kryształowej) wtórnej. Brzegi tych żył i warstw są często wzbogacone w piasek anhydrytowy i bituminy. Na poziomie 750 opisywane ogniwo soli kamiennej jest bardziej jednorodne, pomimo spękań i przefaldowań. Dominuje typ soli równo- i różnokrystalicznej, średnio- i grubokrystalicznej, regularnie laminowanej. W południowo-zachodnich partiach wysadu zawartość NaCl nieznacznie obniża się do około 94,0-96,5%. W obrębie południowo-zachodniego antykli-

in some locations. Since the crack probably reached the salt mirror level, the miners avoid frequent cutting through the salt mirror with mining corridors.

No aquifers that would present hazard to mining safety existed within the salt deposit of the “Kłodawa” S.A. Salt Mine or in its surroundings. In the past, however, leaks and outflows had appeared in the areas of the newly designed mining operations in Field No. 1. There is risk that hydraulic connections can appear in the presently existing water-hazard areas during new mining works. Consequently, it is quite probable that new or expanded leaks may appear in that area.

The underground workings that are planned to be liquidated are situated in the south-eastern area of the mining operations and north-eastern section of Field No. 1 at Level 600. Such workings occur within the zone of identified natural hazards presented by water and methane and gas and rock bursts. The corridor workings cut within the boundary pillar are shown in Fig. 1. The length of those workings is the following: Corridor KS-1c: 31.0 m, Corridor KS-6: 54.1 m, and Cross-cut III: 38.9 m.

GEOLOGICAL STRUCTURE IN THE AREA OF THE WORKINGS INTENDED FOR LIQUIDATION

Rock salt beds belonging to all four cyclothems occur in the Kłodawa salt dome salts of: PZ1, PZ2, PZ3 and PZ4 cyclothems. Mainly Older Halite (Na2) and the Youngest Halite (Na4) are extracted by the Kłodawa Salt Mine.

Older Halite (Na2) were extracted in Field No. 1. This salt (Na2) is medium- or coarse-grained, white or white-greyish. Such salts occur as a bedded complex, with the thickness of ca. 300 m, creating the largest and fairly uniform salt concentrations in the Kłodawa deposit. The most typical formation is characterised by the occurrence of grey streaks.

Along the north-eastern boundary of the salt dome, where higher stratigraphic sequences occur in that complex, Older Halite unit contain ca. 97.5% of NaCl on the average. Within the north-eastern border anticline, at Levels 600 and 630, laminated salts with various grain sizes dominate, from fine- to coarse-grained crystalline salts, with lenses, veins, and beds of large-size crystalline secondary formations. The borders of those veins and layers are often mixed with anhydrite sand and bitumens.

The above described rock salt formation is more uniform, despite cracking and folding, at Level 750. Even-grained and diverse-grained crystalline, medium- and coarse-grained crystalline regularly laminated salts dominate.

In the south-western sections of the salt dome, the NaCl content is slightly reduced down to 94.0–96.5%. Within the south-western border anticlinorium, at Level 600, Salts of the Older Halite are white or grey, semi-transparent, with even-grain crystalline or mostly coarse- and medium-grain crys-

rium brzeżnego, na poziomie 600, sól starsza jest biała i szara, półprzezroczysta o strukturze równokrystalicznej, przeważnie grubo- i średniokrystalicznej. W południowym skrzydle antyklinorium dominuje typ soli laminowanej, określanej też jako „smugowana”, której główną cechą jest regularne występowanie równoległych ciemnych lamin anhydrytu o grubości do 4 mm.

Główne zanieczyszczenie w soli starszej stanowi anhydryt, występujący w formie rozproszonych drobnych ziaren oraz kwarc, węglany (kalcyt, magnezyt) i minerały ilaste. W wyższych partiach kompleksu występują śladowe ilości soli potasowych.

W rejonie przewidzianych do likwidacji wyrobisk dość dokładnie rozpoznano budowę geologiczną wysadu i nie stwierdzono zaburzeń geologicznych.

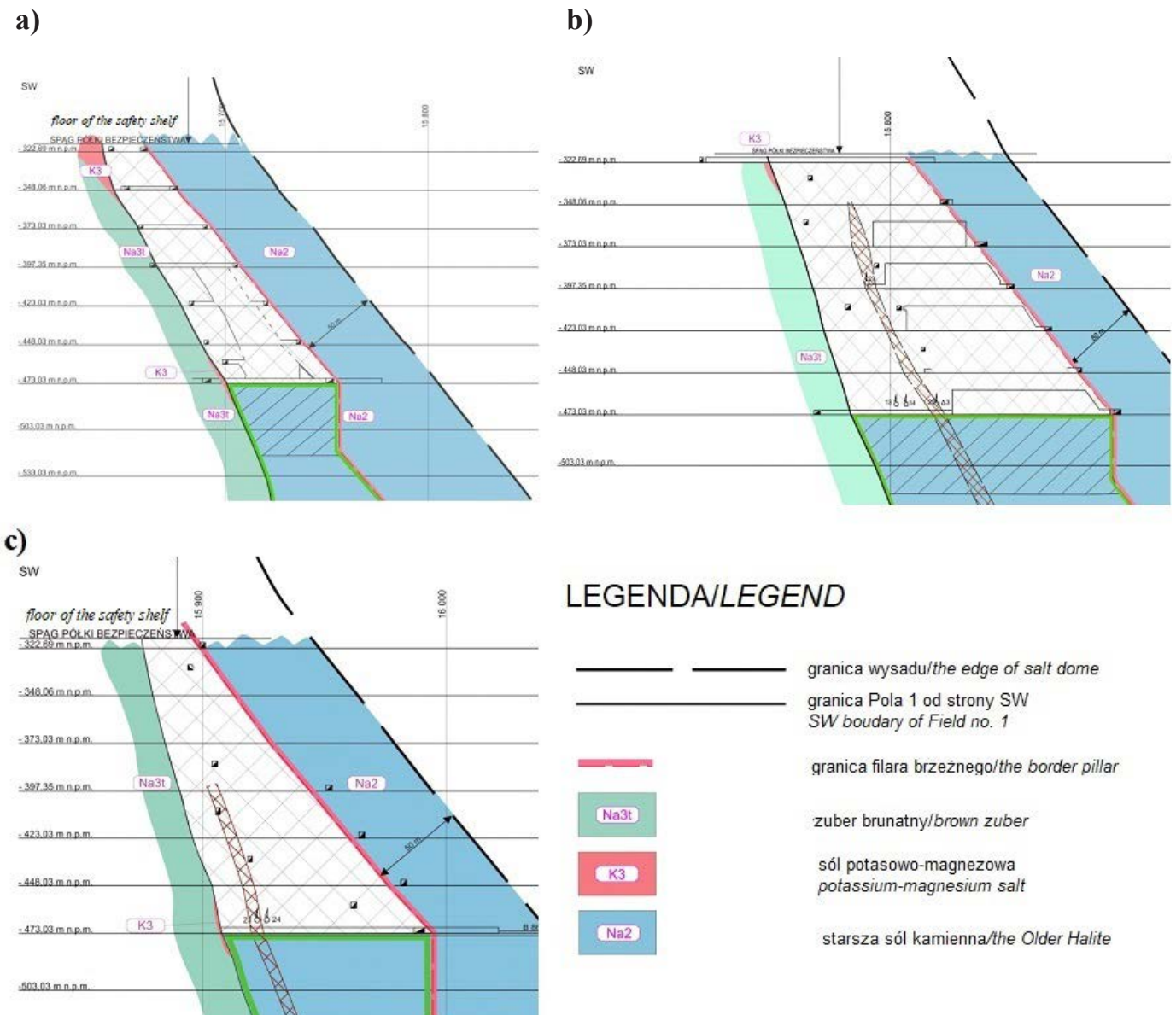
talline structure. The southern wing of the anticlinorium is dominated by laminated salts, called “streaked salts” where regular parallel dark anhydrite laminas, up to 4 mm thick each, are the main features.

Anhydrite is the dominating pollutant of Older Halite, occurring in the form of spread small grains, together with quartz, carbonates (calcite and magnesite) and silt minerals. Trace quantities of potassium salts appear in higher beds of the salt rock complex.

The geological structure of the salt dome has been well recognised in the area of the intended liquidation of mine workings and no geological disturbances were found.

Geological cross-sections of the area of the intended liquidation of mine workings are shown in Fig. 2.

SPĄG PÓLKI BEZPIECZEŃSTWA: floor of the safety shelf; *granica wysadu*: salt dome boundary; *granica pola 1 od*



Ryc. 2. Przekroje geologiczne: a) chodnik KS-1c, b) chodnik KS-6, c) Przecinka III.
Fig. 2. Geological cross-sections: a) Corridor KS-1c, b) Corridor KS-6, c) Cross-cut III.

Przekroje geologiczne obejmujące rejon likwidowanych wyrobisk pokazano na Ryc. 2.

WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE

W związku z zaliczeniem złoża „Kłodawa 1” (Bezkorowajny i in. 2013) wraz z przyległymi wyrobiskami górnictwami oraz otaczającym górotworem w granicach obszaru górnictwa do III stopnia zagrożenia wodnego, Kopalnia jest zobowiązana do stosowania zabezpieczeń w zakresie:

- Wyznaczania i pozostawiania filarów bezpieczeństwa:
 - stropowej półki bezpieczeństwa nad złożem o grubości 200 m,
 - filara brzeżnego o grubości 50 m do poziomu 600 oraz 75 m od poziomu 600 do 810,
 - filarów od warstwy o dużym prawdopodobieństwie zawodnienia – 30 m od granicy anhydrytu głównego.
- Prognozowania oraz monitoringu istniejących zjawisk wodnych obejmujących:
 - analizy chemiczne,
 - pomiary wydajności wypływu wód,
 - badania izotopowe – w przypadku uznania wycieku lub wypływu przez służbę geologiczną za potencjalnie niebezpieczny,
 - systematyczne analizy porównawcze uwzględniające warunki geologiczno-górnictwa,
 - systematyczne obserwacje zjawisk zagrożenia wodnego,
- Systematycznych pomiarów osiadań powierzchni terenu oraz konwergencji połączonej z bieżącą kontrolą wyrobisk, przy wsparciu jednostek naukowo-badawczych,
- Stosowania środków zapobiegawczych w postaci budowy tam wodnych w sytuacji wystąpienia dużego dopływu do/z likwidowanych wyrobisk.

Z uwagi na skomplikowaną sytuację hydrogeologiczną w rejonie likwidowanych wyrobisk, została ona szczegółowo przeanalizowana pod kątem prac likwidacyjnych. Dla kopalni najgroźniejsze są niżej opisane zjawiska, zagrażające bezpieczeństwu prowadzenia planowanych robót likwidacyjnych w tej części zakładu górnictwa:

Zjawisko 28/KS-1c (Ryc. 1) - Największe dopływy do rzepi, rzędu kilku cm, od momentu ostatniego wybierania, zaobserwowano tradycyjnie dla wrębów KS-1c oraz KS-11, które są zarazem największymi wrębami, i z których solankę dotychczas pobierano regularnie. W I i II kwartale 2021 roku wybrano wodę z rejonu Pola nr 1 uzyskując około 1 200 l solanki (ok. 200 l/miesiąc). W pozostałych wrębach Wr1, Wr2, Wr3 i Wr4 nie ma możliwości odczytania poziomu solanki z uwagi na przeprowadzone prace związane ze stosowaniem środków uszczelniających do iniekcji górotworu oraz robotami górnictwami. Do czasu zakończenia prac górnictwami, we wrębach Wr1, Wr2, Wr3 oraz Wr4 są prowadzone obserwacje

strony SW: boundary of Field No. 1 from the SW side; *granica filara brzeżnego*: boundary of border pillar; *zuber brunatny*: Brown Zuber; *sól potasowo-magnezowa*: potassium-magnesium salt; *starsza sól kamienna, biała*: white Older Halite

HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS

The “Kłodawa 1” salt deposit has been determined to belong to Water Hazard Area III, together with the adjacent mine workings and the surrounding rock mass situated within the mining area (Bezkorowajny et al. 2013). Consequently, the Salt Mine is obligated to implement the following types of protective measures:

- Determination of and keeping safety pillars:
 - ceiling protection shelf above the salt deposit, 200 m thick,
 - border pillars, 50 m high down to Level 600 and 75 m high between Levels 600 and 810,
 - pillars reaching from the layer of a high probability of flooding, 30 m away from the main anhydrite boundary.
- Prediction and monitoring of the current water events, including the following:
 - chemical analysis,
 - water outflow volumes,
 - isotopic examinations, once a leak or outflow has been recognised as potentially dangerous by the mine’s engineers,
 - regular comparative analyses taking into account geological and mining conditions,
 - regular observations of water hazards.
- Taking regular measurements of land surface subsidence and of workings’ convergence, in conjunction with regular inspections of mine workings, with the support of scientific and research workers.
- Application of preventive measures, in the form of water dams, in the case of the occurrence of large inflows or outflows in the workings to be liquidated.

Owing to the complex hydrogeological situation in the area of the workings to be liquidated, the situation was analysed in detail, in respect of the future liquidation works. The events described below are the most dangerous for the Salt Mine, as they can threaten the safety of the planned liquidation works in the specific section of the Salt Mine.

Event 28/KS-1c (Fig. 3). The largest inflows to sumps of several cubic cm each, after the previous brine collection, were observed in Corridors KS-1c and KS-11, being the largest ones, from which brine had been collected regularly. In Q1 and Q2 of 2021, brine was collected from the area of Field No. 1: ca. 1,200 l of brine (ca. 200 l/month). In the other underground Faces Wr1, Wr2, Wr3, and Wr4, it

pośrednie. Poziom odniesienia solanki jest niższy od potencjalnego punktu składowania pulpy. Potwierdzają to również badania chemiczne (próbek pobranych do czerwca 2021 r.), a zwłaszcza gęstość i pH prób solanek pobieranych do analizy. Pod względem chemicznym stężenie chlorków potasu wynosi od 29 do ok. 33,7 g/l, zaś chlorku wapnia od 40,5 do ok. 43,0 g/l, stężenie chlorków sodu wynosi od ok. 160 g/l do ok. 170 g/l – średnio 164,2 g/l. Natomiast ciężar właściwy pobieranych prób mieści się w zakresie od 1,225 do 1,248 g/cm³. Wszystkie powyższe wycieki posiadają przewagę kationów jednowartościowych nad dwuwartościowymi. Pierwsze cztery znajdują się w strefie przepływu powietrza, piąty (KS-1c) – w odległości ok. 30 m od strefy aktywnego przepływu powietrza. Solanki o podanym typie mineralizacji mogą w takich warunkach podlegać procesowi parowania, który powoduje odejście składu izotopowego wody od Światowej Linii Wód Meteorycznych. Uzyskane wyniki badań izotopowych wykonanych w 2020 r. z wrębu nr 3 i 4 są zbliżone do otrzymanych w 2016 r. – tzn. wody technologiczne zmieszane z innymi wodami nieokreślonego pochodzenia. Z izotopowego punktu widzenia może to być silnie odparowana woda spoza wysadu (aczkolwiek ostatni wynik skłania do złagodzenia takiej hipotezy). Nie można wykluczyć także technologicznego pochodzenia tej wody (Duliński i in., 2019).

Zjawisko 28/600/W3 - Skład izotopowy wody z tego zjawiska budzi od lat pewne wątpliwości co do swojej genezy (Duliński i in., 2019). Obecne wyniki nie odbiegają pod tym względem od wcześniejszych. Zarówno wartości składu izotopowego jak i jego zmienność czasowa sugerują możliwe warianty genetyczne wody:

- obserwowane wartości stanowią efekt silnego odparowania wody infiltracji czwartorzędowej – pesymistyczny wariant, którego jednak nie można wykluczyć z uwagi na nakładanie się trzech czynników: stosunkowo wysokiej temperatury i niskiej wilgotności atmosfery kopalni oraz mineralizacji zdominowanej przez jony jednowartościowe, co dodatkowo sprzyja parowaniu. Solanki o podobnej mineralizacji mogą w wyniku parowania do swobodnej atmosfery tracić nawet ponad 2/3 wyjściowej masy wody, wytrącając przy tym sól. Taki ubytek wody powinien skutkować dużą modyfikacją pierwotnego składu izotopowego. Jednakże do czasu wykonania odpowiednich pomiarów nie wiadomo jak duży może być izotopowy efekt parowania w warunkach kopalni.
- skład izotopowy jest rezultatem mieszania wody z pulpy z jakąś wodą technologiczną – wydaje się mniej prawdopodobne z uwagi na wiek pulpy i związaną z nim ilość odsączonej wody,
- badana woda jest całkowicie technologicznego pochodzenia.

Zgodnie z prowadzoną dokumentacją mierniczo-geologiczną zjawiska w chodnikach naprzeciw komór KS-6 i Prze-

was not possible to identify the brine level, because insulation works were conducted there, in the form of rock-mass injection, as well as regular mining operations. Until the mining operations have been completed, Faces Wr1, Wr2, Wr3, and Wr4 will be inspected by indirect observations. The brine reference level is lower than the potential point of pulp storage (pulp: rock salt process waste is deposited in the underground chambers in the form of pulp). That was also confirmed by chemical tests on the samples collected until June 2021, especially to obtain densities and pH values of the brine samples collected there. In chemical terms, the concentration of potassium chlorides ranged from 29 to ca. 33.7 g/l, and that of calcium chloride from 40.5 to ca. 43.0 g/l. The concentration of sodium chlorides ranged from ca. 160 g/l to ca. 170 g/l, or 164.2 g/l on the average. However, the specific gravity of the brine samples ranged from 1.225 to 1.248 g/cm³.

All the leaks discussed above were dominated by univalent cations over the bivalent ones. The first four leaks were situated in the air-flow zone, while the fifth one (KS-1c) ca. 30 m from the active air-flow zone. The brines of the above specified type of mineralisation rates can be susceptible to evaporation that causes deviation of the isotopic composition of water from the parameters of the Global Meteoric Water Line. The results of isotopic tests completed in 2020, using the samples from Faces No. 3 and 4, were similar to those obtained in 2016, which allows us to conclude that process waters were mixed with other waters of unknown origin. In isotopic terms, it could be strongly evaporated water arriving from the outside of the salt dome (although the most recent test result would rather reduce such a hypothesis). One may not exclude, however, that the water originated from the mining process [Duliński et al. 2019].

Event 28/600/W3. The isotopic composition of water belonging to that event has raised certain doubts in recent years as to the origin of the water [Duliński et al. 2019]. Recent results do not differ much from the previous ones. Both isotopic composition values and changes of the values in time suggest several genetic variants of water:

- The observed values are the results of strong infiltrating Quaternary water evaporation, which is a pessimistic option, although it cannot be excluded, owing to the three concurrent conditions: a relatively high temperature, low air humidity in the salt mine, and the mineralisation rate dominated by univalent ions, which additionally cause increase of evaporation. As a result of evaporation to air, the brines of similar mineralisation rates can lose even more than 2/3 of original water mass, with salt precipitation. Such water loss should result in a considerable modification of the original isotopic composition. However, it is not known how large can be the isotopic effect of evapora-

cinki III (nr 11b/III) do ok. 2010 roku były obserwowane jako niewielkie kałuże i zawilgocenia. Z biegiem lat poziom solanki w rejonie występowania zjawisk zagrożenia wodnego nieznacznie się obniżył. Dziś, w związku z konwergencją wyrobisk i jednocześnie uniemożliwieniem dojścia ww. rejonie (naprzeciw komór KS-6 i Przecinki III (nr 11b/III)) prowadzi się częściowo obserwacje pośrednie. Dotychczasowe (z ostatnich 10 lat) jak i bieżące obserwacje nie wykazały i nie wykazują znamion zjawiska aktywnego. Solanka ówczesnie zgromadzona skryształizowała w spągu likwidowanych chodników. Jednocześnie nie wykluczone jest występowanie niewielkich zawilgoczeń w końcowych odcinkach ww. wyrobisk.

Analizując skład chemiczny i izotopowy poszczególnych zjawisk wodnych należy brać pod uwagę fakt wypełniania niektórych komór (Ryc. 1) odpadami technologicznymi soli, składowanymi w tych komorach w postaci pulpy.

Ciecze pochodzące z wycieków w wyrobiskach, jeżeli spełniają odpowiednie wymagania dotyczące ich składu chemicznego, są wykorzystywane jako płuczka dołowych otworów wiertniczych.

METODA OGRANICZENIA ZAGROŻENIA WODNEGO

Z uwagi na czynne zjawisko wodne/solankowe w chodniku nie ma możliwości jego pełnej likwidacji, przynajmniej do czasu stabilnego samozaniku zjawiska. Ze względu na specyfikę zjawisk wodnych w górotworze solnym, budowa klasycznej tamy betonowej jest nieuzasadniona, w szczególności biorąc pod uwagę wielkość dopływu do wrębu oraz zachowanie bieżącej jego kontroli.

W związku z istnieniem czynnego zjawiska wodnego 28/KS-1c projektuje się wykonanie przytamtki o wysokości ok. 90 cm wykonanej z belek drewnianych, przez którą zostanie przeprowadzony rurociąg $\varnothing 50$ mm, umożliwiający wypompowanie solanki z rząpika w Chodniku KS-1c bez konieczności wchodzenia do wyrobiska (Motyka i in. 2021). Końcówka rurociągu zaopatrzona w kosz ssawny zostanie umieszczona w rząpiu, a następnie przechodząc przez przytamtę zostanie podłączona do pompy umożliwiającej odpompowywanie solanki. W przypadku zwiększonego dopływu do wrębu przewiduje się wykonanie drugiej, analogicznej przytamtki w odległości 4,0 m od wlotu do Głównego chodnika przewozowego (nr 52). Przestrzeń między przytamtami powinna zostać wypełniona iłem, rozłożonym warstwami o grubości ok. 20 cm z zagęszczeniem każdej warstwy. Rurociąg do wypompowywania solanki powinien zostać przedłużony. Lokalizację przytamek oraz jej konstrukcję i szczegóły wrębów pokazano na Ryc. 3.

Nie przewiduje się odwadniania Chodnika KS-6 oraz Przecinki III z racji niewystępowania obecnie w tych wyrobiskach wody/solanki. W obu przewidzianych do likwidacji wyrobiskach w przeszłości zaobserwowano zjawiska wod-

tion in the salt mine conditions until proper measurements have been completed.

- Isotopic composition is a result of mixing pulp water with some type of process water: this option seems to be less probable, owing to the age of pulp and the related quantities of drained water.
- Tested water turned out to be process water and nothing else.

According to the current surveying and geological documentation, the events occurring in the corridors opposite Chambers KS-6 and Cross-cut III (No. 11b/III) were recorded as small puddles and humid areas until about 2010. With years, however, the level of brine in the area of water hazard was slightly lowered. Today, only indirect observations are conducted due to the convergence of workings and blocked access to that area (opposite Chamber KS-6 and Cross-cut III (No. 11b/III)). Previous observations conducted in the past ten years and the current ones have not identified any active phenomena. Previously collected brine crystallised at the floor of the liquidated corridors. However, we cannot exclude that humid areas can occur in the terminal section of the mine workings.

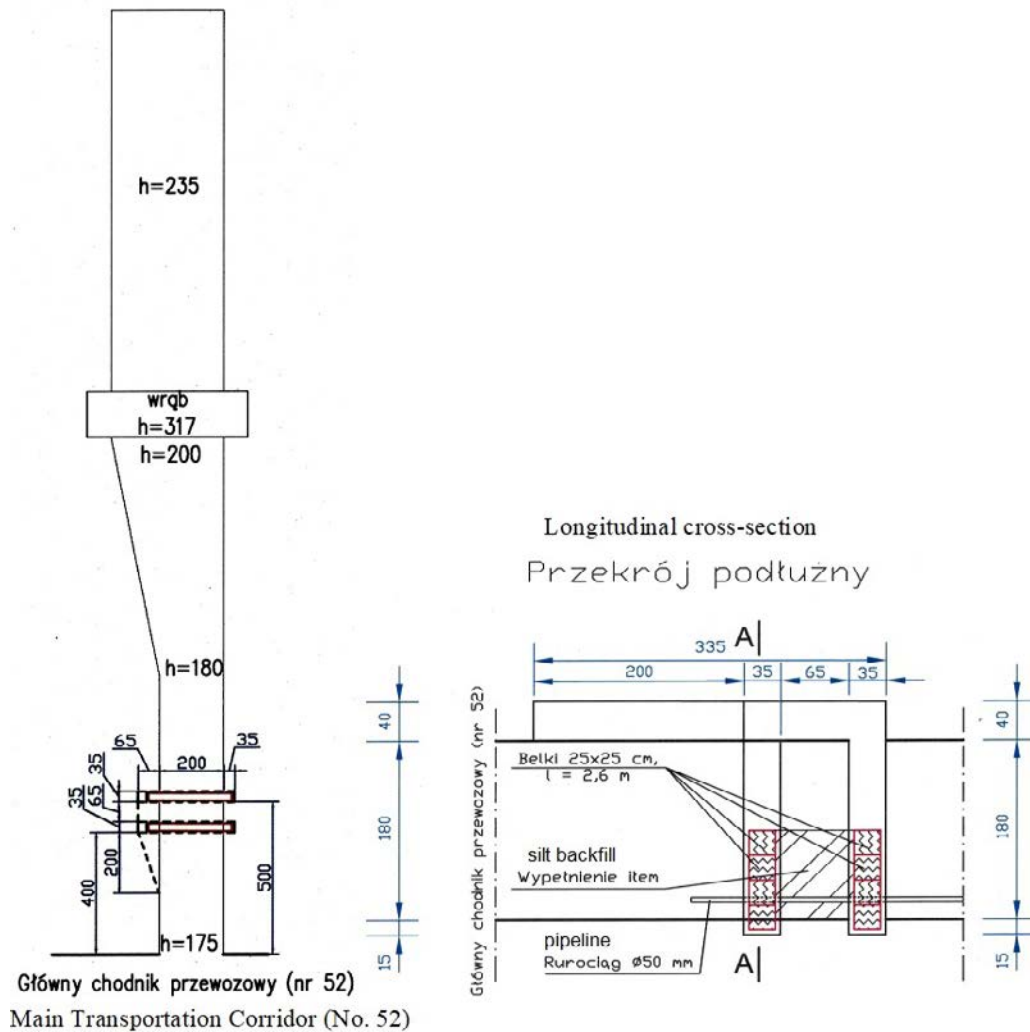
When analysing the chemical and isotopic compositions of particular water events, one should consider the fact that some of the chambers have been backfilled with rock salt process waste (Fig. 3), deposited in the underground chambers in the form of pulp.

The liquid originating from the chamber leaks is used as drilling fluid in underground drilling operations provided that it meets certain requirements.

METHODS OF REDUCING WATER HAZARD

It is not possible to liquidate underground workings, owing to the active water/brine events occurring in the mine's corridors, at least until the leaks have disappeared naturally. Water events within salt rock mass are quite specific and it is not reasonable to construct concrete dams, especially when we take into account the size of inflows to the corridor faces or regular inspections of leaks.

Water Event 28/KS-1c continues to be active and that is why a low retention dam has been designed, ca. 90 cm high, made of wooden beams. A $\varnothing 50$ mm pipeline will penetrate the dam to pump out brine from the sump of Corridor KS-1c, without the need to enter the workings (Motyka et al. 2021). The tip of the pipe will be fitted with a suction and sinking basket and placed in the sump. The pipe penetrating the low retention dam will be connected to a pump, and brine will be removed. In case of large flows into the corridor face, another similar low retention dam is contemplated, 4.0 m away from the entrance of the Main



Ryc. 3. Szkic Chodnika KS-1c z lokalizacją dwóch przytamek oraz przekrój podłużny
 Fig. 3. A sketch of Corridor KS-1c, with the locations of two retention dams, and a longitudinal cross-section

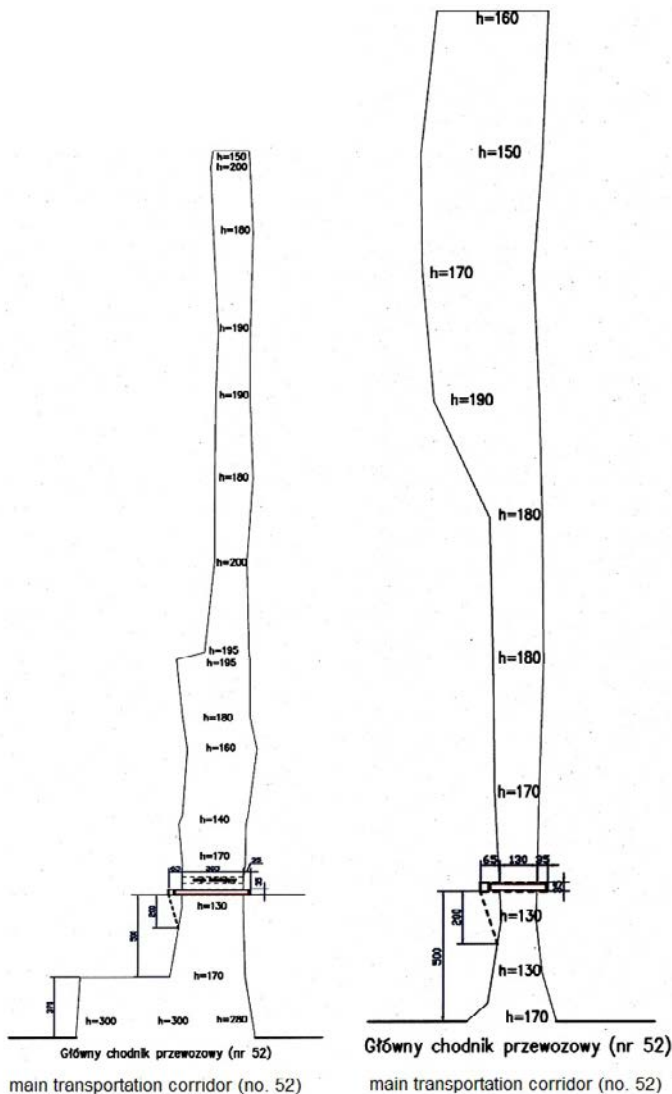
ne w postaci niewielkich kałuż i zawilgoceń, które z czasem uległy skryształowaniu. Na przestrzeni ostatnich 10 lat nie stwierdzono w tych wyrobiskach obecności wody/solanki. W związku z tym projektuje się likwidację tych wyrobisk poprzez wypełnienie ich łem oraz zamknięcie tamami drewnianymi leżącymi.

Oba wyrobiska powinny zostać wypełnione łem, układanym warstwami o grubości ok. 20÷30 cm i zagęszczonym poprzez ubijanie (Motyka i in. 2021). Dopuszczona jest możliwość ułożenia w części przystopowej warstw łu bez zagęszczenia. Likwidowane wyrobisko zamknięte zostanie pełną tamą drewnianą z belek leżących o przekroju 25 × 25 cm z drewna klasy min. C20 (drewno sosnowe, bukowe lub dębowe), obsadzonej w górotworze (we wrębach) na głębokość min. 30 cm. Długość belek w Chodniku KS-6 – ok. 3,65 m, a w Przecince III ok. 1,9 m. W spągu wyrobiska należy wykonać wręb o głębokości min. 15 cm (w razie stwierdzenia spękania warstwy przypowierzchniowej spągu wyrobiska wręb będzie pogłębiony), szerokości ok. 35 cm i wypełniony warstwą łu o grubości min. 5 cm. Na tak wykonanym podłożu zostanie ułożona pierwsza belka. Ponadto zostaną

Transportation Corridor (No. 52). The space between the retention dams should be backfilled with silt, spread in layers, ca. 20 cm thick each, with compaction of each layer. The brine pipeline should be then extended. The locations of retention dams and structural details of dams and faces are shown in Fig. 3.

Designers do not expect to dewater Corridor KS-6 or Cross-cut III because no water or brine has been found there. In both workings to be liquidated, brine leaks, in the form performance puddles and humid areas, had been observed in the past. Brine crystallised with time. In the past ten years, no water or brine was found in those workings. Consequently, the workings will be liquidated by backfilling with silt and closed with wooden dams placed on the floor.

Both workings will be backfilled with silt in ca. 20-30 cm layers, with compaction of each layer (Motyka et al. 2021). It is also possible to lay a top silt layer without compaction. The workings to be liquidated will be closed with a solid dam laid on the floor, The dam will be made of wooden beams, 25x25 cm each, with Timber Class of at least C20 (pine, beech or oak wood), mounted in notches



Ryc. 4. Szkic Chodnika KS-6 oraz przecinki III z lokalizacją tam.

Fig. 4. A sketch of Corridor KS-6 and Cross-cut III, with dam location.

wykonane wręby w ociosach wyrobiska o głębokości ok. 35 cm i szerokości ok. 35 cm, stanowiące punkty stabilizacji belek przytamki. W stropie wyrobiska przewidziano wykonanie przybierki o wysokości ok. 40 cm z jednostronnym „wachlarzem” umożliwiającym układanie belek we wrębach. Każda belka powinna zostać rozparta (zastabilizowana) we wrębie za pomocą klinów drewnianych, a dodatkowo zostaną one spięte kłami ciemnymi. Pusta przestrzeń we wrębie zostanie wypełniona łem.

Wznoszenie tamy będzie skorelowane z wypełnianiem końcowego odcinka wyrobiska łem w ten sposób, aby w miarę możliwości maksymalnie wypełnić przestrzeń przy tamie w części przystropowej.

Z uwagi na zróżnicowany przekrój poprzeczny obu wyrobisk, który dość istotnie zmienia się na ich długości, lokalizację tamy wraz z jej szczegółami w Chodniku KS-6 pokazano na Ryc. 4 i 5.

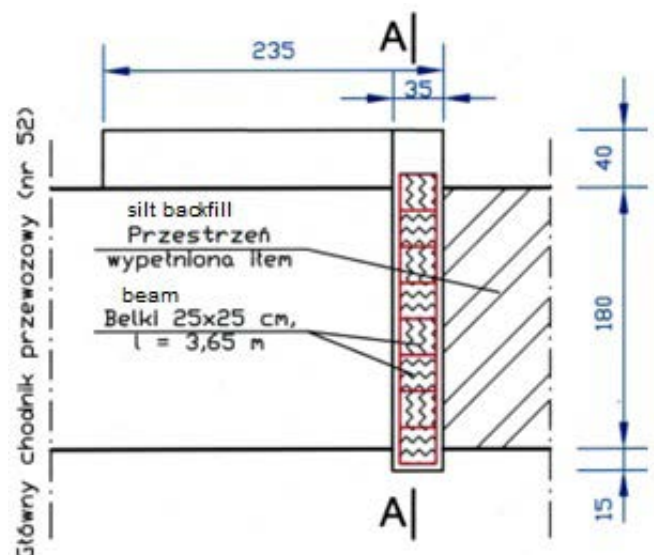
made within the rock mass, at the depth of at least 30 cm. The length of the beams in Corridor KS-6 will be ca. 3.65 m, and that in Cross-cut III: ca. 1.9 m. Besides a min. 15 cm notch will be made in the floor. The notch will be deeper if the floor surface is found to be cracked. The notch width will be ca. 35 cm. It will be backfilled with a layer of silt, min. 5 cm thick. Such a substrate will be used for laying the first wooden beam. Besides, notches will be cut in the workings' walls, ca. 35x35 cm each, constituting mounting points for the retention dam beams. The ceiling will be cut, 40 cm deep, with a side ripping allowing for mounting the beams in the notches. Each beam should be expanded (or stabilised) within its notch, using wooden wedges. In addition, the beams will be fastened with brackets. The empty space in the working will be backfilled with silt.

Dam construction will be correlated with backfilling of the terminal section of the working with silt so that the top space close to the dam has been backfilled to the as tight as possible.

The cross-sections of both workings are diverse and their parameters considerably change at the length of each working. The location of the dam in Corridor KS-6 and its details are shown in Figs. 4 and 5.

SUMMARY

A separate solution has been proposed for the active water/brine event occurring in Corridor KS-1c. It consists in the construction of two low retention dams, with silt backfilling between them, and a pipeline penetrating the dams to pipe brine out of the working sump. Such a solution will assure access to the working and, at the same time, protect that section of the Mining Field in case of the increased inflow. In extreme



Ryc. 5. Przekrój podłużny przez chodnik KS-6 i Przecinkę III w rejonie projektowanych tam.

Fig. 5. Longitudinal cross-section of Corridor KS-6 and Cross-cut III, in the area of the designed dams.

PODSUMOWANIE

W przypadku czynnego zjawiska w Chodniku KS-1c zaproponowano rozwiązanie polegające na wykonaniu dwóch przytamek z wypełnieniem iłowym pomiędzy nimi oraz przeprowadzenie przez nie rurociągu wypompowującego solankę z wrębu (rząpika). Takie rozwiązanie zapewnia dostęp do wrębu, ale jednocześnie zabezpiecza ten rejon Pola w przypadku zwiększenia się wydajności wypływu. W skrajnym przypadku umożliwia wykonanie pełnego odcięcia chodnika poprzez nadbudowę na zaprojektowanych przytawkach konstrukcji tamy pełnej z uszczelnieniem iłowym.

Pełna likwidacja wyrobiska poprzez jego wypełnienie materiałem ilastym jest możliwa w przypadku Chodnika KS-6 oraz Przecinki III. Wynika to z faktu zanikania w tych wyrobiskach zjawisk wodnych. W przypadku ich ewentualnego ponownego uaktywnienia się, materiał ilasty wypełniający te wyrobiska będzie stanowić rodzaj szczelnego orka, dodatkowo zabezpieczonego drewnianą tamą.

Zaproponowane działania w istotny sposób ograniczają zagrożenie wodne i podnoszą bezpieczeństwo w tym fragmencie Pola nr 1.

cases, this system will allow for making a complete cut-off of the corridor across the superstructure on the designed retention dams, with the construction of a full plugging dam, with silt backfill.

A complete liquidation of the workings by silt backfilling will be possible to attain in Corridor KS-6 and Cross-cut III since water/brine events have disappeared in those workings. In the case of leak reactivation, silt backfill will act as a plug and it will be additionally protected with a wooden dam.

The operations proposed here will considerably reduce water hazard and increase safety in the specific section of Field No. 1.

LITERATURA/REFERENCES

BEZKOROWAJNY A., MOTYKA J., i in., 2013. Dokumentacja hydrogeologiczna złoża „Kłodawa 1”, Stow. Nauk. im. St. Staszica, Kraków (mat. arch. KS „Kłodawa S.A.).

DULIŃSKI M., RÓŻAŃSKI K., GORCZYCA Z., 2019. Badania składu izotopowego prób ługów solnych pobranych w roku 2019 w KS w Kłodawie, (mat. arch. KS „Kłodawa S.A.).

MOTYKA J., ANDRUSIKIEWICZ W., D'OBYRN K., CYRAN K., 2021. Projekt techniczny likwidacji wyrobisk poza filarem brzeżnym w Polu nr 1 na poz. 600 m w Kopalni Soli „Kłodawa” S. A., FNITG, Kraków (mat. arch. KS „Kłodawa S.A.).