

1 (549) 2022

# **Mining**

## **INFORMATICS AUTOMATION AND ELECTRICAL ENGINEERING**

SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL



**INFORMATICS**  
**INFORMATYKA**

**ELECTRICAL ENGINEERING**  
**ELEKTRYKA**

**AUTOMATION**  
**AUTOMATYKA**

CZASOPISMO NAUKOWO-TECHNICZNE

*Mining – Informatics Automation and Electrical Engineering*

**AUTOMATION AND ELECTRICAL ENGINEERING**  
**MECHANICAL ENGINEERING**  
**TECHNICAL IT AND TELECOMMUNICATIONS**  
**ENVIROMENTAL ENGINEERING, MINING AND ENERGY TECHNOLOGY**  
**MATERIALS ENGINEERING**  
**QUALITY MENAGEMENT**

**AUTOMATYKA, ELEKTRONIKA I ENERGOTECHNIKA**  
**INŻYNIERIA MECHANICZNA**  
**INFORMATYKA TECHNICZNA I TELEKOMUNIKACJA**  
**INŻYNIERIA ŚRODOWISKA, GÓRNICTWO I ENERGETYKA**  
**INŻYNIERIA MATERIAŁOWA**  
**NAUKI O ZARZĄDZANIU I JAKOŚCI**

**MINING – INFORMATICS, AUTOMATION AND ELECTRICAL ENGINEERING**  
**Published since 1962**

DOI: <https://doi.org/10.7494/miag>

Chairman of the Scientific Board/Przewodniczący Rady Naukowej:  
*Grzegorz Cieplik*, AGH University of Science and Technology, Kraków (Poland)

Secretary of the Scientific Board/Sekretarz Rady Naukowej:  
*Krzysztof Kotwica*, AGH University of Science and Technology, Kraków (Poland)

Members of the Scientific Board/ Członkowie Rady Naukowej:  
*Dariusz Andriukaitis*, Kaunas University of Technology, Kaunas (Lithuania)  
*Naj Aziz*, University of Wollongong, Wollongong (Australia)  
*Edward Chlebus*, Wrocław University of Science and Technology, Wrocław (Poland)  
*George L. Danko*, University of Nevada, Reno (USA)  
*Krzysztof Filipowicz*, Silesian University of Technology, Gliwice (Poland)  
*Jiří Fries*, Technical University of Ostrava, Ostrava (Czech Republic)  
*Leonel Heradia*, EAFIT University, Medellín (Columbia)  
*Arkadiusz Mężyk*, Silesian University of Technology, Gliwice (Poland)  
*Josph Molnar*, University of Miskolc, Miskolc (Hungary)  
*Jacek Paraszcak*, Laval University, Quebec (Canada)  
*Sorin Mihai Radu*, University of Petrosani, Petrosani (Romania)  
*Yuan Shujie*, Anhui University of Science and Technology, Huainan (China)  
*Marek Sikora*, Institute of Innovative Technologies EMAG, Katowice (Poland)  
*Radosław Zimroz*, Wrocław University of Science and Technology, Wrocław (Poland)  
*Nenad Zrnić*, University of Belgrade, Belgrade (Serbia)

Editorial staff/ Redakcja czasopisma:  
Editor in Chief/ Redaktor naczelny – *Krzysztof Krauze*  
Deputy Editor in Chief/ Zastępca redaktora naczelnego – *Jacek Korsi*  
Managing Editor/ Kierownik redakcji – *Kamil Mucha*  
Manuscript Editor/ Redaktor techniczny – *Tomasz Wydro*  
Web Editor/ Redaktor strony internetowej – *Marcin Nawrocki*

Associate editors/ Redaktorzy tematyczni:  
*Jarosław Joostberens* (automation and robotics/ automatyka i robotyka)  
*Tomasz Siostrzonek* (electrical engineering/ elektronika i energotechnika)  
*Tomasz Machniewicz* (mechanical engineering/ inżynieria mechaniczna)  
*Ryszard Klempka* (technical IT/ informatyka techniczna)  
*Antoni Wojaczek* (telecommunications/ telekomunikacja)  
*Waldemar Korzeniowski* (environmental engineering, mining and energy technology/ inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka)  
*Kazimierz Drozd* (materials engineering/ inżynieria materiałowa)  
*Patrycja Hąbek* (quality management/ nauki o zarządzaniu i jakości)

**PUBLISHER**

Linguistic Corrector/ Korekta językowa: *Aedden Shaw* (English/ język angielski), *Kamila Zimnicka* (Polish/ język polski)

Desktop Publishing/ Skład komputerowy: *Andre*

Cover Design/ Projekt okładki i strony tytułowej: *ROMEDIA-ART*

© Wydawnictwa AGH, Kraków 2022, Creative Commons CC-BY 4.0 License

ISSN 2449-6421 (online)  
ISSN 2450-7326 (printed)

*The electronic version of the journal is the primary one.*  
*Number of copies: 45*

---

Wydawnictwa AGH (AGH University Press)  
al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków  
tel. 12 617 32 28, 12 636 40 38  
e-mail: [redakcja@wydawnictwoagh.pl](mailto:redakcja@wydawnictwoagh.pl)  
[www.wydawnictwo.agh.edu.pl](http://www.wydawnictwo.agh.edu.pl)

---

## Table of Contents

*Janusz Kołodziejski*

|                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Salt market characteristics in Poland on the example of the “Kłodawa” Salt Mine ..... | 7  |
| Charakterystyka rynku soli w Polsce na przykładzie Kopalni Soli „Kłodawa” S.A. ....   | 15 |

*Krzysztof Szydłowski, Michał Flasza*

|                                         |    |
|-----------------------------------------|----|
| The historic “Bochnia” Salt Mine .....  | 23 |
| Zabytkowa Kopalnia Soli „Bochnia” ..... | 28 |

*Jarosław Malik, Jan Kucharz*

|                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| The current condition and future of the “Wieliczka” Salt Mine ..... | 33 |
| Stan obecny i przyszłość Kopalni Soli „Wieliczka” .....             | 41 |

*Piotr Urbański, Artur Gawlik*

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Rock salt production in O/ZG “Polkowice-Sieroszowice” – a case study .....         | 49 |
| Produkcja soli kamiennej w O/ZG „Polkowice-Sieroszowice” – studium przypadku ..... | 66 |





## ABSTRACTS

JANUSZ KOŁODZIEJSKI

### SALT MARKET CHARACTERISTICS IN POLAND ON THE EXAMPLE OF THE "KŁODAWA" SALT MINE

This article is a brief summary of information on the salt market in Poland. In addition it defines the economic areas in which sodium chloride is used, the sources of salt production and the forms in which it occurs – brine, evaporated salt and rock salt. General information is also given on the evaporated and rock salt producers in Poland. The market shares of individual salt producers, importers and solid salt producers and the countries that are the largest salt producers in the world are also presented. The article generally describes terms the largest rock salt producer in Poland, i.e. Kopalnia Soli "Kłodawa" S.A. The degree of detail of the information provided has been deliberately limited due to its sensitivity and the protection of market data.

KRZYSZTOF SZYDŁOWSKI  
MICHAŁ FLASZA

### THE HISTORIC "BOCHNIA" SALT MINE

The beginnings of the "Bochnia" Salt Mine date back to 1248. Over the centuries, its structure, methods of operation and purpose have all changed, with its miners being pioneers in Poland with regard to the method of extraction and the technologies used. Over hundreds of years, several shafts have been excavated, and a maze of galleries created near Bochnia, creating something like a town outside and underneath the city. Due to the depletion of the deposit and increasing costs, mining was stopped, and the last lump of salt came to the surface in 1990. Since that time the company has been making efforts to protect the natural and historical heritage by securing the workings and making them available for sightseeing by tourists.

JAROSŁAW MALIK  
JAN KUCHARZ

### THE CURRENT CONDITION AND FUTURE OF THE "WIELICZKA" SALT MINE

The article focuses on matters related to the operation of the "Wieliczka" Salt Mine, outlining its activity in 2021 as well as the plans for the years to come. It describes the securing and accessibility activities carried out by the company. In terms of tourism, this is being reintroduced after the pandemic restrictions. It also contains a concise synthesis of the implemented protective measures aimed to limit the natural hazards and to ensure the safety of persons who remain in the underground excavations through pro-environmental measures. The article also presents the activities of the mine for the subsequent years of its functioning.

PIOTR URBAŃSKI  
ARTUR GAWLIK

### ROCK SALT PRODUCTION IN O/ZG "POLKOWICE-SIEROSZOWICE" – A CASE STUDY

The first works related to the exploration of the salt deposit in O/ZG "Polkowice-Sieroszowice" took place in 1991. At that time, a number of opening-out headings to the salt deposit from the

## STRESZCZENIA

JANUSZ KOŁODZIEJSKI

### CHARAKTERYSTYKA RYNKU SOLI W POLSCE NA PRZYKŁADZIE KOPALNI SOLI „KŁODAWA” S.A.

Artykuł jest skrótownym zestawieniem informacji dotyczących rynku solnego w Polsce. Poza tym określa dziedziny gospodarki, w których wykorzystywany jest chlorek sodu, źródła pozyskiwania soli i formy jej występowania (solanka, sól warzona i sól kamienna). Ponadto w artykule zawarto ogólne informacje dotyczące producentów soli warzonej i kamiennej w Polsce. Przedstawione są również udziały procentowe w rynku poszczególnych producentów soli, importerów i producentów soli w postaci stałej oraz kraje, produkujące największą ilość soli na świecie. W artykule ogólnie scharakteryzowano największego producenta soli kamiennej w Polsce, czyli Kopalnię Soli „Kłodawa” S.A. Stopień szczegółowości podawanych informacji został ograniczony ze względu na ich poufność i ochronę danych rynkowych.

KRZYSZTOF SZYDŁOWSKI  
MICHAŁ FLASZA

### ZABYTKOWA KOPALNIA SOLI „BOCHNIA”

Początki Kopalni Soli „Bochnia” sięgają 1248 r. Na przestrzeni wieków zmieniała się jej struktura, sposób eksploatacji, a także przeznaczenie, a sami górnicy byli w Polsce pionierami w kwestii sposobu wydobycia oraz zastosowanych technik. Przez setki lat wydłużano kilkanaście sztybów, a pod Bochnią powstał labirynt chodników i korytarzy – swoiste miasto pod miastem. Ze względu na wyczerpywanie się złoża oraz coraz to większe koszty zaprzestano wydobycia, a ostatni kruch soli wyjechał na powierzchnię w 1990 r. Od tego czasu przedsiębiorstwo czyni starania mające na celu ochronę dziedzictwa przyrodniczego i historycznego przez zabezpieczanie wyrobisk oraz udostępnianie ich do zwiedzania rzeszy turystów.

JAROSŁAW MALIK  
JAN KUCHARZ

### STAN OBECNY I PRZYSZŁOŚĆ KOPALNI SOLI „WIELICZKA”

Artykuł przybliża zagadnienia związane z funkcjonowaniem Kopalni Soli „Wieliczka”, omawiając działalność w 2021 r. i plany na kolejne lata. Opisano działania przedsiębiorstwa związane z zabezpieczaniem i udostępnianiem kopalni. W zakresie ruchu turystycznego trwa jego odbudowa po ograniczeniach pandemicznych. W zarysie przedstawiono zadania zabezpieczające służące ograniczeniu zagrożeń naturalnych i zapewnieniu bezpieczeństwa ludzi przebywających w wyrobiskach podziemnych oraz działania proekologiczne. Omówiono również działania kopalni planowane na kolejne lata jej funkcjonowania.

PIOTR URBAŃSKI  
ARTUR GAWLIK

### PRODUKCJA SOLI KAMIENNEJ W O/ZG „POLKOWICE-SIEROSZOWICE” – STUDIUM PRZYPADKU

Pierwsze prace związane z rozpoznaniem złoża solnego w O/ZG „Polkowice-Sieroszowice” miały miejsce w 1991 r. Rozpoczęto wówczas drążenie szeregu wyrobisk udostępniających złoża solne

level of the copper ore level were begun. Currently, the total length of the excavations in the salt deposit is approximately 40 km. It should be noted that, depending on the function, the volume of drifts is different, which results from the dimensions of individual excavations. The total volume of drifts in the salt deposit is estimated to be approximately 2.5 million m<sup>3</sup>. In the Sieroszowice mining area, salt occurs at a depth of 950 m above sea level. In November 2013, the mine obtained a license to extract rock salt from the "Bądzów" deposit (50 years).

Part of the mining activities in the salt deposit are performed mechanically in a chamber system with the use of roadheaders. The applied technology for deposit extraction requires the methodology of headings mining. These headings (chambers) are made in layers, from top to bottom. The target transverse dimensions of the chambers are 15 m × 15 m (width × height) in a variety of lengths. Chambers are separated by inter-chamber pillars 20 m wide, which should ensure the stability of the chambers and the pillars themselves. The remaining works consist of drifts driving with dimensions 7 m × 5 m (width × height).

The mining works carried out so far take place more or less in the middle part of the deposit (understood in terms of thickness), and the excavations created as a result of these works are located in salts with various geomechanical parameters.

z poziomu złoża rud miedzi. W chwili obecnej łączna długość wyrobisk górniczych w złożu soli wynosi około 40 km. Należy zaznaczyć, że w zależności od rodzaju wyrobiska ich kubatura jest różna, co wynika z gabarytów poszczególnych wyrobisk. Łączną kubaturę wyrobisk wykonanych w złożu solnym szacuje się na około 2,5 mln m<sup>3</sup>.

W obszarze górniczym Sieroszowice sól występuje na głębokości 950 m p.p.t. W listopadzie 2013 r. kopalnia uzyskała koncesję na wydobywanie soli kamiennej ze złoża „Bądzów” (50 lat).

Część robót górniczych w złożu solnym prowadzona jest systemem komorowym, mechanicznie, z wykorzystaniem kombajnów górniczych. Stosowana technologia urabiania złoża narzuca sposób wykonywania wyrobisk. Wyrobiska te (komory) wykonywane są warstwami z góry na dół. Docelowe wymiary poprzeczne komór to 15 m × 15 m (szer. × wys.) przy zróżnicowanej długości tych wyrobisk. Komory rozdzielone są filarami międzykomorowymi o szerokości 20 m, które powinny zapewnić zachowanie stateczności komór i samych filarów. Pozostałe roboty górnicze polegają na drażeniu wyrobisk korytarzowych o wymiarach 7 m × 5 m (szer. × wys.).

Dotychczas prowadzone roboty górnicze mają miejsce mniej więcej w środkowej partii złoża (rozumiejąc ją jako miąższość), powstałe w wyniku tych robót wyrobiska zlokalizowane są w solach o zróżnicowanych parametrach geomechanicznych.

JANUSZ KOŁODZIEJSKI

## Salt market characteristics in Poland on the example of the “Kłodawa” Salt Mine

*This article is a brief summary of information on the salt market in Poland. In addition it defines the economic areas in which sodium chloride is used, the sources of salt production and the forms in which it occurs – brine, evaporated salt and rock salt. General information is also given on the evaporated and rock salt producers in Poland. The market shares of individual salt producers, importers and solid salt producers and the countries that are the largest salt producers in the world are also presented. The article generally describes terms the largest rock salt producer in Poland, i.e. Kopalnia Soli “Kłodawa” S.A. The degree of detail of the information provided has been deliberately limited due to its sensitivity and the protection of market data.*

Key words: mine, rock salt, sodium chloride, salt mining, salt application, rock salt production, Kłodawa

### 1. INTRODUCTION

Salt (sodium chloride – NaCl) was and is one of the basic raw materials in the history of civilisation. Salt has been used by man since the dawn of time as an additive in dishes and food products, for the preservation of meat and its preparations.

It was not until two centuries that a change in the direction of use of sodium chloride took place. The use of salt as a raw material in industry has changed the structure of its use and has become a major factor in determining the demand for it.

In countries with a similar climate to Poland, the expansion of the road network and the development of road transport have significantly increased the demand for road salt for slippery control in winter. Salt plays an important role in food processing, agriculture and livestock farming, the chemical industry, thermal energy, pharmaceuticals, metallurgy, road construction.

It is likely that the trend of increasing demand for sodium chloride will continue in the coming decades, so it is necessary to plan in advance how and by whom the supply of this important raw material will be ensured for the Polish economy in the future.

### 2. SOURCES OF SUPPLY OF SALT ON THE POLISH MARKET

The primary source of salt (NaCl) is bedded and diapir rock salt deposits containing halite. Sodium chloride is also obtained by evaporation of salt water from lakes, sea water and natural and artificial brines, as well as saline mine water.

The salt offered on the market is produced in three forms:

- brine – saturated aqueous salt solution,
- rock salt – a crystalline mineral extracted from a deposit using a traditional mining method,
- evaporated salt – obtained from brine by evaporating water.

Salt producers in Poland with operations based on their own raw materials are:

- Inowrocławskie Kopalnie Soli “Solino” S.A. – obtains brine through leaching of caverns for hydrocarbon storage in the diapir deposits,
- Kopalnia Soli “Kłodawa” S.A. produces rock salt from a diapir deposit using the traditional mining method with the application of a chamber system of mining and mining with explosives,



- KGHM Polska Miedź S.A., “Polkowice-Sieroszowice” mine, where the bedded deposit is mined mechanically using shearers,
- Przedsiębiorstwo Gospodarki Wodnej i Rekultywacji S.A. – Zakład Odsalania “Dębieńsko” Sp. z o.o. – producing evaporated salt on the basis of saline mine waters from coal mines,
- Kopalnia Soli “Wieliczka” S.A. producing evaporated salt from brine obtained from utilisation of underground effluents.

## 2.1. DOMESTIC PRODUCERS OF EVAPORATED SALT

The largest producer of salt (in the form of brine) in Poland is Inowrocławskie Kopalnie Soli “Solino” S.A., whose production amounts to nearly 2.7 million tonnes per year.

This quantity is determined by converting the amount of salt contained in the brine produced into dry matter. The saturated brine goes entirely to

chemical plants, from which about 20% of the total production is returned to the market in the form of evaporated (solid) salt. The producers of salt evaporated from brine produced by IKS “Solino” S.A. are Ciech S.A. and Anwil S.A. Włocławek.

Zakład Odsalania “Dębieńsko” Sp. z o.o. produces only evaporated salt. Brine for the production of evaporated salt is obtained mainly by desalinating water from coal mines. The desalination process is largely supported by funds from the Ministry of the Environment.

Kopalnia Soli “Wieliczka” S.A. is also a producer of evaporated salt. Brine is obtained from the development of natural water inflows to the deposit. The production of evaporated salt represents a small share of the domestic market. The main sources of revenue are tourism activities and budget subsidies for preserving the mine. In 2021, around 600,000 tonnes of evaporated salt (in solid form) were produced in Poland.

Salt production in Poland including imports is shown in Figure 1.

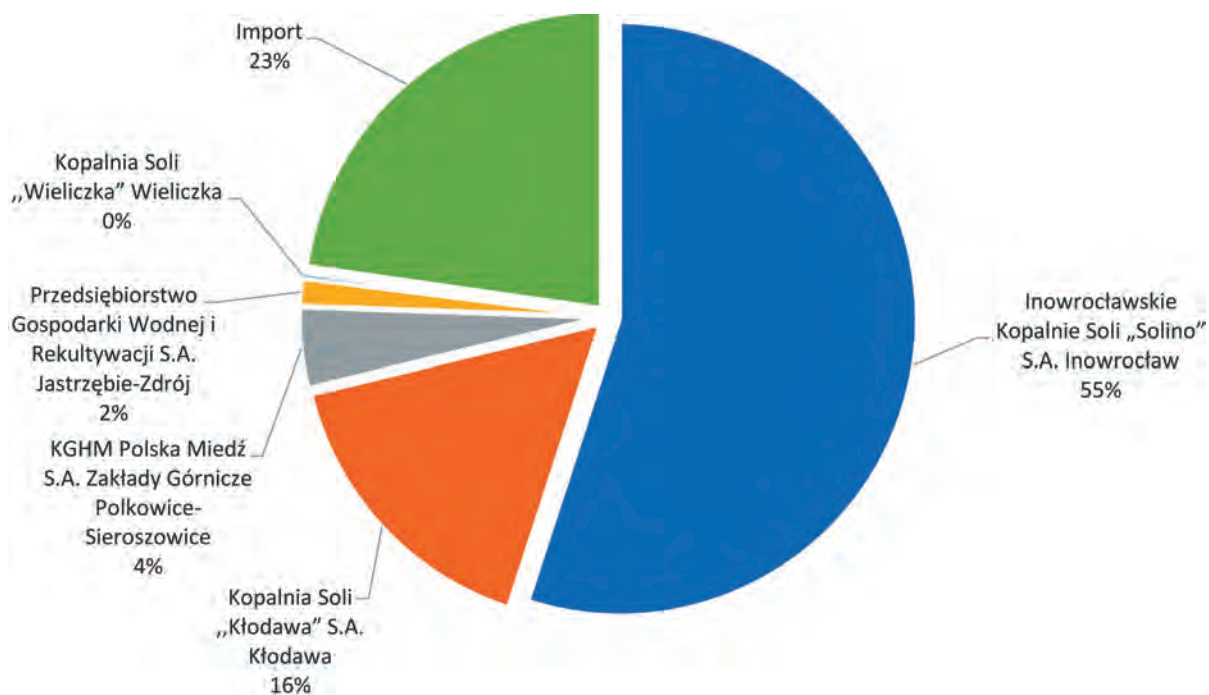


Fig. 1. Salt producers in Poland in 2021 (own data of the Polska Sól Foundation [1])

## 2.2. DOMESTIC PRODUCERS OF ROCK SALT

In Poland, rock salt is mined in two underground mines. In addition to the “Kłodawa” Salt Mine, rock salt is mined by the “Polkowice-Sieroszowice” mine, which is part of KGHM Polska Miedź S.A. The primary mineral mined there is copper ore, and salt is an associ-

ated mineral. Salt accounts for a small percentage of the overall production and revenue of the mine. Exploitation is carried out using a mining shearer. Rock salt production in Poland in 2021 exceeded 1 million tonnes.

Apart from the offer of domestic salt producers, there are other entities on the Polish market which offer mainly rock salt coming from neighbouring countries: Belarus, Ukraine and Germany.

Rock salt usually has a certain content of parts insoluble in water, therefore it is used mainly in those industries where it is not necessary to dissolve it and there is no need for brine purification. For this reason, in many areas of the economy (apart from road construction), it is mainly evaporated salt that is used – due to its high degree of purity. Demand for evaporated salt is more stable and predictable compared to rock salt.

The largest area of main use of rock salt (in countries with a similar climate as Poland) is in winter maintenance of roads. The development of road infrastructure and traffic volumes in road transport contribute to an increase in the demand for road salt (which also depends on weather conditions during winter). The share of individual domestic solid salt producers in Poland is shown in Figure 2.

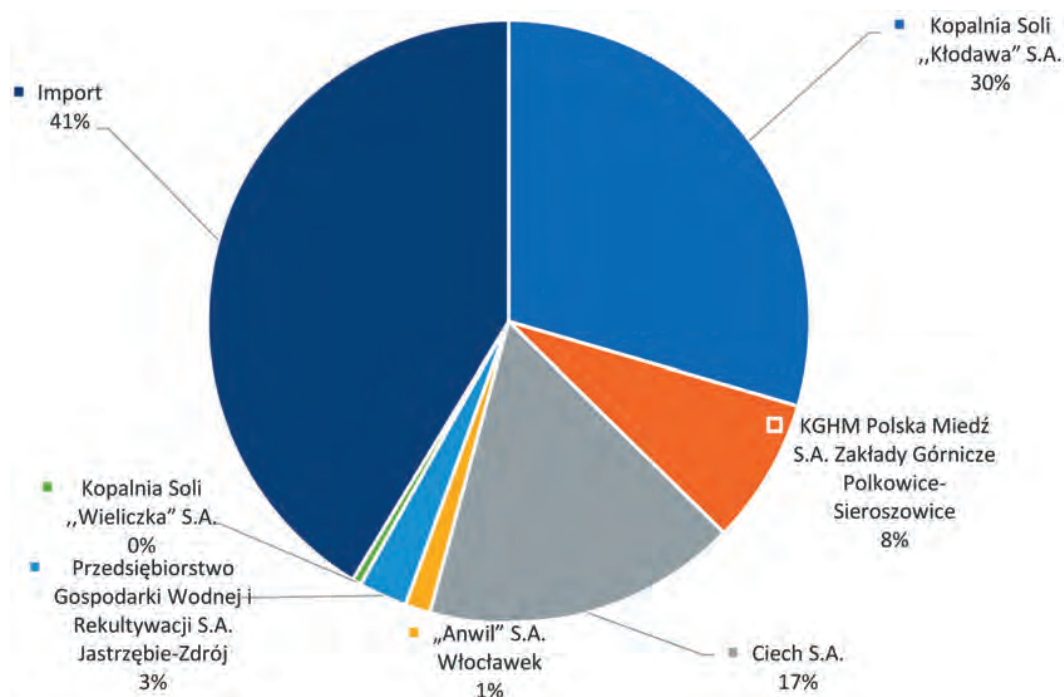


Fig. 2. Solid salt production in Poland in 2021 (own data of the Polska Sól Foundation [1])

### 2.3. SALT PRODUCTION IN POLAND AGAINST WORLD PRODUCTION

The largest producer of salt in the world is China with a production of around 100 million tonnes. In Europe, the largest producer of salt is Germany with

a production of around 15 million tonnes. Poland produces about 3.9–4.4 million tonnes of sodium chloride, which is about 1.3% of world production. The salt production levels of the world’s largest salt producers are shown in Figure 3.

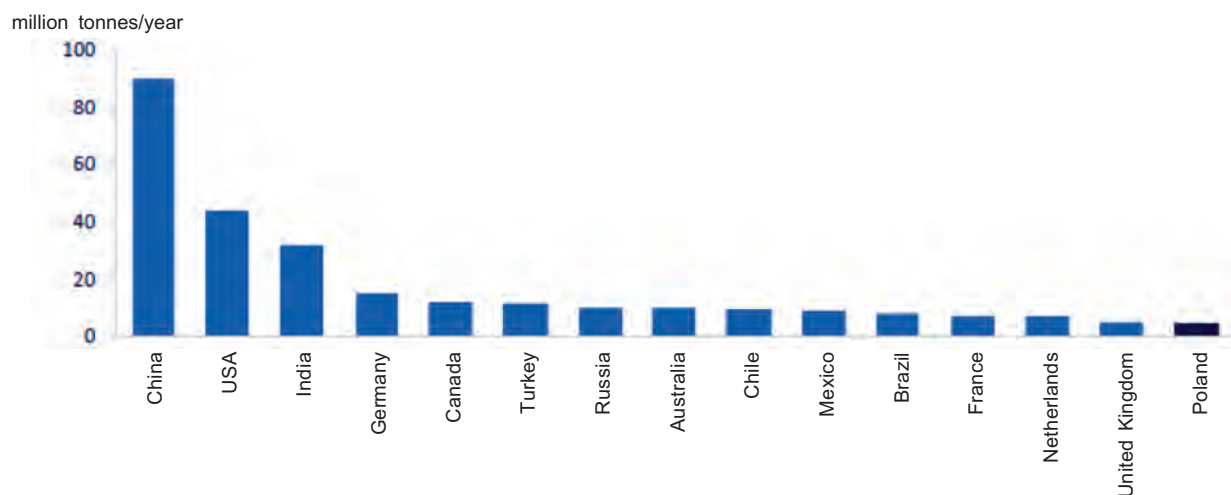


Fig. 3. World’s largest salt producers [2]

### 3. VOLUME OF SALT IMPORTS TO POLAND

Short-term surges in demand for rock salt in the area of winter road maintenance have the effect of increasing rock salt imports. Salt imports to Poland are directed mainly from Eastern European countries (Ukraine, Belarus) and from Germany. Almost all

imported salt is used for road construction. A certain amount of salt is sold to the electrolysis, feed and food processing industries. The volume of salt imports to Poland in 2021 exceeded 1.1 million tonnes. A comparison of domestic salt production, import and export volumes between 2015 and 2021 is shown in Figure 4.

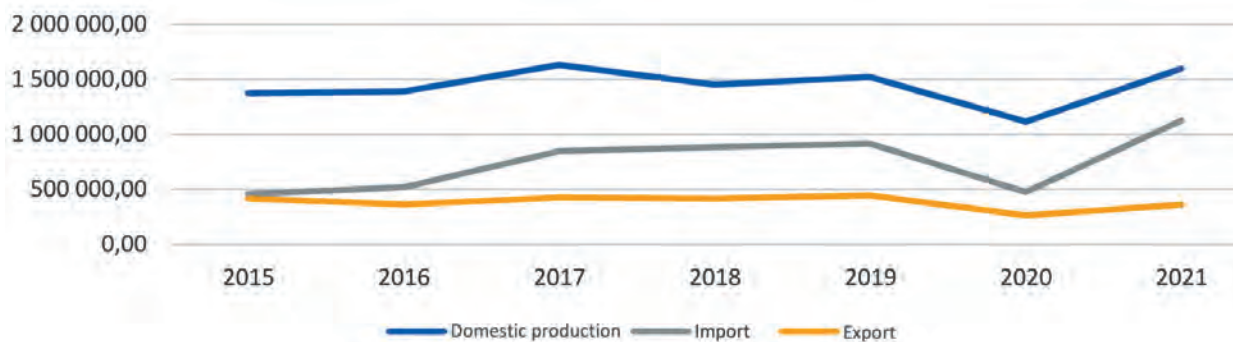


Fig. 4. Comparison of volumes of domestic salt production, imports and exports of salt between 2015 and 2021 (own data of the Polska Sól Foundation [1])

### 4. CHARACTERISTICS OF THE “KŁODAWA” SALT MINE AS A LEADING PRODUCER OF ROCK SALT IN POLAND

The “Kłodawa” Salt Mine is situated in central Poland, in Wielkopolskie Province, in the district of Koło, in the municipality of Kłodawa. The city is situated in the middle of the road from Poznań to Warsaw on the national road E-92, about twenty kilometres from the motorway A-2 and about 40 kilometres from the motorway A-1.

The history of the mine dates back to the 1930s. At that time, gravimetric surveys were carried out in the vicinity of Kłodawa. These surveys have shown that there is a shallow hidden salt diapir in the area.

The Second World War interrupted research for several years. They were revisited after the end of hostilities, providing an outline of the large potash and rock salt structures. Construction of a mine and a processing plant for potash salts began, locating it in the middle section of the salt diapir. During the construction and the beginning of the exploitation of the deposit, it turned out that incorrect conclusions had been drawn during the surveys, as it was found that there was little potassium salt in the diapir, whereas it was a massive rock salt diapir. The first tonnes of rock salt were extracted in 1956. Two years later, as a result of a change in the production profile, the company’s name was changed – the “Kłodawa” Salt Mine was established.

The Kłodawa salt deposit was formed during the Zechstein period (about 200–250 million years ago) and rose to the surface in the form of a salt diapir (Fig. 5). The length of the salt diapir is about 26 km, while its width reaches almost 3 km.

The “Kłodawa 1” diapir deposit is located in the middle section of the Kłodawa salt diapir, at depths from about 450 m below sea level to about 1,000 m below sea level. The width of the diapir in the depositional zone varies from about 2 km to about 2.5 km. The north-eastern and south-western boundaries of the deposit are defined by the edge of the diapir, while the north-western and south-eastern boundaries are defined administratively, as the deposit rocks extend in a north-western and south-eastern direction beyond the “Kłodawa 1” deposit zone. Currently, the ceiling and bottom boundaries of the deposit are established at heights of 500 m above sea level (the bottom of the safety shelf) and 1,000 m above sea level (the documentation boundary). Due to the very steep orientation of the Zechstein rock banks in the deposit, above the ceiling boundary of the deposit the rock salts continue into the salt horizon, so the deposit is separated from the diapir cap by a ceiling shelf made up of rock salts. Also, below the bottom of the deposit rock salts occur, which presumably continue for several kilometres above sea level, i.e. to the foot of the Kłodawa salt diapir (source of information: geological documentation of the Kłodawa salt deposit).

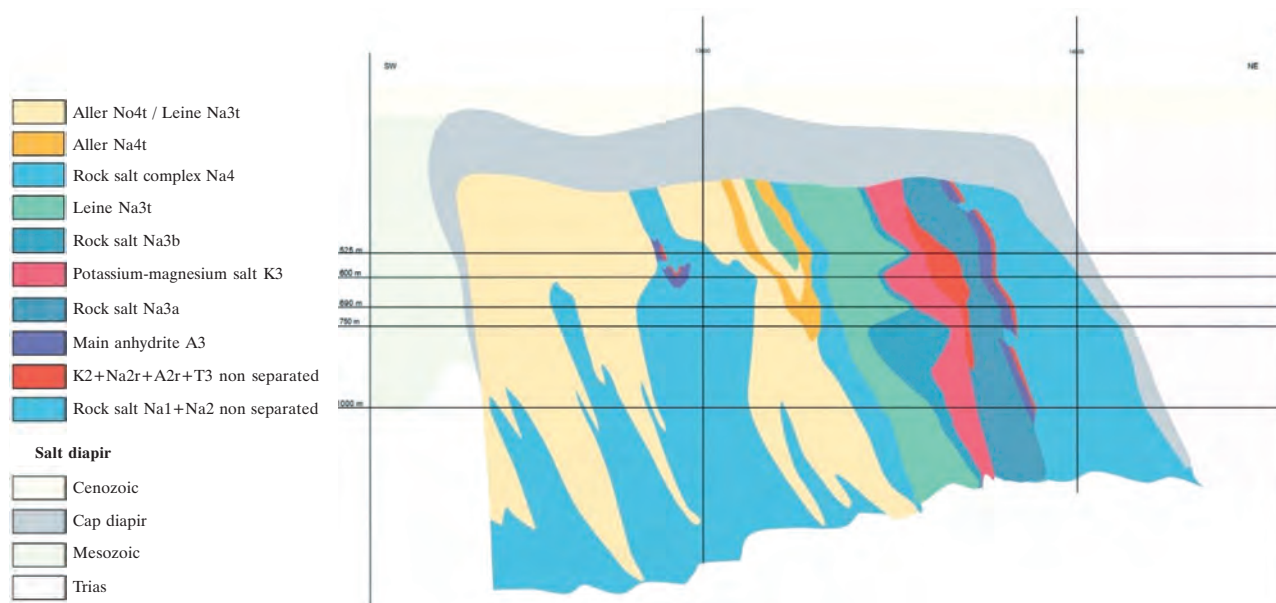


Fig. 5. Geological cross-section through the Kłodawa salt diapir  
(own materials of the “Kłodawa” Salt Mine [3])

Initially, the plant was intended to extract approximately 450,000 tonnes of rock salt per year. This level was reached in the late 1960s. The 1970s was a time of expansion of the mine. During this period, salt output reached over one million tonnes per year.

By design, the biggest customer for the salt mines was industry. With the industrial downturn of the 1980s and 1990s, the demand for rock salt fell and so did mining. However, the development of the road network in Poland over the past several years has increased demand for road salt, which has changed the sales structure of rock salt extracted from the Kłodawa mine.

The mine is a joint stock company where 89% of the shares belong to the Industrial Development Agency and 11% are held by employees and pensioners. The current workforce is around 770 people. The company holds a salt mining concession valid until 2052. Currently, Kopalnia Soli “Kłodawa” S.A. is the largest producer and supplier of rock salt on the domestic market. Production volumes in the last five years have ranged from around 350,000 tonnes to 870,000 tonnes.

Salt extraction is carried out using the traditional mining method, which makes it possible to fully preserve the qualities of Kłodawa salt created by nature. The company’s products are obtained through the mechanical processing of raw materials without the use of chemical treatments.

The Mine’s market position is mainly based on the sale of bulk rock salt to industry, road construction, salt licks and bagged and pre-packaged salt.

The products offered by the company are grouped as follows:

- bulk salt (industrial and feed),
- road salt – non-caking (DR, DS, DA),
- bagged salt (food, industrial, road salt) – packs of 5 kg and 25 kg,
- salt in big-bag packaging,
- pre-packaged salt (food grade) 1 kg and 3 kg,
- salt licks (made of natural rock salt and with mineral additives),
- salt crumbs,
- so-called minor confectionery,
- salt accessories (lamps, candlesticks, salt ornaments).

The mine’s products are differentiated not only by packaging but also by grain composition and additives such as potassium iodide in table salt or mineral additives in animal licks. Anti-caking agent is added to road salt.

The company’s area of operations is mainly Poland, where around 80% of the salt produced is sold, and this is the target market in geographical terms. The remaining dozen or so percent are mainly sold on the market of European countries.

Due to the strength parameters of the salt rocks, their specific nature and geological and mining conditions occurring in the salt diapirs, the exploitation of the deposit is conducted exclusively using the room-and-pillar system in the following variants:

- flat chambers with a stair-ceiling face;
- flat chambers with a stair-bottom face:
  - single-level,
  - multi-level.



At present, the flat chamber system, in which the chambers are cuboidal in shape with a horizontal longest axis, is used as the only means of salt extraction.

The chambers may be positioned longitudinally or transversely to the extension of the salt strata. Chambers made at the same level are separated by inter-chamber pillars, and at individual levels they are separated by an inter-level shelf. The dimensions of the chambers and inter-chamber pillars and the thickness of the inter-level shelves change with depth.

Up to the 600 m level, the deposit was mainly selected by 15 m wide, 15 m high and about 100–200 m

long chambers (Fig. 6). The length of the chambers in the transverse arrangement depends on the thickness of the salt layers being extracted and in the longitudinal arrangement – on changes in their extensibility and changes in their thickness. Adjacent chambers are separated by 15 m wide pillars and a 10 m thick shelf is left between successive inter-levels.

Thus, the modulus of the horizontal field dissection (the sum of the width of the inter-chamber pillar and the chamber) equals 30 m and the modulus of the vertical dissection (the sum of the height of the chamber and the thickness of the inter-chamber shelf) equals 25 m.

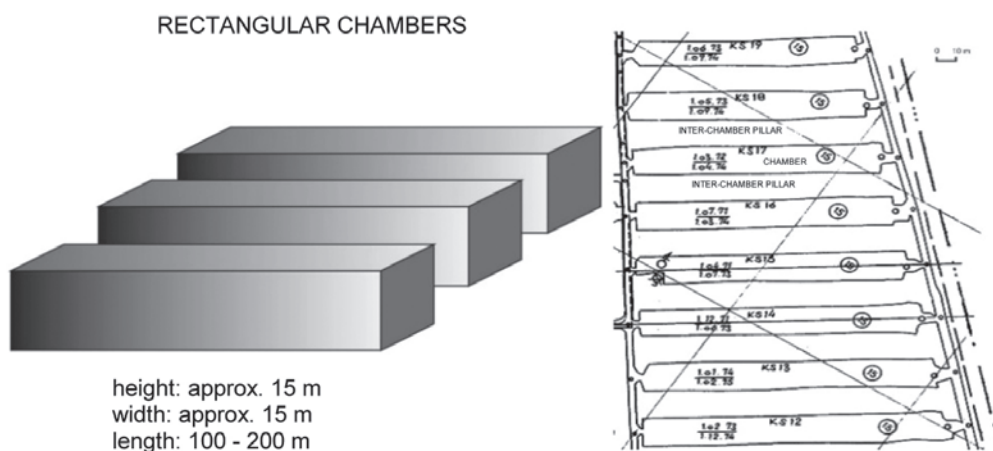


Fig. 6. Rectangular chambers (own materials of the “Kłodawa” Salt Mine [3])

Below level 600, the dimensions of the chambers decrease with increasing depth. Their width and height decrease, depending on the mining field, from 13.5 m to 12 m, while the width of the inter-chamber pillars and inter-level shelves increases. These changes occur in such a way that the vertical and horizontal field dissection modulus is at all levels below 600 m equal to 30 m. The length of the chambers varies from 50 m to 400 m. The lowest level of exploitation of the salt chambers is 810 m.

In connection with the geometry of the mining fields in fields Nos. 1 and 2 the axuality of the chambers is preserved, while in fields Nos. 3 and 5 the mine has a deviation from the regulations regarding the non-overlap of pillar axes between the chambers of the lower level with the axes of the pillars of the higher levels in the depth range of 600 m to 810 m.

When mining with the chamber system in rock salt deposits, post-mining voids are not eliminated, i.e. the free space that arises after the mineral has been extracted. The chambers are designed to maintain long-term geomechanical stability. For this reason,

underground voids of considerable volumes remained in the mine.

To date, approximately 1,000 mining chambers have been excavated and the corridor excavations form a network with a length of approximately 400 km. The total volume of all voids exceeds 18 million m<sup>3</sup>.

The production technology consists in mechanical processing of the raw material by crushing, grinding and sorting. Selected products undergo an enrichment process. The mine carries out the packaging of its products itself.

## 5. SUMMARY AND CONCLUSIONS

For many years Kłodawa road salt has been known and appreciated by road managers not only in Poland. The “Lisal” brand of salt licks for animals has been produced and supplied to domestic and European farmers since the 1980s. The brand name “Kłodawa Salt” was created for food-grade and cosmetic salts. Apart from pure NaCl, table salt from Kłodawa con-

tains a number of natural macro- and microelements called “elements of life” by Prof. Julian Aleksandrowicz. Comparative research carried out in an independent laboratory has shown that “Kłodawa Salt” (from a nutritional point of view) is very similar in its chemical composition to “Himalayan Salt”, which has become fashionable in recent years. The Kłodawa salt diapir is the only one in Europe where, apart from white salt, pink salt is exploited (the closest to Poland pink salt is exploited in Pakistan). An interesting feature of the Kłodawa mine is the deposit of magnesium and potassium salts. It is from them that the “queen of Kłodawa salts” – Kłodawa Magnesium-Potassium Bath Salt – is created. Tested in the Department of Balneology in Ciechocinek and tested on a group of people with movement disorders, it gives excellent therapeutic results. The pink salt crumbs, unique in the world, are used for the production of salt accessories, such as lamps, chandeliers, etc., which create a unique atmosphere in rooms.

The Kłodawa salt mine is home to the deepest underground tourist route. The Kłodawa Underground Tourist Route is located at an excavation level 600 metres below ground level. The tourist route and selected geological sites have been entered in the register of historical monuments (Fig. 7). On 20 April 2007, a “concert at the lowest level” was held on the route. The musicians of the Kalisz Philharmonic played Antonio Vivaldi’s “Four Seasons”, which was recorded in the Guinness Book of Records as the concert at the greatest depth.

More information about the route and the possibility to visit the Mine as well as the products can be found on the company’s website [1]. In addition, it is possible to purchase mine products from the mine’s online store.

Observation of the changes taking place in the salt market over the last twenty years or so leads to a number of conclusions:

- Analysis of recent years shows a fairly stable demand and supply of brine and evaporated salt.
- The rock salt market, whose main use is for winter road maintenance, is characterised by high volatility.
- In the forecast of the coming years, one should expect a continuation of the slight upward trend in salt consumption in the chemical industry and a stabilisation of salt use in the food and feed industry.
- Due to the planned further development of the road network in Poland by 2030, road salt consumption may double in ten years’ time to approximately 3.0 million Mg (however, this will depend directly on the prevailing weather conditions during a given winter).
- Due to the limited production capacity of Polish producers, it is necessary to expand the network of warehouses for road salt in order to avoid crisis situations during winter periods. The creation of cyclical strategic reserves of road salt will enable Polish producers to produce evenly and reduce the degree of dependence on imports.
- Particularly dangerous is the gradual dependence of the winter road maintenance market in Poland on salt producers from Ukraine and Belarus.
- With the development of the road network in Poland, the potential demand for road rock salt will also increase and the current production capacity of the two Polish mines is limited. It is therefore necessary to prepare for the question “Where will we get rock salt from in Poland in the coming decades, and especially after 2052, when the concession for rock salt mining in Kłodawa comes to an end- (imports, KGHM, construction of a new underground mine).



Fig. 7. Salt chambers of the Kłodawa Underground Tourist Route (own photos by “Kłodawa” Salt Mine [4])



### References

- [1] Own elaborations of the Polska Sól Foundation. Salt Balance – a study on salt production in Poland and salt imports, prepared by the Polska Sól Foundation on the basis of data from Polish salt producers and the Chamber of Fiscal Administration [unpublished].
- [2] Own elaboration based on USGS – National Minerals Information Center USA [unpublished].
- [3] Own elaborations of Kopalnia Soli “Kłodawa” S.A. and geological documentation of the deposit [unpublished].
- [4] “Kłodawa” Salt Mine online, <https://sol-klodawa.com.pl/podziemna-trasa-turystyczna> [7.03.2022].

*JANUSZ KOŁODZIEJSKI, M.Sc.*

*Polska Sól Foundation*

*“Kłodawa” Salt Mine S.A.*

*al. 1000-lecia 2, 62-650 Kłodawa, Poland*

*[jkolodziejski@sol-klodawa.com.pl](mailto:jkolodziejski@sol-klodawa.com.pl)*

JANUSZ KOŁODZIEJSKI

# Charakterystyka rynku soli w Polsce na przykładzie Kopalni Soli „Kłodawa” S.A.

*Artykuł jest skrótowym zestawieniem informacji dotyczących rynku solnego w Polsce. Poza tym określa dziedziny gospodarki, w których wykorzystywany jest chlorek sodu, źródła pozyskiwania soli i formy jej występowania solanka, sól warzona i sól kamienna. Ponadto w artykule zawarto ogólne informacje dotyczące producentów soli warzonej i kamiennej w Polsce. Przedstawione są również udziały procentowe w rynku poszczególnych producentów soli, importerów i producentów soli w postaci stałej oraz kraje, które są największymi producentami soli na świecie. W artykule ogólnie scharakteryzowano największego producenta soli kamiennej w Polsce, czyli Kopalnię Soli „Kłodawa” S.A. Stopień szczegółowości podawanych informacji został ograniczony ze względu na ich poufność i ochronę danych rynkowych.*

Słowa kluczowe: kopalnia, sól kamienna, chlorek sodu, wydobywanie soli, zastosowanie soli, produkcja soli kamiennej, Kłodawa

## 1. WSTĘP

W historii cywilizacji sól (chlorek sodu – NaCl) była i jest jednym z podstawowych surowców. Była ona wykorzystywana przez człowieka od zarania dziejów jako dodatek do potraw i produktów spożywczych, a także do konserwacji mięsa i jego przetworów.

Dopiero ostatnie dwa stulecia przyniosły zmianę w kierunkach zastosowania chlorku sodu. Używanie soli jako surowca w przemyśle spowodowało zmianę struktury jej wykorzystania i stało się głównym czynnikiem decydującym o zapotrzebowaniu na nią.

W krajach o podobnym jak w Polsce klimacie rozbudowa sieci dróg oraz rozwój transportu kołowego znacznie zwiększyły zapotrzebowanie na sól drogową do zwalczania śliskości w okresie zimowym. Sól spełnia ważną funkcję w przetwórstwie spożywczym, rolnictwie i gospodarce hodowlanej, przemyśle chemicznym, energetyce cieplnej, farmacji, metalurgii, drogownictwie.

Zapewne tendencja wzrostu zapotrzebowania na chlorek sodu będzie utrzymywała się w najbliższych dziesięcioleciach, dlatego należy z wyprzedzeniem planować, w jaki sposób i przez kogo zapewniona będzie w przyszłości podaż tego ważnego dla polskiej gospodarki surowca.

## 2. ŹRÓDŁA PODAŻY SOLI NA RYNKU POLSKIM

Podstawowym źródłem pozyskania soli (NaCl) są pokładowe i wysadowe złoża soli kamiennej zawierające halit. Chlorek sodu otrzymywany jest także przez ewaporację (odparowanie) wód słonych jezior, wód morskich oraz solanek naturalnych i sztucznych, a także zasolonych wód kopalnianych.

Oferowana na rynku sól ma trzy postacie:

- solanka – nasycony wodny roztwór soli,
- sól kamienna – minerał krystaliczny pozyskiwany ze złoża tradycyjną metodą górnictwą,
- sól warzona – pozyskiwana z solanki przez odparowanie wody.

Producentami soli w Polsce bazującymi na własnych surowcach są:

- Inowrocławskie Kopalnie Soli „Solino” S.A. pozyskujące solankę w wyniku ługowania kawern do składowania węglowodorów w złożach wysadowych,
- Kopalnia Soli „Kłodawa” S.A. produkująca sól kamienną ze złoża wysadowego tradycyjną metodą górnictwą z zastosowaniem komorowego systemu eksploatacji i urabiania skał materiałami wybuchowymi,

- KGHM Polska Miedź S.A. O/ZG „Polkowice-Sieroszowice”, gdzie złoża pokładowe jest urabiane mechanicznie z zastosowaniem kombajnów,
- Przedsiębiorstwo Gospodarki Wodnej i Rekultywacji S.A. Zakład Odsalania „Dębieńsko” Sp. z o.o. produkujący sól warzoną z wykorzystaniem zasolonych wód dołowych z kopalń węglowych,
- Kopalnia Soli „Wieliczka” S.A. produkująca sól warzoną z solanki pozyskanej z utylizacji wycieków dołowych.

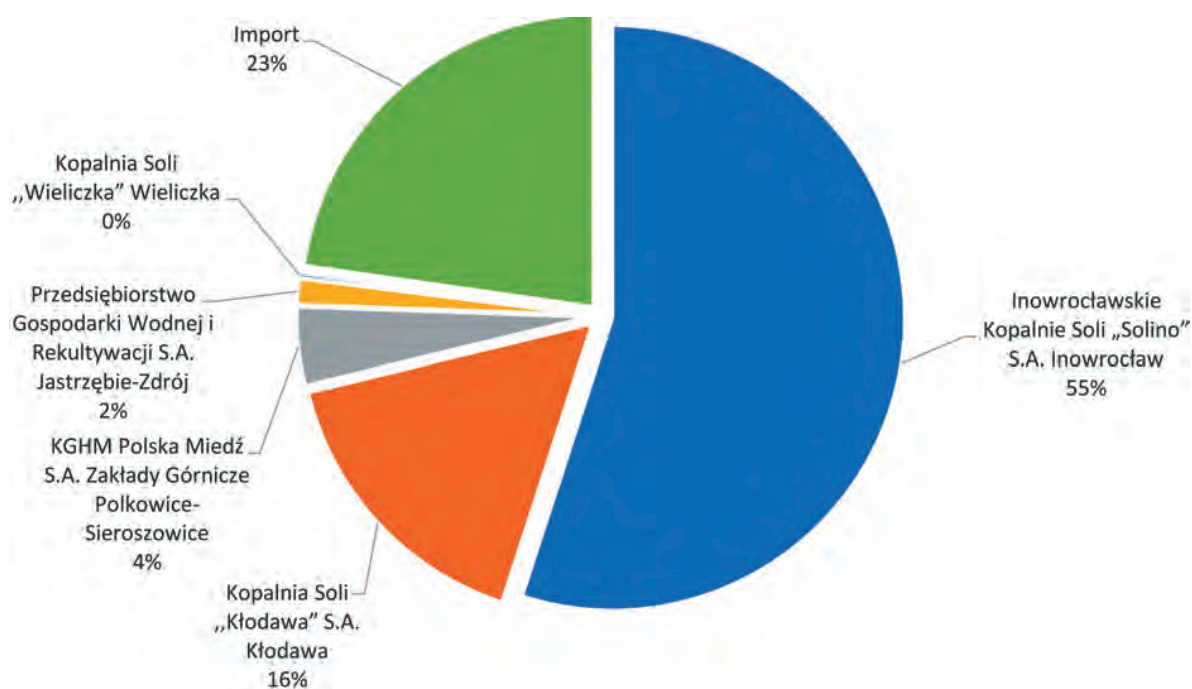
## 2.1. KRAJOWI PRODUCENCI SOLI WARZONEJ

Największym producentem soli (w postaci solanki) w Polsce są Inowrocławskie Kopalnie Soli „Solino” S.A., których produkcja wynosi blisko 2,7 mln ton rocznie. Wielkość tę określa się, przeliczając ilość soli zawartej w wyprodukowanej solance na suchą masę. Nasy-

cona solanka trafia w całości do zakładów chemicznych, z których na rynek w postaci soli warzonej (stałej) powraca około 20% całej produkcji. Producentami soli warzonej z solanki wyprodukowanej przez IKS „Solino” S.A. są Ciech S.A. i Anwil S.A. Włocławek.

Zakład Odsalania „Dębieńsko” Sp. z o.o. produkuje wyłącznie sól warzoną. Solankę do jej produkcji pozyskuje głównie w procesie odsalania wód z kopalń węgla. Proces ten w dużej części finansowany jest z funduszy Ministerstwa Środowiska.

Kopalnia Soli „Wieliczka” S.A. jest również producentem soli warzonej. Solanka pozyskiwana jest z zagospodarowywania naturalnych dopływów wód do złoża. Produkcja soli warzonej z tej kopalni stanowi niewielki procent produkcji krajowej. Podstawowym źródłem przychodów jest działalność turystyczna i dotacje budżetowe na zabezpieczenie kopalni. W 2021 r. w Polsce wyprodukowano około 600 tys. ton soli warzonej (w postaci stałej). Podaż soli w Polsce z uwzględnieniem importu obrazuje rysunek 1.



Rys. 1. Produkcja soli w Polsce w 2021 r. ( dane Fundacji Polska Sól [1] )

## 2.2. KRAJOWI PRODUCENCI SOLI KAMIENNEJ

W Polsce sól kamienna wydobywana jest w dwóch kopalniach podziemnych. Oprócz Kopalni Soli „Kłodawa” S.A. wydobywają ją Zakłady Górnicze „Polkowice-Sieroszowice”, które wchodzi w skład KGHM Polska Miedź S.A. Wydobywaną tam kopalinią podstawową jest ruda miedzi, a sól jest kopalinią towarzyszącą. Sól stanowi niewielki procent w ogólnej produk-

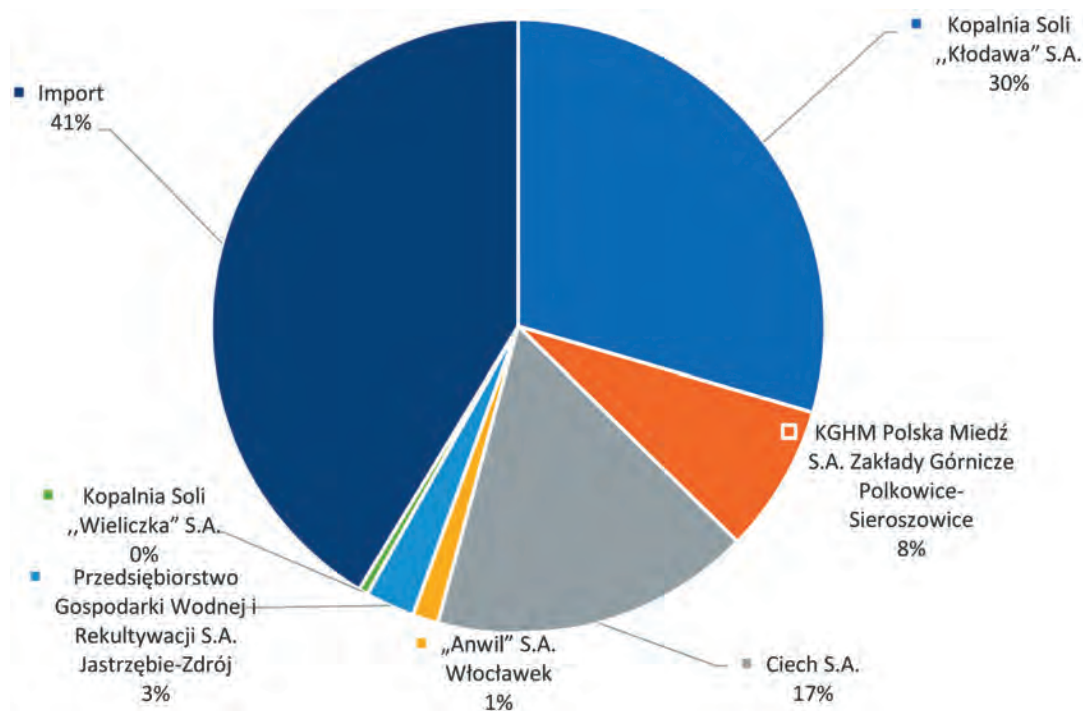
cji i w przychodach kopalni. Eksploatacja prowadzona jest przy użyciu kombajnu górniczego. Produkcja soli kamiennej w Polsce w 2021 r. przekroczyła 1 mln ton.

Poza ofertą krajowych producentów soli na rynku polskim działają inne podmioty, które oferują głównie sól kamienną pochodzącą z krajów sąsiednich: Białorusi, Ukrainy i Niemiec.

Sól kamienna zawiera zazwyczaj substancje nierozpuszczalne w wodzie, więc znajduje zastosowanie

głównie w tych gałęziach przemysłu, gdzie nie ma konieczności jej rozpuszczania i nie zachodzi potrzeba oczyszczania solanki. Dlatego w wielu obszarach gospodarki (poza drogownictwem) stosowana jest głównie sól warzona – ze względu na jej wysoki stopień czystości. Popyt na sól warzoną jest bardziej stabilny i przewidywalny w porównaniu z zapotrzebowaniem na sól kamienną.

Największym obszarem głównego zastosowania soli kamiennej (w krajach o podobnym klimacie jak w Polsce) jest zimowe utrzymanie dróg. Rozwój infrastruktury drogowej oraz natężenie ruchu w transporcie kołowym przyczyniają się do zwiększenia zapotrzebowania na sól drogową (zależy ono także od warunków atmosferycznych w czasie zimy). Udział poszczególnych krajowych producentów soli stałej w Polsce obrazuje rysunek 2.

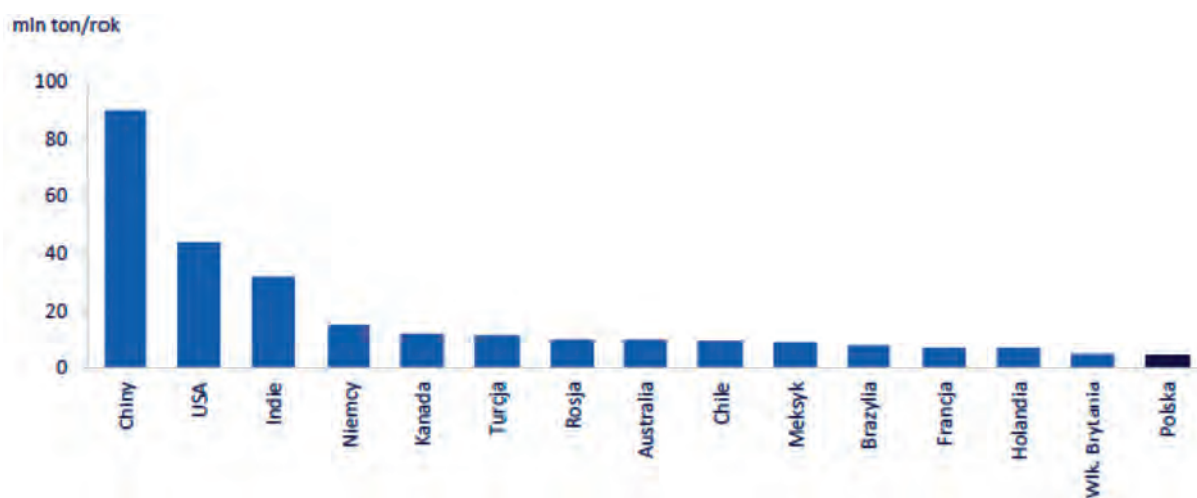


Rys. 2. Produkcja soli stałej w Polsce w 2021 r. (dane Fundacji Polska Sól [1])

### 2.3. PRODUKCJA SOLI W POLSCE NA TLE PRODUKCJI ŚWIATOWEJ

Największym producentem soli na świecie są Chiny z produkcją około 100 mln ton, natomiast

w Europie – Niemcy (15 mln ton). Polska wytwarza około 3,9–4,4 mln ton chłorku sodu, co stanowi około 1,3% światowej produkcji. Poziom produkcji soli największych światowych wytwórców obrazuje rysunek 3.

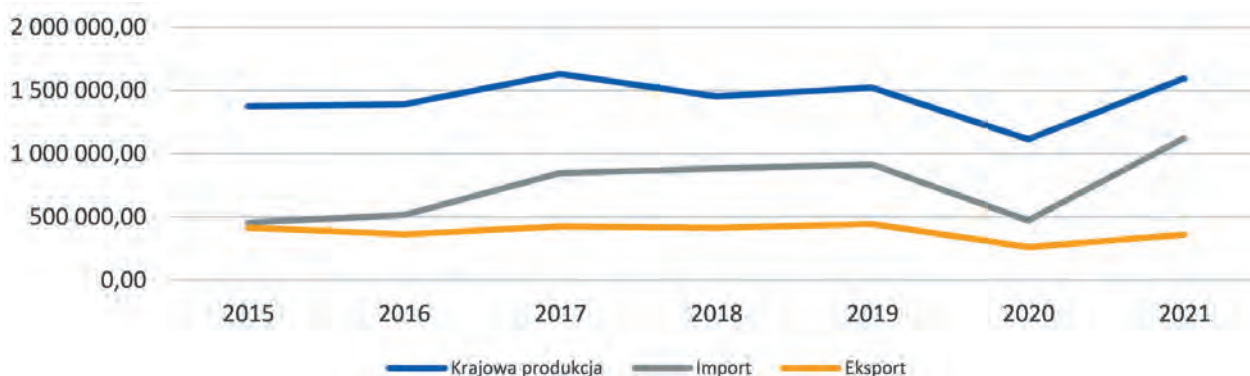


Rys. 3. Najwięksi producenci soli na świecie (opracowanie własne na podstawie [2])

### 3. WIELKOŚĆ IMPORTU SOLI DO POLSKI

Krótkotrwałe skoki popytu na sól kamienną niezbędną do zimowego utrzymania dróg wpływają na zwiększanie się importu soli kamiennej. Sól do Polski importuje się głównie z państw Europy Wschodniej (Ukraina, Białoruś) oraz z Niemiec. Jest ona prawie

w całości przeznaczana na potrzeby drogownictwa. Pewna ilość sprzedawana jest do elektrolizy, przemysłu paszowego i przetwórstwa spożywczego. Wielkość importu soli do Polski w 2021 r. przekroczyła 1,1 mln ton. Porównanie wielkości produkcji soli krajowej, importu i eksportu soli w latach 2015–2021 obrazuje rysunek 4.



Rys. 4. Porównanie wielkości produkcji soli krajowej, importu i eksportu soli w latach 2015–2021 (dane własne Fundacji Polska Sól [1])

### 4. CHARAKTERYSTYKA KOPALNI SOLI „KŁODAWA” S.A. JAKO CZOŁOWEGO PRODUCENTA SOLI KAMIENNEJ W POLSCE

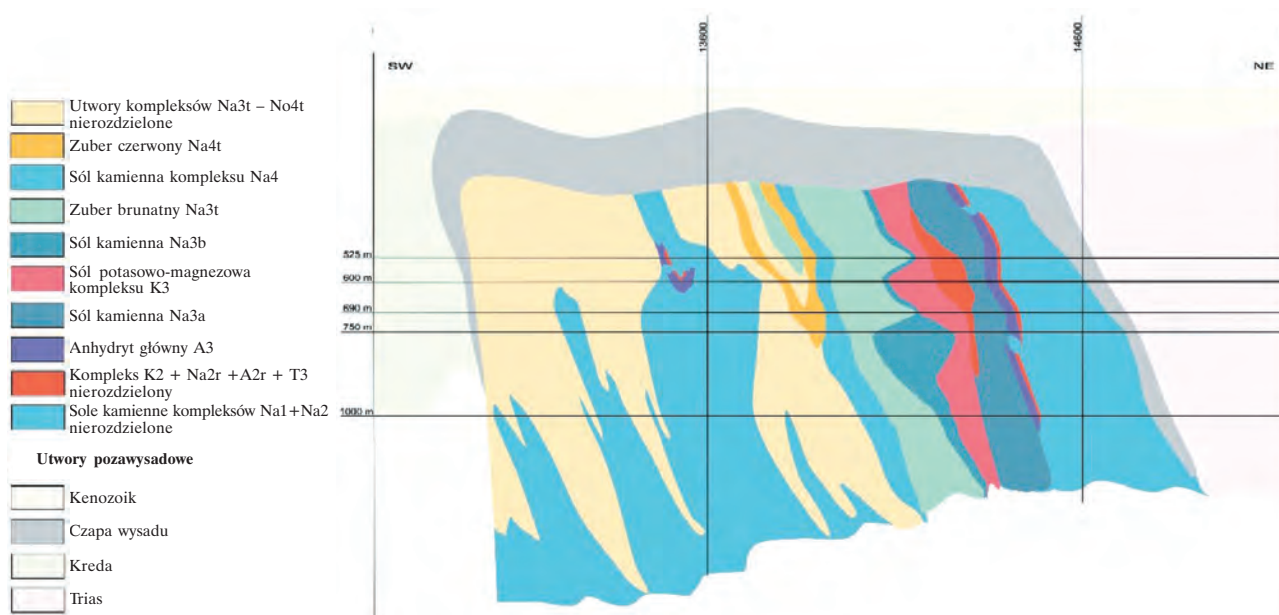
Kopalnia Soli „Kłodawa” położona jest w centralnej części Polski, w województwie wielkopolskim, w powiecie kolskim, w gminie Kłodawa. Miasto to usytuowane jest pośrodku drogi z Poznania do Warszawy przy drodze krajowej E-92 w odległości około 20 km od autostrady A2 i około 40 km od autostrady A1.

Historia kopalni sięga lat 30. XX w. Wtedy to prowadzono badania grawimetryczne w okolicach Kłodawy, które wykazały, że w tym rejonie występuje płytko ukryty wysad solny. Z powodu II wojny światowej na kilka lat je przerwano, ale po zakończeniu działań wojennych uzyskano zarys wielkich struktur soli potasowych oraz soli kamiennej. Rozpoczęto budowę kopalni oraz zakładu przerobczego soli potasowych na środkowym odcinku wysadu solnego. W trakcie budowy oraz początku eksploatacji złoża okazało się, że podczas prowadzonych badań wyciągnięto nieprawidłowe wnioski, ponieważ stwierdzono, że soli potasowej jest w tym wysadzie niewiele, tymczasem odkryto potężny wysad soli kamiennej. Pierwsze tony tego surowca wydobyto w roku 1956. Dwa lata później w wyniku zmiany profilu produkcyjnego zmieniono nazwę przedsiębiorstwa – powołano do życia Kopalnię Soli „Kłodawa”.

Złoże kłodawskich soli ukształtowało się w okresie cechsztyńskim (około 200–250 mln lat temu) i wypiętrzyło ku powierzchni ziemi w postaci wysadu solnego (rys. 5). Jego długość wynosi około 26 km, natomiast szerokość dochodzi prawie do 3 km.

Wysadowe złożo „Kłodawa 1” ulokowane jest w środkowym odcinku wysadu solnego Kłodawy, na głębokościach od około 450 m p.p.t. do około 1000 m p.p.t. Szerokość wysadu w strefie złożowej zmienia się w granicach od około 2 km do około 2,5 km. Granice złoża od północnego wschodu i południowego wschodu wyznaczone są administracyjnie, gdyż skały złożowe rozciągają się w kierunku północno-zachodnim oraz południowo-wschodnim poza strefę złoża „Kłodawa 1”. Aktualnie ustanowione są stropowe i spągowe granice złoża na wysokościach 500 m p.p.t. (spąg półki bezpieczeństwa) i 1000 m p.p.t. (granica udokumentowania). Ze względu na bardzo strome ustawienie ławic skał cechsztyńskich w złożu powyżej stropowej granicy złoża sole kamienne ciągną się do zwierciadła solnego, zatem złożo oddzielone jest od czapy wysadowej półką stropową zbudowaną z soli kamiennych. Również poniżej spągu złoża występują sole kamienne, które przypuszczalnie znajdują się na odcinku kilku kilometrów p.p.t., tj. do stopy wysadu solnego Kłodawy (źródło informacji: dokumentacja geologiczna kłodawskiego złoża solnego).





Rys. 5. Przekrój geologiczny przez kłodawski wysad solny  
(materiały własne Kopalni Soli „Kłodawa” S.A. [3])

Początkowo zakład miał z założenia wydobywać około 450 tys. ton soli kamiennej rocznie. Poziom ten osiągnięto pod koniec lat 60. Lata 70. to czas rozbudowy kopalni. W tym okresie wydobywanie soli sięgało ponad milion ton rocznie. Z założenia największym odbiorcą kopalni soli był przemysł. Wraz z dekoniunkturą w przemyśle w latach 80. i 90. spadło zapotrzebowanie na sól kamienną, a co za tym idzie również wydobywanie, jednak rozwój sieci drogowej w Polsce w ostatnich kilkunastu latach spowodował zwiększenie zapotrzebowania na sól drogową, co zmieniło strukturę sprzedaży soli kamiennej wydobywanej w kłodawskiej kopalni.

Kopalnia jest spółką akcyjną, gdzie 89% akcji należy do Agencji Rozwoju Przemysłu, a 11% posiadają pracownicy i emeryci. Zatrudnienie kształtuje się na poziomie około 770 osób. Spółka ma koncesję na wydobywanie soli ważną do 2052 r. Obecnie Kopalnia Soli „Kłodawa” S.A. jest największym producentem oraz dostawcą soli kamiennej na rynku krajowym. Wielkość produkcji w ostatnich pięciu latach wahała się od poziomu od około 350 tys. ton do 870 tys. ton.

Wydobywanie soli prowadzone jest tradycyjną metodą górniczą, która pozwala w pełni zachować naturalne walory soli kłodawskiej. Produkty spółki uzyskiwane są dzięki przeróbce mechanicznej surowca bez stosowania zabiegów chemicznych. Pozycja rynkowa kopalni opiera się głównie na sprzedaży soli kamiennej luzem na potrzeby przemysłu, drogownictwa, produkcji lizawek solnych oraz soli workowanej i paczkowanej.

Produkty oferowane przez spółkę zostały pogrupowane następującego:

- sól luzem (przemysłowa i paszowa),
- sól drogową – niezbrylająca (DR, DS, DA),
- sól workowana (spożywcza, przemysłowa, drogową) – opakowania 5 kg, 25 kg,
- sól w opakowaniu typu *big-bag*,
- sól paczkowana (spożywcza) – opakowania 1 kg i 3 kg,
- lizawki solne (z naturalnej soli kamiennej oraz z dodatkami mineralnymi),
- kruchy solne,
- tzw. drobna konfekcja,
- galanteria solna (lampy, świeczniki, ozdoby z soli).

Produkty kopalni są różnicowane nie tylko pod względem opakowań, lecz także składu ziarnowego oraz dodatków, takich jak np. jodek potasu w soli spożywczej czy dodatki mineralne w lizawkach dla zwierząt. Do soli drogowej dodawany jest antyzbrylacz.

Obszar działania spółki to przede wszystkim teren Polski, gdzie trafia około 80% produkowanej soli. Jest to docelowy rynek pod względem geograficznym. Pozostałe kilkanaście procent trafia głównie na rynek państw europejskich.

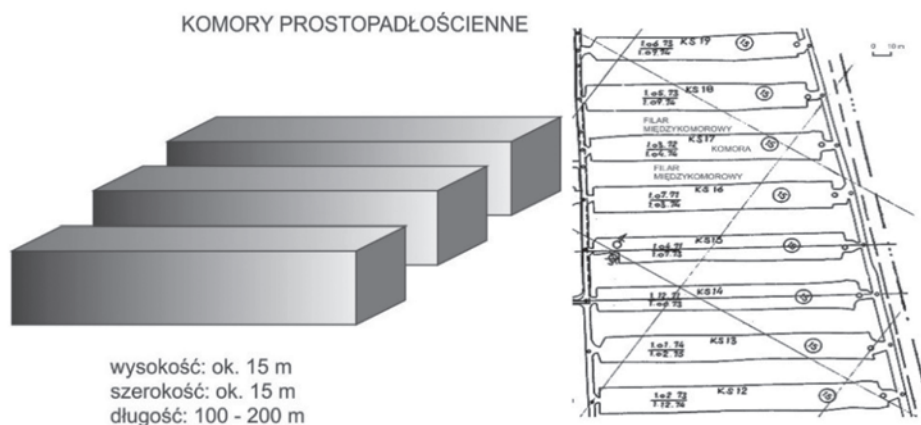
Ze względu na parametry wytrzymałościowe skał solnych, ich specyfikę oraz warunki geologiczno-górnictwa, jakie występują w wysadach solnych, eksploatację złoża prowadzi się wyłącznie systemem komorowo-filarowym w następujących odmianach:

- komory płaskie z przodkiem schodowo-stropowym;
- komory płaskie z przodkiem schodowo-spągowym:
  - jednostopniowym,
  - wielostopniowym.

Obecnie jako jedyny sposób wybierania soli stosowany jest system komór płaskich, w którym komory mają kształt prostopadłościanów o poziomej najdłuższej osi.

Komory mogą być ustawione podłużnie lub poprzecznie względem rozciągłości warstw solnych. Komory wykonywane na tym samym poziomie rozdzielone są filarami międzykomorowymi, a na poszczególnych poziomach rozdzielone są półką międzypoziomową. Wymiary komór i filarów międzykomorowych oraz grubość półek międzypoziomowych zmieniają się wraz z głębokością.

Do poziomu 600 m złoże zostało wybrane głównie komorami o szerokości 15 m, wysokości 15 m oraz długości około 100–200 m (rys. 6). Długość komór w układzie poprzecznym uzależniona jest od miąższości wybieranych warstw solnych, a w układzie podłużnym – od zmian ich rozciągłości i zmian miąższości.



Rys. 6. Komory prostopadłościennne  
(materiały Kopalni Soli „Kłodawa” S.A. [3])

W związku z geometrią pól eksploatacyjnych w polu nr 1 i 2 zachowana jest osiowość komór, natomiast w przypadku pola nr 3 i 5 kopalnia ma zezwolenie na odstępianie od przepisów dotyczących niepokrywania się osi filarów między komorami poziomu niższego z osiami filarów poziomów wyższych w przedziale głębokości od 600 m do 810 m.

Podczas eksploatacji systemem komorowym w złożach soli kamiennej nie likwiduje się pustek poeksploatacyjnych, tzn. wolnej przestrzeni, która powstaje po wybraniu kopaliny. Komory są tak projektowane, aby zachowywały długotrwałą stateczność geomechaniczną. Z tego powodu w kopalni pozostały podziemne puste przestrzenie o znacznych objętościach. Dotychczas wykonano około 1000 komór eksploatacyjnych, a wyrobiska korytarzowe tworzą sieć o długości około 400 km. Łączna objętość wszystkich pustek przekracza 18 mln m<sup>3</sup>.

Sąsiednie komory rozdzielone są filarami o szerokości 15 m, a pomiędzy kolejnymi międzypoziomami pozostawiona została półka o grubości 10 m. Tak więc moduł poziomego rozcięcia pola (suma szerokości filaru międzykomorowego i komory) równy jest 30 m, a moduł rozcięcia pionowego (suma wysokości komory i grubości półki międzypoziomowej) równy jest 25 m.

Poniżej poziomu 600 m gabaryty komór zmniejszają się wraz ze wzrostem głębokości. Ich szerokość i wysokość zmniejszają się w zależności od pola eksploatacyjnego od 13,5 m do 12 m, jednocześnie wzrasta szerokość filarów międzykomorowych i półek międzypoziomowych. Zmiany te zachodzą w ten sposób, że moduł pionowego i poziomego rozcięcia pola jest na wszystkich poziomach poniżej 600 m równy 30 m. Długość komór wynosi od 50 m do 400 m. Najniższy poziom eksploatacji komór solnych to 810 m.

Technologia produkcji polega na mechanicznym przetwarzaniu surowca przez kruszenie, mielenie oraz sortowanie. Wybrane produkty poddawane są procesowi wzbogacania. Kopalnia samodzielnie prowadzi konfekcjonowanie swoich produktów.

## 5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Kłodawska sól drogowa od wielu lat jest znana i doceniana przez zarządców dróg nie tylko w Polsce. Marka lizawek solnych dla zwierząt Lisal jest produkowana oraz dostarczana krajowym i europejskim rolnikom już od lat 80. ubiegłego wieku. Dla soli spożywczych oraz soli kosmetycznych stworzono markę Sól Kłodawska. Sól spożywcza z Kłodawy oprócz czystego NaCl zawiera szereg naturalnych makro- i mikroelementów nazwanych przez prof. Juliana Aleksandrowi-

cza „pierwiastkami życia”. Badania porównawcze przeprowadzone w niezależnym laboratorium pokazały, że Sól Kłodawska (z żywieniowego punktu widzenia) jest bardzo podobna składem chemicznym do modnej w ostatnich latach soli himalajskiej. Kłodawski wysad solny jest jedynym w Europie wysadem, w którym eksploatowana jest, oprócz soli białej, sól różowa (najbliżej Polski sól różowa wydobywana jest w Pakistanie). Ciekawostką kłodawskiej kopalni jest złożo soli magnezowo-potasowych. To z nich powstaje tzw. królowa kłodawskich soli – Kłodawska Sól Kapielowa Magnezowo-Potasowa. Badania w Zakładzie Balneologii w Ciechocinku i testy na grupie osób ze schorzeniami ruchu wykazały, że daje ona świetne rezultaty terapeutyczne. Wyjątkowe w skali światowej kruchy solne soli różowej wykorzystywane są do produkcji stwarzającej niepowtarzalny klimat w pomieszczeniach galanterii solnej – lamp, świeczników i innych produktów.

W Kopalni Soli „Kłodawa” S.A. znajduje się najgłębiej położona podziemna trasa turystyczna. Kłodawska Podziemna Trasa Turystyczna (rys. 7) leży na poziomie wydobywczym, 600 m pod powierzchnią ziemi. Trasa turystyczna oraz wybrane stanowiska geologiczne zostały wpisane do rejestru zabytków. 20 kwietnia 2007 r. na trasie odbył się tzw. koncert na najniższym poziomie. Muzycy Filharmonii Kaliskiej zagrali *Cztery pory roku* Antonia Vivaldiego, co zostało zarejestrowane w *Księdze rekordów Guinnessa* jako koncert na największej głębokości.

Więcej informacji o trasie i możliwości zwiedzania kopalni oraz o produktach można znaleźć na stronie internetowej spółki [1]. Dodatkowo istnieje możliwość zakupu produktów w sklepie internetowym.

Obserwacja zmian zachodzących na rynku solnym na przestrzeni ostatnich dwudziestu lat prowadzi do kilku wniosków:

- Popyt i podaż solanki i soli warzonej w ostatnich latach były dość stabilne.

- Rynek soli kamiennej, której głównym zastosowaniem jest zimowe utrzymanie dróg, charakteryzuje się dużą zmiennością.
- W prognozie na najbliższe lata należy się spodziewać utrzymania lekkiego trendu wzrostowego zużycia soli w przemyśle chemicznym oraz stabilizacji użytkowania soli w przemyśle spożywczym i paszowym.
- Z uwagi na planowany dalszy rozwój sieci drogowej w Polsce prognozowany do 2030 r. zużycie soli drogowej za 10 lat może ulec podwojeniu do około 3,0 mln ton (zależać to będzie jednak bezpośrednio od występujących warunków pogodowych w czasie danej zimy).
- Ze względu na ograniczone zdolności produkcyjne polskich producentów konieczna jest rozbudowa sieci magazynów dla soli drogowej w celu uniknięcia sytuacji kryzysowych w okresach zimowych. Tworzenie cyklicznych rezerw strategicznych soli drogowej umożliwi polskim producentom utrzymanie stabilnego poziomu produkcji i ograniczy stopień uzależnienia od importu.
- Szczególnie niebezpieczne jest stopniowe uzależnianie się rynku soli koniecznej do zimowego utrzymania dróg w Polsce od producentów soli z Ukrainy i Białorusi.
- Wraz z rozwojem sieci drogowej w Polsce rosnąć będzie także potencjalne zapotrzebowanie na sól kamienną drogową, a obecne zdolności produkcyjne dwóch polskich kopalń są ograniczone. Dlatego należy przygotować się do odpowiedzi na pytanie, skąd weźmiemy sól kamienną w Polsce w najbliższych dziesięcioleciach, a szczególnie po 2052 r., kiedy skończy się koncesja na wydobywanie soli kamiennej w Kłodawie (jej źródłami mogą być import, produkcja KGHM, budowa nowej kopalni podziemnej).



Rys. 7. Komory solne Kłodawskiej Podziemnej Trasy Turystycznej (zdjęcia KS „Kłodawa” S.A. [4])

**Literatura**

- [1] Opracowania Fundacji Polska Sól. *Bilans solny* – opracowanie dotyczące produkcji soli w Polsce i importu soli sporządzane przez Fundację Polska Sól na podstawie danych pochodzących od polskich producentów soli oraz Izby Administracji Skarbowej [niepublikowane].
- [2] Opracowanie własne na podstawie USGS (United States Geological Survey) – National Minerals Information Center USA [niepublikowane].
- [3] Opracowania własne Kopalni Soli „Kłodawa” S.A. i dokumentacja geologiczna złoża [niepublikowane].
- [4] Kopalnia Soli „Kłodawa”: *Kłodawska Podziemna Trasa Turystyczna*, <https://sol-klodawa.com.pl/podziemna-trasa-turystyczna> [7.03.2022].

*mgr inż. JANUSZ KOŁODZIEJSKI*  
*Fundacja Polska Sól*  
*Kopalnia Soli „Kłodawa” S.A.*  
*al. 1000-lecia 2, 62-650 Kłodawa*  
*jkolodziejski@sol-klodawa.com.pl*



KRZYSZTOF SZYDŁOWSKI  
MICHAŁ FLASZA

## The historic “Bochnia” Salt Mine

*The beginnings of the “Bochnia” Salt Mine date back to 1248. Over the centuries, its structure, methods of operation and purpose have all changed, with its miners being pioneers in Poland with regard to the method of extraction and the technologies used. Over hundreds of years, several shafts have been excavated, and a maze of galleries created near Bochnia, creating something like a town outside and underneath the city. Due to the depletion of the deposit and increasing costs, mining was stopped, and the last lump of salt came to the surface in 1990. Since that time the company has been making efforts to protect the natural and historical heritage by securing the workings and making them available for sightseeing by tourists.*

Key words: salt mining, tourism, monument of technology

### 1. INTRODUCTION

The beginnings of rock salt mining in Bochnia go back to the mid-thirteenth century, as evidenced by the notes from 1251 regarding the discovery of rock salt: “Sal durum in Bochnia repertum est quod antea nunquam fuerat” – “Rock salt in Bochnia has been found for the first time”. This does not mean that salt as such was not known in Bochnia; on the contrary, archaeological research indicates the exploitation of brine springs and the existence of salt works in the vicinity of Bochnia as early as in the middle Neolithic period (around 3500 BC). As the surface sources of brine were depleted, digging of salt water wells began, which contributed to the discovery of rock salt in 1248 [1]. In 1251, exploitation was commenced on an industrial scale. It was the first such discovery on Polish lands. The extraction of rock salt in Bochnia continued for almost 750 years, which makes the mine a unique monument of technology on a global scale, presenting all the historical stages of the development of the mining industry from the 13<sup>th</sup> to the 20<sup>th</sup> century [2]. The long-term mining activity, which is estimated to have reached approximately 9 million tons of rock salt output, resulted in the creation of a spatial model including 16 mine levels located at

depths from 70 m to 468 m. After the exploitation ended in 1990, the salt mine in Bochnia based its further development on tourist and spa activities, while closing the lowest, non-historic levels. Currently, most of the mining works are aimed at maintaining, securing and conserving the excavations subject to heritage protection [3]. Due to its cultural and natural importance, the mine was inscribed on the UNESCO World Heritage List.

### 2. HISTORY OF SALT ROCK MINING

The Bochnia rock salt deposit is considered to be very complex in terms of its tectonics [4]. The salt layers are strongly folded and contain interbeddings of clay rocks with anhydrite. In the first periods of the mine's existence, rock salt exploitation involved the mining of pure salt deposits, which from today's point of view should be deemed chaotic. Due to its unusual characteristics, the deposit extraction was carried out in a very spontaneous way, which involved excavating a large number of exploration shafts. The results were not always satisfactory. The first Bochnia shafts – “Gazaris” and “Sutoris” – were built in the 13<sup>th</sup> century. Due to the very geological structure of the Bochnia



deposit, the miners faced enormous difficulties during its exploitation, as it forced them to look for technological solutions that were pioneering for both Polish and European mining [5]. An example may be the inter-level mine shafts, which enabled them to reach deep deposits. The mining of salt from the beginning until the end of the Old Polish era was based on simple mining tools (pickaxes, hammers, ropes). The period from 14<sup>th</sup> to the 16<sup>th</sup> century was marked by the significant organizational and spatial development of the mine. Various mining devices in use, such as treadmills and other smaller ones powered by humans or horses, should be considered advanced for those times [5]. The Bochnia Castellany was a royal property which, together with the nearby salt mine in Wieliczka, generated enormous income to the state treasury. This made the town of Bochnia one of the most important town centres in Poland. It should be noted, however, that due to more difficult geological and mining conditions, the output in the Bochnia mine was lower than that in Wieliczka, and the operating costs were higher. By way of an example, at the beginning of the 16<sup>th</sup> century, Bochnia provided more than 40% of the total output of Krakow's salt mines, which amounted to approx. 16,000 tons, but at the end of the century, this share dropped to approx. 20% of ca 32,000 tons [6]. In the 17<sup>th</sup> century, wars and the economic decline of the Republic of Poland stopped the development of the salt mine in Bochnia. The eighteenth century brought the necessary reforms, which improved the situation of the mine. In 1772, the Bochnia mine was included in the territory of Austria as a result of the First Partition of the Republic of Poland, and until 1918 remained the property of the imperial Habsburg family. This period saw general changes to the organizational and legal structure. Systematic works were carried out to organize the irregular mine excavations in a better way. The methods of salt deposit extraction were also gradually modernized. From the second half of the nineteenth century, the deposit was mined with the use of explosives. Gradually, rail transport, steam hoisting machines and steel hoisting ropes appeared in the Bochnia mine. During the Second World War and after 1945, the exploitation of the deposit was very intensive, accompanied by the progressing process of electrification and greater mechanization of work. From 1968, extraction on the lowest, non-historic levels of the mine (from X to XVI) was carried out with the use of fresh water (leaching). Due to the deposit depletion as well as growing problems related to the pro-

tection of the historic levels of the Bochnia mine, the extraction was terminated in 1990. Since then, the focus has been on the conservation of historic workings and the closure of the non-historic part of the mine.

### 3. NATURAL HAZARDS IN THE MINE

---

The major threat in the mine in Bochnia since ancient times has been the presence of methane [7]. The gas mainly accumulated in poorly ventilated workings on lower levels. Its occurrence was related to the gas-bearing rocks of the Carpathian flysch in the southern parts of the deposit. Another source of methane were organic substances, i.e. charred plant material and bituminous salts containing hydrocarbons. Rarely, methane was found near the northern boundary of the deposit. As the boundaries of the deposit consisted of characteristic, easily recognizable layers, the rule observed in the mine was to not disturb them by mining works. However, accidents caused by methane emissions still happened. In 1906, an explosion of methane released from the rocks occurred when a gallery was being excavated with explosives. In 1949, during the drive of an exploration gallery near the southern boundary of the deposit, a strong methane explosion occurred, killing several miners. The release of methane was mainly related to the drive of workings and the extraction of the deposit. Currently, when production is no longer continued and the boundaries of the deposit are not disturbed, methane does not pose any risk [7].

However, the greatest threat to salt mines is the inflow of waters from the rock layers covering the deposit or located in its vicinity. Flowing into the workings, these waters may dissolve the salt and threaten the mine by degrading its structure. The hazard related to the inflow of water to the deposit is not high in the Bochnia mine. The waters getting into the mine mainly come from quaternary aquifers and flow into both active and old shafts, which have been closed by backfilling with rock material. In the mine, they are most often observed as drop leaks.

### 4. POST-INDUSTRIAL DEVELOPMENT OF THE MINE'S ACTIVITY

---

In the 1980s, when it was known that the extraction of salt would come to an end in near future, works aimed at transforming and adapting the excavation

voids were undertaken so as to enable tourist traffic and sanatorium activities (Fig. 1). The initiative to protect the mine came from its management and staff, which for centuries had been strongly associated with the largest workplace in the region [5]. Thanks to these efforts, the mine was entered in the register of monuments by virtue of the decision of the voivodship conservator of monuments in 1981.



*Fig. 1. Use of the AM-50 roadheader in the galleries of the “Wązyn” Chamber (phot. from the collection of the “Bochnia” Salt Mine)*

At the beginning of the 1990s, the first tourists went down the mine with full mining equipment (helmets, lamps, absorbers), and their guides were the members of the mine supervisory staff. At that time, the mine was visited by merely 1,500 tourists a year. In 1995, the tourist traffic was better organised, and owing to further works aimed at adapting the excavations for tourist and sanatorium purposes, the number of visitors to the mine continued to grow [3]. In 2000, it was visited by approximately 90,000 people. In the same year, the President of the Republic of Poland recognized the historic underground of the Bochnia mine as a historical monument.

In order to preserve the geological heritage revealed in the mining excavations for future generations, 27 geologically valuable areas have been legally protected as “documentation sites” since 2005 [3, 8]. In 2013, the Bochnia mine, along with the Saltworks Castle in Wieliczka, was included in the group of the most valuable monuments in the world by being inscribed on the UNESCO World Heritage List (as an extension of the entry of the nearby Wieliczka Salt

Mine from 1978). In 2017, the number of tourists visiting the Bochnia mine exceeded 190,000 [3].

## 5. THE MINE AS A TOURIST SPOT

The present extensive spatial structure of the historic mine consists of nine levels with a total length of excavations reaching several dozen kilometres [6]. This underground space of the salt mine in Bochnia features historic galleries and chambers with works of art, underground chapels, statues, and decorative elements that miners carved out of rock salt. The adaptation of the post-mining chambers and galleries for tourist purposes allowed creating an impressive underground functional space, which houses gastronomic facilities, sports fields, multi-functional halls, attractions such as an underground battery-operated railway and an underground multimedia exhibition [3, 9]. A significant part of these workings has been opened to the public or made available for treatment with the underground atmosphere [10].

At present, the ride down the mine takes place via the “Campi” shaft. This is where the infrastructure for tourists is located and the facility can be visited by groups of people during guided tours. Three completely different tourist trails have been prepared for visitors.

### 5.1. Trail with an underground multimedia exhibition

It is the main route that runs along the workings of the “August” level (the main ventilation level of the mine is the only one that connects all the shafts preserved to this day), “Sienkiewicz” and inter-level “Dobosz” [7, 10]. The raw chambers and excavations have been enriched with a multimedia presentation of the history of the mine, the development of mining techniques and the history of salt trading. The exhibition consists of stands equipped with holoscreens and MultiNans – multimedia mannequins. Visitors to the mine embark on a journey from the times of Bolesław the Chaste and Princess Kinga through all eras up to the present day, learning about the work of miners as well as the dangers and threats they might have encountered in the mine. Tourists begin their tour of the mine from the “Campi” shaft top, where they can see an unusual monument of technology – an efficient steam engine made in 1909 in the “Laura” steelworks

in Chorzów. It was transported to Bochnia from the closed salt mine in Wapno. It served the longest of all steam engines in the Polish mining industry, until 1996. Tourists cover the route on foot, although there is the opportunity to travel by train (Ldag-05M locomotive with wagons adapted to transport tourists) or by boat along a certain part of the trail. A visit to the mine ends with a stop in the “Ważyn” Chamber (Fig. 2), which houses a restaurant, a souvenir shop, a sports field, and a playground for children.



Fig. 2. “Ważyn” Chamber (phot. by Adam Brzoza)

## 5.2. Historical route

### “Expedition to the Old Mountains”

The route, which was made available in 2014, leads tourists through the oldest excavations of the mine in Bochnia, where rock salt was extracted from the Middle Ages to the beginning of the 20<sup>th</sup> century. Before going underground, the groups undergo specialist training at the Mine Rescue Station, where they are equipped with mining equipment, i.e.: a helmet, a lamp and a carbon monoxide absorber [11]. The expedition starts on the “Danielowiec” level (the first shallowest level of the mine). This is where the tour of the Old Mountains, i.e. the oldest preserved excavations, begins. There are many interesting places along the route, both with regard to the old mining technique and the geological structure of the deposit. One of the excavation complexes is the so-called “Kalwaria” descent, connecting the “Danielowiec” and “August” levels, with a total length of ca 650 m and a height difference of 110 m. This descent includes the “Śmierdziuchy” and “Stanetti” chambers. One of the most interesting is the “Stanetti II” Chamber (Fig. 3), leading to a steep descent, which was made by three techniques: stairs carved in the rock mass, wooden steps and a wooden suspended structure.



Fig. 3. Traces of salt blocks loosening (phot. by Adam Brzoza)

The “Śmierdziuchy” chambers from the first half of the 18<sup>th</sup> century stretch along the further part of the trail. In the eastern part of the “Śmierdziuchy Środkowa” chamber, tourists can admire the St. Joseph Chapel with the original beams of the altar wall, bearing the inscription “Anno Domini 1722” on a polychrome staining. The route in the Old Mountains also leads through the ladders of the “Gazaris II” shaft and many other unusual places. As the historic trail is characterised by an increased level of difficulty, it is only available to people over 16 years of age [7].

## 5.3. Nature trail

All the collected natural curiosities are presented to tourists during the nature trip along the nature trail that stretches along the “raw” interiors of the mine [11]. Throughout the trip visitors have the chance to learn about the geological history of the Bochnia deposit while exploring its rocks and minerals. The trip allows them to observe how human activity contributed to the creation of a unique environment in the salt workings. Visitors can understand how the geological processes that formed the salt deposit millions of years ago as well as contemporary phenomena, which are now visible in the excavations, created the natural beauty of the mine’s interior. The tourist route leads through historic corridors from the “Sienkiewicz” level through the “Lobkowicz” level to the “August” level.

## 6. SUMMARY

The “Bochnia” Salt Mine illustrates all stages of the development of rock salt mining technologies



from the 13<sup>th</sup> to the 20<sup>th</sup> century. After the centuries-old exploitation came to an end, the mine, which is a masterpiece of material culture, was granted the status of a Historic Monument and entered in the register of monuments. The historic part of the excavations was made available to tourists. The unique character of the mine was marked by its inclusion on the UNESCO World Heritage List.

#### References

- [1] Maślankiewicz K.: *Z dziejów górnictwa solnego w Polsce*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1965.
- [2] UNESCO World Heritage Convention: *Wieliczka and Bochnia Royal Salt Mines*. <https://whc.unesco.org/en/list/32/> [11.07.2022].
- [3] Puławska A., Manecki M., Flaszka M., Waluś E., Wojtowicz K.: *Rare Occurrence of Mirabilite in the Thirteenth-Century Historic Salt Mine in Bochnia (Poland): Characterisation, Preservation, and Geotourism*. *Geoheritage* 2021, 13, 2: 36.
- [4] Toboła T.: *Badania koncentracji potasu i magnezu w solach kamiennych złoża Bochni*. *Przegląd Geologiczny* 2000, 48, 12: 1163–1168.
- [5] Wojciechowski T.: *Kopalnia soli w Bochni*. Kopalnia Soli Bochnia, Bochnia 2016.
- [6] Wiewiórka J., Dudek K., Charkot J., Gonera M.: *Natural and historic heritage of the Bochnia salt mine (South Poland)*, *Studia Universitatis Babeş-Bolyai, Geologia* 2009, 54, 1: 43–47.
- [7] Wiewiórka J., Poborska-Młynarska K., Zięba K., Flaszka M.: *W głąb soli i czasu w Kopalni Soli Bochnia*. Wydawnictwa AGH, Kraków 2016.
- [8] Wiewiórka J., Charkot J., Dudek K., Gonera M.: *Historic salt mines in Wieliczka and Bochnia*. *Geoturystyka/Geotourism* 2008, 3, 18: 61–70.
- [9] Puławska A., Manecki M., Flaszka M.: *Mineralogical and chemical tracing of dust variation in an underground historic salt mine*. *Minerals* 2021, 11, 7: 686.
- [10] Puławska A., Manecki M., Flaszka M., Styszko K.: *Origin, distribution, and perspective health benefits of particulate matter in the air of underground salt mine: a case study from Bochnia, Poland*. *Environmental Geochemistry and Health* 2021, 43, 9: 3533–3556.
- [11] Flaszka J., Zięba K.: *Kopalnia Soli Bochnia jako obiekt turystyczny*. In: Flaszka J., Flaszka M., Migdas T., Mróz S., Puławska A., Zięba K.: *Kopalnia Soli Bochnia. Historia wykuta w soli*. Kopalnia Soli Bochnia, Bochnia 2018: 67–72.

KRZYSZTOF SZYDŁOWSKI, M.Sc., Eng.  
MICHAŁ FLASZA, M.Sc., Eng.  
Bochnia Salt Mine Ltd  
ul. Campi 15, 32-700 Bochnia, Poland  
{k.szydowski, m.flasza}@kopalnia-bochnia.pl

KRZYSZTOF SZYDŁOWSKI  
MICHAŁ FLASZA

## Zabytkowa Kopalnia Soli „Bochnia”

*Początki Kopalni Soli „Bochnia” sięgają 1248 r. Na przestrzeni wieków zmieniała się jej struktura, sposób eksploatacji, a także przeznaczenie, a sami górnicy byli w Polsce pionierami w kwestii sposobu wydobywania oraz zastosowanych technik. Przez setki lat wydrążono kilkanaście szybów, a pod Bochnią powstał labirynt chodników i korytarzy – swoiste miasto pod miastem. Ze względu na wyczerpywanie się złoża oraz coraz to większe koszty zaprzestano wydobywania, a ostatni kruch soli wyjechał na powierzchnię w 1990 r. Od tego czasu przedsiębiorstwo czyni starania mające na celu ochronę dziedzictwa przyrodniczego i historycznego przez zabezpieczanie wyrobisk oraz udostępnianie ich do zwiedzania rzeszy turystów.*

Słowa kluczowe: górnictwo solne, turystyka, zabytek techniki

### 1. WSTĘP

Początki wydobywania soli kamiennej w Bochni sięgają połowy XIII w., o czym świadczą zapiski z 1251 r. mówiące o odnalezieniu soli twardej: „*Sal durum in Bochnia repertum est quod antea nunquam fuerat*” – „Sól twarda została znaleziona w Bochni, której nigdy wcześniej nie było”. Nie oznacza to, że soli jako takiej w Bochni nie znano, wręcz przeciwnie, badania archeologiczne wskazują na eksploatację źródeł solankowych i istnienie warzelni soli w okolicach Bochni już od okresu środkowego neolitu (ok. 3500 p.n.e.). W miarę wyczerpywania się powierzchniowych źródeł solanki zaczęto głębiej studnie solankowe, co przyczyniło się do odkrycia w 1248 r. soli kamiennej [1]. W 1251 r. rozpoczęto eksploatację na skalę przemysłową. Było to pierwsze tego typu odkrycie na ziemiach polskich. Wydobywanie soli kamiennej w Bochni trwało nieprzerwanie niemal 750 lat, co czyni kopalnię unikatowym w skali globalnej zabytkiem techniki, reprezentującym wszystkie historyczne etapy rozwoju przemysłu górniczego od XIII w. do XX w. [2]. W wyniku wieloletniej działalności eksploatacyjnej, w czasie której według szacunków wydobyto około 9 mln ton soli kamiennej, wytworzył się model przestrzenny obejmujący 16 poziomów kopalnianych zlokalizowa-

nych na głębokości od 70 m do 468 m. Po zakończeniu eksploatacji w 1990 r. kopalnia soli w Bochni oparła swój dalszy rozwój na działalności turystyczno-uzdrowiskowej, jednocześnie prowadząc likwidację najniższych, niezabytkowych poziomów. Obecnie większość prowadzonych robót górniczych ma na celu utrzymanie, zabezpieczenie i konserwację wyrobisk objętych ochroną zabytkową [3]. Ze względu na znaczenie kulturowe i przyrodnicze kopalnia została wpisana na listę światowego dziedzictwa UNESCO.

### 2. HISTORIA EKSPLOATACJI SOLI KAMIENNEJ

Bocheńskie złoża soli kamiennej uznawane jest pod względem tektonicznym za bardzo skomplikowane [4]. Warstwy solne są silnie zafałdowane i przewarstwione skałami ilastymi z anhydrytem. W pierwszych okresach istnienia kopalni wydobywanie soli kamiennej polegało na chaotycznym z dzisiejszego punktu widzenia wybieraniu pokładów soli czystej. Eksploatacja złoża ze względu na jego nietypową charakterystykę przebiegała bardzo żywiołowo i polegała na drażnieniu dużej liczby szybów poszukiwawczych – nie zawsze trafiających w złoża soli. W XIII w. powstały



pierwsze szyby bocheńskie: „Gazaris” i „Sutoris”. Sama budowa geologiczna złoża bocheńskiego sprawiała górnikom ogromne trudności w eksploatacji, zmuszała ich do szukania rozwiązań technicznych, które były pionierskie zarówno w górnictwie polskim, jak i europejskim [5]. Za przykład mogą posłużyć szybiki kopalniane międzypoziomowe, dzięki którym docierano do głęboko zalegających pokładów. Eksploatację soli od początku aż do schyłku epoki staropolskiej prowadzono za pomocą prostych narzędzi górniczych (kilof, młotek, liny). Od XIV w. do XVI w. trwa okres znacznego rozwoju organizacyjnego i przestrzennego kopalni. Pojawiają się zaawansowane jak na ówczesne czasy urzędnictwo górnicze – kieraty oraz inne mniejsze napędzane siłą ludzką bądź końmi [5]. Żupa bocheńska stanowiła własność królewska, która wraz z pobliską kopalnią soli w Wieliczce przynosiła Skarbowi Państwa olbrzymie dochody. Dzięki temu miasto Bochnia stało się jednym z najważniejszych ośrodków miejskich na ziemiach polskich. Należy jednak zaznaczyć, że ze względu na trudniejsze warunki geologiczno-górnictwa wydobywanie w kopalni w Bochni było niższe niż w Wieliczce, a koszty eksploatacji wyższe. Na początku XVI w. Bochnia dostarczała na przykład ponad 40% całkowitej produkcji żup krakowskich, które wynosiły około 16 tys. ton, ale pod koniec tego stulecia udział ten spadł do mniej więcej 20% z około 32 tys. ton [6]. W XVII w. z powodu wojen i upadku gospodarczego Rzeczypospolitej nastąpiło zahamowanie rozwoju kopalni soli w Bochni. Wiek XVIII przyniósł niezbędne reformy i poprawę sytuacji na terenie kopalni. W 1772 r. w wyniku I rozbioru Rzeczypospolitej kopalnia bocheńska znalazła się w zaborze austriackim i do 1918 r. stanowiła własność cesarskiego rodu Habsburgów. W tym okresie doszło do generalnych przeobrażeń w dziedzinie struktury organizacyjno-prawnej. Prowadzono usystematyzowane prace mające na celu uporządkowanie nieregularnych wyrobisk kopalnianych. Trwał też stopniowy proces unowocześniania metod eksploatacji złoża solnego. Od drugiej połowy XIX w. urabianie złoża prowadzone było z użyciem materiałów wybuchowych. Stopniowo pojawia się w bocheńskiej kopalni transport szynowy, parowe maszyny wyciągowe oraz stalowe liny wyciągowe. W okresie II wojny światowej i po roku 1945 trwała bardzo intensywna eksploatacja złoża, równocześnie postępował proces elektryfikacji i mechanizacji pracy. Na najniższych, niezabytkowych poziomach kopalni (od X do XVI) od 1968 r. prowadzona była eksploatacja z użyciem

słodkiej wody (ługowanie). Wyczerpywanie się złoża oraz narastające problemy związane z ochroną zabytkowych poziomów bocheńskiej kopalni były powodem zakończenia eksploatacji, co nastąpiło w 1990 r. Od tego czasu skupiono się na konserwatorskim zabezpieczaniu zabytkowych wyrobisk oraz likwidacji niezabytkowej części kopalni.

### 3. ZAGROŻENIA NATURALNE W KOPALNI

Dużym zagrożeniem występującym w bocheńskiej kopalni od dawnych czasów było pojawianie się metanu [7]. Gaz ten gromadził się głównie w słabo przewietrzanych wyrobiskach niższych poziomów. Jego występowanie związane było z gazonośnymi skałami fliszu karpackiego, które pojawiały się w południowych częściach złoża. Kolejnym źródłem metanu były substancje organiczne, tj. zwęglony materiał roślinny, oraz sole bitumiczne zawierające węglowodory. Metan rzadko występował w rejonie północnej granicy złoża. W związku z tym, że granice złoża stanowiły charakterystyczne, łatwe do rozpoznania warstwy, w kopalni obowiązywała zasada nienaruszania ich robotami górniczymi. Pomimo tego zdarzały się wypadki spowodowane wydzielaniem się metanu. W 1906 r. nastąpił wybuch metanu, który wydzielił się ze skał podczas drażenia chodnika materiałami wybuchowymi. W 1949 r. podczas drażenia chodnika poszukiwawczego w rejonie południowej granicy złoża doszło do silnego wybuchu, w wyniku którego poniosło śmierć kilku górników. Wydzielanie się metanu związane było przede wszystkim z drażeniem wyrobisk i eksploatacją złoża. Obecnie, gdy nie prowadzi się wydobywania i nie narusza robotami granic złoża, nie ma zagrożenia spowodowanego obecnością tego gazu [7].

Największe zagrożenie dla kopalni soli stwarzają jednak dopływy wód z warstw skalnych przykrywających złoża lub znajdujących się w jego otoczeniu. Wody te, wpływając do wyrobisk, mogą rozpuszczać sól i degradować strukturę kopalni, co grozi jej zniszczeniem. W bocheńskiej kopalni niebezpieczeństwo związane z dopływem wód do złoża nie jest duże. Do tej kopalni przedostają się przeważnie wody z czwartorzędowych poziomów wodonośnych oraz wody dopływające zarówno do szybów czynnych, jak i starych, zlikwidowanych przez zasypanie materiałem skalnym. W kopalni obserwuje się je najczęściej jako wycieki kropłowe.

#### 4. POPRZEMYSŁOWY ROZWÓJ DZIAŁALNOŚCI KOPALNI

W latach 80. XX w., przygotowując się do zaprzestania wydobywania kopaliny, rozpoczęto prace, których celem było przekształcenie wyrobisk poeksploatacyjnych i zaadaptowanie ich na potrzeby ruchu turystycznego i sanatoryjnego (rys. 1). Inicjatywa ochrony wyszła od zarządu i załogi kopalni, która od wieków mocno związana była z największym w regionie zakładem pracy [5]. Dzięki tym staraniom w 1981 r. kopalnia została wpisana do rejestru zabytków decyzją wojewódzkiego konserwatora zabytków.



*Rys. 1. Wykorzystanie kombajnu AM-50  
przy przebudowie wyrobisk Komory „Ważyn”  
(fot. zbiory Kopalni Soli „Bochnia”)*

Na początku lat 90. XX w. pierwsi turyści zjeżdżali do kopalni z pełnym wyposażeniem górniczym (kask, lampa, pochłaniacz), a ich przewodnikami były osoby z dozoru zakładu górniczego. W tamtym czasie kopalnię odwiedzało rocznie zaledwie 1500 turystów. W roku 1995 ruch turystyczny prowadzono już w sposób zorganizowany, a w wyniku dalszych prac adaptujących wyrobiska na cele turystyczne i sanatoryjne liczba odwiedzających kopalnię stale rosła [3]. W 2000 r. kopalnię odwiedziło już około 90 tys. osób. W tym samym roku prezydent Rzeczypospolitej Polskiej uznał zabytkowe podziemia bocheńskiej kopalni za pomnik historii. Aby zachować dla przyszłych pokoleń dziedzictwo geologiczne odsłonięte w wyrobiskach górniczych, od 2005 r. 27 cennych pod względem geologicznym obszarów objęto ochroną prawną jako „stanowiska dokumentacyjne” [3, 8]. W 2013 r. kopal-

nia bocheńska wraz z zamkiem żupnym w Wieliczce została wpisana na listę światowego dziedzictwa UNESCO, a tym samym dołączyła do grona najcenniejszych zabytków na świecie (jako rozszerzenie wpisu pobliskiej Kopalni Soli „Wieliczka” z 1978 r.). W 2017 r. liczba turystów odwiedzających bocheńską kopalnię przekroczyła 190 tys. [3].

#### 5. KOPALNIA JAKO OBIEKT TURYSTYCZNY

Obecna rozległa struktura przestrzenna zabytkowej kopalni składa się z dziewięciu poziomów o łącznej długości wyrobisk sięgającej kilkudziesięciu kilometrów [6]. Ta podziemna przestrzeń kopalni soli w Bochni to zabytkowe chodniki i komory z dziełami sztuki, podziemnymi kaplicami, posągami i elementami dekoracyjnymi wyrzeźbionymi w soli kamiennej przez górników. Dzięki adaptacji pogórnich komór i korytarzy na cele turystyczne stworzono imponującą podziemną przestrzeń funkcjonalną, w skład której wchodzi obiekty gastronomiczne, boiska, hale wielofunkcyjne, atrakcje, takie jak podziemna kolejka akumulatorowa oraz podziemna wystawa multimedialna [3, 9]. Znaczna część tych wyrobisk została udostępniona do zwiedzania lub przeznaczona na lecnictwo wykorzystujące podziemny klimat [10].

W chwili obecnej turyści zjeżdżają do kopalni szybem „Campi”. To tam zlokalizowana jest infrastruktura turystyczna. Zwiedzanie odbywa się w grupach, z przewodnikiem. Dla zwiedzających przygotowano trzy zupełnie odmienne trasy turystyczne.

##### 5.1. Trasa z podziemną ekspozycją multimedialną

Jest to główna trasa, która biegnie wyrobiskami poziomu „August” (główny poziom wentylacyjny kopalni jako jedyny łączy wszystkie zachowane do dnia dzisiejszego szyby), „Sienkiewicz” i międzypoziomu „Dobosz” [7, 10]. Surowe komory i wyrobiska zostały wzbogacone multimedialną prezentacją dziejów kopalni, rozwoju techniki wydobywania oraz historii handlu solą. Ekspozycja składa się ze stanowisk wyposażonych w holokrany oraz MultiMany, czyli multimedialne manekiny. Odwiedzający kopalnię odbywają podróż od czasów Bolesława Wstydlivego oraz książęcej Kingi przez wszystkie epoki aż do czasów współczesnych, poznając trud pracy górników, a także

niebezpieczeństwa i zagrożenia, jakie mogli napotkać w kopalni. Turyści rozpoczynają zwiedzanie kopalni od nadszybia szybu „Campi”, gdzie można zobaczyć niezwykle zabytek techniki, sprawną maszynę parową wykonaną w 1909 r. w chorzowskiej hucie „Laura”. Przeniesiono ją do Bochni z nieczynnej kopalni soli w Wapnie. Pracowała najdłużej spośród wszystkich maszyn parowych w polskim górnictwie, bo aż do 1996 r. Turyści przemierzają trasę pieszo, choć część mogą pokonać kolejką (lokomotywa Ldag-05M z przystosowanymi do przewozu turystów wagonami) lub przepłynąć łodzią. Zwiedzanie kopalni kończy się pobytem w komorze „Ważyn” (rys. 2), gdzie znajduje się restauracja, sklep z pamiątkami, boisko sportowe, plac zabaw dla dzieci.



Rys. 2. Komora „Ważyn”  
(fot. A. Brzoza)

## 5.2. Trasa historyczna „Wyprawa w Stare Góry”

Udostępniona w 2014 r. trasa prowadzi turystów przez najstarsze wyrobiska bocheńskiej kopalni, w których od czasów średniowiecznych do początku XX w. wydobywano sól kamienną. Przed pobytem pod ziemią grupy przechodzą szkolenie specjalistyczne w Kopalnianej Stacji Ratownictwa Górniczego, następnie wyposażane są w sprzęt górniczy, tj. hełm, lampę i pochłaniacz tlenu węgla [11]. Wyprawa rozpoczyna się na poziomie „Danielowiec” (pierwszy, najpłytszy poziom kopalni). Stąd rozpoczyna się zwiedzanie Starych Gór, czyli najstarszych zachowanych wyrobisk. Na trasie znajduje się wiele interesujących miejsc, zarówno pod względem dawnej techniki eksploatacji, jak i budowy geologicznej złoża. Jednym z zespołów wyrobisk jest tzw. zejście „Kalwaria”, łączące poziomy „Danielowiec” i „August”, o łącznej długości około 650 m i różnicy wysokości 110 m. W skład tego

zejścia wchodzi zespoły komór „Śmierdziuchy” oraz „Stanetti”. Jedną z najciekawszych jest komora „Stanetti II” (rys. 3), gdzie znajduje się strome zejście, które wykonano trzema technikami: są tu schody wykute w górotworze, stopnie drewniane i drewniana podwieszana konstrukcja.



Rys. 3. Ślady po odpajaniu bloków soli  
(fot. A. Brzoza)

W dalszej części trasy znajdują się komory „Śmierdziuchy” pochodzące z połowy XVIII w. We wschodniej części komory „Śmierdziuchy Środkowa” znajduje się kaplica św. Józefa z oryginalnymi belkami ściany ołtarzowej, na których widnieje polichromia z napisem „Anno Domini 1722”. Wędrując po Starych Górach, turyści przechodzą także po drabinach szybiku „Gazaris II” i przez wiele innych niezwykłych miejsc. Trasa historyczna ma podwyższony stopień trudności, mogą ją pokonać osoby po 16 roku życia [7].

## 5.3. Trasa przyrodnicza

Wszystkie ciekawostki przyrodnicze zostały zebrane i zaprezentowane turystom w ciągu trasy przyrodniczej, prowadzonej wzdłuż „surowych” wnętrza kopalni [11]. Wycieczka pozwala dobrze poznać historię geologiczną złoża bocheńskiego oraz wszystkie skały i minerały, które je budują. Podczas wycieczki można zaobserwować, jak działalność człowieka wpłynęła na powstanie unikatowego środowiska panującego w solnych wyrobiskach. Pozwala to zobaczyć, jak procesy geologiczne, które uformowały przed milionami lat złoża solne, a także współczesne zjawiska, czytelne obecnie w wyrobiskach górniczych, stworzyły naturalne piękno wnętrza kopalni. Trasa turystyczna wiedzie zabytkowymi korytarzami z poziomu „Sienkiewicz” przez poziom „Lobkowicz” aż do poziomu „August”.



## 6. PODSUMOWANIE

Trasy turystyczne w Kopalni Soli „Bochnia” ilustrują wszystkie etapy rozwoju technik górniczych w górnictwie soli kamiennej od XIII w. do XX w. Po zaprzestaniu wielowiekowej eksploatacji kopalnia stanowiąca arcydzieło kultury materialnej została wpisana do rejestru zabytków oraz uznana za pomnik historii, a zabytkową część wyrobisk udostępniono do zwiedzania dla turystów. O wyjątkowości tego obiektu świadczy wpisanie kopalni na listę światowego dziedzictwa UNESCO.

### Literatura

- [1] Maślankiewicz K.: *Z dziejów górnictwa solnego w Polsce*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1965.
- [2] UNESCO World Heritage Convention: *Wieliczka and Bochnia Royal Salt Mines*. <https://whc.unesco.org/en/list/32/> [11.07.2022].
- [3] Puławska A., Manecki M., Flaszka M., Waluś E., Wojtowicz K.: *Rare Occurrence of Mirabilite in the Thirteenth-Century Historic Salt Mine in Bochnia (Poland): Characterisation, Preservation, and Geotourism*. *Geoheritage* 2021, 13, 2: 36.
- [4] Toboła T.: *Badania koncentracji potasu i magnezu w solach kamiennych złoży Bochni*. *Przegląd Geologiczny* 2000, 48, 12: 1163–1168.
- [5] Wojciechowski T.: *Kopalnia soli w Bochni*. Kopalnia Soli Bochnia, Bochnia 2016.
- [6] Wiewiórka J., Dudek K., Charkot J., Gonera M.: *Natural and historic heritage of the Bochnia salt mine (South Poland)*, *Studia Universitatis Babeş-Bolyai, Geologia* 2009, 54, 1: 43–47.
- [7] Wiewiórka J., Poborska-Młynarska K., Zięba K., Flaszka M.: *W głąb soli i czasu w Kopalni Soli Bochnia*. Wydawnictwa AGH, Kraków 2016.
- [8] Wiewiórka J., Charkot J., Dudek K., Gonera M.: *Historic salt mines in Wieliczka and Bochnia*. *Geoturystyka/Geotourism* 2008, 3, 18: 61–70.
- [9] Puławska A., Manecki M., Flaszka M.: *Mineralogical and chemical tracing of dust variation in an underground historic salt mine*. *Minerals* 2021, 11, 7: 686.
- [10] Puławska A., Manecki M., Flaszka M., Styszko K.: *Origin, distribution, and perspective health benefits of particulate matter in the air of underground salt mine: a case study from Bochnia, Poland*. *Environmental Geochemistry and Health* 2021, 43, 9: 3533–3556.
- [11] Flaszka J., Zięba K.: *Kopalnia Soli Bochnia jako obiekt turystyczny*. W: Flaszka J., Flaszka M., Migdas T., Mróz S., Puławska A., Zięba K.: *Kopalnia Soli Bochnia. Historia wykuta w soli*. Kopalnia Soli Bochnia, Bochnia 2018: 67–72.

mgr inż. KRZYSZTOF SZYDŁOWSKI

mgr inż. MICHAŁ FLASZA

Kopalnia Soli „Bochnia” Sp. z o.o.

ul. Campi 15, 32-700 Bochnia

{k.szydowski, m.flaszka}@kopalnia-bochnia.pl



JAROSŁAW MALIK  
JAN KUCHARZ

## The current condition and future of the “Wieliczka” Salt Mine

*The article focuses on matters related to the operation of the “Wieliczka” Salt Mine, outlining its activity in 2021 as well as the plans for the years to come. It describes the securing and accessibility activities carried out by the company. In terms of tourism, this is being reintroduced after the pandemic restrictions. It also contains a concise synthesis of the implemented protective measures aimed to limit the natural hazards and to ensure the safety of persons who remain in the underground excavations through pro-environmental measures. The article also presents the activities of the mine for the subsequent years of its functioning.*

Key words: *safeguards and accessibility, Crystal Caves, mining shafts, target model*

### 1. INTRODUCTION

“Wieliczka” Salt Mine is one of the most precious monuments of Polish culture. It is well known in Europe as well as globally, but primarily it is the heritage of the Polish nation. This article presents the key activities of the “Wieliczka” Salt Mine in 2021, as well as its priorities for the upcoming years. It briefly discusses its meaning, activities in the areas of security and accessibility, plans and intentions.

For over seven centuries, as many as 2391 chambers and over 245 kilometres of pavements have been excavated under Wieliczka mine. Twenty-six mine shafts (Fig. 1) and 180 interlevel shafts have been constructed, leading the way from the surface area deep into the ground. For centuries, rock salt mining has been carried out by hand. Later, tunnelling was carried out with the use of, among others, gunpowder, while in the 20<sup>th</sup> century, salt was mined wet. In the search for good quality salt deep underground, miners descended as low as 327 metres.



Fig. 1. Bird's eye view of M. Daniłowicza shaft (phot. R. Stachurski)

## 2. THE NEED TO PROTECT THE MONUMENT

For a significant amount of time, the salt in Wieliczka was so precious that it was referred to as white gold. The income generated thanks to the sale of salt comprised 1/3<sup>rd</sup> of the royal treasury, financing economic development, the construction of castles, fortresses and universities. Production continued to grow until the late 1970s, when it reached 260,000 Mg [1].

The low quality of the salt and the depletion of its deposits on the one hand, and on the other, the need to protect the underground led its exploitation to cease to be the key activity of the “Wieliczka” Salt Mine in the 1990s. The need to protect the underground layers at “Wieliczka” was recognised as early as in the 1970s, due to their exceptional value. The efforts to protect the monument were crowned with the introduction of the “Wieliczka” Salt Mine on the UNESCO list in 1978, ranking among the first 12 objects on an international scale.

The Crystal Salt Chambers are located over 80 m below ground level – they are one of the greatest underground phenomena in Wieliczka, with salt crystals that are unique on an international scale, as it is the only mine where crystals formed in the Miocene have been discovered. Another important feature includes the underground microclimate characterised by high chlorine, sodium, magnesium and calcium ionisation, bacteriological purity of the air, and the absence of viruses and fungi. These advantages allow it to be used as an underground spa for treating the diseases of the upper and lower respiratory tract. The under-

ground levels in the “Wieliczka” Salt Mine are also used as a venue for hosting numerous events and happenings, often of an international scale. In 2007, the Warsaw chamber hosted the participants of the Energy Summit, which was attended by the Presidents of Azerbaijan, Georgia, Lithuania, Ukraine and the envoy of the President of Kazakhstan at the invitation of the President of the Republic of Poland, Lech Kaczyński. The mine is also used as a venue for hosting New Year’s Concerts, New Year’s Eve Parties, galas opening or closing the Tour de Pologne, prom parties, dance tournaments and professional boxing galas. It is also worth mentioning that the salty interiors of the underground levels in “Wieliczka” are used by the AGH University of Science and Technology for organising Miner’s Balls and Jubilees of the AGH Alumni Association.

## 3. TOURISM IN THE CURRENT SITUATION

Currently, tourists are only admitted to a small fraction of the entire mine: approximately 2% of the underground excavations. The first visitors appeared in the Wieliczka underground as early as in the 15<sup>th</sup> century and it is probable that Nicolaus Copernicus was one of them. Mass tourism only began to develop in the 20<sup>th</sup> century and 45 million tourists have visited the mine since 1945. The number of tourists in the post-war period continued to grow in a steady manner, while the decreases in the number of visitors were mainly related to the repairs of the shafts (the mine was then being closed for tourists) or economic crises (Fig. 2).

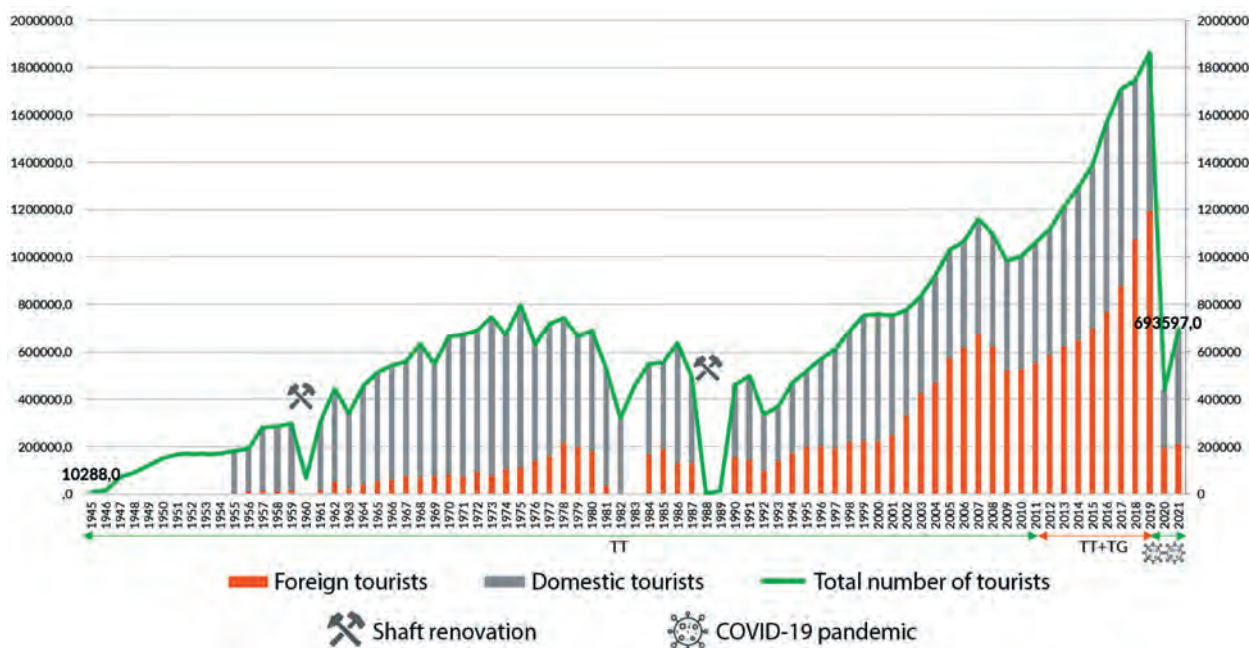


Fig. 2. The number of tourists in the “Wieliczka” Salt Mine between the years 1945–2021

The dynamics of growth in visits by foreigners has been particularly noticeable since the beginning of the present century, when the number of international tourists visiting the mine exceeded the number of domestic tourists each year.

2019 was the record-breaking year in the history of the “Wieliczka” Mine, when a total number of 1,861,843 visitors walked along the salt trails. In spite of the COVID-19 pandemic or the periodic travel restrictions, the mine hosted 441,100 visitors in 2020 (it was closed to the public for 140 days of the year) and 693,600 visitors in 2021 (it was closed for

77 days). Foreign visitors dominated in 2019 (64%) but the closure of the borders and the spread of the pandemic caused the percentage of foreign visitors to drop to 45% in 2020 and to 31% in 2021 (Fig. 3). Over 123,200 persons used the Graduation Tower in 2021 [2].

203,490 persons visited the Wieliczka underground in the period between January–April 2022 [3]. These good initial months of 2022 allow us to be optimistic about the 2022 tourist season, regardless of the war playing out beyond the country’s eastern border which affects foreign tourist travel to Poland.

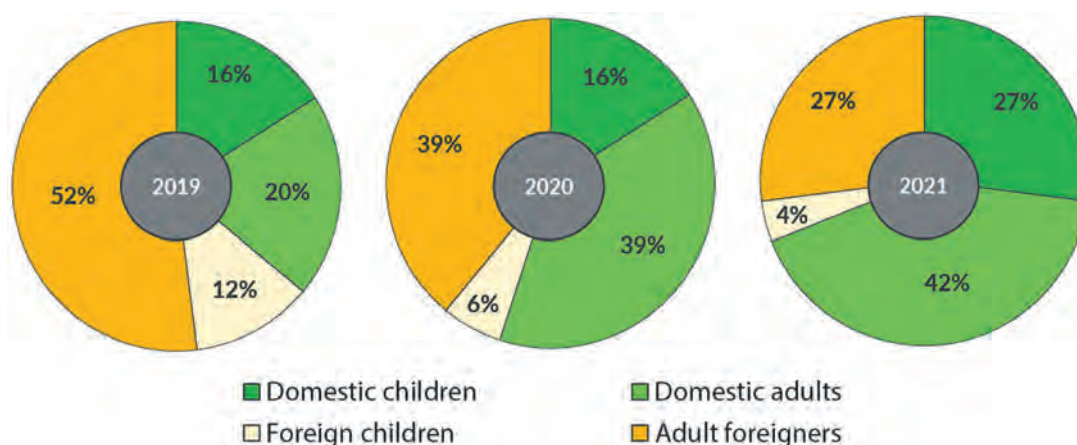


Fig. 3. The change in the structure of tourist traffic between the years 2019–2021

#### 4. SAFEGUARDING AND ACCESSIBILITY

For centuries, Wieliczka’s main task was to supply salt throughout Europe while its current mission is to protect its legacy. Intensive mining operations

are underway in many areas of the mine to protect it against destruction. Another key area in modern mine operations is accessibility and involves facilitating access to the tourist section of the mine (Fig. 4).



Fig. 4. Tourists in St Kinga’s chapel (phot. R. Stachurski)



When securing the mine, miners carry out a number of works which include securing excavations, modernising shafts, counteracting the threat of flooding and cave-ins, maintaining the operation of the mine, revitalising post-mining areas, repairing damage, liquidating redundant installations, buildings, machines, developing projects, documentation and analyses. The tasks carried out focused on the activities specified below.

#### 4.1. Modernisation of mining shafts

Mining shafts are a priority and during the final months of 2021, a number of retrofitting works were carried out in and around the vertical excavations.

The retrofitting of the main fan station in the “Wilson” shaft allowed to establish a modern facility (Fig. 5) improving the safety of the mine and its occupants. The works carried out resulted in the installation of modern fans, meeting the requirements of stringent environmental standards in terms of permissible noise levels. A new switchgear was additionally introduced, the servicing of the fan station was automated, and a control system for safety parameters was installed. The use of energy-efficient equipment has resulted in a one-third reduction in power consumption and a reduction in its operating costs [4]. This task was carried out with the financial support of the National Fund for Environmental Protection and Water Management in Warsaw.



Fig. 5. “Wilson” shaft after retrofitting (phot. R. Stachurski)

In 2021, repair works were carried out in respect to repairing the lining between levels II–VIII in St Kinga’s shaft (used for transporting personnel and materials for mining works), including the repair of the housing and the sub-roof on level VI, and the reinforcement between levels V and VIII was replaced.

The renovation of the upper section (down to a depth of 30 m) of the wooden casing of the “Daniełowicz” Shaft has started in the last quarter of the year (Fig. 1). It includes the replacement of wooden lining elements damaged by biological corrosion in order to improve the safety of the shaft and its functionality. The works are also going to include waterproofing of the shaft and construction of a new water drainage

system outside the housing. During the period when these works are being carried out, tourists are admitted to the mine using the 19<sup>th</sup> century Ignacy Paderewski shaft and leave using the Regis shaft, which was explored in the times of king Casimir the Great. The excellent preparation of the mine for such a complex topic is worth noting, as the rebuilding of these two shafts in recent years has made it possible. During the previous renovation of the “Daniełowicz” Shaft carried out between 1987 and 1989, the mine did not have the infrastructure to accommodate tourist traffic and the tourist route had to be closed for two years. The underground level of the “Geramb” shaft, connecting level III with IV, was also rebuilt (Fig. 6).





*Fig. 6. Works carried out in “Geramb” shaft (phot. R. Stachurski)*

#### 4.2. Securing chambers

In 2021, mining works were carried out in 11 chambers, covering anchoring, erecting mining supports, carrying out the necessary rock mass stripping and removing excess spoil. The works were conducted, among others, in the “Kuchnia” chamber (lower part of the excavation), the “Margielnik” chamber, as well as in the complex of the “Geramb” chambers and the “Freitag” chamber.

A fragment of the northern aisle in St Kinga’s chapel was also secured, with the sidewall reinforced with anchors made of stainless steel. Similarly to the remaining chambers, they are inserted into the rock

mass, however using technology developed specifically for this site. The activities carried out in this area require particular precision and care due to the nature of the chapel and the positioning of the unique reliefs and salt sculptures. The work was carried out under the direction of scientists from the AGH University of Science and Technology, under the supervision of an art conservator and the conservation officer responsible for the Krakow saltworks. The traces of these works have been perfectly masked by the sculpting artists working in the mine.

The other important task also includes the protection of the protection of the area of the Crystal Chambers, which are unique on the international scale (Fig. 7).



*Fig. 7. The crystals in the caves are unique on an international scale (phot. R. Stachurski)*

These included the removal of spoil (waste rock) and securing the roof with walls of salt crumb in areas not covered by crystals. This is a multi-year task which is going to continue in order to ensure maximum protection for the Chambers. Due to the nature of the site and the climatic conditions, the work may only be carried out seasonally (from November to April).

The chambers that will be used as storage areas for the material excavated during mining works have also been secured with rockbolt supports. This has been done as they must be completely secure before, for instance, the scrapers that transport the excavated material can start working inside. The miners “positioned” (by filling out the cavities) 6,500 m<sup>3</sup> ore, i.e., waste rock from other reconstructions.

#### 4.3. Reconstruction of drifts

In 2021, mining works were carried out on 32 drifts, the total reconstruction covered 2,472 m of adits. The works included the dismantling of damaged mine

roof supports, the erection of new roof supports, adjusting roofs and sidewalls, and the replacement of railways. The excavations were rebuilt in sections which required such works. The reconstructions included, among others, the adjacent longwalls of the Crystal Chambers, which is a particularly valuable excavation due to its numerous geological exposures (inanimate nature sites). Carrying out works in the area of these sites required reaching an agreement with the Wieliczka City Council. The longitudinal “Geramb”, “Hauer”, “Layer”, transverse “King Saxon”, “August” and access roads to the water seeps in the western area of the mine on levels V and VI were also reconstructed.

Due to its historic nature (almost the entire mine is included in the register of historical monuments) the miners take care of every detail of the rebuilt excavation. Chambers and roadways are protected in a manner allowing their original character to be preserved to the greatest possible extent. Examples of such excavation sites include the “Wiszyn” drift, and the “Albrecht”, “Alexander” and “Lillienbach” corridors (Fig. 8).



Fig. 8. Reconstruction of the “Lillienbach” corridor (phot. R. Stachurski)

#### 4.4. Filling and injections

The scope of mining backfilling and injection works aimed to stabilise the rock mass in selected areas of the mine or to protect it against the inflow of extra-bed water. Hydraulic backfilling covered 77 excavation sites, where 34,000 m<sup>3</sup> of sand was deposited. Injection works (aiming essentially to reduce water hazards) covered 6,912 m<sup>3</sup> of cavities. Due to the saline nature of the spac-

es to be filled, both backfill and injectors are produced using full-saturated brine from technological processes as well as from the concentration of mine seepage.

#### 4.5. Modernisation, analysis and research

The electrical installations were partly modernised and new LED lighting was installed in St Kinga’s



Chapel (Fig. 9). It is the next stage of replacing the lighting at the mine for energy-efficient lighting. The mine also plans to construct a photovoltaic farm. An electric car was also purchased for the Security Department.

In 2021, the mine carried out a number of projects and analyses related to securing and protecting the underground area. These works included, among others, a geo-mechanical analysis of the central area (between the “Kinga” and “Regis” shafts), specialised studies of the inter-level shafts and inspections of the condition of the tall chambers. The studies car-

ried out are going to serve as the basis for carrying out the works in the subsequent years, as well as for the preparation of the document titled: *The Final Technical Form of the “Wieliczka” Salt Mine*.

As part of its investment in occupational safety, the mine maintains the condition of the excavations and also introduces modern equipment. New mine atmosphere condition meters were purchased in 2021 – replacing the worn-out methanometers and oxygen meters. As a result, employees carrying out their tasks in underground excavations have gained an additional modern element of safety inspection.



Fig. 9. The bas-relief “Miracle at Cana” with new LED lighting (phot. T. Kordula)

A new 3D scanner was purchased in order to facilitate the measurement works which allows for the precise inventorying of excavations and, after, computer processing of the files, they can be used for: inventorying, analyses, deformation studies, modelling and designing mining works aimed, among other things, at securing historic excavations.

## 5. PLANS FOR THE NEAR AND DISTANT FUTURE

In relation to Wieliczka mine, 2022 and the upcoming years are going to bring the implementation of mining works under the *Programme of complete liquidation of the non-historic part of the “Wieliczka” mining plant as part of the liquidation of the mine part and maintenance, protection and rescue of the historic part of the “Wieliczka” Salt Mine for the years 2021–2027*, financed by the Ministry of State Assets. The project is also going to involve the need to obtain

support from other sources, including the National Fund for Environmental Protection and Water Management, which is going to allow a wider range of activities to be carried out. This is especially important in the current economic climate, when the cost of implementing projects continues to significantly increase due to high inflation.

The works planned for implementation in 2022 include five projects aimed at protecting the underground levels and the mine sites against water hazards, co-financed by the National Fund for Environmental Protection and Water Management. One of the works involves the reconstruction of spill access roads and the securing of the “Freitag” and “Seeling” chambers. This task is aimed at protecting the ground surface against phenomena that may cause discontinuous deformation, degradation of the rock mass and disturbance of the existing hydrographic network, protection against water inflow into the mine excavations. The works aimed to secure are going to cover

a total of 13 headings on levels V and VI, with a total length of 3,403 m, as well as the two historic “Freitag” and “Seeling” chambers, located next to each other on level II “Kazanów”. In accordance with the plan, the works in the area should be completed in 2027.

A similar goal is pursued by another funded project, which is to secure the six adjacent “Geramb” chambers, as well as the “Geramb” drift and the “Frederick August” chamber. All of the excavations are situated in the lower level II of the mine. The works on the excavations have been continuing since 2015 and should be completed in 2022.

As part of the works carried out, the roof and stub walls were secured with anchor bolts, inter-chamber pillars were reinforced, chest lining was erected, redundant excavated material lying on the floor slab was removed and the upper parts of the chambers were filled with injection materials. In order to transport the materials required for the safety works, the “Geramb” longwall was also rebuilt – including the reconstruction of the masonry lining previously situated there, which contributed to maintaining the historic character of the excavation. The “Frederick August” chamber was filled with injection grouts.

The mine has recently received confirmation of the environmental effect of the task of protecting the “Margielnik” and “Wojtarowice-Liszki” chambers. The co-financed mining works in the “Margielnik” chamber included securing the chamber with composite anchors with a length of up to 10 m (the total length of the installed anchors exceeds 60,000 m), construction of timber towers, timber support shoring of varying design, injection works, reinforcement of a free-standing pillar and protection of the ceiling in the area of this pillar and its stub (by means of a net affixed with anchors). The pillar was reinforced with the use of steel tie-beams wrapped around it and by constructing a full-wood box crib. The “Wojtarowice-Liszki” chamber was secured with backfill, fed from the surface through a backfill pit drilled in the Górny Rynek area. The project has been ongoing since 2012.

Securing five “Baum” chambers at level II higher and II lower has been carried out since 2016. They are situated in the buffer zone of the Crystal Chambers reserve. The works aim to strengthen the roof by adding new cribs (the extension of existing pillars), constructing new cribs limiting the width of unsupported ceilings, constructing anchor bolting, remov-

ing excavated material from the bottom of the chambers, as well as equipping the “Schwind” shaft with a hoisting device for transporting materials from level III to lower level II. These measures are going to serve as protection of the excavations as well as the Crystal Chambers. The works are also going to impact the protection of the ground surface above this area – in particular in the area of the surface-affecting subsidence to the Schmidt chamber which occurred in the 1960s.

The final key project related to protecting the mine against water is the decommissioning of excavations in the area of the “Colloredo-Kloski” crosscut. The work consists in filling the excavations with injectants aiming to seal the area (in this case the central area) against the inflow of water. Injections with a total volume of 6,500 m<sup>3</sup> are planned for 2022. Backfilling of selected gaps with sand (to stabilise the adjacent excavations) will be carried out in the central and eastern sections of the mine. The plan for this year is to fill the gaps with sand with a total volume of 29,000 m<sup>3</sup>.

The challenge for the years to come is to develop a target technical model of the mine, defining the technical shape in which it will operate in the future, once the bulk of the safety work has been completed.

The important tasks to be carried out in the years to come are aimed to introduce new technologies (material, energy-saving, photovoltaic, as well as those related to the liquidation of excavations), so as not only to develop protective activities, but also to safely conduct the traffic of tourists.

## References

- [1] Sobejko Z.: *Zarys historii Kopalni Soli “Wieliczka”* [an outline of the history of the Wieliczka Salt Mine, typescript in the archives of Wieliczka Salt Mine], Wieliczka 1984.
- [2] Analysis of tourist traffic for the year 2021 carried out by the Marketing and Corporate Communication Department of the “Wieliczka” S.A. Salt Mine [unpublished].
- [3] Analysis of tourist traffic for the period I–IV 2022 carried out by the Marketing and Corporate Communication Department of the “Wieliczka” S.A. Salt Mine [unpublished].
- [4] Solanka. *Biuletyn Informacyjny Kopalni Soli “Wieliczka”* 2021, 4.

JAROSŁAW MALIK, M.Sc., Eng.

JAN KUCHARZ, M.Sc., Eng.

“Wieliczka” Salt Mine

Park Kingi 1, 32-020 Wieliczka, Poland

{jaroslaw.malik, jan.kucharz}@kopalnia



JAROSŁAW MALIK  
JAN KUCHARZ

## Stan obecny i przyszłość Kopalni Soli „Wieliczka”

*Artykuł przybliży zagadnienia związane z funkcjonowaniem Kopalni Soli „Wieliczka”, omawiając działalność w 2021 r. i plany na kolejne lata. Opisano działania przedsiębiorstwa związane z zabezpieczaniem i udostępnianiem kopalni. W zakresie ruchu turystycznego trwa jego odbudowa po ograniczeniach pandemicznych. W zarysie przedstawiono zadania zabezpieczające służące ograniczeniu zagrożeń naturalnych i zapewnieniu bezpieczeństwa ludzi przebywających w wyrobiskach podziemnych oraz działania proekologiczne. Omówiono również działania kopalni planowane na kolejne lata jej funkcjonowania.*

Słowa kluczowe: zabezpieczania i udostępnianie, Groty Kryształowe, górnicze szyby, model docelowy

### 1. WPROWADZENIE

Kopalnia Soli „Wieliczka” jest jednym z najcenniejszych zabytków polskiej kultury, miejscem szeroko znanym w Europie i na innych kontynentach, ale przede wszystkim dziedzictwem narodu polskiego. W artykule prezentujemy najważniejsze działania podejmowane w kopalni w roku 2021, a także priorytety na kolejne lata. Krótko omawiamy jej znaczenie, działania w zakresie zabezpieczania i udostępniania, plany i zamierzenia.

Przez ponad siedem wieków wydrążono pod Wieliczką aż 2391 komór i ponad 245 km chodników. Z powierzchni w głąb ziemi poprowadzono 26 szybów górniczych (rys. 1) i 180 szybików międzypoziomych. Wydobycie soli kamiennej przez stulecia prowadzone było metodami ręcznymi. Później (m.in. do drażenia chodników) używano prochu strzelniczego, a w XX w. urabiano sól na mokro. Poszukując dobrej jakości soli, górnicy dotarli z wydobyciem na 327 m w głąb ziemi.



Rys. 1. Szyb M. Daniłowicza z lotu ptaka (fot. R. Stachurski)

## 2. KONIECZNOŚĆ OCHRONY ZABYTKU

Wielicka sól przez wieki była tak cenna, że nazywano ją białym złotem. Dochody z jej sprzedaży stanowiły 1/3 wpływów do królewskiego skarbcza, które były przeznaczane na rozwój gospodarczy, budowę zamków, twierdz obronnych czy uniwersytetów. Produkcja rosła aż do końca lat 70. ubiegłego wieku, gdy osiągnęła 260 tys. Mg [1].

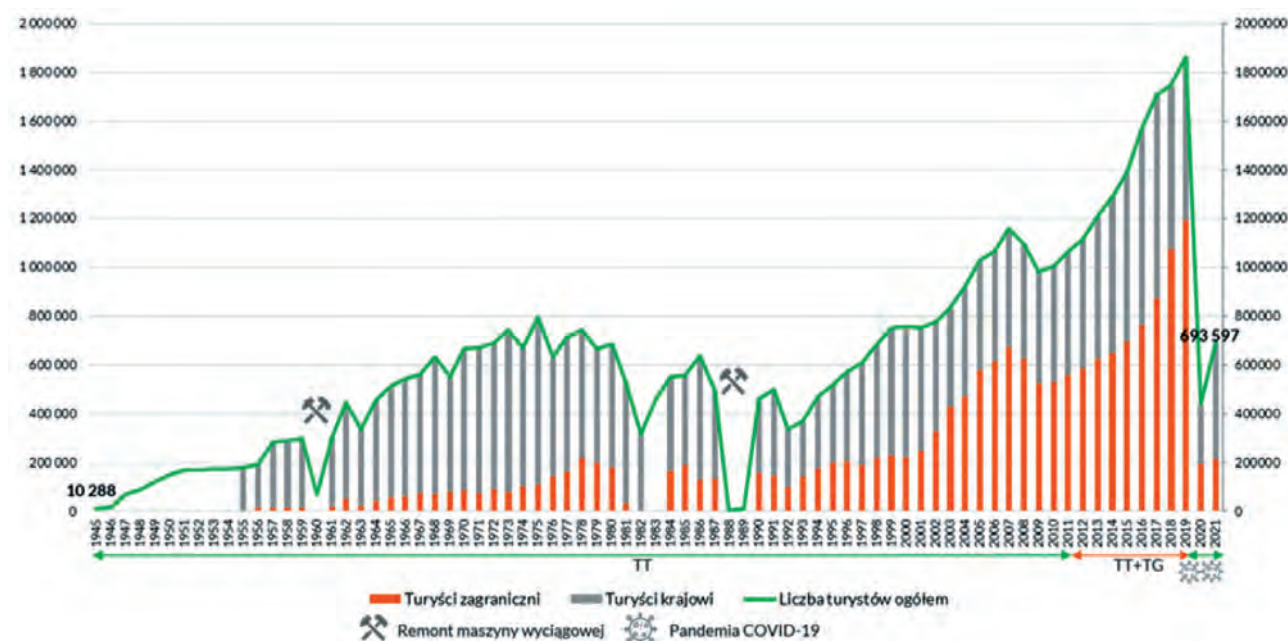
Z jednej strony sól niskiej jakości i wyczerpywanie się złoża, a z drugiej konieczność ochrony podziemi sprawiły, że eksploatacja w latach 90. ubiegłego stulecia przestała być najważniejszym zadaniem Wieliczki. Konieczność ochrony wielickich podziemi, ze względu na ich unikatową wartość, dostrzeżono już w latach 70. ubiegłego stulecia. Starania o ochronę zabytku uwieńczone zostały wpisem Kopalni Soli „Wieliczka” na listę UNESCO w 1978 r., wśród pierwszych 12 obiektów z całego świata.

Ponad 80 m pod ziemią znajdują się Groty Kryształowe – jeden z największych fenomenów podziemnej Wieliczki z unikatowymi w skali świata kryształami soli. Tylko w tej kopalni odkryto kryształy powstałe w miocenijskim złożu soli (rys. 7). Istotne są też właściwości podziemnego mikroklimatu, który charakteryzuje się wysoką jonizacją chloru, sodu, magnezu i wapnia, czystością powietrza pod względem bakteriologicznym, brakiem wirusów i grzybów. Dzięki tym zaletom w podziemnym uzdrowisku leczy się choroby górnych i dolnych dróg oddechowych. Wielickie podziemia są miejscem organizacji wielu imprez i wydarzeń, często o wymiarze międzynarodowym. W 2007 roku w ko-

morze „Warszawa” gościli uczestnicy szczytu energetycznego, w którym na zaproszenie prezydenta RP Lecha Kaczyńskiego wzięli udział prezydenci Azerbejdżanu, Gruzji, Litwy, Ukrainy oraz wysłannik prezydenta Kazachstanu. Kopalnia to miejsce, w którym odbywają się koncerty noworoczne, bale sylwestrowe, gale rozpoczynające lub wieńczące Tour de Pologne, studniówki, turnieje taneczne i gale boksu zawodowego. Należy też wspomnieć, że w solnych wnętrzach podziemnej Wieliczki organizowane są przez Akademię Górniczo-Hutniczą bale górnik i jubileusze Stowarzyszenia Wychowanków AGH.

## 3. RUCH TURYSTYCZNY W OBECNEJ SYTUACJI

Współcześnie turyści zwiedzają niewielki obszar całej kopalni: około 2% podziemnych wyrobisk. Pierwsi zwiedzający pojawili się w wielickich podziemiach już w XV w. Był wśród nich najprawdopodobniej także Mikołaj Kopernik. Turystyka masowa zaczęła rozwijać się dopiero w wieku XX. Od 1945 r. wielicką kopalnię zwiedziło 45 mln turystów. Liczba turystów w okresie powojennym systematycznie rosła, a spadki liczby gości związane były głównie z remontami szybów (zamknięcie kopalni dla turystów) czy kryzysami gospodarczymi (rys. 2). Dynamika wzrostu wizyt obcokrajowców zauważalna jest szczególnie od początku obecnego stulecia, gdy liczba zagranicznych turystów co roku była wyższa od liczby gości z Polski.

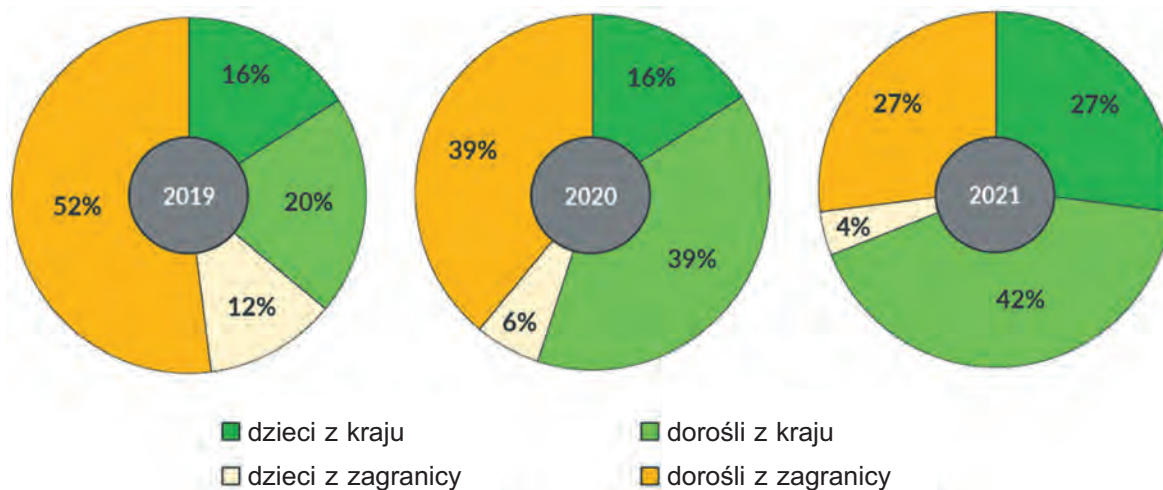


Rys. 2. Liczba turystów w Kopalni Soli „Wieliczka” na przestrzeni lat 1945–2021

Rekordowy w historii wielickiej kopalni był rok 2019, w którym solnymi szlakami wędrowało 1 861 843 zwiedzających. Mimo pandemii COVID-19 i okresowo ograniczeń podróżowania kopalnię w 2020 r. odwiedziło 441 100 osób (przez 140 dni w roku kopalnia była zamknięta dla zwiedzających), a w 2021 r. – 693 600 osób (zamknięcie przez 77 dni). W 2019 r. dominowali obcokrajowcy (64%), ale zamknięcie granic i rozprzestrzeniająca się pandemia sprawiły, że już

w 2020 r. udział procentowy gości z zagranicy wyniósł tylko 45%, a w 2021 r. – 31% (rys. 3). Z tężni solankowej skorzystało w 2021 r. ponad 123,2 tys. osób [2].

W okresie styczeń–kwiecień 2022 r. wielickie podziemia odwiedziło już 203 490 osób [3]. Te dobre pierwsze miesiące 2022 r. pozwalają optymistycznie patrzeć na sezon turystyczny 2022 mimo wojny za wschodnią granicą kraju, która wpływa na ograniczenie zagranicznych podróży turystycznych do Polski.



Rys. 3. Zmiana struktury ruchu turystycznego w latach 2019–2021

#### 4. ZABEZPIECZANIE I UDOSTĘPNIANIE

Przez stulecia głównym zadaniem Wieliczki było dostarczanie soli dla całej Europy. Dziś jest nim zabezpieczanie. W wielu rejonach kopalni trwają inten-

sywne roboty górnicze, tak aby ochronić kopalnię przed zniszczeniem. Drugim ważnym obszarem jest natomiast udostępnianie. Wiąże się ono z zapewnianiem możliwości zwiedzania turystycznej części kopalni (rys. 4).



Rys. 4. Turyści w kaplicy św. Kingi (fot. R. Stachurski)



Prowadząc zabezpieczenie, górnicy wykonują szereg robót, które obejmują m.in. zabezpieczanie wyrobisk, modernizację szybów, zwalczanie zagrożenia wodnego i zawałowego, utrzymanie ruchu zakładu górniczego, rewitalizację terenów pogórnich, naprawę szkód, likwidację zbędnych instalacji, budynków, maszyn, opracowywanie projektów, dokumentacji i analiz. W ramach wykonywanych zadań skupiono się na wymienionych poniżej działaniach.

#### 4.1. Modernizacja szybów górniczych

Priorytetem są szyby górnicze. W ostatnich miesiącach 2021 r. w tych pionowych wyrobiskach oraz ich otoczeniu przeprowadzono szereg prac modernizacyjnych.

W efekcie modernizacji stacji wentylatorów głównych przy szybie „Wilson” powstał nowoczesny obiekt (rys. 5), poprawiający bezpieczeństwo kopalni i osób

w niej przebywających. Zamontowano nowoczesne wentylatory spełniające wymagania restrykcyjnych norm środowiskowych w zakresie dopuszczalnego poziomu hałasu. Powstała też nowa rozdzielnia elektryczna, zautomatyzowano obsługę stacji wentylatorów i zainstalowano system kontroli parametrów bezpieczeństwa. Zastosowanie energooszczędnych urządzeń przyniosło spadek zużycia prądu o 1/3 i obniżenie kosztów funkcjonowania [4]. Zadanie to zostało wykonane przy wsparciu finansowym Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Warszawie.

W 2021 r. w szybie św. Kingi (służącym do jazdy załogi i do transportu materiałów do robót górniczych) pomiędzy poziomami II–VIII przeprowadzono naprawę obudowy i przebudowano podszybie na poziomie VI oraz wymieniono zbrojenie między poziomami V i VIII.



Rys. 5. Szyb „Wilson” po modernizacji (fot. R. Stachurski)

W ostatnim kwartale roku rozpoczął się remont górnego odcinka (do głębokości 30 m) drewnianej obudowy szybu „Daniłowicz” (rys. 1). Obejmuje on wymianę zniszczonych korozją biologiczną drewnianych elementów obudowy w celu poprawy bezpieczeństwa szybu i jego funkcjonalności. Zostanie też wykonana hydroizolacja szybu i nowy system drenażu wód spoza obudowy. W okresie prowadzenia tych robót turyści na zwiedzanie kopalni udają się dziewiętnastowiecznym szybem Ignacego Paderewskiego, a wyjeżdżają szybem „Regis”, który był zgłębiany

w czasach króla Kazimierza Wielkiego. Na uwagę zasługuje tu doskonałe przygotowanie kopalni do tak złożonych prac, które są możliwe dzięki prowadzonym w ubiegłych latach przebudowom tych dwóch wspomnianych szybów. Podczas poprzedniego remontu szybu „Daniłowicz” prowadzonego w latach 1987–1989 kopalnia nie miała infrastruktury umożliwiającej prowadzenie ruchu turystycznego, konieczne było zamknięcie trasy turystycznej na dwa lata. Pod ziemią przebudowywany był także szybik „Geramb”, łączący poziom III z IV (rys. 6).





Rys. 6. Prace w szybiku „Geramb” (fot. R. Stachurski)

#### 4.2. Zabezpieczenie komór

W 2021 r. prowadzono roboty górnicze w 11 komorach, w tym kotwienie, stawianie górniczej obudowy, niezbędne przybierki górotworu i usuwanie zbędnego urobku. Roboty dotyczyły m.in. komory „Kuchnia” (niska część wyrobiska), komory „Margielnik”, a także w zespole komór „Geramb” i komory „Freitag”.

Prowadzono również zabezpieczanie fragmentu północnego ociosu w kaplicy św. Kingi. Ocios wzmocniony został za pomocą kotew ze stali nierdzewnej. Podobnie jak w innych komorach wprowadza się je w górotwór, ale w technologii opracowanej specjalnie dla tego miejsca. Czynności wymagają szczególnej precyzji i ostrożności ze względu na charakter kaplicy i miejsca, gdzie znajdują się niepowtarzalne płasko-

rzeźby i rzeźby solne. Roboty te prowadzone były pod kierunkiem naukowców z Akademii Górniczo-Hutniczej, pod nadzorem konserwatora dzieł sztuki oraz konserwatora zabytków krakowskich żup solnych. Ślady po tych robotach zostały perfekcyjnie zamaskowane przez artystów rzeźbiarzy pracujących w kopalni.

Z ważnych zadań warto wymienić też zabezpieczenie rejonu Grot Kryształowych będących unikatem na skalę światową (rys. 7). Obejmowały one m.in. usunięcie urobku (skał płonnych) oraz podparcie stropu murami z kruchów solnych w miejscach niepokrytych kryształami. To praca na wiele lat, która będzie kontynuowana, aby zapewnić Grotom maksymalną ochronę. Ze względu na charakter miejsca i panujące tam warunki klimatyczne prace mogą być prowadzone sezonowo (od listopada do kwietnia).



Rys. 7. Kryształy w grotach są unikatem w skali światowej (fot. R. Stachurski)

Zabezpieczono również obudową kotwową komory, które będą pełnić funkcje wysypek, czyli miejsc składowania urobku powstałego podczas robót górniczych. Muszą one bowiem być w pełni bezpieczne, zanim zaczną w nich pracować m.in. zgarniacze transportujące urobek. Na takich wysypkach w 2021 r. górnicy umieścili (wypełniając pustki) 6500 m<sup>3</sup> urobku, tj. skał płonnych pochodzących z innych przebudów.

#### 4.3. Przebudowa wyrobisk chodnikowych

W 2021 r. prowadzono roboty górnicze w 32 wyrobiskach chodnikowych, przebudowując 2472 m chodników. Wykonywano demontaż uszkodzonych obudów górniczych, stawianie nowych obudów, przybierki stropów i ociosów oraz wymianę torowisk. Wyrobiska przebudowywano na odcinkach, które wymagały ta-

kich prac. Prace objęły m.in. sąsiadującą z Grotami Kryształowymi podłużnię „Baum”, która jest bardzo cennym wyrobiskiem z uwagi na liczne odsłonięcia geologiczne (znajdujące się w niej stanowiska przyrody nieożywionej). Prowadzenie robót w rejonie tych stanowisk wymagało dokonania uzgodnień z Radą Miejską w Wieliczce. Przebudowano również podłużnie „Geramb”, „Hauer”, „Layer”, poprzecznie „Król Saski”, „August” oraz drogi dojazdowe do wycieków wód w rejonie zachodnim kopalni na poziomie V i VI.

Ze względu na zabytkowy charakter praktycznie całej kopalni, objętej wpisem do rejestru zabytków, górnicy dbają o każdy szczegół przebudowanego wyrobiska. Komory i chodniki są tak zabezpieczane, aby w jak największym stopniu zachować ich pierwotny charakter. Przykładami takich wyrobisk są podłużnia „Wiszyn”, poprzecznie „Albrecht”, „Aleksander” i „Lillienbach” (rys. 8).



Rys. 8. Przebudowa podłużni „Lillienbach” (fot. R. Stachurski)

#### 4.4. Podsadzanie i iniekcje

Górnice roboty podsadzkowe i iniekcyjne miały za zadanie stabilizację górotworu w wybranych rejonach kopalni lub ochronę przed dopływem wód pozałożowych. Podsadzka hydrauliczna objęła 77 wyrobisk, w których ulokowano 34 000 m<sup>3</sup> piasku. Roboty iniekcyjne (służące zasadniczo ograniczeniu zagrożenia wodnego) objęły 6912 m<sup>3</sup> pustek. Ze względu na solny charakter wypełnianych przestrzeni podsadzka i iniekcje są wytwarzane na bazie solanki pełnonasyconej, pochodzącej z procesów technologicznych, jak również z zatężania wycieków kopalnianych.

#### 4.5. Modernizacje, analizy i badania

W kaplicy św. Kingi częściowo zmodernizowano instalacje elektryczne i zainstalowano nowe oświetlenie ledowe (rys. 9). Jest to kolejny etap wymiany oświetlenia na energooszczędne. Kopalnia planuje budowę farmy fotowoltaicznej. Zakupiono również samochód elektryczny dla Działu Ochrony.

W 2021 r. kopalnia wykonała szereg projektów i analiz związanych z zabezpieczeniem oraz ochroną podziemi, a wśród nich analizę geomechaniczną rejonu centralnego (pomiędzy szybami „Kinga” i „Regis”), specjalistyczne badania szybików międzypozi-



mowych oraz kontrole stanu komór wysokich. Opracowania te będą podstawą do prowadzenia robót w kolejnych latach oraz przygotowania dokumentu pn. *Docelowy kształt Kopalni Soli „Wieliczka” pod względem technicznym*.

W ramach inwestycji związanych z bezpieczeństwem pracy kopalnia dba nie tylko o stan wyrobisk, ale wprowadza nowoczesne urządzenia. W 2021 r. zakupiono nowe mierniki stanu atmosfery kopalnianej – zastąpiły one wysłużone metanomierze i tleno-

mierze. Dzięki temu pracownicy wykonujący zadania w wyrobiskach podziemnych zyskali dodatkowe nowoczesne narzędzie do kontroli bezpieczeństwa.

Na potrzeby usprawnienia prac pomiarowych zakupiony został nowy skaner 3D, który pozwala precyzyjnie inwentaryzować wyrobiska, a po obróbce komputerowej plików wykorzystywać je do inwentaryzacji, analiz, badań deformacji, a także modelowania i projektowania robót górniczych mających na celu m.in. zabezpieczenie zabytkowych wyrobisk.



Rys. 9. Płaskorzeźba „Cud w Kanie Galilejskiej” z nowym oświetleniem ledowym (fot. T. Kordula)

## 5. PLANY NA BLIŻSZĄ I DALSZĄ PRZYSZŁOŚĆ

Rok 2022 i kolejne będą dla wielickiej kopalni czasem robót górniczych prowadzonych zgodnie z *Programem całkowitej likwidacji niezabytkowej części zakładu górniczego „Wieliczka” w ramach likwidacji części kopalni oraz utrzymania, zabezpieczenia i ratowania zabytkowej części Kopalni Soli „Wieliczka” na lata 2021–2027*, finansowanego przez Ministerstwo Aktywów Państwowych. Ważne będzie również pozyskiwanie wsparcia z innych źródeł, m.in. Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, które pozwoli na wdrożenie szerszego zakresu działań. Jest to istotne w obecnej sytuacji gospodarczej, gdy znacznie wzrastają koszty przedsięwzięć, co wynika z wysokiej inflacji.

Wśród prowadzonych w 2022 r. prac jest pięć projektów z zakresu ochrony podziemi i terenów kopalni przed zagrożeniem wodnym, współfinansowanych przez NFOŚiGW. Jednym z nich jest przebudowa

dróg dojściowych do wycieków oraz zabezpieczenie komór „Freitag” i „Seeling”. Zadanie to ma na celu ochronę powierzchni ziemi przed zjawiskami mogącymi wywołać deformacje nieciągłe, degradację górotworu i zaburzenia w istniejącej sieci hydrograficznej oraz ochronę przed dopływem wód do wyrobisk kopalnianych. Zabezpieczanych będzie w sumie 13 wyrobisk chodnikowych poziomu V i VI o łącznej długości 3403 m oraz dwie zabytkowe, znajdujące się obok siebie komory „Freitag” i „Seeling” na poziomie II „Kazanów”. Według planu prace w tym rejonie powinny się zakończyć w 2027 r.

Podobny cel przyświeca kolejnemu dofinansowanemu projektowi, którym jest zabezpieczenie sześciu sąsiadujących ze sobą komór „Geramb”, a także podłużni „Geramb” i komory „Fryderyk August”. Wszystkie te wyrobiska znajdują się na poziomie II niższym kopalni. Prace w nich trwają od 2015 r. i powinny zostać zakończone w 2022 r.

W ramach wykonywanych prac zabezpieczono strop i ociosy obudową kotwową, wzmocniono filary

międzykomorowe, wykonano obudowę kasztową, usunięto zbędny urobek zalegający na spągu, a górne części komór wypełniono materiałami iniekcyjnymi. W celu transportu materiałów niezbędnych do wykonania robót zabezpieczających przebudowano również podłużnię „Geramb”, odtwarzając znajdującą się tam wcześniej obudowę murową, co przyczyniło się do utrzymania zabytkowego charakteru tego wyrobiska. Komora „Fryderyk August” została wypełniona zaczynami iniekcyjnymi.

Ostatnio kopalnia uzyskała potwierdzenie efektu ekologicznego zadania związanego z zabezpieczeniem komór „Margielnik” i „Wojtarowice-Liszki”. Roboty górnicze w komorze „Margielnik” objęte dofinansowaniem polegały na zabezpieczeniu komory kotwiami kompozytowymi o długości do 10 m (łącznie długość zabudowanych kotwi wynosi ponad 60 tys. m), zabudowę kasztów drewnianych, drewnianych obudów podporowych o zróżnicowanej konstrukcji, prace iniekcyjne, wzmocnienie filara wolnostojącego i zabezpieczenie stropu w rejonie tego filara oraz jego części ociosowej (za pomocą siatki mocowanej kotwiami). Filar wzmocniono, zabudowując wokół niego ściągi stalowe oraz kaszty pełnodrzewne. Komorę „Wojtarowice-Liszki” zabezpieczono z kolei podszkłą, podawaną z powierzchni przez otwór podszkłowy odwiercony w rejonie Rynku Górnego. Projekt realizowany był od 2012 r.

Od 2016 r. prowadzone jest zabezpieczenie pięciu komór „Baum” na poziomie II wyższym oraz II niższym. Znajdują się one w otulinie rezerwatu Groty Kryształowe. Przedmiotem prac jest wzmocnienie stropu przez dobudowę kasztów (rozszerzenie istniejących filarów), zabudowę nowych kasztów ograniczających rozpiętość stropów niepodpartych, zabudowę obudowy kotwowej, usunięcie urobku ze spągu komór, a także wyposażenie szybiku „Schwind” w urządzenie wyciągowe do transportu materiałów z poziomu III na poziom II niższy. W efekcie tych działań chronione będą nie tylko te wyrobiska, ale i cały rezerwat Groty Kryształowe. Prace wpłyną też na ochronę

powierzchni terenu nad tym obszarem – szczególnie w rejonie zapadliska dopowierzchniowego do komory „Schmidt”, które powstało w latach 60. XX w.

Ostatnim ważnym projektem związanym z ochroną kopalni przed wodą jest projekt likwidacji wyrobisk w rejonie poprzeczni „Collaredo-Kloski”. Prace polegają na wypełnianiu wyrobisk iniektami, które mają na celu uszczelnianie danego rejonu (w tym przypadku centralnego) przed dopływami wód. W 2022 r. w ramach prac iniekcyjnych planuje się zatłoczenie 6,5 tys. m<sup>3</sup> mieszanin iniekcyjnych. Z kolei podszadzanie wybranych pustek piaskiem (w celu stabilizacji sąsiadujących wyrobisk) prowadzone będzie w rejonie centralnym i wschodnim kopalni. Plan na bieżący rok zakłada wypełnienie pustek piaskiem w objętości 29 tys. m<sup>3</sup>.

Wyzwaniem na najbliższe lata jest opracowanie technicznego modelu docelowego kopalni, określającego jej kształt techniczny, w którym będzie ona funkcjonować w przyszłości, po wykonaniu zasadniczej części prac zabezpieczających. Ważne będzie także wprowadzanie nowych technologii (materiałowych, energooszczędnych, fotowoltaicznych, a także związanych z likwidacją wyrobisk), tak aby nie tylko rozwijać działalność zabezpieczającą, ale również bezpiecznie prowadzić ruch turystyczny.

#### Literatura

- [1] Sobejko Z.: *Zarys historii Kopalni Soli „Wieliczka”* [maszynopis w archiwum KS „Wieliczka”]. Wieliczka 1984.
- [2] Analizy ruchu turystycznego za rok 2021 prowadzone przez Dział Marketingu i Komunikacji Korporacyjnej Kopalni Soli „Wieliczka” SA [niepublikowane].
- [3] Analizy ruchu turystycznego za okres I–IV 2022 r. prowadzone przez Dział Marketingu i Komunikacji Korporacyjnej Kopalni Soli „Wieliczka” SA [niepublikowane].
- [4] Solanka. Biuletyn Informacyjny Kopalni Soli „Wieliczka” 2021, 4.

*mgr inż. JAROSŁAW MALIK*

*mgr inż. JAN KUCHARZ*

*Kopalnia Soli „Wieliczka”*

*Park Kingi 1, 32-020 Wieliczka*

*{jaroslaw.malik, jan.kucharz}@kopalnia*



PIOTR URBAŃSKI  
ARTUR GAWLIK

## Rock salt production in O/ZG “Polkowice-Sieroszowice” – a case study

*The first works related to the exploration of the salt deposit in O/ZG “Polkowice-Sieroszowice” took place in 1991. At that time, a number of opening-out headings to the salt deposit from the level of the copper ore level were begun. Currently, the total length of the excavations in the salt deposit is approximately 40 km. It should be noted that, depending on the function, the volume of drifts is different, which results from the dimensions of individual excavations. The total volume of drifts in the salt deposit is estimated to be approximately 2.5 million m<sup>3</sup>. In the Sieroszowice mining area, salt occurs at a depth of 950 m above sea level. In November 2013, the mine obtained a license to extract rock salt from the “Bądzów” deposit (50 years).*

*Part of the mining activities in the salt deposit are performed mechanically in a chamber system with the use of roadheaders. The applied technology for deposit extraction requires the methodology of headings mining. These headings (chambers) are made in layers, from top to bottom. The target transverse dimensions of the chambers are 15 m × 15 m (width × height) in a variety of lengths. Chambers are separated by inter-chamber pillars 20 m wide, which should ensure the stability of the chambers and the pillars themselves. The remaining works consist of drifts driving with dimensions 7 m × 5 m (width × height).*

*The mining works carried out so far take place more or less in the middle part of the deposit (understood in terms of thickness), and the excavations created as a result of these works are located in salts with various geomechanical parameters.*

Key words: KGHM Polska Miedź S.A., deposit, rock salt, roadheader, exploitation

### 1. CURRENT STATUS OF SALT EXPLOITATION – BASIC INFORMATION

KGHM Polska Miedź S.A., O/ZG “Polkowice-Sieroszowice” is a mining facility where the main activity is copper ore extraction. Since 1991, under the terms of the deposit exploration concession, the mine has been carrying out mining works within the salt deposit, which is located several dozen meters above the ore deposit. In the Sieroszowice mining area, salt occurs at a depth of 950 m above sea level. In November 2013, the mine obtained a license to extract rock salt from the “Bądzów” deposit (50 years).

At present, the advancement of mining works is about 2.5 million m<sup>3</sup> of voids obtained as a result of about 40 km of access, development and exploitation excavations (Fig. 1).

Currently, single-level rock salt mining takes place in the lower level of the “Bądzów” mining area.

### 2. DEPOSIT GEOLOGY

The rock salt bed in the “Bądzów” Area is located above the Zechstein base from 20 to 100 m. Directly below it, there is the lower anhydrite with a thickness of 20 to 90 m, and above it, the upper anhydrite with a thickness of 40 to 100 m within the Werra cyclothem (PZ1). The rock salt bed is irregular, with a variable thickness from 21.6 m in the S part of the mining area to 180.1 m in the NE part of the mining area [1]. A characteristic phenomenon of the internal structure of the “Bądzów” rock salt deposit are discontinuous layers of intra salt anhydrite.

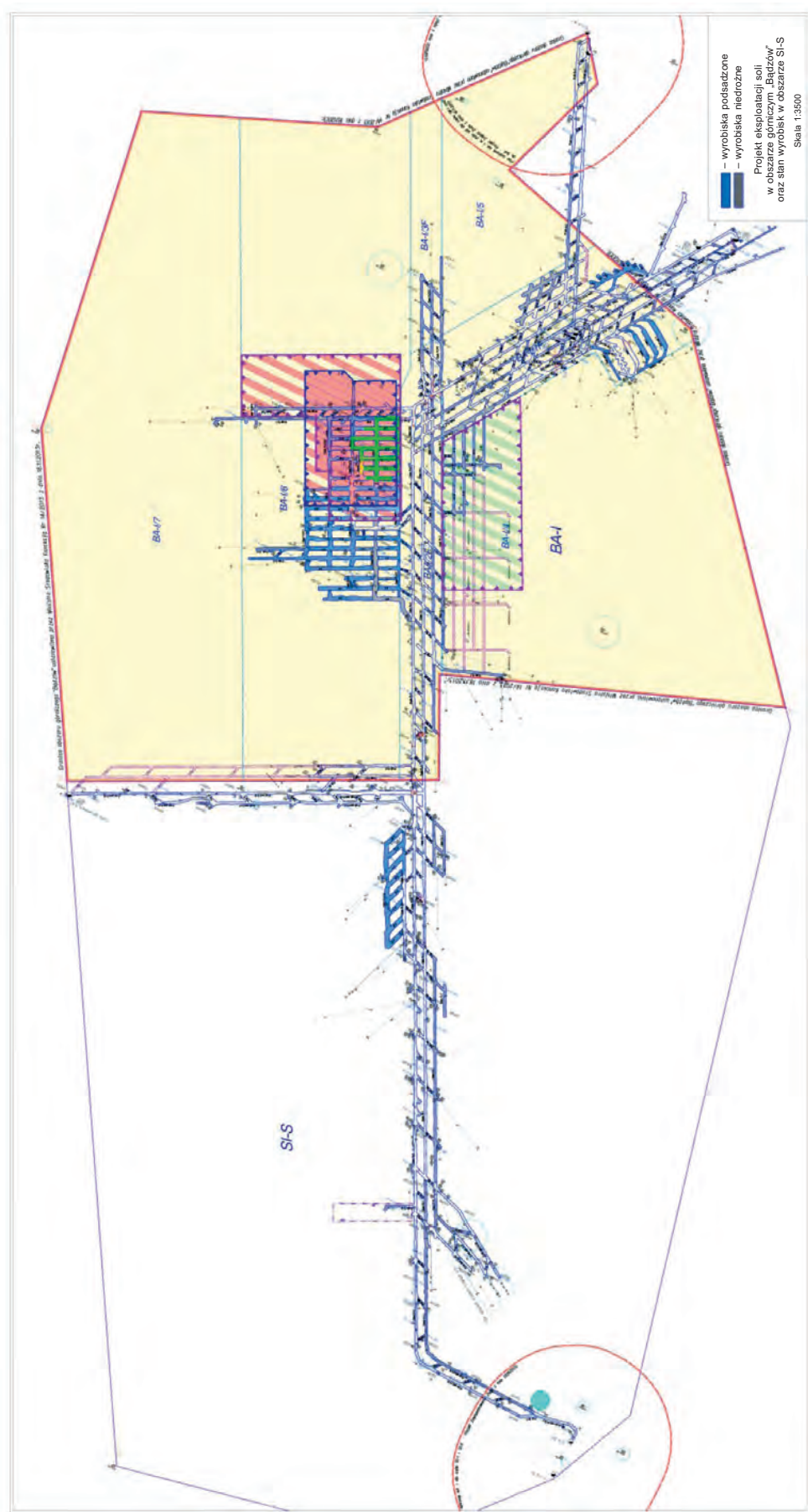


Fig. 1. The current state of salt excavations

In the vertical profile, the deposit consists of a series of petrologically diverse salt layers (Figs. 2 and 3). There are three separations of stratigraphic units in the profile of the oldest rock salt in the area of the "Bądzów" deposit. A characteristic feature of the internal structure of the "Bądzów" rock salt deposit is the variable quality of the mineral which is dependent on the mineral composition of the admixtures. There are various types of salt in the rock salt seam (8 petrological types) distinguished in terms of the presence and amount of contaminants in it (Tab. 1). The average NaCl content in the recoverable reserves is 96.26%, the maximum is about 99.5%, and the minimum is 31.10% in the undesirable excesses included in the balance intervals.

A characteristic feature of the oldest rock salt (Na1) bed is its lithological variability depending on the mineral composition of admixtures, the degree of granularity and texture. They are usually mixed, medium and coarse-crystalline salts (with a predominance of medium-crystalline ones), occurring in the form of alternating layers with a thickness of several to several dozen centimeters. The fine crystalline salt is subordinate and overgrowths of brittle – medium crystalline salts are common. Clear salt overgrowths occur sporadically. The different crystalline varieties

are mostly light gray or off-white salts with admixtures of anhydrite-clay substance or fine anhydrite crumbs, locally with predominance or admixtures of medium or coarse-crystalline salt. Coarse-crystalline varieties are generally pure whitish or transparent salts, in which there is lamination (light and darker salt layers) and admixtures of pollutants (anhydrite crumbs and clay substance) and medium and fine crystalline salt.

Generally, the oldest rock salt forms a seam with an extension close to the latitudinal direction (WNW-ESE), with a gentle collapse of the layers at an angle of 3–8 degrees. The seam thickness is highly diversified – from 10.0 m (in the area of its wedging in the south – area S-345a) to about 190.0 m (in the area of the BG-39 well).

Due to the amount and size of the contamination, there are eight petrological types of rock salt.

Additionally, it is necessary to mention the values of the average strength parameters of Zechstein salts occurring in the "Polkowice-Sieroszowice" mine. Namely, the average density is  $2.10 \text{ Mg/m}^3$ , compressive strength: 36 MPa, tensile strength: 1.7 MPa, bending strength: 2.2 MPa. The above data was determined on the basis of archival data from one of the exploratory wells.

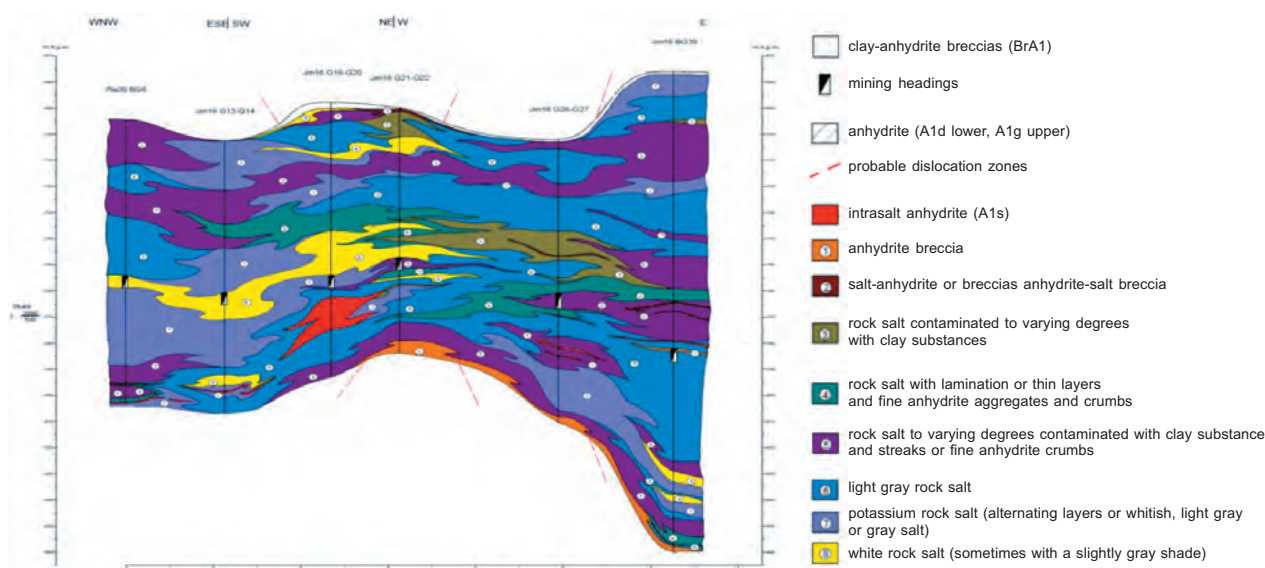


Fig. 2. Geological cross-section according to A. Szybist

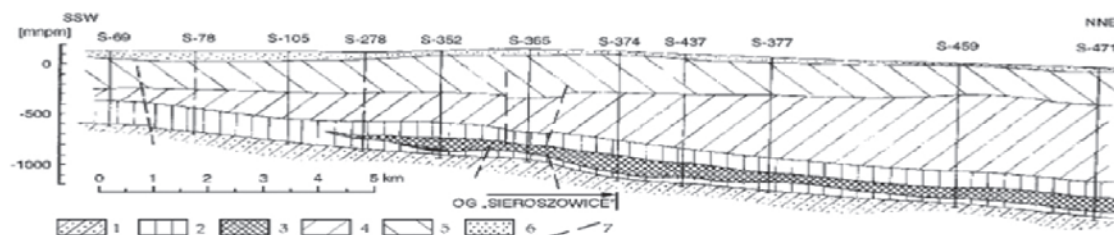
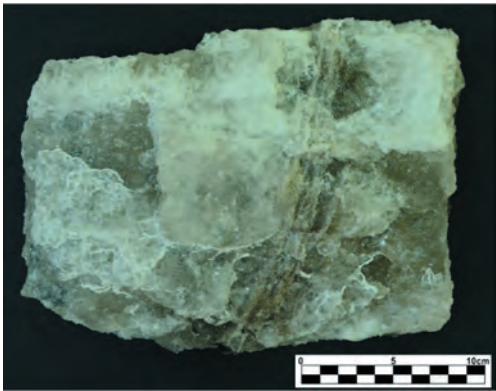
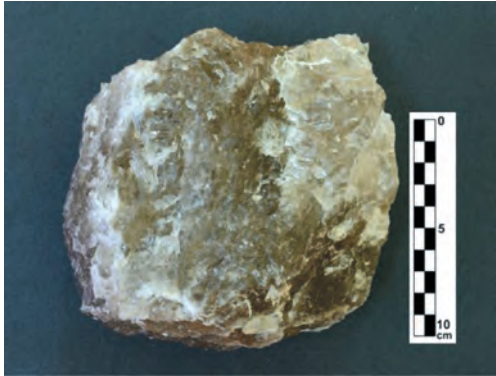


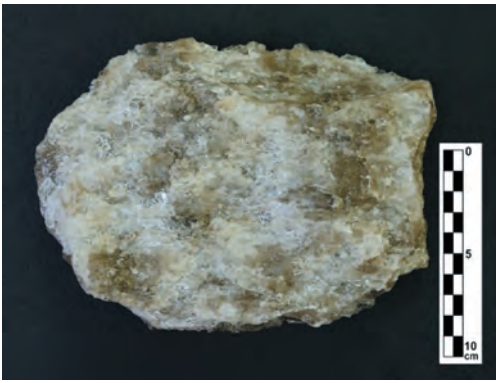
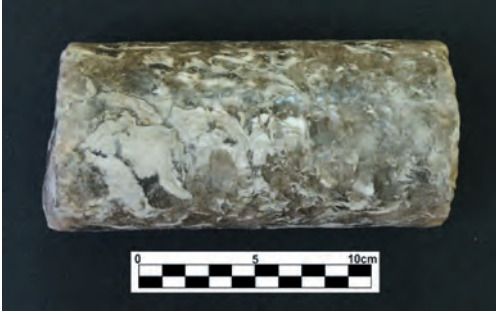
Fig. 3. Geological transverse section: 1 – Rotliegend; 2 – Zechstein formation; 3 – oldest rock salt (Na1); 4 – Triassic; 5 – Tertiary; 6 – Quaternary; 7 – presumed fault dislocations



**Table 1**  
**Rock salt petrological types**

| No | Salt type                                                                                                       | Characteristic                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  |  <p>Pure rock salt</p>         | Pure rock salt (transparent), has a medium-crystalline structure, coarse and large-crystalline, crystals (idiomorphic) are properly formed, have an isometric habit. Disordered texture – disorderly, dense. Occasionally, medium-grained dispersed anhydrite sand occurs between the crystals                                                                        |
| 2  |  <p>Striped rock salt</p>     | Striped rock salt is made of gray, light gray, white and pure (transparent) salts, individual salts lie parallel, one above the other. The structure of the striped salt changes continuously from medium-crystalline to coarse-crystalline. Crystals (idiomorphic) are formed correctly, have an isometric habit. The texture is dense, disorderly (non-directional) |
| 3  |  <p>Light gray rock salt</p> | Pure rock salt (transparent) has a medium-crystalline structure, coarse and large-crystalline, crystals (idiomorphic) are properly formed, have an isometric habit. Disordered texture – disorderly, dense. Occasionally, medium-grained dispersed anhydrite sand occurs between the crystals                                                                         |
| 4  |  <p>Dark gray rock salt</p>  | Dark gray, gray rock salt, has a medium-crystalline, coarse-crystalline structure, crystals (idiomorphic) are properly formed, have an isometric habit. Disordered texture – disorderly, dense. Occasionally, medium-grained dispersed anhydrite sand occurs between the crystals                                                                                     |



|   |                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5 |  <p>Rock salt contaminated with clay substance and sporadically with aggregates or streaks of anhydrite</p> | <p>Rock salt contaminated with clay substances and occasionally clusters or streaks of anhydrite, light gray and gray in color, cloudy in places, with a medium-crystalline structure. Crystals (idiomorphic) are formed correctly, have an isometric habit. Disordered texture – disorderly, dense. Contamination occurs in the form of single anhydrite crumbs up to 3 cm in size and scattered medium-grained sand and clay substance in the form of streaks, flakes and dispersed. Sand and clay substance are inside the crystals and in the spaces between them</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 6 |  <p>Rock salt with lamination or fine aggregates and anhydrite crumbs</p>                                   | <p>Rock salt with lamination or fine anhydrite aggregates and crumbs consists of pure, white and gray salt, which are characterized by a medium-crystalline structure, correctly formed (idiomorphic) crystals of isometric habit, and a disordered texture – chaotic, compact. The salt layers are up to 80 mm thick. Between them there are anhydrites and clay substance in the form of: laminates with a thickness of 1 mm to 5 mm, creating textures: straight, wavy laminated; anhydrite and clay bands (laminates from 10 mm to 30 mm) creating a ribbon texture. Single lamines are made of anhydrite itself with a small proportion of clay and anhydrite-salt matter</p>                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 7 |  <p>Rock salt contaminated with clay substance with layers or numerous anhydrite chips</p>                | <p>Rock salt contaminated with clay substances with layers or numerous anhydrite crumbs is formed by light gray, gray, transparent salts, which are characterized by medium, coarse and large crystalline structure, correctly formed (idiomorphic) crystals of isometric habit, disordered – random, compact texture. The salts contain anhydrites in the form of laminae (2–3 mm), bent skins, sharp-edged crumbs (up to 10 mm), medium and coarse sand, clay substance in the form of islets, flakes and dispersed substance (sand and clay is present in the spaces between the crystals). Often the laminae combine into groups and then their thickness can be up to 60 mm. The salt thicknesses between the anhydrite lamellae are usually from 50 mm to 150 mm. At the boundaries of the laminae, the salt loosens. The anhydrite crumbs are usually arranged in a messy arrangement, but sometimes in a directional arrangement</p> |
| 8 |  <p>Rock salt with thick anhydrite growths</p>                                                            | <p>Rock salt with coarse anhydrite agglomerates, gray and dark gray are characterized by a medium-crystalline structure, correctly formed (idiomorphic) crystals of isometric habit, and a disordered texture – disorderly, dense. The salts contain anhydrites in the form of crumbs (from 30 mm to 200 mm), bent "skins" (up to 40 mm), scattered fine sand and sporadically dispersed clay substance (sand and clay substance appear in the spaces between the crystals). Anhydrite crumbs appear in the form of round, ellipsoidal, and sometimes also sharp-edged fragments. Some of the anhydrite fragments are cracked, the gaps are filled with salt. The arrangement of anhydrite chips is usually chaotic, but directional arrangement does occur</p>                                                                                                                                                                              |

### 3. SALT EXTRACTION METHOD

The “Bądzów” deposit is exploited by underground methods, consisting dry, mechanical and selective mining of salt rock mass. All headings are driven into the rock salt seam.

The model of salt deposit mining assumes:

- minimum thickness of roof safety shelf – 15 m,
- minimum thickness of floor safety shelf – 10 m,
- minimum thickness of inter-chamber pillar – 20 m,
- minimum thickness of inter-level shelf – 15 m.

The basic method for the deposit exploitation is a chamber system with chambers transverse dimensions up to 15 m × 15 m, while the headings which are cutting the production block are adapted to the technological needs and are taking into account the technical capabilities of used roadheaders.

The exploitation of the salt deposit is planned to be driven at three levels of chambers, and the size of levels is directly related to the thickness of the deposit and the quality of the salt (Fig. 4).

Sequencing of individual levels within a production block is not imposed.

During development and exploitation in salt deposit, environmental risks may occur, such as: water, heat, gas as well as rock bursts.

Two Zechstein aquifers are located in the vicinity of the rock salt deposit. Above the salt roof there is the water-bearing level of the main dolomite Ca2, below its bottom – the level of limestones and Ca1 dolomites. Both levels are separated from the salt by, respectively, thick and continuous insulating layers – a series of A1g and A1d anhydrites. These levels do not directly threaten mining excavations in salt.

The criterion for assessing heat risk is the presence of a temperature at the workplace, measured with a dry thermometer, not exceeding 43°C and a temperature measured with a wet thermometer, not exceeding 27°C.

Due to the elastic properties of salt, there is no immediate risk of a roof collapse.

Workings unnecessary for the proper functioning of the department should be excluded, fenced off and marked.

The area of the mining activity is not prone to featuring methane, however, in order to detect possible flammable and explosive gases in the salt deposit and to ensure the safety of the staff, preventive measures should be carried out in accordance with the O/ZG “Polkowice-Sieroszowice” Directors directive on: work-

ing in conditions of possible occurrence of geodynamic gas phenomena or exceedances of acceptable gas concentrations in headings. Due to possibility of increased concentrations of hydrogen sulfide in the excavations, employees of the salt department are obliged to absolutely have personal protective equipment, i.e. gas masks and half-masks and protective glasses.

The main point of the mining method at a given level consists in the fact that from drifts made in the roof layer of a given level (under the safety shelf – roof or inter-level) chamber with separate ventilation to breaking with main heading and previously made chamber or ventilation drift providing circulating ventilation is made.

Subsequently, the chamber pavement along with the main heading is widened to the dimensions of the chamber width, ie approx. 15 m.

In the second phase, the second and third layers are made (Fig. 4). The target maximum dimension of the excavation is 15 m high and 15 m wide. The length of the chamber depends on the work progress in a given area, mining and geological conditions. Work performance, according to such technology, allows for the full utilization of resources from the chamber and ensures appropriate safe dips on communication routes and proper ventilation.

Salt dust generated during the mechanical processing of muck in the underground processing plant is stocked in previously excavated chambers. Quality salt – anhydrite layers and impurities found in the salt bed, as well as waste from developments, is stored in the chambers or drifts intended for liquidation (Fig. 5). It is assumed that practical tests will continue, filling the operating chambers to the temporary level of 35% of the volume. As further tests are carried out, it is assumed that these chambers will then be filled to the target level.

### 4. CURRENT MINE OPERATIONS

Today, the exploitation of the rock salt deposit takes place in the central part of the “Bądzów” mining area, while the mining of the copper ore deposit below is currently carried out in the immediate vicinity of the G-53 and G-54 mining fields (Fig. 6). Due to the operation of the above-mentioned divisions under the mining chambers in the salt deposit and the lack of experience in the interaction of these two operations, the extraction of rock salt from the chambers should be limited for technical and organizational reasons.

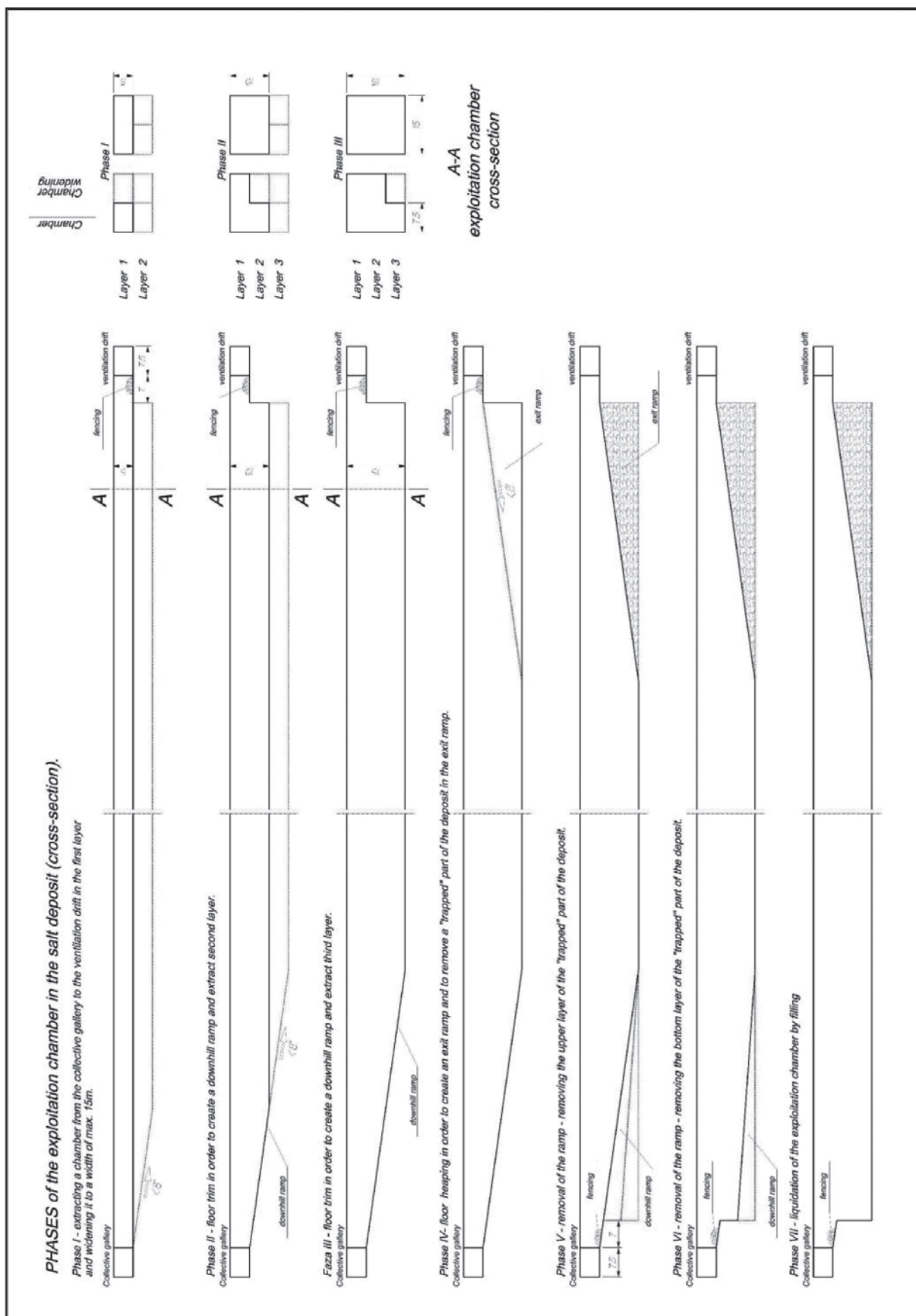


Fig. 4. Scheme of the exploitation chamber excavation technology



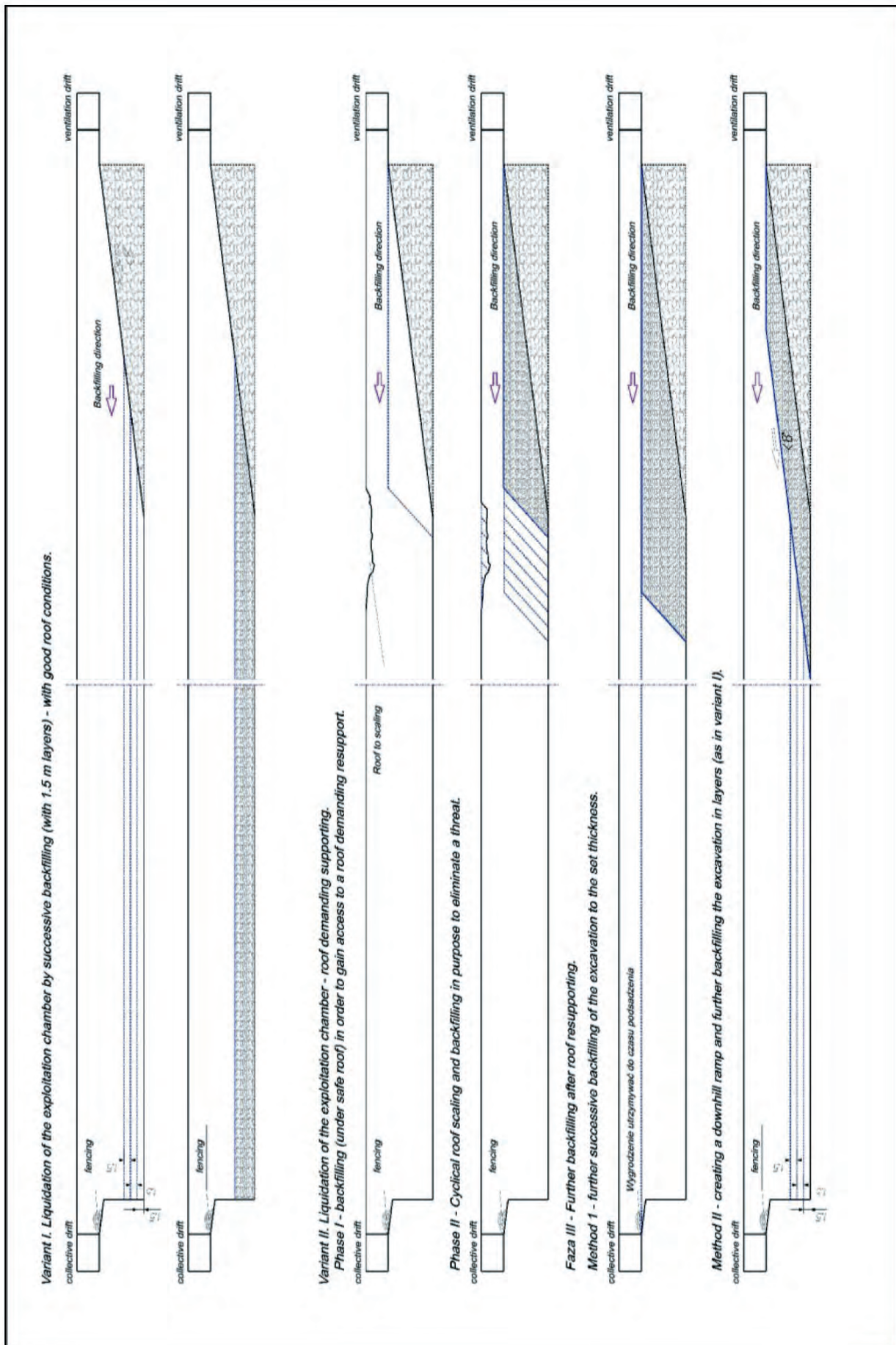


Fig. 5. Scheme of exploited chamber filling technology



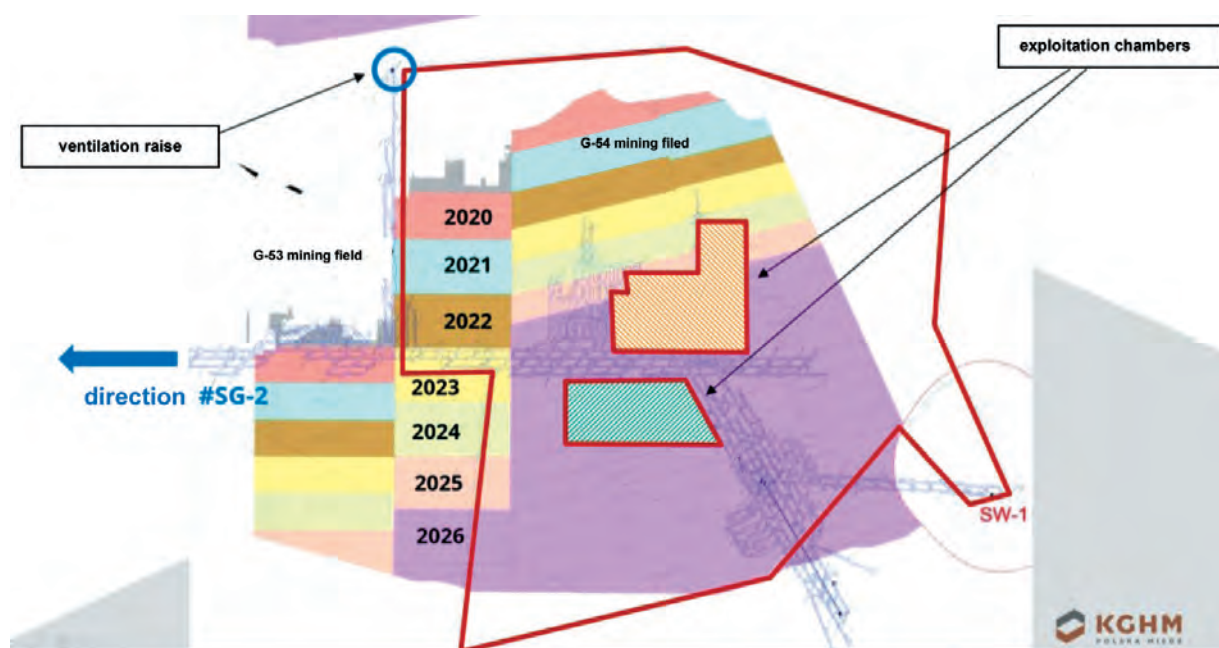


Fig. 6. Salt mining in the background of extracting copper ore divisions

## 5. USAGE OF SALT GALLERIES FOR AIR DISCHARGE FROM THE COPPER LEVEL DIVISION

The conducted mining works led to the connection of the SW-1 shaft area with the SG-2 shaft area by means of a double-threaded drifts (Ps-0 and Ps-1 galleries). Drifts connection (2017) was an element of the project of discharging used and hot air through the salt deposit to the SG-2 shaft. The workings Ps-1 and Ps-0 from Przecinka 42 to Przecinka 56 were excavated in rock salt.

The last stage of mining works was the execution of the Ps-1a ventilation drift from Nn-1 to the SG-2 shaft in anhydrite. The length was 79 m. The ventilation drifts were made with the use of the ATM-105 road header. Previously, a raise was made connecting the copper ore deposit with the salt seam above it – Ps-10 and Ps-11 ventilation drifts (Fig. 7). Through the galleries of the T-359 and W-359, intake air is transported from the SW-4 shaft, which, after passing through the mining field of the G-51 division, and then through the salt workings, goes to the SG-2 exhaust shaft.

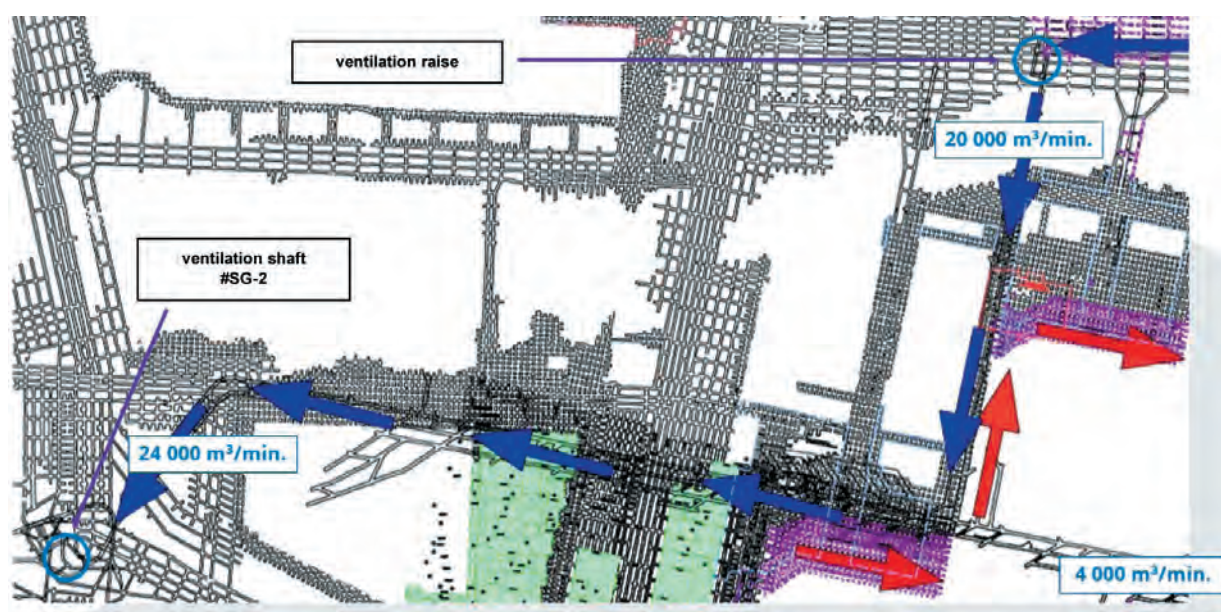


Fig. 7. Scheme of the exhaust air flow



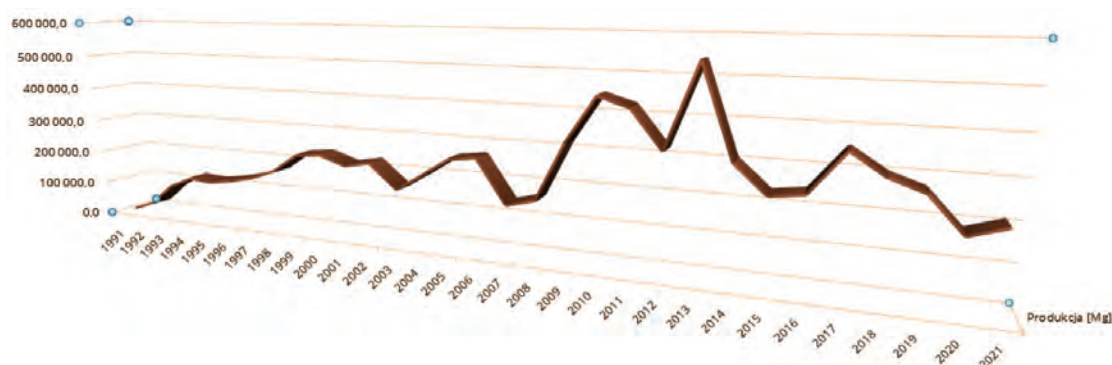


Fig. 9. Salt production 1991–2021

## 7. ROCK SALT PRODUCTION SCHEME

The workings are bored with the use of a mechanical method, through milling, with the use of roadhead-type shearers MB 770 (Fig. 11), ATM 105 (Fig. 12), AM 85 (Fig. 13) by Sandvik. The roadheaders used in salt mining differ in terms of technical parameters. Basic data on this equipment are presented in Table 3. In salt headings which require maintenance due to difficult geological and mining conditions and the reduced cross-section of the workings, a machine with a cutting- milling head (Fig. 14) is used for roof scaling. The excavated material is loaded on Dosan moxy MT-41 and Bell B40D articulated haul trucks

(Fig. 15), then transported to a dump box of a retention tank with a capacity of 100 Mg, and from there to an underground processing plant (Fig. 16). In the processing plant, commercial fractions with a grain size above 0.16 mm are separated from the dust fraction and are transported to the surface via a shaft (Fig. 10), in trolleys with a capacity of 9 Mg (Fig. 18). On the other hand, the fraction with particle size below 0.16 mm is a waste in the form of salt dust located in the spaces to be liquidated. On the surface, salt is transported to a storage facility by means of conveyors (Fig. 18) which have a capacity of 70,000 Mg (Fig. 11). KGHM METRACO S.A. is responsible for the sale of salt.

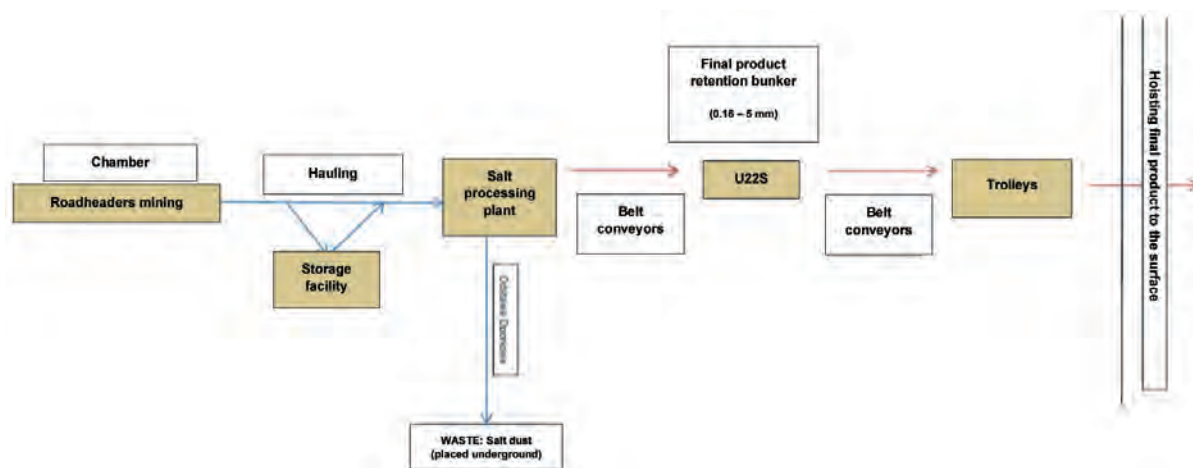


Fig. 10. Salt production scheme (underground)

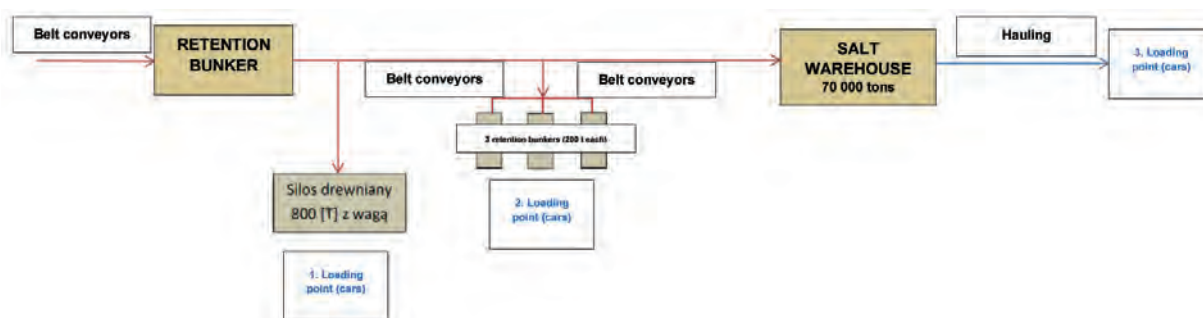


Fig. 11. Salt production scheme (surface)





*Fig. 12. Continuous miner MB 770*



*Fig. 13. Roadheader ATM 105 IC*





*Fig. 14. Roadheader AM85*



*Fig. 15. SWBF-3230-AD scaling truck*





*Fig. 16. Haul truck*



*Fig. 17. Salt processing plant*



*Fig. 18. Salt extraction trolleys*



*Fig. 19. Rock salt and copper ore conveyor belt*



## 8. MACHINE PARK

The opening, development and exploitation operations in the salt deposit are carried out on the basis of a modern and efficient machine system, which consists of: roadheaders, LHDs, haul trucks.

Roadheaders are used for driving drift and chamber workings, as well as for their reconstruction (restoration of the original state) [2]. The list and number of machines currently used for salt mining at the O/ZG “Polkowice-Sieroszowice” is presented in Table 3.

**Table 3**  
**List of machines used for salt mining in O/ZG “Polkowice-Sieroszowice”**

| Machine type               | Machine model           | Quantity |
|----------------------------|-------------------------|----------|
| Roadheader                 | AM 85P                  | 1        |
| Roadheader                 | ATM 105IC-P             | 1        |
| Continuous miner           | MB 770                  | 1        |
| Articulated haul truck     | DOOSAN DA-30 WIG        | 1        |
| Articulated haul truck     | BELL B40D               | 3        |
| Articulated haul truck     | BELL B40E               | 1        |
| LHD                        | LKP-0805C               | 1        |
| LHD                        | LKP-0403C               | 1        |
| LHD                        | LKP-1601B               | 1        |
| Fuel and Lubrication Truck | SWPS-4A                 | 1        |
| Scaler                     | SWBF-3230-AD            | 1        |
| Crew truck                 | SWT-Team 14/1,9         | 1        |
| Crew truck                 | SWT-Team 10/1,9         | 1        |
| Crew truck                 | SWT-Team 20/1,9         | 1        |
| Utility truck              | SWT-Team 20/1.9/PTMK-18 | 1        |

**Table 4**  
**Basic technical data of roadheaders**

| Parameter                        | Unit              | Roadheader model |           |             |
|----------------------------------|-------------------|------------------|-----------|-------------|
|                                  |                   | AM 85            | ATM 105   | MB 770      |
| Length in transport position     | [mm]              | 14050            | 20115     | 13800       |
| Height                           | [mm]              | 3940             | 4800      | 4530        |
| Width                            | [mm]              | 5510             | 6500      | 7200        |
| Weight                           | [t]               | 90               | 145       | 130         |
| Max. cutting width               | [mm]              | 8000             | 9100      | 7200        |
| Max. cutting height              | [mm]              | 5000             | 6600      | 5300        |
| Average cutting cross-section    | [m <sup>2</sup> ] | 40               | 48        | 38          |
| Electric voltage                 | [W/Hz]            | 1000/50          | 1000/50   | 6000/50     |
| Power                            | [kW]              | 474              | 542       | 702         |
| Cutting picks                    | [piece]           | 108              | 2·72/2·57 | 2·70        |
| Transportation system efficiency | [Mg/min]          | 12               | 15        | 36          |
| travel speed                     | [m/min]           | 13,0             | 15,0      | 0,15        |
| Cutting profile                  | [–]               | arched           | arched    | rectangular |
| Excavations basic parameters     |                   |                  |           |             |
| Min. height                      | [mm]              | 4140             | 5000      | 4900        |
| Min. width                       | [mm]              | 6510             | 7500      | 7200        |
| Max. longitudinal slope          | [°]               | 18               | 18        | 15          |
| Max. transverse slope            | [°]               | 8                | 5         | –           |

## 9. SUMMARY

The current level of rock salt production is a result of the implementation of the deposit exploration project and the capacity/efficiency of the technological line: mining – haulage – processing – shaft output, which do not allow the growing market needs to be fully met. The increasing demand for road salt, better sales logistics, large rock salt resources and the potential use of already existing mining infrastructure facilities justified the need to increase the mining capacity. In the current situation, the salt production plan for 2021–2025 results from the technical and organizational capabilities of the salt division is at the level of 200,000 Mg/year with about 95% NaCl content.

The rock salt resources in the area of the “Polkowice-Sieroszowice” mine are estimated at 2 billion tons, which, given the current level of domestic demand, is sufficient for approximately one thousand years.

## References

- [1] Bieniasz J., Pietras J., Sadowski A., Wrzosek J.: *Dziesięciolecie pomiarów zaciskania wyrobisk w złożu solnym O/ZG Polkowice-Sieroszowice*. Przegląd Solny 2019/2020, 15: 62–67.
- [2] Dymitrowski A., Małys Ł. (red.): *Koncepcje biznesowe i strategię rozwoju w branży wydobywczej – studium KGHM Polska Miedź S.A.* Wydawnictwo Advertiva, Poznań 2017.
- [3] PN-EN 10025-2:2019-11. *Wyroby walcowane na gorąco ze stali konstrukcyjnych – Część 2: Warunki techniczne dostawy stali konstrukcyjnych niestopowych*.
- [4] PN-EN 10149-2:2014-02. *Wyroby płaskie walcowane na gorąco ze stali o podwyższonej granicy plastyczności do obróbki plastycznej na zimno – Część 2: Warunki techniczne dostawy wyrobów walcowanych termomechanicznie*.
- [5] PN-EN ISO 1461:2011. *Powłoki cynkowe nanoszone na wyroby stalowe i żeliwne metodą zanurzeniową – Wymagania i metody badań*.

PIOTR URBAŃSKI, M.Sc., Eng.

ARTUR GAWLIK, M.Sc., Eng.

KGHM Polska Miedź S.A.

Oddział Zakłady Górnicze “Polkowice-Sieroszowice”

Kaźmierzów 100, 59-101 Polkowice, Poland

piotr.urbanski@kghm.com

PIOTR URBAŃSKI  
ARTUR GAWLIK

## Produkcja soli kamiennej w O/ZG „Polkowice-Sieroszowice” – studium przypadku

*Pierwsze prace związane z rozpoznaniem złoża solnego w O/ZG „Polkowice-Sieroszowice” miały miejsce w 1991 r. Rozpoczęto wówczas drążenie szeregu wyrobisk udostępniających złoża solne z poziomu złoża rud miedzi. W chwili obecnej łączna długość wyrobisk górniczych w złożu soli wynosi około 40 km. Należy zaznaczyć, że w zależności od rodzaju wyrobiska ich kubatura jest różna, co wynika z gabarytów poszczególnych wyrobisk. Łączną kubaturę wyrobisk wykonanych w złożu solnym szacuje się na około 2,5 mln m<sup>3</sup>.*

*W obszarze górniczym Sieroszowice sól występuje na głębokości 950 m p.p.t. W listopadzie 2013 r. kopalnia uzyskała koncesję na wydobywanie soli kamiennej ze złoża „Bądzów” (50 lat). Część robót górniczych w złożu solnym prowadzona jest systemem komorowym, mechanicznie, z wykorzystaniem kombajnów górniczych. Stosowana technologia urabiania złoża narzuca sposób wykonywania wyrobisk. Wyrobiska te (komory) wykonywane są warstwami z góry na dół. Docelowe wymiary poprzeczne komór to 15 m × 15 m (szer. × wys.) przy zróżnicowanej długości tych wyrobisk. Komory rozdzielone są filarami międzykomorowymi o szerokości 20 m, które powinny zapewnić zachowanie stateczności komór i samych filarów. Pozostałe roboty górnicze polegają na drążeniu wyrobisk korytarzowych o wymiarach 7 m × 5 m (szer. × wys.).*

*Dotychczas prowadzone roboty górnicze mają miejsce mniej więcej w środkowej partii złoża (rozumiejąc ją jako miąższość), powstałe w wyniku tych robót wyrobiska zlokalizowane są w solach o zróżnicowanych parametrach geomechanicznych.*

*Słowa kluczowe: KGHM Polska Miedź S.A., złoża, sól kamienna, kombajny chodnikowe, eksploatacja*

### 1. AKTUALNY STAN URABIANIA SOLI – INFORMACJE PODSTAWOWE

KGHM Polska Miedź S.A., O/ZG „Polkowice-Sieroszowice” jest zakładem górniczym, którego zasadniczą działalnością jest eksploatacja rud miedzi. Od 1991 r. w ramach koncesji na rozpoznanie złoża, kopalnia prowadzi roboty górnicze w obrębie złoża solnego, które zalega kilkadziesiąt metrów powyżej złoża rudnego. W obszarze górniczym „Sieroszowice” sól występuje na głębokości około 950 m p.p.t. W listopadzie 2013 r. kopalnia uzyskała koncesję na wydobywanie soli kamiennej ze złoża „Bądzów” (na 50 lat).

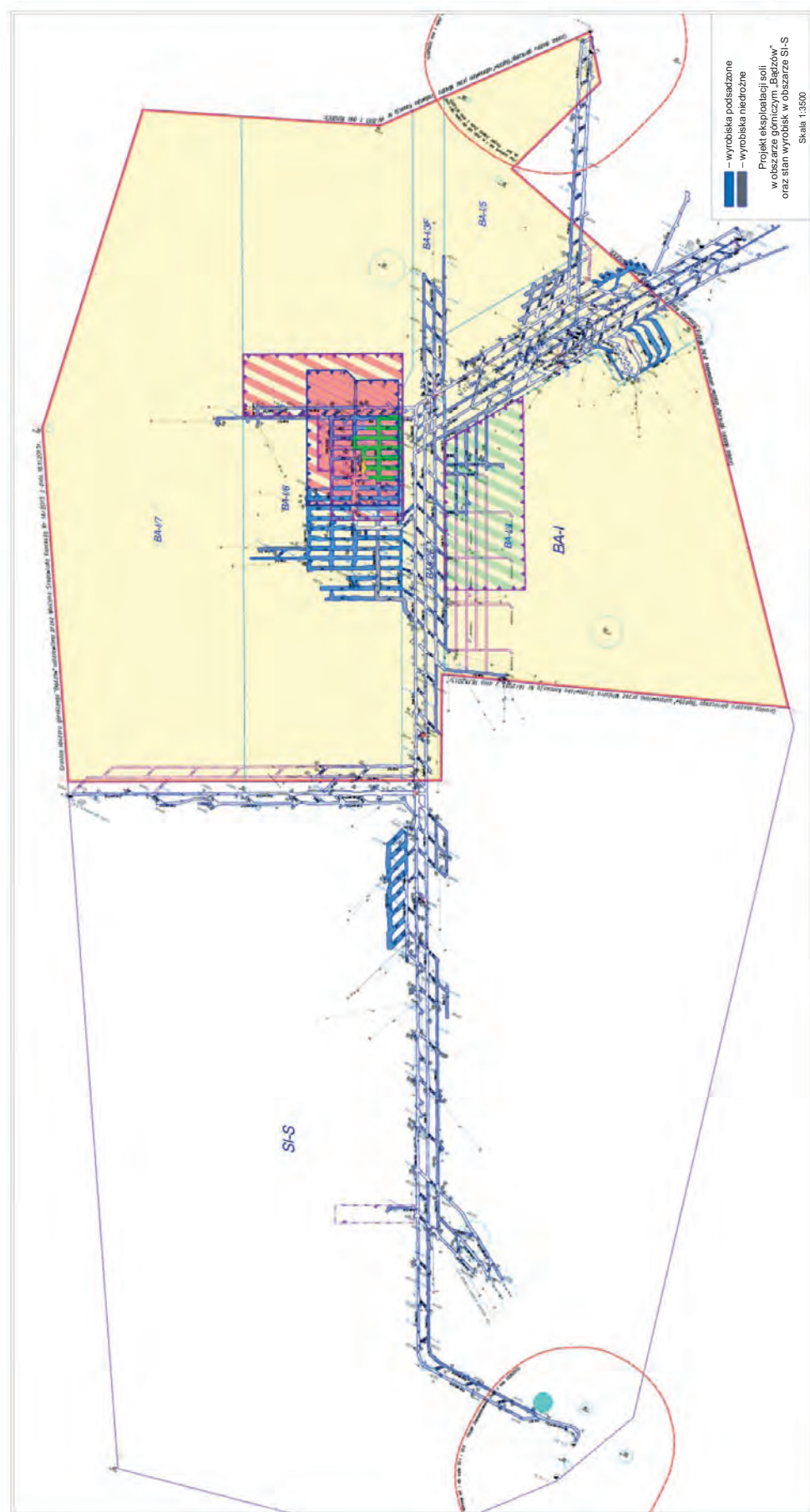
W chwili obecnej zaawansowanie robót górniczych to około 2,5 mln m<sup>3</sup> pustek uzyskanych na skutek wydrążenia około 40 km wyrobisk udostępniających, przygotowawczych i eksploatacyjnych (rys. 1).

Aktualnie w obrębie obszaru górniczego „Bądzów” prowadzona jest jednopoziomowa eksploatacja złoża soli kamiennej w dolnym poziomie.

### 2. GEOLOGIA ZŁOŻA

Pokład soli kamiennej w rejonie O/G „Bądzów” zalega nad spągiem cechsztynu od 20 m do 100 m. Bezpośrednio pod nim występuje anhydryt dolny o miąższości od 20 m do 90 m, a nad nim anhydryt górny miąższości od 40 m do 100 m w obrębie cyklotemu Werra (PZ1). Pokład soli kamiennej jest nieregularny o zmiennej miąższości od 21,6 m w części S obszaru górniczego do 180,1 m w części NE obszaru górniczego [1]. Charakterystycznym zjawiskiem budowy wewnętrznej złoża soli kamiennej „Bądzów” są nieciągłe warstwy anhydrytu śródsolnego.





Rys. 1. Aktualny stan wyrobisk solnych

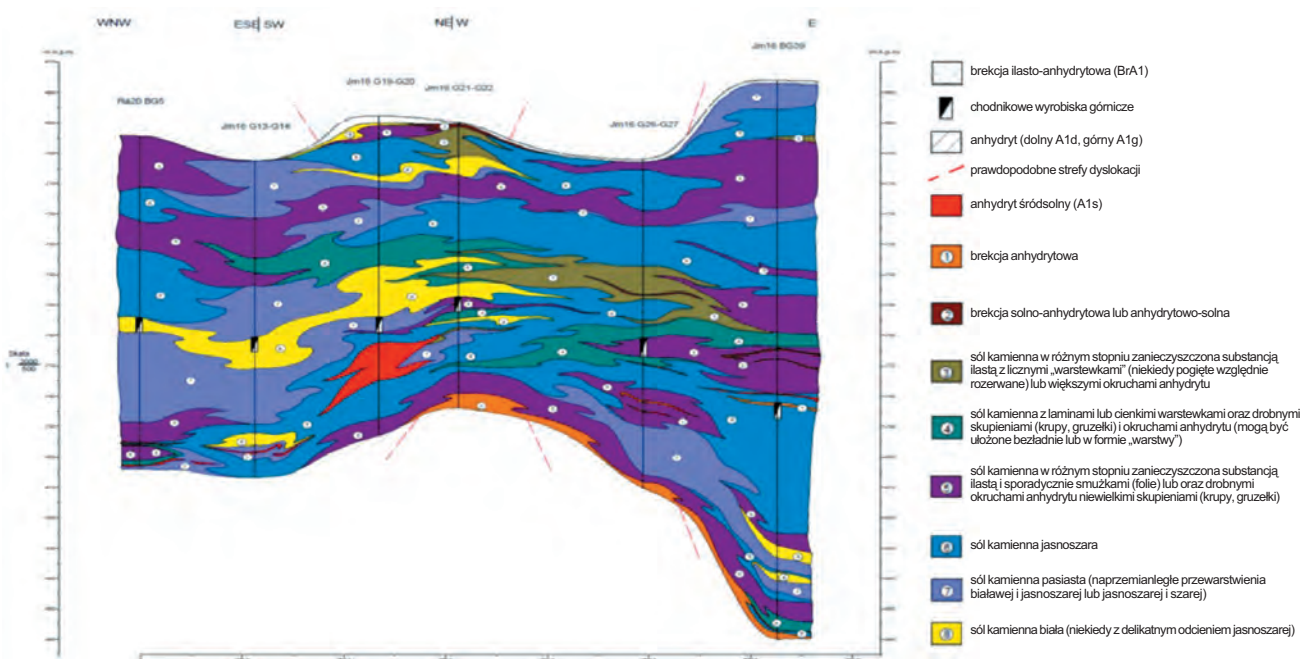
W profilu pionowym złoża składa się z szeregu warstw soli zróżnicowanych petrologicznie (rys. 2 i 3). W obszarze złoża „Bądzów” występują trzy jednostki stratygraficzne w profilu najstarszej soli kamiennej. Charakterystyczną cechą budowy wewnętrznej złoża soli kamiennej „Bądzów” jest zmienna jakość kopaliny. Jest ona uzależniona od składu mineralnego domieszek. W pokładzie soli kamiennej występują różnorodne odmiany soli (osiem typów petrologicznych), wydzielonych pod względem obecności i ilości znajdujących się w niej zanieczyszczeń (tab. 1). Średnia zawartość NaCl w złożu bilansowym wynosi 96,26%, maksymalna około 99,5%, a minimalna 31,10% w płonnych przerostach zaliczonych do interwałów bilansowych.

Cechą charakterystyczną pokładu najstarszej soli kamiennej ( $\text{Na}_1$ ) jest jej zmienność litologiczna w zależności od składu mineralnego domieszek, stopnia ziarnistości i tekstury. Są to przeważnie sole różno-, średnio- oraz grubokrystaliczne (z przewagą średniokrystalicznych), występujące w postaci naprzemianległych warstw o grubości od kilku do kilkudziesięciu centymetrów. Sól drobnokrystaliczna występuje pod-

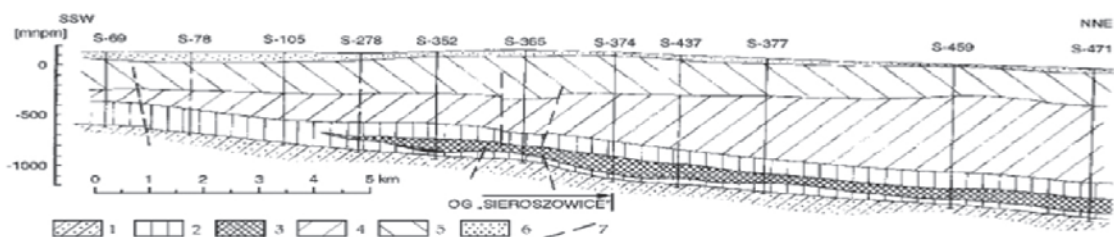
rzędnie. Powszechne są przerosty soli kruchych – średniokrystalicznych. Sporadycznie występują przerosty soli przeźroczystej. Odmiany różnokrystaliczne to sole przeważnie jasnoszare lub białawe z domieszkami substancji anhydrytowo-ilastej lub drobnymi okruchami anhydrytów, lokalnie z przewagą lub domieszkami soli średnio- lub grubokrystalicznej. Odmiany grubokrystaliczne to sole zazwyczaj czyste – białawe lub przeźroczyste, w których spotykana jest laminacja (przewarstwienia soli jasnej i ciemniejszej) oraz domieszki substancji zanieczyszczających (okruchów anhydrytów i substancji ilastej) oraz soli średnio- i drobnokrystalicznej.

Generalnie najstarsza sól kamienna tworzy pokład o rozciągłości zbliżonej do kierunku równoleżnikowego (WNW-ESE) przy łagodnym zapadaniu warstw pod kątem 3–8 stopni. Miąższość pokładu odznacza się dużym zróżnicowaniem – od 10,0 m (w rejonie jej wyklonowania na południu – rejon S-345a) do około 190,0 m (w rejonie otworu BG-39).

Ze względu na ilość i wielkość występujących zanieczyszczeń wyróżnia się osiem typów petrologicznych soli kamiennej.



Rys. 2. Przekrój geologiczny wg A. Szybista



Rys. 3. Przekrój geologiczny poprzeczny: 1 – czerwony spągowiec; 2 – formacja cechsztyńska; 3 – pokład soli kamiennej najstarszej ( $\text{Na}_1$ ); 4 – trias; 5 – trzeciorzęd; 6 – czwartorzęd; 7 – przypuszczalne dyslokacje uskokowe

**Tabela 1**  
**Typy petrologiczne soli kamiennej**

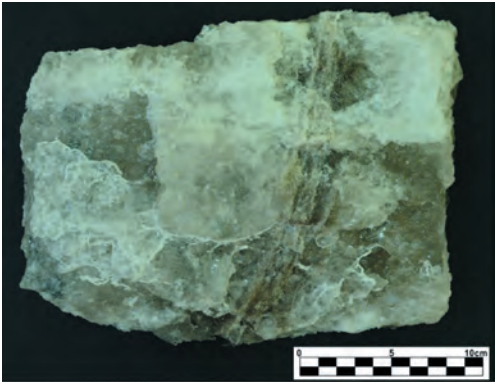
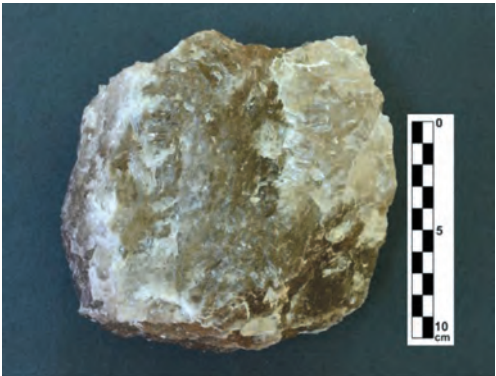
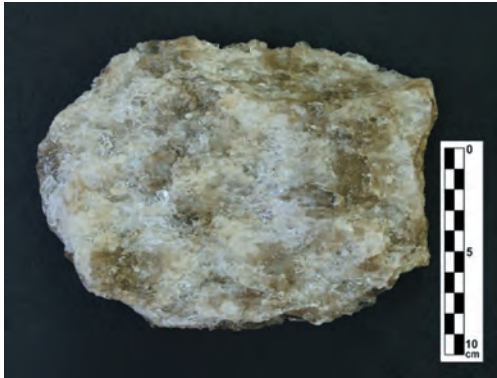
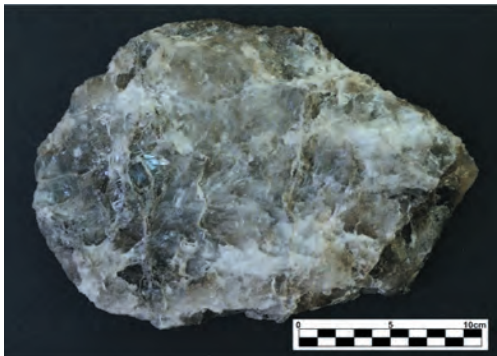
| Lp. | Rodzaj soli                                                                                                         | Charakterystyka                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   |  <p>Sól kamienna czysta</p>        | Sól kamienna czysta (przeźroczysta) ma strukturę średniokrystaliczną, grubo- i wielkokrystaliczną, kryształy (idiomorficzne) są wykształcone prawidłowo, mają pokrój izometryczny. Tekstura nieuporządkowana – bezładna, zbita. Sporadycznie między kryształami występuje średnioziarnisty rozproszony piasek anhydrytowy                                                  |
| 2   |  <p>Sól kamienna pasiasta</p>     | Sól kamienną pasiastą tworzą sole szare, jasnoszare, białe oraz czyste (przeźroczyste), poszczególne sole zalegają równolegle jedna nad drugą. Struktura soli pasiastej w sposób ciągły przechodzi od średniokrystalicznej do grubokrystalicznej. Kryształy (idiomorficzne) są wykształcone prawidłowo, mają pokrój izometryczny. Tekstura zbita, bezładna (bezkierunkowa) |
| 3   |  <p>Sól kamienna jasnoszara</p>  | Sól kamienna jasnoszara, barwy jasnoszarej, ma strukturę średniokrystaliczną, grubokrystaliczną, kryształy (idiomorficzne) są wykształcone prawidłowo, mają pokrój izometryczny. Tekstura nieuporządkowana – bezładna, zbita. Sporadycznie między kryształami występuje średnioziarnisty rozproszony piasek anhydrytowy                                                    |
| 4   |  <p>Sól kamienna ciemnoszara</p> | Sól kamienna ciemnoszara, barwy szarej, ma strukturę średniokrystaliczną, grubokrystaliczną, kryształy (idiomorficzne) są wykształcone prawidłowo, mają pokrój izometryczny. Tekstura nieuporządkowana – bezładna, zbita. Sporadycznie między kryształami występuje średnioziarnisty rozproszony piasek anhydrytowy                                                        |



Tabela 1 cont.

| Lp. | Rodzaj soli                                                                                                                                                                                                            | Charakterystyka                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5   |  <p data-bbox="236 674 751 734">Sól kamienna zanieczyszczona substancją ilastą i sporadycznie skupieniami lub smużkami anhydrytu</p>  | <p data-bbox="794 259 1441 539">Sól kamienną, zanieczyszczoną substancją ilastą i sporadycznie skupieniami lub smużkami anhydrytu, cechuje barwa jasnoszara i szara, miejscami zmętniona, o strukturze średniokrystalicznej. Kryształy (idiomorficzne) są wykształcone prawidłowo, mają pokrój izometryczny. Tekstura nieuporządkowana – bezładna, zbита. Zanieczyszczenia występują w formie pojedynczych okruchów anhydrytu do 3 cm wielkości i rozproszonego średnioziarnistego piasku oraz substancji ilastej w formie smużek, kłaczków i rozproszonej. Piasek i substancja ilasta znajdują się wewnątrz kryształów i w przestrzeniach między nimi</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 6   |  <p data-bbox="236 1077 751 1137">Sól kamienna z laminami lub drobnymi skupieniami i okruchami anhydrytu</p>                         | <p data-bbox="794 745 1441 1077">Sól kamienna z laminami lub drobnymi skupieniami i okruchami anhydrytu składa się z soli czystej, białej i szarej, które cechują się strukturą średniokrystaliczną, kryształami (idiomorficznymi) wykształconymi prawidłowo o pokroju izometrycznym, teksturze nieuporządkowanej. Warstwy soli są miąższości do 80 mm. Między nimi występują anhydryty oraz substancja ilasta w formie:</p> <ul data-bbox="794 913 1441 1077" style="list-style-type: none"> <li>– lamin o miąższości od 1 mm do 5 mm, tworząc tekstury laminowe proste i faliste;</li> <li>– wstęg anhydrytowych oraz ilastych (zespoły lamin od 10 mm do 30 mm), tworząc teksturę wstęgową.</li> </ul> <p data-bbox="794 1025 1441 1077">Pojedyncze laminy zbudowane są z samego anhydrytu z niewielkim udziałem substancji ilastej i anhydrytowo-solnej</p>                                                                                                                     |
| 7   |  <p data-bbox="236 1541 751 1601">Sól kamienna zanieczyszczona substancją ilastą z warstewkami lub licznymi okruchami anhydrytu</p> | <p data-bbox="794 1149 1441 1590">Sól kamienną zanieczyszczoną substancją ilastą z warstewkami lub licznymi okruchami anhydrytu tworzą sole jasnoszare, szare, miejscami przeźroczyste, które mają strukturę średnio-, grubo- i wielokrystaliczną, z kryształami (idiomorficznymi) wykształconymi prawidłowo o pokroju izometrycznym, teksturze nieuporządkowanej – bezładnej, zbitej. W solach występują anhydryty w formie lamin (2–3 mm), powyginanych skór, ostrokrawędzistych okruchów (do 10 mm), średnio- i gruboziarnistego piasku, substancja ilasta w formie wysepek, kłaczków oraz rozproszonej (piasek i substancja ilasta występuje w przestrzeniach między kryształami). Często laminy łączą się w zespoły i wtedy miąższość ich może dochodzić do 60 mm. Miąższość soli pomiędzy laminami anhydrytów wynosi od 50 mm do 150 mm. Na granicach lamin sól ulega odspojeniu. Ułożenie okruchów anhydrytu jest zazwyczaj bezładne, ale zdarza się ułożenie kierunkowe</p> |
| 8   |  <p data-bbox="236 2000 751 2033">Sól kamienna z grubymi przerostami anhydrytu</p>                                                  | <p data-bbox="794 1612 1441 2000">Sól kamienna z grubymi przerostami anhydrytu, szara i ciemnoszara, cechuje się strukturą średniokrystaliczną, kryształami (idiomorficznymi) wykształconymi prawidłowo o pokroju izometrycznym, teksturze nieuporządkowanej – bezładnej, zbitej. W solach występują anhydryty w formie okruchów (od 30 mm do 200 mm), powyginanych „skór” (do 40 mm), rozproszonego piasku drobnoziarnistego oraz sporadycznie rozproszona substancja ilasta (piasek i substancja ilasta występuje w przestrzeniach między kryształami). Okruchy anhydrytu występują w postaci okrągłych, elipsoidalnych, a czasem również ostrokrawędzistych fragmentów. Niektóre fragmenty anhydrytu są spękane, szczeliny są wypełnione solą. Ułożenie okruchów anhydrytowych jest zazwyczaj bezładne, ale zdarza się ułożenie kierunkowe</p>                                                                                                                                   |

Dodatkowo należy wspomnieć o wartościach średnich parametrów wytrzymałościowych soli cechsztyńskich występujących w O/ZG „Polkowice-Sieroszowice”. Mianowicie średnia gęstość wynosi  $2,10 \text{ Mg/m}^3$ , wytrzymałość na ściskanie: 36 MPa, na rozciąganie: 1,7 MPa, na zginanie: 2,2 MPa. Powyższe dane zostały określone na podstawie archiwalnych pomiarów z jednego z otworów rozpoznawczych.

### 3. SYSTEM WYBIERANIA ZŁOŻA

Złoże „Bądzów” eksploatowane jest metodą podziemną polegającą na suchym, mechanicznym, selektywnym urabianiu calizny solnej. Wszystkie wyrobiska prowadzone są w pokładzie soli kamiennej.

Model rozcięcia złoża solnego zakłada:

- minimalną miąższość stropowej półki bezpieczeństwa – 15 m,
- minimalną miąższość spągowej półki bezpieczeństwa – 10 m,
- minimalną szerokość filarów międzykomorowych – 20 m,
- minimalną grubość półki międzypoziomowej – 15 m.

Podstawowym systemem eksploatacji złoża jest system komorowo-filarowy o wymiarach poprzecznych komór do  $15 \text{ m} \times 15 \text{ m}$ , natomiast wyrobiska korytarzowe rozcinające blok eksploatacyjny dostosowane będą do potrzeb technologicznych i uwzględniać będą możliwości techniczne użytkowanych kombajnów.

Eksploatację złoża soli przewiduje się prowadzić na trzech poziomach komór, przy czym wielkość poziomów będzie związana bezpośrednio z miąższością złoża oraz jakością soli (rys. 4).

Nie narzuca się kolejności wybierania poszczególnych poziomów w obrębie bloku eksploatacyjnego. Straty systemu komorowo-filarowego sięgają około 83%.

Podczas drażenia i eksploatacji złoża soli kamiennej mogą wystąpić naturalne zagrożenia: wodne, klimatyczne, gazowe oraz wyrzutami gazu i skał.

W otoczeniu złoża soli kamiennej znajdują się dwa poziomy wodonośne cechsztynu. Powyżej stropu soli zalega poziom wodonośny dolomitu głównego  $\text{Ca}_2$ , poniżej jego spągu – poziom wapieni i dolomitów  $\text{Ca}_1$ . Obydwa poziomy oddzielone są od soli odpowiednio miąższymi i ciągłymi warstwami izolującymi – seriami anhydrytów A1g i A1d. Poziomy te nie zagrażają bezpośrednio wyrobiskom górniczym prowadzonym w soli kamiennej.

Kryterium oceny zagrożenia klimatycznego jest występowanie na stanowisku pracy temperatury mierzonej termometrem suchym nie większej niż  $43^\circ\text{C}$  i tempe-

ratury mierzonej termometrem wilgotnym nieprzekraczającej  $27^\circ\text{C}$ .

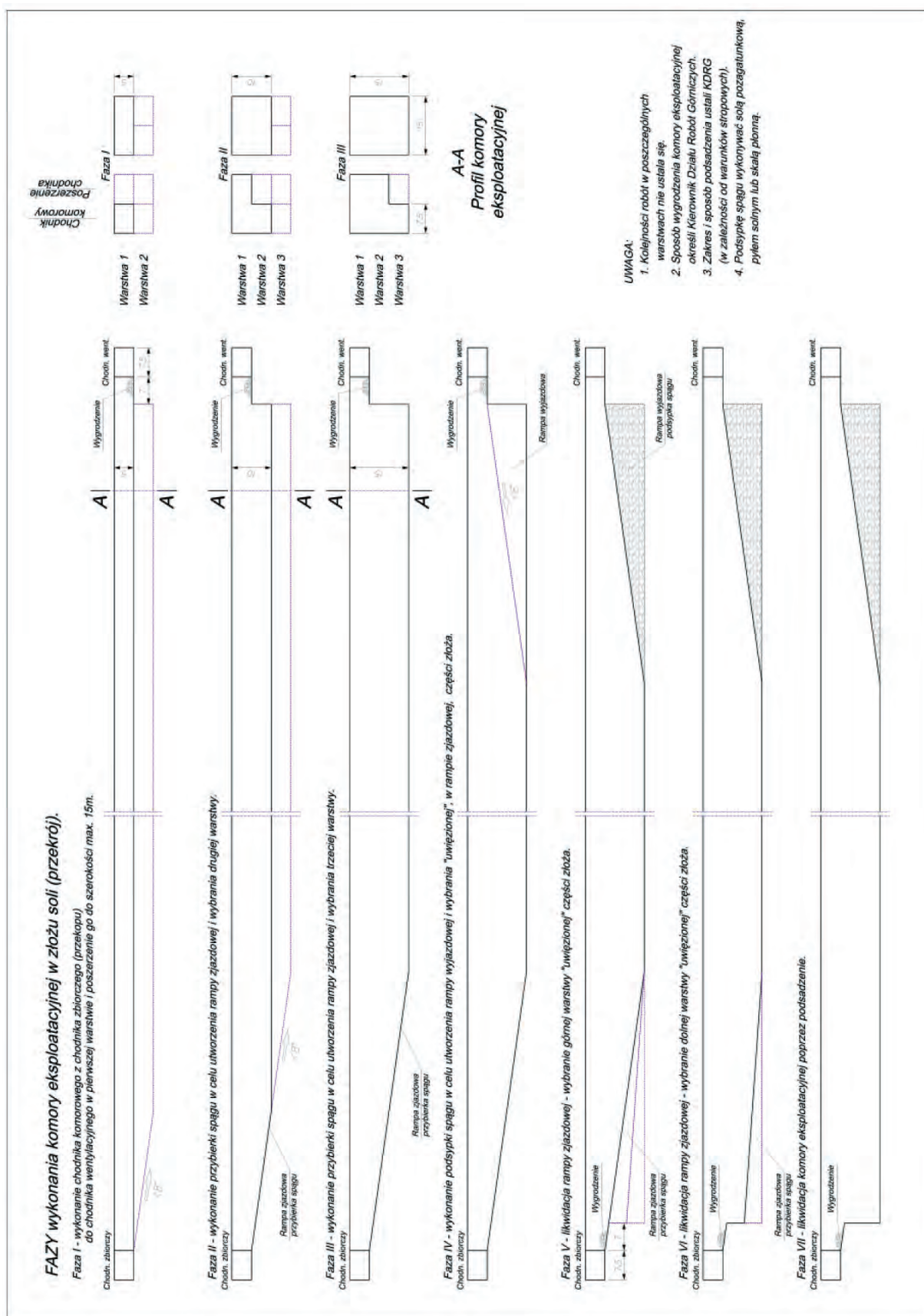
Ze względu na plastyczne właściwości soli nie występuje bezpośrednie zagrożenie zawałowe. Wyrobiska zbędne do prawidłowego funkcjonowania oddziału należy wyłączyć z ruchu, wygrodzić i oznakować.

Rejon prowadzonych robót nie jest metanowy, niemniej w celu wykrycia ewentualnego zagrożenia gazami palnymi i wybuchowymi w złożu soli i zapewnienia bezpieczeństwa załogi należy prowadzić profilaktykę zgodnie z „Zarządzeniem Kierownika Ruchu Zakładu Górniczego O/ZG Polkowice-Sieroszowice w sprawie: prowadzenia robót górniczych w warunkach możliwości wystąpienia zjawisk gazogeodynamicznych lub przekroczeń wartości dopuszczalnych stężeń gazów w wyrobiskach”. Ze względu na możliwość wystąpienia w przekrojach wyrobisk zwiększonych stężeń siarkowodoru, pracowników oddziału solnego zobowiązuje się do bezwzględного noszenia przy sobie środków ochrony indywidualnej, tj. masek i półmasek przeciwgazowych oraz okularów ochronnych.

Istota sposobu wybierania w danym poziomie polega na tym, że z przekopów zostaje wykonany w warstwie przystropowej danego poziomu (pod półką bezpieczeństwa – stropową lub międzypoziomową) chodnik komorowy z wentylacją odrębną do zbiccia pomiędzy chodnikiem zbiorczym a komorami wcześniej wykonanymi lub chodnikiem wentylacyjnym w celu zapewnienia wentylacji obiegowej. Następnie wykonany chodnik komorowy wraz z chodnikiem zbiorczym jest poszerzony do wymiaru szerokości komory, tj. około 15 m.

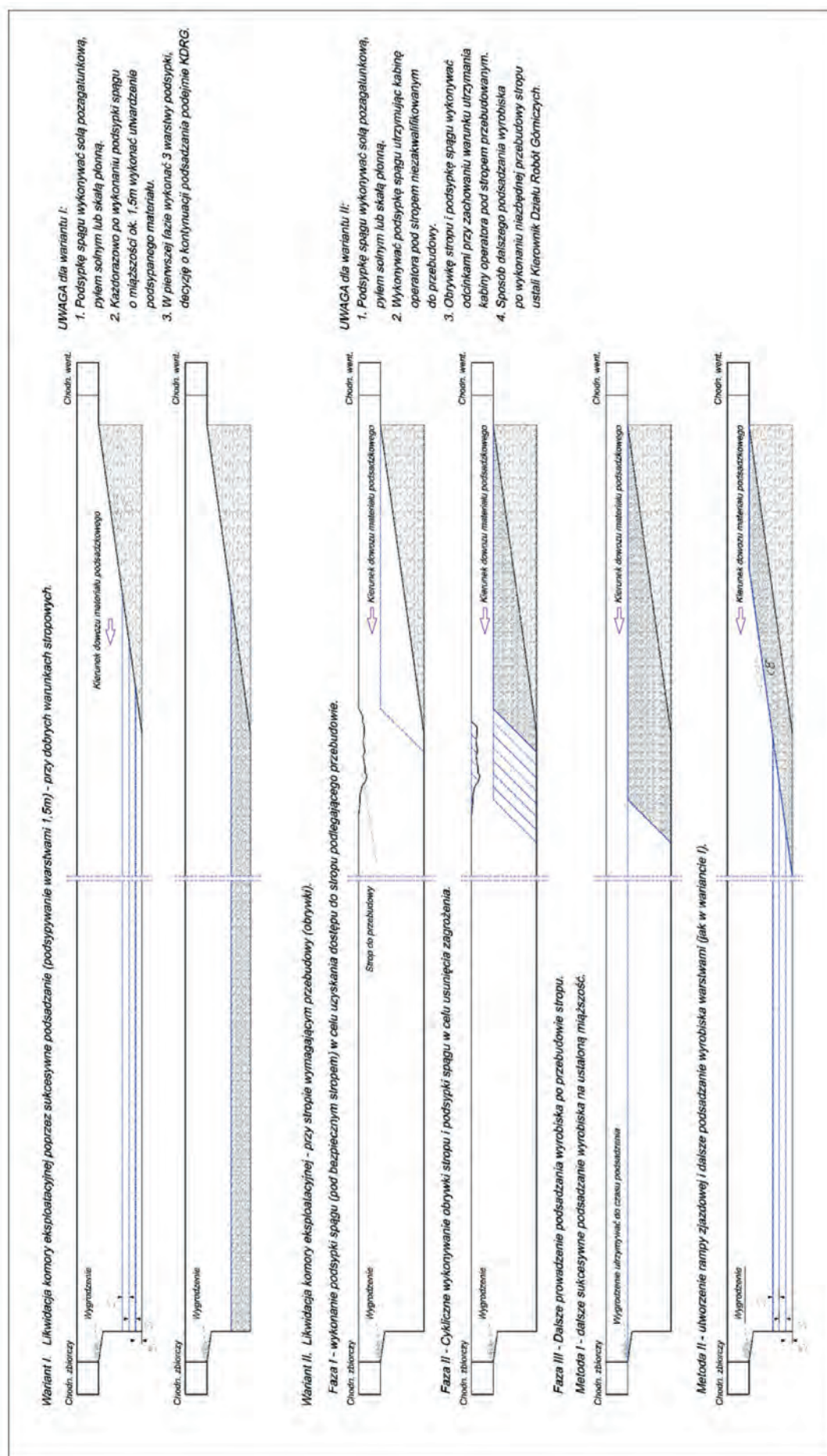
W drugiej fazie zostaje wykonana II i III warstwa (rys. 4). Docelowy maksymalny wymiar wyrobisk to 15 m wysokości i 15 m szerokości. Długość komory zależy od rozcinki w danym rejonie i warunków górniczo-geologicznych. Wykonanie robót wg takiej technologii pozwala na pełne wyeksploatowanie zasobów z komory oraz zapewnia odpowiednie bezpieczne upady na drogach komunikacyjnych i właściwą wentylację.

Pył solny powstały podczas przeróbki mechanicznej urobku w podziemnym zakładzie przeróbczym jest umieszczony we wcześniej wykonanych wyrobiskach. Urobiona sól pozagatunkowa – przewarstwienia anhydrytu i zanieczyszczenia napotkane w pokładzie soli, a także skała płonna z robót udostępniająco-przygotowawczych jest lokowana w wykonanych wyrobiskach komorowych lub przeznaczonych do likwidacji chodnikach (rys. 5). Zakłada się kontynuowanie prób praktycznego wypełniania komór eksploatacyjnych do tymczasowego poziomu 35% objętości. W miarę prowadzenia dalszych prób zakłada się późniejsze wypełnienie tych komór do poziomu docelowego.



Rys. 4. Schemat technologii wykonania komory eksploatacyjnej



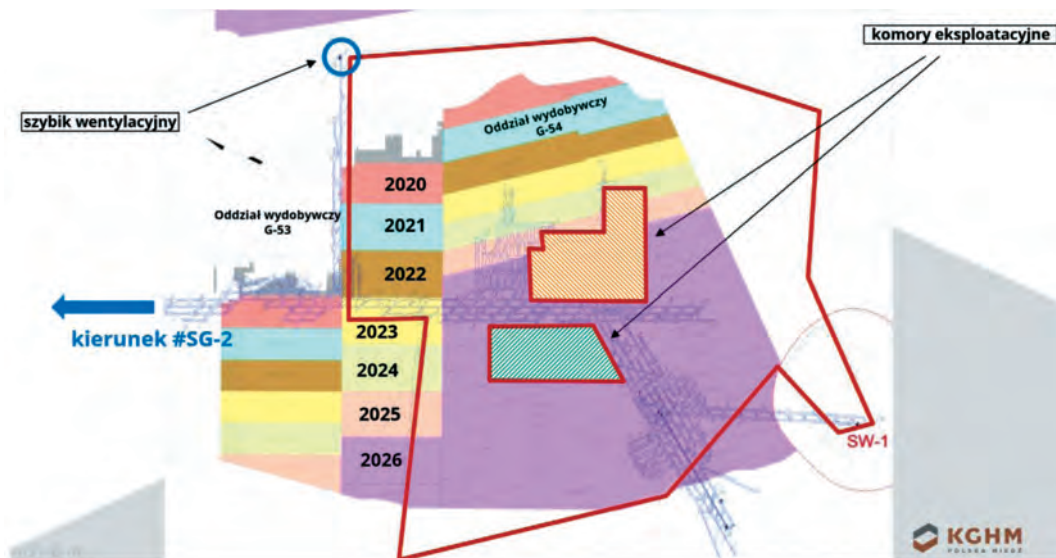


Rys. 5. Schemat technologii podszadzenia wyeksploatowanej komory

#### 4. OBECNE ROBOTY GÓRNICZE

Eksploatacja złoża soli kamiennej odbywa się dzisiaj w centralnej części obszaru górniczego „Bądzów”, natomiast eksploatacja złoża rud miedzi zlegającego poniżej jest aktualnie prowadzona w bezpośrednim sąsiedztwie oddziału

wydobywczego G-53 i G-54 (rys. 6). Z uwagi na prowadzenie robót eksploatacyjnych wyżej wymienionych oddziałów pod komorami eksploatacyjnymi w złożu soli i brak doświadczeń we wzajemnym oddziaływaniu tych dwóch eksploatacji należy ze względów techniczno-organizacyjnych ograniczyć pozyskiwanie soli kamiennej z komór.

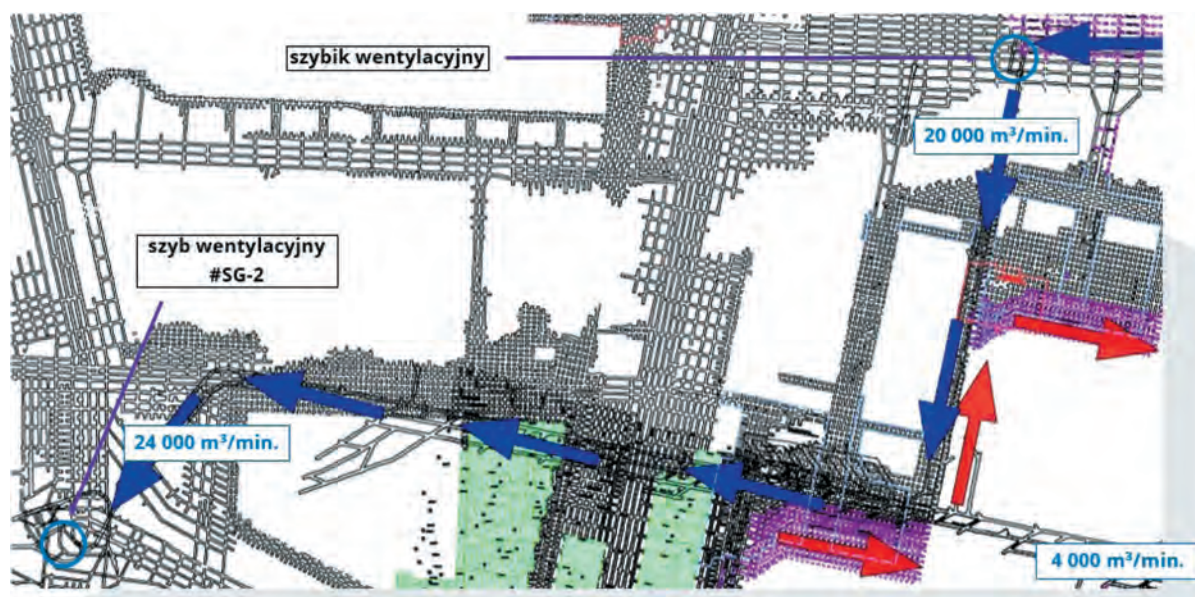


Rys. 6. Wyrobiska solne na tle oddziałów wydobywających rudę miedzi

#### 5. WYKORZYSTANIE WYROBISK SOLNYCH DO ODPROWADZENIA POWIETRZA Z ODDZIAŁU Z POZIOMU RUDY MIEDZI

Prowadzone prace górnicze doprowadziły do połączenia wyrobiskami chodnikowym w układzie dwunitkowym (chodnik Ps-0 i Ps-1) rejonu szybu SW-1 z rejonem szybu SG-2. Zbicie wyrobisk (2017 r.) stanowiło element realizacji projektu odprowadzania zużytego i gorącego po-

wietrza przez złożę soli do szybu SG-2. Wyrobiska Ps-1 i Ps-0 od Przecinki 42 do Przecinki 56 drażnione były w soli kamiennej. Ostatnim etapem robót górniczych było wykonanie Przekopu wentylacyjnego Ps-1a od wn-1 do szybu SG-2 w anhydrycie. Długość wynosiła 79 m. Przekopy wentylacyjne były wykonane przy użyciu kombajnu chodnikowego ATM-105. Wcześniej wykonano szybik łączący złożę rudy miedzi ze znajdującym się nad nim pokładem soli – przekopy wentylacyjne Ps-10 i Ps-11 (rys. 7).



Rys. 7. Schemat wylotowego prądu powietrza



Poprzez wyrobiska T-359 i W-359 uzyskano dopływ świeżego powietrza z szybu SW-4, które po przejściu przez pole eksploatacyjne oddziału G-51, a następnie wyrobiskami w soli trafia do szybu wydechowego SG-2.

Kolejnym krokiem w tworzeniu sieci wentylacyjnej było wykonanie przepustu z blachy falistej w obrębie krzyżujących się wyrobisk (rys. 8). Zadaniem przepustu było odseparowanie prowadzonego ze złoża miedzi prądu zużytego powietrza od prądu powietrza przewietrzającego wyrobiska w złożu soli kamiennej. Rozpiętość łuku przepustu wynosi 9,31 m, a jego konstrukcja jest wykonana z blachy falistej o karbowaniu 200 mm × 55 mm. Konstrukcja tego typu jest doskonale znana w budownictwie powierzchniowym, głównie w budownictwie drogowym oraz hydrotechnicznym, jednak nigdy dotąd nie wykorzystywano tego typu konstrukcji w rozwiązaniach z zakresu budownictwa górniczego.

Profil łuku został zaprojektowany według szwedzkiej metody projektowania (tab. 2). Konstrukcja została podsypana skruszoną solą kamienną. Materiał ten ma

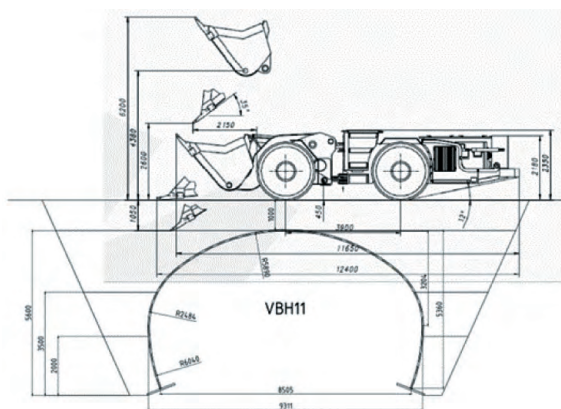
ciężar właściwy 2,1 kN/m<sup>3</sup> i kąt tarcia wewnętrznego od 39 stopni do 45 stopni.

Blacha stalowa użyta do produkcji konstrukcji odpowiada normom PN-EN 10025-2:2019-11 i PN-EN 10149-2:2014-02 [3, 4]. Zabezpieczenie antykorozyjne jest zgodne z normą PN-EN ISO 1461:2011 [5]. Środowisko solne w komorze nie powoduje korozji, ponieważ panuje tam względnie sucha atmosfera (wilgotność ok. 20%).

Na podstawie analizy statycznej dokonano koniecznej weryfikacji wszystkich obliczeń wytrzymałościowych. Wykonano następujące sprawdzenia:

- nośność na ściskanie,
- wyboczenie,
- nośność na zginanie,
- nośność połączeń śrubowych.

Jednym z podstawowych problemów procesu projektowego, który musiał być uwzględniony, był proces zaciskania wyrobisk w pokładzie soli kamiennej oraz wpływ wzajemnego oddziaływania eksploatacji złoża rudy miedzi i złoża soli kamiennej.



Rys. 8. Przepust z blachy falistej

Tabela 2

Podstawowe parametry geometryczne konstrukcji

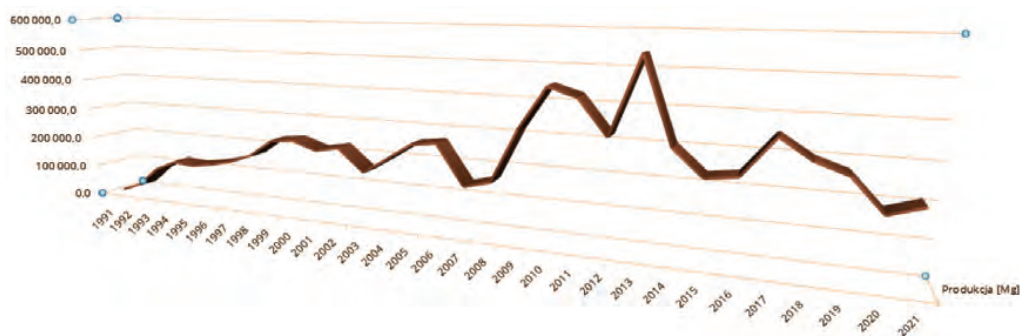
|                                  |                                                                           |
|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| <b>Rozwiązanie strukturalne</b>  | grunt – blacha stalowa<br>konstrukcja łukowa ze stalowych blach falistych |
| <b>Obróbka końcowa</b>           | pionowe ściany czołowe z bloczków EPS (ekspandowany polistyren)           |
| <b>Fundament</b>                 | fundament z elastycznych, płtych blach falistych                          |
| <b>Rozpiętość wewnętrzna [m]</b> | 9,31                                                                      |
| <b>Wysokość wewnętrzna [m]</b>   | 5,36                                                                      |
| <b>Całkowita długość [m]</b>     | 20                                                                        |
| <b>Profil falisty [mm]</b>       | 200 × 55                                                                  |

## 6. WYDOBYCIE SOLI W LATACH 1991–2021

W chwili obecnej wydobywanie soli kamiennej sięga nieco ponad 200 tys. Mg/rok (rys. 9). W latach poprzednich (2012 i 2013 r.) produkowano nawet ponad

500 tys. Mg/rok. Prowadzone od ponad 20 lat roboty górnicze w złożu soli dały w latach 1991–2021 wymierny efekt w postaci wydobywania na poziomie ponad 6 mln Mg. Niewątpliwie wpływ na wielkość wydobywania mają warunki atmosferyczne (ciepła zima).



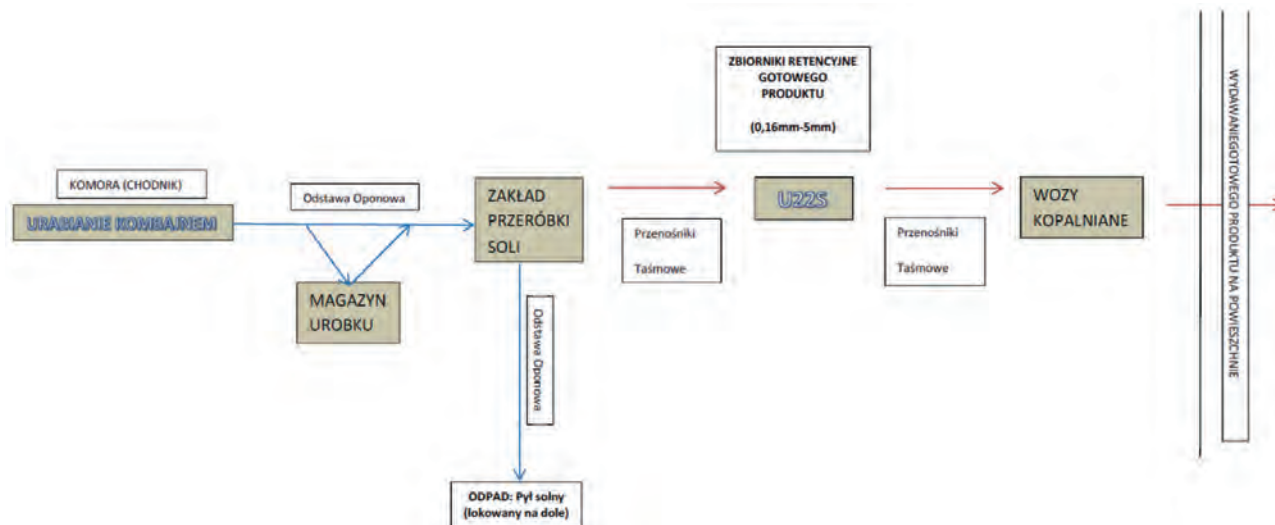


Rys. 9. Wydobycie soli kamiennej w latach 1991–2021

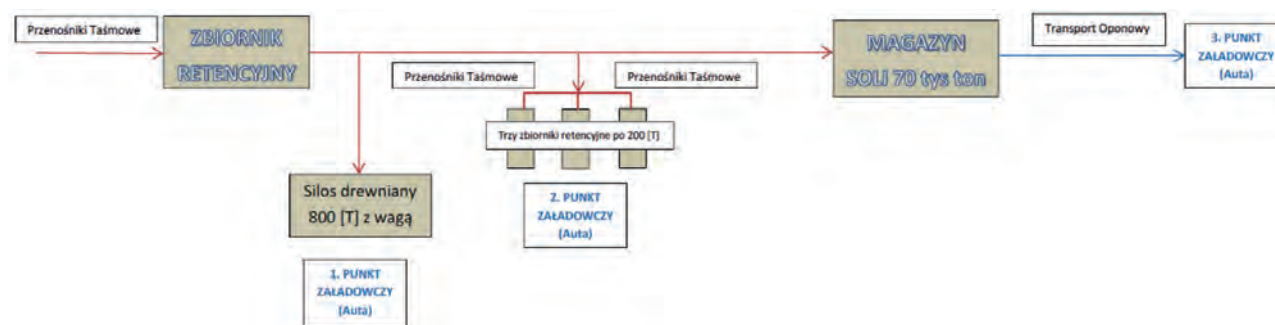
## 7. SCHEMAT PRODUKCJI SOLI KAMIENNEJ

Wyróbiska są drążone metodą mechaniczną – frezowania z zastosowaniem chodnikowych kombajnów ramionowych MB 770 (rys. 11), ATM 105 (rys. 12), AM 85 (rys. 13) firmy Sandvik. Kombajny wykorzystywane podczas urabiania soli różnią się pod względem parametrów technicznych. Podstawowe dane dotyczące kombajnów przedstawiono w tabeli 3. W wyróbkach solnych, które wymagają odtworzenia ze względu na trudne warunki geologiczno-górnice i zmniejszony przekrój poprzeczny wyróbki, wykorzystywana jest maszyna do obrywki stropu z głowicą urabiająco-frezującą (rys. 14). Urobek ładowany jest na transportowe wywrot-

kowe wozy przegubowe typu DOOSAN MOXY MT-41 oraz BELL B40D (rys. 15), skąd dalej jest odstawiany na kratę zasypową do zbiornika retencyjnego o pojemności 100 Mg, a stamtąd do podziemnego zakładu przeróbczego (rys. 16). W zakładzie przeróbczym frakcje handlowe o uziarnieniu powyżej 0,16 mm są oddzielane od frakcji pylistej i transportowane szybem na powierzchnię (rys. 10) woźami o pojemności 9 Mg (rys. 18). Natomiast frakcja o uziarnieniu poniżej 0,16 mm to odpad w postaci pyłu solnego składowanego w przestrzeniach przeznaczonych do likwidacji. Na powierzchni przenośnikami (rys. 18) sól transportowana jest do magazynu o pojemności 70 tys. Mg (rys. 11). Za sprzedaż soli odpowiada KGHM METRACO S.A.



Rys. 10. Schemat produkcji soli kamiennej (pod ziemią)



Rys. 11. Schemat produkcji soli kamiennej (na powierzchni)



*Rys. 12. Kombajn MB 770*



*Rys. 13. Kombajn ATM 105 IC*





*Rys. 14. Kombajn AM85*



*Rys. 15. Maszyna SWBF-3230-AD samojezdny wóz do obrywki*





*Rys. 16. Wóz odstawczy*



*Rys. 17. Zakład przeróbki soli*



*Rys. 18. Wozy do wydobywania soli*



*Rys. 19. Przenośniki do transportu rudy miedzi i soli kamiennej*



## 8. PARK MASZYNOWY

Prowadzenie robót udostępniających, przygotowawczych i eksploatacyjnych w złożu solnym odbywa się z wykorzystaniem nowoczesnego i wydajnego mechanicznego systemu urabiania złoża, na co składają się: kombajny chodnikowe, ładowarki łyżkowe, wozy odstawcze.

Kombajny chodnikowe wykorzystywane są do drążenia wyrobisk chodnikowych oraz komorowych, a także ich przebudowy (odtworzenia stanu pierwotnego) [2]. Wykaz i liczbę maszyn wykorzystywanych obecnie do urabiania soli w O/ZG „Polkowice-Sieroszowice” zamieszczono w tabeli 3.

**Tabela 3**  
**Zestawienie maszyn wykorzystywanych do urabiania soli w O/ZG „Polkowice-Sieroszowice”**

| Rodzaj maszyny                                           | Typ maszyny             | Liczba maszyn |
|----------------------------------------------------------|-------------------------|---------------|
| Kombajn do soli                                          | AM 85P                  | 1             |
| Kombajn do soli                                          | ATM 105IC-P             | 1             |
| Kombajn do soli                                          | MB 770                  | 1             |
| Wóz transportowy wywrotkowy oponowy przegubowy (wozidło) | DOOSAN DA-30 WIG        | 1             |
| Wóz transportowy wywrotkowy oponowy przegubowy (wozidło) | BELL B40D               | 3             |
| Wóz transportowy wywrotkowy oponowy przegubowy (wozidło) | BELL B40E               | 1             |
| Ładowarka łyżkowa kołowa przegubowa                      | LKP-0805C               | 1             |
| Ładowarka łyżkowa kołowa przegubowa                      | LKP-0403C               | 1             |
| Ładowarka łyżkowa kołowa przegubowa                      | LKP-1601B               | 1             |
| Wóz paliwowo-smarowniczy                                 | SWPS-4A                 | 1             |
| Obrywak                                                  | SWBF-3230-AD            | 1             |
| Wóz do transportu załogi                                 | SWT-Team 14/1,9         | 1             |
| Wóz do transportu załogi                                 | SWT-Team 10/1,9         | 1             |
| Wóz do transportu załogi                                 | SWT-Team 20/1,9         | 1             |
| Wóz techniczny                                           | SWT-Team 20/1.9/PTMK-18 | 1             |

**Tabela 4**  
**Podstawowe dane techniczne kombajnów**

| Wielkość                          | Jednostka         | Typ kombajnu |           |             |
|-----------------------------------|-------------------|--------------|-----------|-------------|
|                                   |                   | AM 85        | ATM 105   | MB 770      |
| Długość w położeniu transportowym | [mm]              | 14 050       | 20 115    | 13 800      |
| Wysokość                          | [mm]              | 3940         | 4800      | 4530        |
| Szerokość                         | [mm]              | 5510         | 6500      | 7200        |
| Ciężar                            | [t]               | 90           | 145       | 130         |
| Maks. szerokość urabiania         | [mm]              | 8000         | 9100      | 7200        |
| Maks. wysokość urabiania          | [mm]              | 5000         | 6600      | 5300        |
| Średni przekrój urabiania         | [m <sup>2</sup> ] | 40           | 48        | 38          |
| Napięcie elektryczne              | [W/Hz]            | 1000/50      | 1000/50   | 6000/50     |
| Moc zainstalowana                 | [kW]              | 474          | 542       | 702         |
| Liczba noży skrawających          | [szt.]            | 108          | 2·72/2·57 | 2·70        |
| Wydajność systemu transportowego  | [Mg/min]          | 12           | 15        | 36          |
| Prędkość jazdy                    | [m/min]           | 13,0         | 15,0      | 0,15        |
| Profil urabiania                  | [–]               | łukowy       | łukowy    | prostokątny |
| Podstawowe parametry wyrobisk     |                   |              |           |             |
| Min. wysokość                     | [mm]              | 4140         | 5000      | 4900        |
| Min. szerokość                    | [mm]              | 6510         | 7500      | 7200        |
| Maks. nachylenie wzdłużne         | [°]               | 18           | 18        | 15          |
| Maks. nachylenie poprzeczne       | [°]               | 8            | 5         | –           |



## 9. PODSUMOWANIE

Dotychczasowy poziom produkcji soli kamiennej był wynikiem realizacji projektu rozpoznania złoża i zdolności/wydolności ciągu technologicznego: urabianie – odstawa – przeróbka – wydobywanie szybem, co nie pozwalało w pełni zaspokoić rosnących potrzeb rynkowych. Wzrastające zapotrzebowanie na sól drogową, coraz lepsza logistyka sprzedaży, dysponowanie dużymi zasobami soli kamiennej i możliwość wykorzystania już istniejących urządzeń infrastruktury kopalnianej uzasadniało potrzebę zwiększenia zdolności wydobywczych. W obecnej sytuacji plan produkcji soli na lata 2021–2025 wynika z możliwości techniczno-organizacyjnych oddziału solnego i kształtuje się na poziomie 200 tys. Mg/rok przy zawartości około 95% NaCl.

Zasoby soli kamiennej w obszarze kopalni „Polkowice-Sieroszowice” szacuje się na 2 mld Mg, co przy obecnym poziomie krajowego zapotrzebowania wystarczy na około tysiąc lat.

## Literatura

- [1] Bieniasz J., Pietras J., Sadowski A., Wrzosek J.: *Dziesięciolecie pomiarów zaciskania wyrobisk w złożu solnym O/ZG Polkowice-Sieroszowice*. Przegląd Solny 2019/2020, 15: 62–67.
- [2] Dymitrowski A., Małys Ł. (red.): *Koncepcje biznesowe i strategię rozwoju w branży wydobywczej – studium KGHM Polska Miedź S.A.* Wydawnictwo Advertiva, Poznań 2017.
- [3] PN-EN 10025-2:2019-11. *Wyroby walcowane na gorąco ze stali konstrukcyjnych – Część 2: Warunki techniczne dostawy stali konstrukcyjnych niestopowych*.
- [4] PN-EN 10149-2:2014-02. *Wyroby płaskie walcowane na gorąco ze stali o podwyższonej granicy plastyczności do obróbki plastycznej na zimno – Część 2: Warunki techniczne dostawy wyrobów walcowanych termomechanicznie*.
- [5] PN-EN ISO 1461:2011. *Powłoki cynkowe nanoszone na wyroby stalowe i żeliwne metodą zanurzeniową – Wymagania i metody badań*.

mgr inż. PIOTR URBAŃSKI

mgr inż. ARTUR GAWLIK

KGHM Polska Miedź S.A.

Oddział Zakłady Górnicze „Polkowice-Sieroszowice”

Kaźmierzów 100, 59-101 Polkowice

piotr.urbanski@kghm.com

**We would like to extend our heartfelt thanks to the reviewers of papers for  
“MINING – Informatics, Automation and Electrical Engineering” journal in 2021**

**Chcielibyśmy serdecznie podziękować recenzentom artykułów do czasopisma  
„MINING – Informatics, Automation and Electrical Engineering” w 2021 roku**

*Darius Andriukaitis*, Kaunas University of Technology (Lithuania)  
*Dariusz Bańdo*, Oddział Terenowy TDT w Krakowie (Poland)  
*Vlada Gasic*, University of Belgrad (Serbia)  
*Tomasz Góral*, AGH University of Science and Technology (Poland)  
*Wojciech Horak*, AGH University of Science and Technology (Poland)  
*Józef Jonak*, Lublin University of Technology (Poland)  
*Piotr Kasza*, AGH University of Science and Technology (Poland)  
*Jacek Korski*, FAMUR S.A. (Poland)  
*Krzysztof Kotwica*, AGH University of Science and Technology (Poland)  
*Robert Król*, Wrocław University of Science and Technology (Poland)  
*Marcin Lutyński*, Silesian University of Technology (Poland)  
*Małgorzata Malec*, KOMAG Institute of Mining Technology (Poland)  
*Katarzyna Midor*, Silesian University of Technology (Poland)  
*Szymon Molski*, AGH University of Science and Technology (Poland)  
*Agata Nawrocka*, AGH University of Science and Technology (Poland)  
*Marcin Nawrocki*, AGH University of Science and Technology (Poland)  
*Grzegorz Olszyna*, AGH University of Science and Technology (Poland)  
*Piotr Piechota*, Centrum Badań i Dozoru Sp. z o.o. (Poland)  
*Edward Pieczora*, KOMAG Institute of Mining Technology (Poland)  
*Janusz Pluta*, AGH University of Science and Technology (Poland)  
*Tomasz Rokita*, AGH University of Science and Technology (Poland)  
*Zenon Rożenek*, KAZ Sp. z o.o. (Poland)  
*Józef Salwiński*, AGH University of Science and Technology (Poland)  
*Jerzy Stasica*, AGH University of Science and Technology (Poland)  
*Andrzej Strugała*, AGH University of Science and Technology (Poland)  
*Dawid Szurgacz*, PGG S.A. KWK ROW Ruch Chwałowice (Poland)  
*Mariusz Warzecha*, AGH University of Science and Technology (Poland)  
*Andrzej N. Wieczorek*, Silesian University of Technology (Poland)  
*Jerzy Wojciechowski*, AGH University of Science and Technology (Poland)





