

PRZEGLĄD SOLNY

SALT REVIEW



T O M 1 4 • 2 0 1 8



ROCZNIK POLSKIEGO STOWARZYSZENIA GÓRNICTWA SOLNEGO
YEARBOOK OF POLISH SALT MINING ASSOCIATION

PRZEGLĄD SOLNY

SALT REVIEW

2018

ROCZNIK POLSKIEGO STOWARZYSZENIA GÓRNICTWIA SOLNEGO

YEARBOOK OF POLISH SALT MINING ASSOCIATION



Kraków

RADA NAUKOWA / EDITORIAL ADVISORY BOARD

Krzysztof Bukowski (Kraków)	Jacek Motyka (Kraków)
Grzegorz Czapowski (Warszawa)	Maciej Pawlikowski (Kraków)
Aleksander Garlicki (Kraków)	Tadeusz Marek Peryt (Warszawa)
Jörg Hammer (Hanower)	Andrej Poberezhskyy (Lwów)
Grzegorz Kortas (Kraków)	Juan Jose Pueyo Mur (Barcelona)
Stefano Lugli (Modena)	Laura Rosell Orti (Barcelona)
Anatolij Makhnach (Mińsk)	Michael Schramm (Hanower)

ZESPÓŁ REDAKCYJNY / EDITORIAL COMMITTEE

Jacek Wachowiak, PSGS – redaktor naczelny / editor-in-chief (psgs@agh.edu.pl)
Tomasz Toboła, AGH – sekretarz / secretary (tob@geolog.geol.agh.edu.pl)
Katarzyna Cyran – redaktor / editor (kcyran@agh.edu.pl)
Agnieszka Maj, IMG PAN – redaktor / co-editor (maj@img-pan.krakow.pl)

WYDAWCA / PUBLISHER

Polskie Stowarzyszenie Górnictwa Solnego / Polish Salt Mining Association

ADRES REDAKCJI / EDITORIAL ADDRESS

Polskie Stowarzyszenie Górnictwa Solnego
Al. Mickiewicza 30/A-0/129, 30-059 Kraków
tel. +48 608 685 946, e-mail: psgs@agh.edu.pl
www.psgs.agh.edu.pl

© Copyright by Polskie Stowarzyszenie Górnictwa Solnego, 2018

Projekt i opracowanie graficzne okładki / The design and graphic design cover

Jacek Wachowiak / Artur Kozioł

Fotografia na okładce / Cover photo

Pofałdowane warstwy soli kamiennej, „zatonione” w masie karnalitowo-kizerytowej – obraz plastycznej tektoniki solnej.

Kopalnia Soli „Kłodawa”, poziom 690 m. Fot.: J. Sadowska i J. Wachowiak.

Folded salt layers «immersed» in the kieserite-carnallite rock mass: an image of elastic salt tectonics.

“Kłodawa” Salt Mine, 690 m Level. Photo by J. Sadowska and J. Wachowiak.

Przygotowanie do druku i druk / DTP and print

Agencja Reklamowa NOVUM, ul. Krowoderska 66/8, 31-158 Kraków

ISSN 2300-9349

Nakład: 190 egz.

PARTNERZY:





OD REDAKCJI / INTRODUCTION

Szanowni Czytelnicy!

Oddajemy w Państwa ręce 14 tom *Przeglądu Solnego*.

Przegląd Solny jest rocznikiem wydawanym przez Polskie Stowarzyszenie Górnictwa Solnego. Publikowane w nim prace dotyczą zagadnień polskiego i światowego solnictwa z zakresu geologii, górnictwa, przemysłu solnego i dyscyplin pokrewnych. Zamieszczone artykuły zostały opracowane w języku polskim lub angielskim z dwujęzycznymi streszczeniami. Wszystkie prace zostały poddane ocenie dwóch recenzentów.

Tegoroczny tom w znacznej mierze został poświęcony Kopalni Soli Kłodawa - współorganizatorowi i gospodarzowi XXIII Międzynarodowego Sympozjum Solnego *Quo Vadis Sal* 2018, pod przewodnim hasłem: Sól skarbem Kujaw i Wielkopolski.

Recenzentami artykułów zamieszczonych w Tomie 14 byli: Waław Andrusikiewicz (AGH Kraków), Krzysztof Bukowski (AGH Kraków), Stanisław Burliga (UW Wrocław), Katarzyna Cyran (AGH Kraków), Czapowski Grzegorz (PIG-PIB Warszawa), Aleksander Garlicki (AGH Kraków), Andrzej Gonet (AGH Kraków), Paweł Karnkowski (UW Warszawa), Piotr Kukiałka (CBW Engineering Kanada), Andrzej Kunstman, Agnieszka Maj (IMGPAN Kraków), Jacek Motyka (AGH Kraków), Katarzyna Poborska-Młynarska (AGH Kraków), Marek Przewoźny (UAM Poznań), Marek Skubisz (Muzeum Żup Krakowskich), Andrzej Szczepański (AGH Kraków), Tomasz Tobała (AGH Kraków), Kazimierz Urbańczyk, Jacek Wachowiak (Geosalt).

W imieniu Redakcji *Przeglądu Solnego* serdecznie dziękuję autorom, recenzentom i wszystkim osobom współpracującym za poświęcony czas i pracę włożoną w przygotowanie niniejszego tomu.

Serdecznie dziękuję naszym Partnerom: **Kopalni Soli Kłodawa S.A., IKS Solino S.A., G-Drilling S.A., Gaz-System S.A., Kopalni Soli Wieliczka S.A., CFT Polska Sp. z o.o., Sandvik Polska Sp. z o.o., GWE Pol-Bud Sp. z o.o.** za udostępnienie materiałów do publikacji oraz wsparcie logistyczne, merytoryczne i finansowe organizacji XXIII Międzynarodowego Sympozjum Solnego „Quo Vadis Sal”, którego elementem było opracowanie i wydanie 14 tomu *Przeglądu Solnego*.

Jestem przekonany, że nasza działalność przyniesie realne korzyści polskiemu górnictwu solnemu a potomnym pozostawi cenną informację naukowo-techniczną.

Dear Readers,

We are passing to you the fourteenth volume of the *Salt Review*, which is the year book published by the Polish Salt Mining Association.

The works contributed to the *Salt Review* concern the issues relating to salt mining in Poland and abroad, with the concentration on geology, mining, industry, and the associated fields. The papers are printed either in Polish or English versions, with bilingual abstracts. All the works have been appraised by two peer reviewers.

This year's volume has been devoted mainly to the Kłodawa Salt Mine, the co-organiser and host of the XXIII *Quo Vadis Sal* International Salt Symposium 2018, under the motto: A Treasure of the Kujawy and Wielkopolska Regions.

The following were the Reviewers of the papers published in the 14 Volume: Waław Andrusikiewicz (AGH Kraków), Krzysztof Bukowski (AGH Kraków), Stanisław Burliga (UW Wrocław), Katarzyna Cyran (AGH Kraków), Czapowski Grzegorz (PIG-PIB Warszawa), Aleksander Garlicki (AGH Kraków), Andrzej Gonet (AGH Kraków), Paweł Karnkowski (UW Warszawa), Piotr Kukiałka (CBW Engineering Kanada), Andrzej Kunstman, Agnieszka Maj (IMGPAN Kraków), Jacek Motyka (AGH Kraków), Katarzyna Poborska-Młynarska (AGH Kraków), Marek Przewoźny (UAM Poznań), Marek Skubisz (Muzeum Żup Krakowskich), Andrzej Szczepański (AGH Kraków), Tomasz Tobała (AGH Kraków), Kazimierz Urbańczyk, Jacek Wachowiak (Geosalt).

On behalf of the *Salt Review* editors, I wish to thank cordially all the Authors, Reviewers, and other Associates for their sincere dedication to the preparation of the present volume.

I also take this opportunity to thank our Partners: **Kopalni Soli Kłodawa S.A., IKS Solino S.A., G-Drilling S.A., Gaz-System S.A., Kopalni Soli Wieliczka S.A., CFT Polska Sp. z o.o., Sandvik Polska Sp. z o.o., GWE Pol-Bud Sp. z o.o.** for their assistance in the process of data collection by the Authors and making materials available for research publications, as well as logistic, substantive, and financial support offered for the operations conducted by the Polish Salt Mining Association.

I am convinced that our activities will bring measurable benefits to the Polish salt mining business and supply valuable scholarly and technological information.

Jacek Wachowiak

Redaktor Naczelny / Editor-in-Chief



SPIS TREŚCI / CONTENTS

I. ARTYKUŁY / PAPERS

- 5** **Katarzyna POBORSKA-MŁYNARSKA**
Dzieje odkrycia, rozpoznania geologicznego i eksploatacji złoża soli kamiennej w Kłodawie
History of the discovery, exploration and exploitation of the rock salt deposit in Kłodawa, Central Poland
- 15** **Józef BIENIASZ, Jakub PIETRAS**
Deformacje górotworu wywołane eksploatacją pola nr 2 w Kopalni Soli „Kłodawa” S.A.
Rock mass deformation caused by the exploitation of field No. 2 in the „Kłodawa” Salt Mine S.A.
- 21** **Kajetan d’OBYRN, Jacek MOTYKA, Waclaw STASZCZAK**
Charakter i geneza wycieku 55/750 w Kopalni Soli „Kłodawa”
The characteristic and origin of the 55/750 leakage in the “Kłodawa” Salt Mine
- 29** **Grzegorz CZAPOWSKI, Łukasz NOWACKI, Jacek CHELMIŃSKI, Andrzej GLUSZYŃSKI, Leszek SKOWROŃSKI**
Ewaporaty górnego permu (cechsztyń) na obszarze centralnej części monokliny przedsudeckiej (SW Polska) – warunki występowania i wykształcenie
Geology of Upper Permian (Zechstein) evaporites in the central Fore-Sudetic Monocline (SW Poland)
- 54** **Kazimierz URBAŃCZYK**
Model numeryczny procesu ługowania (Proces ługowania kawern solnych cz. III)
Numerical model of leaching process. (Salt cavern leaching process p. III)
- 70** **Joanna JAWORSKA, Krzysztof BOROWCZYK**
Materiał magnetyczny w części nierozpuszczalnej soli wysadu Góra (otwór G-40) – najnowsze wyniki i ich odniesienie do wcześniejszych prac
Magnetic particles in the insoluble material from Góra Salt Dome (G-40) – the latest results and their reference to previous works
- 77** **Piotr KUKIAŁKA, Tomasz TOBOLA**
Petrologiczna i geochemiczna charakterystyka soli kamiennych formacji Lotsberg w środkowej Albercie (Kanada)
Petrological and geochemical characteristic of Lotsberg Salt Formation in Central Alberta (Canada)
- 88** **Natalia S. PETROVA, Natalia Y. DENISOVA, Aliaksei V. KIRYKOVICH**
Klasyfikacja litogenetyczna soli potasowych jako rud potasu w potasonośnym basenie Prypeci
Lithogenetic classification of the potash salts as potash ores occurring in the Pripyat Potash-Bearing Basin
- 95** **Joanna JAWORSKA, Marcin SIEPAK**
Polskie sole kamienne vs sole himalajskie – analiza porównawcza wybranych składników soli spożywczych
Polish rock salts vs Himalayan salts – comparative analysis of selected components of table salts
- 105** **Andrzej BŁASZCZYK, Grzegorz KOŹBA**
Analiza porównawcza rurociągów PE i stalowych w aspekcie techniczno-ekonomicznym
Comparative analysis of PE and steel pipelines in technical and economic aspect
- 117** **Jerzy PRZYBYŁO, Elżbieta WŁODARCZYK-ŻUREK**
Katastrofa wodna Kłoski – Colloredo 2 w kopalni soli „Wieliczka”. Geologiczne i historyczne tło wydarzeń sprzed 150 lat
Flood disaster in the Kłoski-Colloredo 2 cross-corridors of the “Wieliczka” salt mine. Geological and historical background of the events of 150 years ago
- 132** **Agnieszka WOLAŃSKA**
Rzeźbiarstwo w soli
Sculpture in salt
- 145** **Grzegorz KŁYS, Aleksandra ZIARKIEWICZ, Jerzy PRZYBYŁO, Elżbieta WŁODARCZYK-ŻUREK**
Chrząszcze w soli
Beetles in rock salt
- 148** **Waclaw ANDRUSIKIEWICZ**
Gruzja – reminiscencje z wyprawy
Georgia – reminiscences from the expedition

II. KOMUNIKATY / NOTICES

- 163** **Wspomnienie o Andrzeju Lasoniu (1957-2018)**



I. ARTYKUŁY / PAPERS

Dzieje odkrycia, rozpoznania geologicznego i eksploatacji złoża soli kamiennej w Kłodawie

History of the discovery, exploration and exploitation of the rock salt deposit in Kłodawa, Central Poland

Katarzyna POBORSKA-MŁYNARSKA¹

¹AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, e-mail: kpm@agh.edu.pl

STRESZCZENIE

Kopalnia soli w Kłodawie założona na złożu Kłodawa 1 w wysadzie soli cechsztyńskich jest od wielu lat największym producentem soli kamiennej w kraju. W artykule przedstawiono historię odkrycia wysadu kłodawskiego i założenia kopalni w 1949 r., technologię eksploatacji, naturalne zagrożenia w złożu, podsumowanie działalności i doświadczenia górniczego i kierunki rozwoju kopalni w przyszłości. Wydobywanie zmieniało się w ostatnim dziesięcioleciu od 400 tys. do przeszło 800 tys. Mg rocznie. Kopalnia dysponuje wyeksploatowanymi wyrobiskami o objętości około 19 mln m³. Rozpatrywana jest możliwość likwidacji komór poprzez wypełnianie ich masowymi drobnoziarnistymi odpadami w technologii podsadzki hydraulicznej lub pastowej. W kopalni soli w Kłodawie istnieją obecnie możliwości zrealizowania optymalnego scenariusza funkcjonowania kopalni soli: od wybierania surowca aż do wyczerpania zasobów, po pełne wykorzystanie gospodarcze przestrzeni poeksploatacyjnej.

Słowa kluczowe: górnictwo solne, kopalnia soli w Kłodawie, technologia eksploatacji soli, produkcja soli

ABSTRACT

The Kłodawa Salt Mine established in the Zechstein salt dome in central Poland has been the largest producer of rock salt in the country for many years. The article presents the history of the discovery of the Kłodawa salt dome and the founding of the mine in 1949, exploitation techniques, natural threats in the mine, summary of mining operations and expe-

rience and directions of mine future development. The output of the mine has changed in the last decade from 400,000 up to over 800,000 Mg per year. During decades of salt extraction the significant volume of about 19 million m³ of excavations has been created. The possibility of liquidation of chambers by filling them with mass fine-grained waste is considered. In the Kłodawa mine, there are currently possibilities to realize the optimal scenario of the salt mine operation, i.e. from salt extraction to full economic use of post-exploitation voids.

Key words: salt mining, Kłodawa salt mine, salt exploitation techniques, salt production

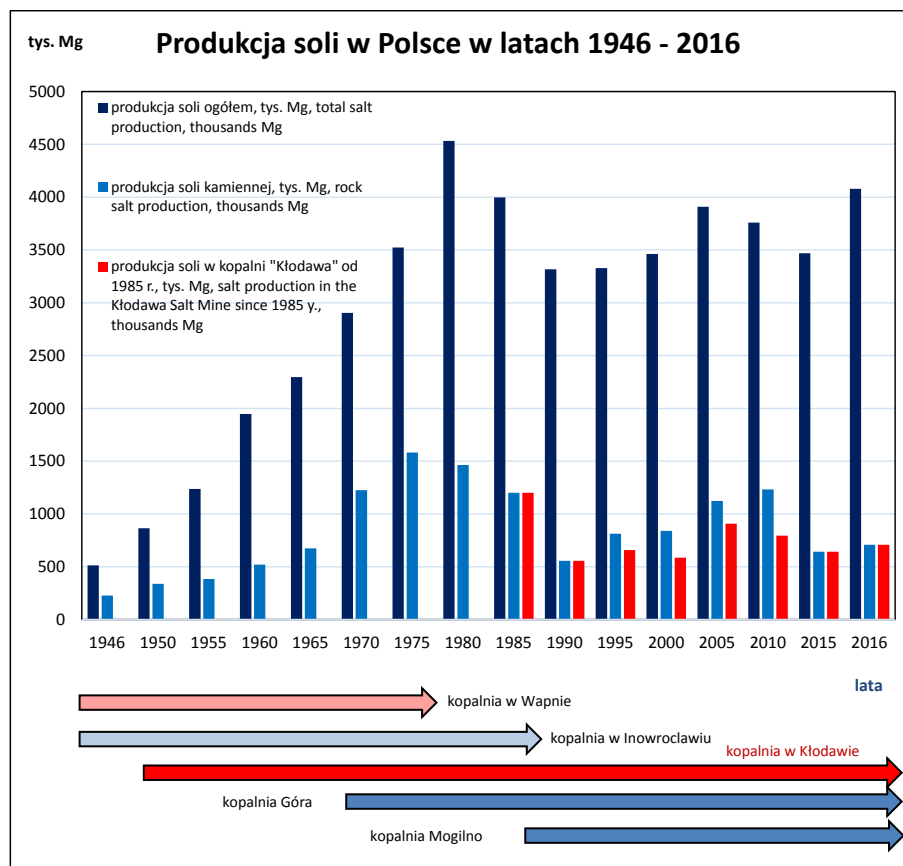
1. WSTĘP

Rozwój górnictwa solnego w Polsce powojennej wiąże się głównie z zagospodarowaniem wysadów solnych na Niziu Polskim w Polsce środkowej (Ryc. 1). W regionie tym od pierwszych dziesięcioleci XX wieku zagospodarowane były dwa wysady solne: Inowrocław i Wapno. W Inowrocławiu, w podziemnej szybowej kopalni „Solno”, czynnej w latach 1924–1986 produkowano solankę, natomiast w kopalni w Wapnie, od 1920 r. wydobywano sól kamienną do czasu katastrofального zatopienia kopalni w 1977 r. Pierwszym zagospodarowanym w latach powojennych wysadem solnym był wysad w Kłodawie, gdzie w 1949 r. rozpoczęto budowę kopalni, w której do dziś trwa eksploatacja soli kamiennej. W kolejnych latach powstały otworowe kopalnie produkujące solankę: na wysadzie solnym Góra w 1968 r. i na wysadzie Mogilno w 1986 r. (złoże Mogilno I). Obecnie trwa postępowanie formalno-prawne związane z projektowaną przez PKN



Ryc. 1. Rozmieszczenie udokumentowanych złóż soli kamiennej w Polsce środkowej (wycinek „Mapy rozmieszczenia złóż rud metali i surowców chemicznych w Polsce wg stanu na 31 XII 2017 r.” Państwowego Instytutu Geologicznego [http://geoportal.pgi.gov.pl/surowce/mapy])

Fig. 1. Documented rock salt deposits in Central Poland (a section of the map of "Metal ores and chemical raw materials deposits in Poland, as of 2017-12-31", Polish Geological Institute [http://geoportal.pgi.gov.pl/surowce/mapy])



Ryc. 2. Całkowita produkcja soli w Polsce oraz okresy działalności zakładów górniczych w złóżach soli w Polsce środkowej w latach 1946–2016 (Rocznik statystyczny przemysłu, Bilans gospodarki surowcami mineralnymi Polski i świata

Fig. 2. Total salt production in Poland and time span of mining activity in salt deposits in Central Poland in the years 1946–2016 (Rocznik statystyczny przemysłu, Bilans gospodarki surowcami mineralnymi Polski i świata)

Orlen budową kopalni otworowej dla wytwarzania solanki na wysadzie solnym Lubień Kujawski.

Inną drogą zagospodarowania wysadów solnych tego regionu jest budowa techniką ługowniczą podziemnych magazynów na paliwa ciekłe i gazowe, podczas której produkowana jest solanka. Zainteresowanie tą techniką magazynowania, w związku z jej rozwojem na świecie oraz zapotrzebowaniem na objętości magazynowe w kraju, doprowadziło do uruchomienia na przełomie 1997/1998 roku pierwszego w Polsce podziemnego magazynu gazu ziemnego założonego w wysadzie solnym Mogilno (KPMG Mogilno, złożo Mogilno II). W kilka lat później, w 2002 roku oddano do użytkowania podziemny magazyn ropy i paliw w wysadzie solnym Góra (PMRiP „Góra”). W najbliższych latach (2018 – 2022), przewiduje się budowę kolejnego podziemnego magazynu gazu w wysadzie Damasławek. W tym celu, przedsiębiorstwo Operator Gazociągów Przesyłowych Gaz-System S.A. prowadzi rozpoznanie geologiczne złoża.

Całkowitą produkcję soli i solanki w Polsce w latach 1946-2016 oraz okresy działalności zakładów górniczych w wysadach solnych Polski środkowej przedstawiono na ryc. 2. Na tym tle wyróżnia się kopalnia w Kłodawie, która do dziś pozostaje jedyną podziemną kopalnią soli kamiennej, założoną w wysadzie solnym.

2. ODKRYCIE WYSADU KŁODAWSKIEGO, ZAŁOŻENIE KOPALNI I PIERWSZE LATA BADAŃ GEOLOGICZNYCH

Historia założenia kopalni w Kłodawie zaczyna się w 1939 r. odkryciem badaniami geofizycznymi struktury solnej Izbica Kujawska–Kłodawa–Łęczycza, której środkową część stanowi kłodawski wysad solny. Odkrycia dokonał profesor Edward Janczewski – geofizyk Państwowego Instytutu Geologicznego. Zbadał on przebieg tej struktury od Izbicy Kujawskiej do Kłodawy. Dalsze prace zostały przerwane z powodu wybuchu wojny. Wyniki badań nie zostały ogłoszone drukiem, gdyż cały opracowany już materiał przepadł podczas pożaru budynku Państwowego Instytutu Geologicznego pod koniec 1944 r. W sprawozdaniu, napisanym w 1946 r. Janczewski pisze: „Pomiary grawimetryczne, rozpoczęte na Kujawach w jesieni 1937 r., doprowadziły do odkrycia (4.VIII.1939) pierwszych oznak wielkiego zaburzenia ujemnego w okolicy Izbicy. Już po paru dniach pracy na tym terenie doszedłem do przeświadczenia, że ta anomalia wywołana jest przez obecność płytko ukrytego i potężnego wysadu solnego...” (Poborski, 1966). Prace geofizyczne były kontynuowane w powojennych latach. Wyniki badań grawimetrycznych posłużyły lokalizacji wierceń poszukiwawczych, prowadzonych przez Państwowe Przedsiębiorstwo Poszukiwań Naftowych. Już pierwszym wierceniem w Kłodawie K1, założonym w 1947 r. i odwierconym do głębokości 676 m napotkano wysad solny, przy czym ostatnie 172 m prowadzone były w warstwie soli potasowo-magnezowych. W następnych latach wykona-

no szereg wierceń w Kłodawie i jej okolicy. Kilka kolejnych wierceń potwierdziło obecność soli potasowych w złożu. Odkrycie w rejonie Kłodawy wysadu z solami potasowymi stało się sensacją w środowisku geologicznym i górniczym i pociągnęło za sobą już w 1949 r. decyzję o budowie kopalni i zakładów soli potasowych (Poborski, 1966). Utworzono Dyрекcję Budowy Zakładów Soli Potasowych w Welnowcu (Katowice) z kierownictwem budowy kopalni w Kłodawie, później przekształconym w samodzielne Przedsiębiorstwo Budowy Kopalni Kłodawa (Chwałek, 2010). W latach 1949-50 rozpoczęto zgłębianie szybów, po czym nastąpiło rozcięcie złoża chodnikami najpierw na poziomach 450 i 525. Jednak roboty chodnikowe poprowadzono według planu sporządzonego na podstawie zbyt uproszczonego obrazu geologicznego złoża, co wkrótce dało znać o sobie wieloma problemami górniczymi: nie napotkano spodziewanego, grubego pokładu soli potasowych, a rzeczywiste zasoby tych soli okazały się niewystarczające pod względem ilościowym i jakościowym; ponadto okazało się, że ponad 50% objętości wysadu zajmują skały płonne, głównie zubry; w wyrobiskach pojawiły się źródła solanek i nie było pewne, czy kopalni nie zagraża zatopienie (Poborski, 1966).

Wobec poważnych trudności w rozpoznaniu wewnętrznej budowy geologicznej wysadu, opiekę i kontrolę nad pracami przejął w 1955 r. Instytut Geologiczny. Ogrom wyzwań geologicznych, przed jakim stanęli wówczas geolodzy ilustruje wspomnienie profesora Poborskiego (Poborski, 1966): „W zespole zaledwie paru osób z ramienia Instytutu Geologicznego (J. Poborski, Z. Werner, później także J. Orska i inni) wypadło nam rozwiązywać bardzo trudne zadania geologiczno-górnicze. Autor przypomina sobie, iż zjechawszy wówczas na dół, w głąb wysadu, znalazł się jak gdyby w dżungli, jaką była dla niego skłębiona masa rozmaitych nierozpoznanych jeszcze warstw skalnych. Działo się to bowiem w tym okresie rozwijania się naszej geologii soli, w którym nie umiano dobrze rozróżniać cechsztyńskich soli starszych, młodszych i najmłodszych. Wyrażając się stylem geologicznym, nie była jeszcze rozwiązana stratygrafia serii solnej w wysadzie kłodawskim. (...) W ciągu paru lat, w ścisłej współpracy z kierownictwem robót górniczych kierowaliśmy chodnikowymi robotami rozpoznawczymi i wierceniami wyprzedzającymi je. Uczyliśmy się przy tym rozeznawać zagrożenie wodne ze strony napotkanych źródeł cieczy. Setki godzin zużyto na zdejmowanie geologiczne poziomów kopalnianych. Uzyskane plany i przekroje stwarzały podstawę rozwiązania stratygrafii serii solnej i tektoniki wewnętrznej wysadu”.

Przez kolejne lata dokonano rozcięcia poziomów 525 i 600 jako eksploatacyjnych, a także, chociaż w mniejszym stopniu – poziom 450. Rozpoznano i okonturowano złożo soli kamiennej białej występującej wzdłuż północno-wschodniej ściany wysadu oraz w jego południowo-zachodniej czę-

ści, soli różowej oraz soli potasowo-magnezowych. Wiercenia prowadzone z powierzchni umożliwiły rozpoznanie morfologii zwierciadła solnego, członów litologicznych serii solnej w stropowej części wysadu, miąższości i litologii czapy gipsowej oraz stosunków hydrogeologicznych w warstwach nadkładu ponad złożem i w jego otoczeniu. W miarę postępującego rozpoznania budowy geologicznej wysadu, następowała weryfikacja zasobów soli kamiennej i soli potasowych oraz ich formalne dokumentowanie. Historia i dokumentacja tych prac jest zachowana w archiwach kopalni, przede wszystkim w kolejnych dokumentacjach geologicznych (np. Werner Z. 1958, 1962, 1972). Ostatecznie, wobec braku wystarczających zasobów soli potasowo-magnezowych, kopalnia w Kłodawie została producentem soli kamiennej. Zostało to zaznaczone połączeniem Zakładów Soli Potasowych z Przedsiębiorstwem Budowy Kopalni Kłodawa i utworzeniem Kopalni Soli „Kłodawa” w 1958 r. (Ryc. 3).

3. STRUKTURA PRZESTRZENNA KOPALNI

Przestrzenna struktura kopalni rozwijała się przez dziesiątki lat w ścisłym powiązaniu ze stopniowo rozpoznawaną budową geologiczną wysadu i z warunkami bezpieczeństwa przed zagrożeniem wodnym.

Obszar górniczy kopalni „Kłodawa 1” zajmuje środkową część wysadu kłodawskiego i na mapie zarysowuje się jako prostokąt o powierzchni przekraczającej 21,5 km². Zasoby złoża udokumentowane są do głębokości 1000 m p.p.t..

Złoże udostępnione zostało trzema szymbami: *Michał*, *Barbara* i *Chrobry*, ukończonymi odpowiednio w latach 1955, 1965 i 1971. Szyb *Michał* jest szymbem wydobywczym, wdechowym, materiałowym i zjazdowym. Leżący w pobliżu szyb *Barbara*, wydobywczy i wdechowy, jest najgłębszy – przekracza 800 m głębokości. Szyb *Chrobry* jest położony w północno-zachodniej części obszaru górniczego. Jest to szyb wentylacyjny. W kopalni zgłębiono ponadto dwa ślepe szymbiki: *północny* i *południowy*, łączące poziomy kopalni. Obecnie czynny jest tylko szyb północny służący do jazdy ludzi, transportu materiałów i urobku.

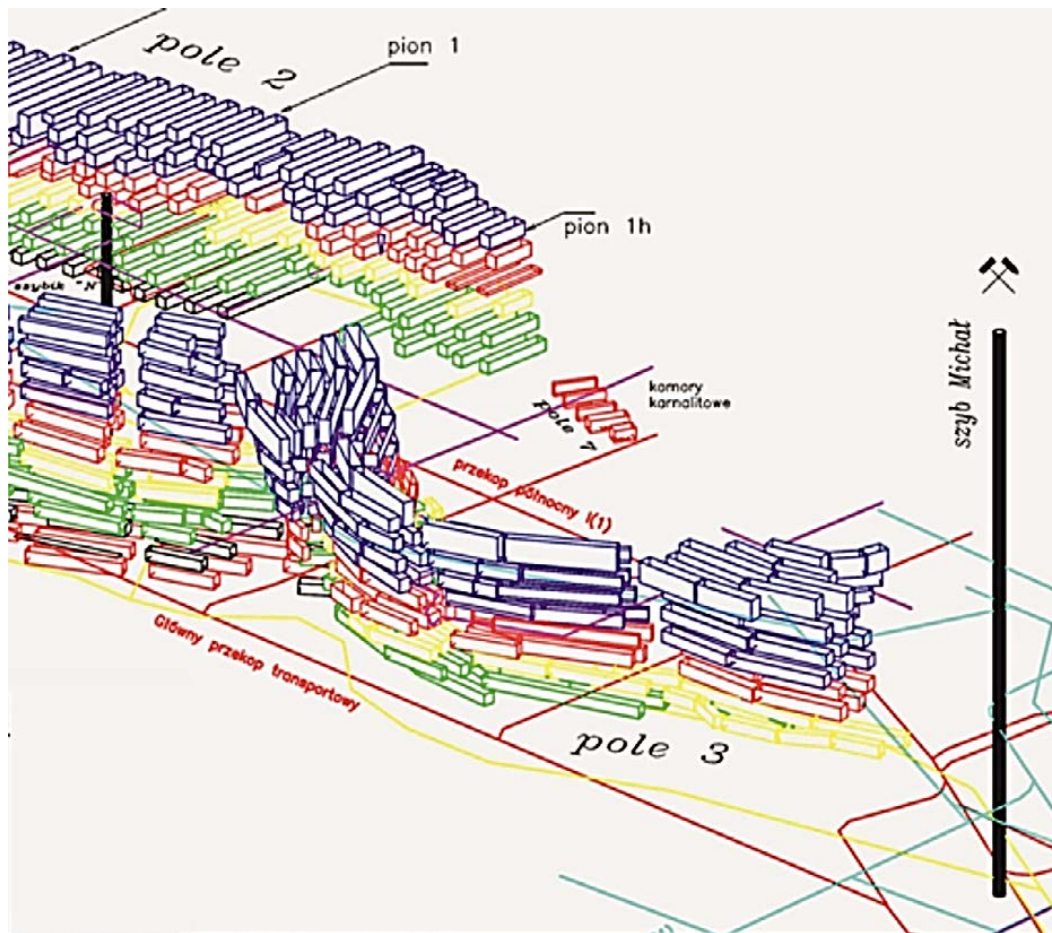
W kopalni zostały założone poziomy główne: 450, 525, 600 i 750. Na poszczególnych poziomach złożo rozcięto wyrobiskami korytarzowymi podłużnymi i poprzecznymi, udostępniającymi wydzielone w wysadzie pola eksploatacyjne, tzn. skupienia soli o znaczeniu przemysłowym. Obecnie wydziela się w złożu 6 pól eksploatacyjnych soli kamiennej i jedno pole soli potasowo-magnezowej, numerowanych od 1 do 7. W granicach pól eksploatacyjnych poziomy podzielone są dodatkowo na międzypozioły o wysokości 25 m lub 30 m (Ryc. 4). Obecnie w dwóch polach eksploatacyjnych (nr 2 i 3) zakładane są podpoziomy poniżej poziomu 750: podpoziom 780 i 810. Tak więc rozpiętość wyrobisk kopalni w pionie sięga 360 m (od poziomu 450 do 810).

Udostępnianie różnych partii wysadu i jego zasobów, połączone z rozpoznaniem geologicznym odbywało się stopniowo. Szczególnie intensywne prace rozpoznawcze prowadzone były w latach 50-ych i 60-ych ubiegłego wieku, kiedy to



Ryc. 3. Kopalnia Soli „Kłodawa”, lata 1960-te.

Fig. 3. "Kłodawa" Salt Mine 1960s



Ryc. 4. Wycinek przestrzennej struktury kopalni soli w Kłodawie, przedstawiającej rozmieszczenie komór solnych w polach eksploatacyjnych i na międzypoziomach (wg CHEMKOP, „Kopalnia Soli „Kłodawa” – schemat przestrzenny wyrobisk górniczych. Materiały archiwalne Kopalni Soli Kłodawa SA)

Fig. 4. Section of the scheme of salt chamber distribution in the exploitation fields at the interlevels in the salt mine in Kłodawa (according to: CHEMKOP. Kłodawa salt mine - spatial scheme of mining excavations. Archives of the Kopalnia Soli Kłodawa SA)

budowa geologiczna wysadu została zbadana bezpośrednio nie tylko wierceniami z powierzchni, ale też w wyniku szerokiego rozcięcia chodnikami na poziomach: 450, 525 i 600 oraz podziemnymi wierceniami kierunkowymi. I tak np.: drążenie wyrobisk na poziomie 600 rozpoczęło się w 1955 r. po zgłębieniu szybu Barbara, udostępnienie poziomu 750 w polu eksploatacyjnym nr 2 i 3 nastąpiło w końcu lat 1970-ych i na początku 1980-ych, a w polu nr 5 od 2006 roku.

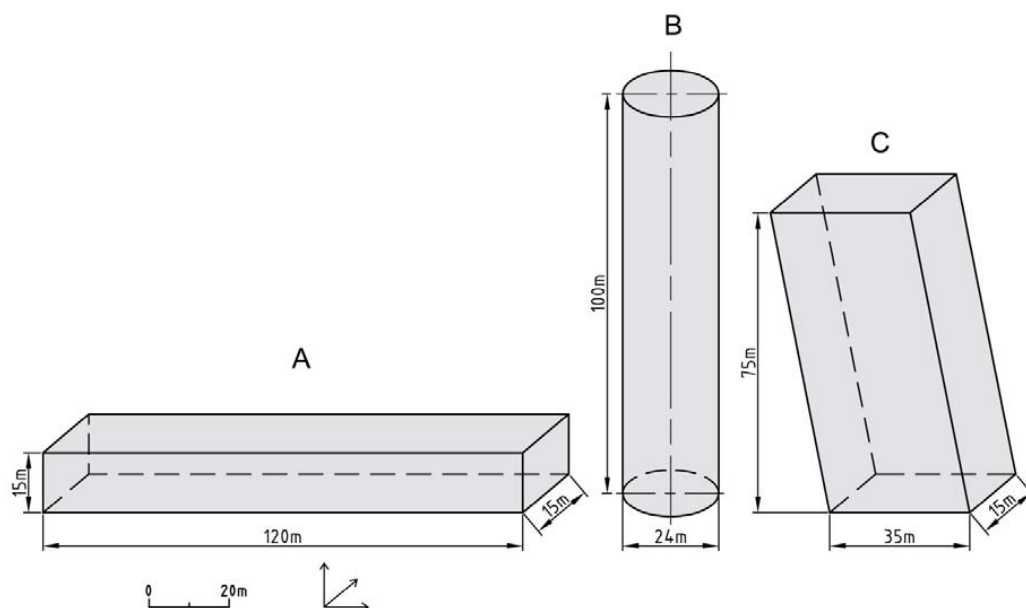
Dla zabezpieczenia przed zagrożeniem wodnym wydziela się w złożu solnym filary bezpieczeństwa – graniczne i ochronne. Główną ich rolę jest ochrona kopalni przed dopływem wód podziemnych spoza wysadu. Stanowią one nieodłączny element struktury przestrzennej kopalni. Wymiary tych filarów i sposób ich wyznaczania był przedmiotem ekspertyz wykonywanych dla kopalni kłodawskiej. Zdobywane tu doświadczenie posłużyło opracowywaniu przepisów i instrukcji dotyczących prowadzenia robót górniczych w wysadach solnych.

W kopalni wyznaczono następujące filary:

- poniżej zwierciadła solnego pozostawiona jest stropowa półka bezpieczeństwa o grubości 200 m i 150 m,

- przy ścianach wysadu pozostawione są filary graniczne o grubości 50 m (do głębokości 600 m) i 75 m (poniżej głębokości 600 m),
- filary ochronne dla szybów mają średnicę 200 m do głębokości 600 m oraz 300 m poniżej 600 m głębokości,
- wokół otworów wiertniczych z powierzchni pozostawione są filary o średnicy równej 100 m dla soli kamiennych oraz 200 m w przypadku nawiercenia soli magnezowo-potasowych; ponadto pod dnem otworu wiertniczego pozostawia się filar o grubości 50 m,
- filar wzdłuż anhydrytu głównego, jako potencjalnie wodonośnej warstwy, o szerokości 30 m.

Podczas eksploatacji systemem komorowym w złożach soli kamiennej zazwyczaj nie likwiduje się zbędnych wyrobisk korytarzowych, ani też wyeksploatowanych komór. Komory są tak projektowane, aby zachowywały długotrwałą stateczność geomechaniczną. Z tego powodu, w ciągu kilkudziesięciu lat eksploatacji soli w kopalni kłodawskiej powstały podziemne puste przestrzenie o wielkich objętościach. Dotychczas wykonano około 1000 komór eksploatacyjnych,



Ryc. 5. Kształty i wymiary komór eksploatacyjnych w kopalni soli w Kłodawie.
Fig. 5. Shapes and dimensions of the exploitation chambers in the Kłodawa salt mine

a wyrobiska korytarzowe tworzą sieć o długości około 350 km. Łączna objętość wszystkich pustek sięga 19 mln m³.

Obecnie struktura przestrzenna kopalni jest nadal poszerzana: prowadzi się udostępnienie i rozcięcie pola nr 5 pomiędzy poziomem 600 i 750 oraz wspomniane wcześniej udostępnienie i rozcięcie podpoziomów 780 i 810 w polu nr 2 i 3.

4. TECHNOLOGIA EKSPLOATACJI

Tradycyjnym sposobem eksploatacji w kopalniach soli w Polsce były różne odmiany systemu komorowego właściwego. W czasach budowy kopalni w Kłodawie polskie górnictwo solne mogło korzystać nie tylko z niemieckich doświadczeń eksploatacji soli w wysadach, ale miało już własne bogate doświadczenia zdobyte w kopalni w Wapnie, w której eksploatację soli rozpoczęto w latach 1920-ych oraz w kopalni „Solno” w Inowrocławiu, gdzie eksploatację solanki podjęto na początku lat 1930-ych. Dla złoża solnego w Kłodawie zaprojektowano kilka odmian systemu komorowego w wersji komór wysokich i komór niskich, z których w różnych okresach czasu zastosowano i wypróbowano następujące:

- system komór niskich z przodkiem spągowo-schodowym,
- system komór niskich z przodkiem stropowo-schodowym,
- system komór wysokich cylindrycznych,
- system komór wysokich równoległościennych (zwanymi prostopadłościennymi).

System komór niskich z przodkiem stropowo-schodowym znany z kopalni Wapno, został przystosowany do warunków kopalni kłodawskiej. Pozostałe systemy opracowano oryginalnie dla złoża kłodawskiego.

Ze względu na duże zróżnicowanie budowy geologicznej w poszczególnych polach eksploatacyjnych sól wybierana była różnymi systemami, które w miarę postępu eksploatacji i gromadzenia górniczych doświadczeń były ulepszone i dostosowywane do lokalnych warunków złożowych. Na ryc. 5 przedstawiono kształty, wymiary i wzajemne położenie komór w poszczególnych odmianach systemu komorowego.

Komorami wysokimi równoległościennymi wybierano NW część pola 1. od lat 1960-ych do 1980-ych. Kształt komór pozwalał na wybieranie, przy północno-wschodniej ścianie wysadu, stromo zapadających warstw soli o ograniczonej miąższości, (Ryc. 5C). Wykonano kilkanaście takich komór. Miały one wymiary: szerokość 15 m, długość do ok. 35 m, wysokość przeważnie 75 m, a nachylone były zgodnie z zapadaniem warstw. Rozdzielone były filarami o szerokości 15 m. Komory były podzielone na 25-metrowej wysokości międzypoziomy (piętra), w których eksploatację prowadzono jednocześnie, z niewielkim wyprzedzeniem w piętrach wyższych dla samoczynnego staczania się urobku na spąg komory. Jednakże, z wpływem czasu doszło do odspajania się warstw solnych z ociosów, komory zostały podsadzone, a system zaniechany.

Wysokimi komorami cylindrycznymi eksploatowano sól w środkowej części pola 2 w latach 1970-ych i 1980-ych (Ryc. 5B). Wybieranie tym systemem prowadzono przy pionowym rozcięciu na międzypoziomy o wysokości 25 m. Złoże wybierane było komorami o średnicy 24 m i wysokości 75 m lub 100 m. Eksploatację prowadzono z wyprzedzeniem w piętrach niższych i samoczynnym spadaniem urobku na spąg komory. Wybieranie soli komorami cylindrycznymi zatrzymano po pojawieniu się w r. 1985 w sąsiedztwie jednej z nich inten-

sywnego wycieku. Wieloletnie pomiary geodezyjne w rejonie komór cylindrycznych wykazały, że pomimo obserwowanej dobrej do dziś stateczności geomechanicznej komór cylindrycznych, górotwór w ich otoczeniu ulega najbardziej intensywnym – z mierzonych dotychczas w złożu – deformacjom.

Tak więc okazało się, że w geologicznych warunkach kopalni w Kłodawie systemy komór wysokich, pomimo zalet ekonomicznych czy organizacyjnych, jakimi są np. wyższy wskaźnik wykorzystania zasobów czy koncentracja wydobycia, nie są korzystne. W długoterminowej perspektywie, wyrobiska o tak dużych rozmiarach są przyczyną rozwoju intensywniejszych, niż w przypadku komór niskich, postępujących deformacji w otaczającym górotworze.

Obecnie, jako jedyny sposób wybierania soli, stosowany jest wypróbowany system komór niskich, w którym komory mają kształt leżących prostopadłościów (Ryc. 5A). System ten, w obu odmianach: z przodkiem schodowo-stropowym i schodowo-spągowym stosowano we wszystkich polach eksploatacyjnych kopalni od początku wydobycia. Komory poprzeczne wykonywane na tym samym poziomie rozdzielone są filarami międzykomorowymi, a na poszczególnych poziomach półką międzypoziomową. Wymiary komór i filarów międzykomorowych oraz grubość półek międzypoziomowych mają różne wymiary zależne od głębokości. Typowe wymiary komór w układzie poprzecznym, którymi złożo zostało wybrane pomiędzy poziomami 450 i 600 to: szerokość 15 m, wysokość 15 m oraz długość około 100–200 m. Sąsiednie komory rozdzielone są filarami o szerokości 15 m a pomiędzy kolejnymi międzypoziomami pozostawiona jest półka o grubości 10 m.

System komór niskich ma dwie odmiany:

- komory niskie z przodkiem stropowo-schodowym
- komory niskie z przodkiem spągowo-schodowym.

Wyeksploatowane komory nie są likwidowane. Na ogół, zgodnie z obserwacjami, komory niskie wykazują kilkudziesięcioletnią stateczność we wszystkich polach kopalnianych.

W warunkach kopalni kłodawskiej najlepiej sprawdził się system komór niskich. Jest on najbardziej uniwersalny, a jego odmiana poprzeczna okazała się najbardziej korzystna ze względu na stateczność komór. Jest on stale usprawniany i dostosowywany do nowych możliwości, jakie stwarza mechanizacja robót górniczych. Np. w ostatnich latach został zmieniony sposób rozcinania komór z powodu zastosowania samojezdnych wozów wierzących.

W kopalni w Kłodawie jedyną techniką służącą do urabiania skał pozostaje do dziś technika strzelnicza. Do wiercenia otworów strzałowych używa się górniczych wiertarek i samojezdnych wozów wierzących. Stosuje się materiały wybuchowe amonowo-saetrzane. Ze względu na panujące w niektórych częściach kopalni zagrożenie metanowe oraz wyrzutami gazów i skał zastosowano system strzelania centralnego z powierzchni.

Ładowanie i odstawa urobku w komorach odbywa się z użyciem ładowarek kołowych jednonaczyniowych i wozów odstawczych. Na poziom transportowy urobek opuszczany jest grawitacyjnie poprzez wielkośrednicowe otwory zsypowe. Do szybu urobek transportowany jest koleją podziemną w wozach kopalnianych.

W wyrobiskach korytarzowych i komorowych kopalni zasadniczo nie ma potrzeby stosowania obudowy. Obudowa wykonywana jest sporadycznie, jako obudowa ŁP, kotwowa lub murowa. Konieczność stawiania obudowy wynika głównie z lokalnej budowy geologicznej złoża i związanych z nią właściwości górotworu. Na przykład: obudowy wymagają odcinki wyrobisk korytarzowych prowadzonych w niektórych skałach płonnych serii solnej, takich jak ilowiec solny, il solny czy strefy druzgotów w zubrzu.

Na przestrzeni 65 lat działalności kopalni, na każdym etapie procesu technologicznego eksploatacji soli można obserwować znaczny rozwój. Dotyczy to np. techniki wiercenia otworów strzałowych, ładowania urobku w komorze, odstawy czy transportu

5. ZAGROŻENIA NATURALNE

Kopalnia soli w wysadzie kłodawskim stała się od pierwszych lat swej działalności szkołą eksploatacji w obliczu zagrożeń naturalnych, które niespodziewanie ujawniły się na dużą skalę już na początku rozcinania złoża. W złożu kłodawskim, już w 1956 r., w przodku chodnika drążonego w polu nr 4 pojawił się niebezpieczny wyciek. Tamowanie tego wycieku, do dziś czynnego, stanowi swoistą historię w dziejach kopalni.

Równie wcześniej, bo w 1957 r. ujawniła się w kopalni w dotkliwy sposób obecność gazów. Podczas drążenia chodnika w polu nr 1 doszło do największego dotychczas wyrzutu gazów i skał, podczas którego wyrzucone zostały skały o masie około 800 ton. Do kolejnych silnych wyrzutów dochodziło podczas prowadzenia robót w polach nr 1, 4 i w NW części kopalni w otoczeniu szybu Chrobry (Krause, Kobiela, 2005).

Konieczne więc okazało się prowadzenie robót badawczych, udostępniających i rozcinających pola eksploatacyjne wraz z jednoczesnym rozpoznawaniem i oceną zagrożeń naturalnych, opracowywaniem i podejmowaniem środków profilaktycznych i ich zwalczaniem. Trudności związane z eksploatacją w warunkach geologicznych wysadu kłodawskiego odzwierciedliły się w tematyce wielu ekspertyz i opracowań naukowych wykonywanych dla kopalni w latach 1950-1980, a także w szeregu rozwiązań technicznych. Uzyskane tu doświadczenia, wiedza i wypróbowane zasady postępowania często znajdowały odzwierciedlenie w dzisiejszych rozporządzeniach i instrukcjach dotyczących geologicznego rozpoznawania złóż i prowadzenia robót górniczych. Stanowią wielki i cenny dorobek służb kopalnianych i poszczególnych osób zaangażowanych w tę problematykę, prowadzących

przez dziesiątki lat kartowanie geologiczne, obserwacje, rejestrację zjawisk wodnych i gazowych oraz podejmujących szereg decyzji często w sytuacjach niejasnych i precedensowych (Poborska-Młynarska, 2003).

Aktualny stan zagrożeń naturalnych w kopalni przedstawia się następująco:

- zagrożenie wodne w kopalni kłodawskiej zostało zaklasyfikowane jako zagrożenie III stopnia (najwyższe); jest to zagrożenie potencjalne; w ten sposób, zgodnie z obowiązującymi przepisami, klasyfikuje się zagrożenie wodne w kopalniach w każdym wysadzie solnym w Polsce;
- występowanie i stan nasilenia zjawisk gazowych ulega zmianie w różnych częściach kopalni; poszczególne pola eksploatacyjne zaliczane są do różnych kategorii zagrożenia metanowego oraz zagrożenia wyrzutami gazów i skał; w niektórych częściach kopalni stwierdzono zagrożenie metanowe II kategorii (najwyższej) oraz zagrożenie wyrzutami gazów i skał - III kategorii (najwyższej).

W takim reżimie zagrożeń naturalnych w kopalni w Kłodawie prowadzi się eksploatację od przeszło sześćdziesięciu pięciu lat. Nie należy jednak sądzić, że zagrożenia naturalne w złożu kłodawskim są definitywnie opanowane, a dotychczasowa profilaktyka wystarczająca w każdych okolicznościach. Problem wzrostu zagrożenia wodnego w kopalniach soli w miarę upływu czasu jest powszechnie znany. Związany jest on z rozrostem struktury przestrzennej kopalni, z rosnącą liczbą zjawisk wodnych napotykanymi robotami górniczymi, z dużym prawdopodobieństwem wzrostu wypływu w wieloletnich wyciekach oraz z nieustannym i narastającym w kolejnych dziesięcioleciach deformowaniem się górotworu w polach eksploatacyjnych. Przed służbami kopalni w Kłodawie

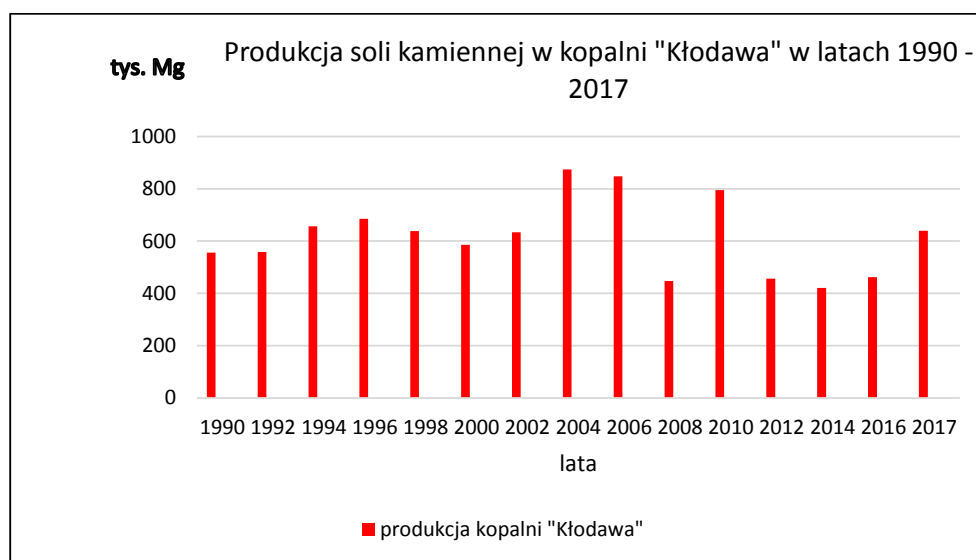
stoi więc nieustające wyzwanie poszukiwania środków profilaktyki przed zagrożeniem wodnym, wobec zmieniających się z upływem czasu geologicznych i górniczych uwarunkowań.

6. PRODUKCJA I DZIAŁALNOŚĆ KOPALNI: OD PRZESZŁOŚCI W PRZYSZŁOŚĆ

Kopalnia soli w Kłodawie rozpoczynała swą działalność w latach 1950-ych w niełatwej sytuacji. Założona jako kopalnia soli potasowych nie dysponowała złożem o wystarczających zasobach dla uruchomienia opłacalnej produkcji, a jako kopalnia soli kamiennej wkroczyła na rynek, na którym od lat producentami soli kamiennej były kopalnie w Wapnie i w Bochni. Sytuacja na rynku krajowym zmieniła się po katastrofalnym zatopieniu kopalni w Wapnie w 1977 r. Wówczas kopalnia kłodawska została na 15 lat głównym producentem soli kamiennej w kraju, gdyż wydobycie soli kamiennej w Bochni było niewielkie). Sytuacja ponownie uległa zmianie, gdy od 1993 r. na rynku pojawiła się sól z kopalni „Sieroszowice” (KGHM Polska Miedź S.A.).

Zdolność produkcyjna kopalni kłodawskiej wzrastała od kilku ton soli kamiennej wydobytych w 1954 r. , poprzez 750 tys. Mg w 1968 r. , 880 tys. Mg w 1970 r., aż do roku 1988, kiedy to w kopalni wydobyto 1 244 287 Mg soli kamiennej (<http://www.sol-klodawa.com.pl/o-firmie/historia-firmy>, Rocznik statystyczny przemysłu). Od tego czasu wielkość wydobycia znacznie zmalała, co zostało spowodowane głównie przez zmiany gospodarcze w Polsce i krajach Europy Środkowej.

W Polsce sól produkowana jest w dwóch postaciach: jako sól w solance wytwarzanej w otworowych kopalniach ługowniczych oraz w postaci soli kamiennej. Kopalnia



Ryc. 6. Produkcja soli kamiennej w kopalni w Kłodawie w latach 1990–2017 (Bilans gospodarki surowcami mineralnymi Polski i świata, Kopalnia Soli „Kłodawa” – dane produkcyjne)

Fig. 6. Rock salt production in the Kłodawa mine in the years 1990–2017 (Bilans gospodarki surowcami mineralnymi Polski i świata, Kopalnia Soli „Kłodawa” – dane produkcyjne)

w Kłodawie jest największym, jednym z dwóch producentów soli kamiennej w kraju. Jej głównymi produktami są: sól drogową, sól przemysłowa i sól spożywcza, wytwarzane w wielu asortymentach w zakładach przerobczych kopalni. Poza tymi podstawowymi produktami w mniejszych ilościach wytwarzane są: sól kąpielowa, sól w postaci lizawek dla zwierząt, sól paszowa, sól do zmiękczenia i uzdatniania wody i drobna galanteria solna (<http://www.sol-klodawa.com.pl/produkty>). W pewnych okresach eksploatowano również sole potasowo-magnezowe do produkcji soli kąpielowej o właściwościach leczniczych lub też do produkcji na małą skalę nawozów dla rolnictwa.

Wydobycie soli kamiennej w Kłodawie od 1990 r. przedstawiono na wykresie (Ryc. 6). W ostatnim dziesięcioleciu ilość wydobytej soli waha się w granicach od 400 tys. Mg do 800 tys. Mg i jest silnie uzależniona od popytu na sól drogową i od jej zużycia w czasie zim.

Od kilkunastu lat oprócz produkcji soli, kopalnia rozwinęła działalność turystyczną. W 2004 r. została otwarta Kłodawska Podziemna Trasa Turystyczna. Jest ona założona na poziomie 600, w wyeksploatowanych komorach soli różowej w polu nr 3 i w ich sąsiedztwie.

Przyszłość kopalni wiąże się przede wszystkim z wystarczalnością i dostępnością zasobów soli kamiennej. Pomimo ich dużego wyczerpania, przed kopalnią kłodawską stoją wciąż duże możliwości produkcyjne, a także perspektywy przemysłowego wykorzystania potężnych objętości podziemnych wyrobisk.

Możliwości produkcji soli kamiennej i soli potasowo-magnezowych wiążą się z kontynuacją eksploatacji w dotychczas wybieranych polach eksploatacyjnych wraz z zejściem na niższe poziomy (podpoziomy) oraz z objęciem eksploatacją części złoża dotychczas nie wybieranych

Całkowicie nowym kierunkiem dla górnictwa solnego w Polsce jest rozpatrywana w ostatnich latach perspektywa wykorzystania pustek poeksploatacyjnych kopalni do podziemnego składowania niektórych grup odpadów masowych lub do odzysku odpadów w technologiach górniczych, w powiązaniu z likwidacją wyrobisk. Jest to rozwiązanie korzystne dla kopalni i środowiska, gdyż przedłuża jej żywotność po wyczerpaniu zasobów, jest sposobem gospodarczego wykorzystania zbędnych wyrobisk i jednocześnie ich częściowej likwidacji. Poddawanie wyrobisk będzie ponadto korzystnie wpływać na stabilizację górotworu, a więc będzie elementem profilaktyki przed zagrożeniem wodnym i przyczyni się do zmniejszenia wpływów eksploatacji na powierzchnię.

7. UWAGI KOŃCOWE

Kopalnia soli w Kłodawie jest obecnie jedyną kopalnią podziemną (szybową) w wysadzie soli cechsztyńskich w Polsce i być może – ostatnią. Jej wyrobiska dają wgląd w budowę

geologiczną wysadów solnych w wymiarze nieporównywalnym z możliwościami wierceń badawczych z powierzchni. Historia badań geologicznych w wysadzie kłodawskim jest niezwykle cennym i niepowtarzalnym wkładem w rozwój geologii złóż solnych.

Rozpoznanie budowy geologicznej wysadu kłodawskiego, podobnie jak prowadzenie robót górniczych w początkowym okresie działalności kopalni okazało się niełatwym zadaniem. W wysadzie nie stwierdzono spodziewanego dużego złoża soli potasowo-magnezowych i w związku z tym upadła idea budowy pierwszej w Polsce kopalni tych soli. Dużą trudność stanowiła niespotykana w innych złożach wysadowych ilość skał płonnych – zubrów. Zróżnicowane kształty i wymiary pól eksploatacyjnych ograniczały swobodę w doborze systemów eksploatacji i w ich przestrzennym rozwoju. Poszczególne pola eksploatacyjne charakteryzują się dużą zmiennością warunków geologiczno-górniczych. Od samego początku rozcięcia złoża ujawniły się niebezpieczne zjawiska związane z wyciekami solanek i obecnością gazów. Pokonywanie trudności napotykanych w złożu kłodawskim przyniosło ogromne doświadczenie geologiczno-górnictwa, które weszło do kanonu wiedzy górnictwa solinarnego.

Pomimo wszystkich trudności, kopalnia soli w Kłodawie jest obecnie największym, a przez kilkanaście lat była głównym producentem soli kamiennej na skalę przemysłową. Łączna ilość wydobytej kopaliny sięga dzisiaj 38 mln Mg.

Przyszłość kopalni jest uzależniona od dostępności pozostałych w złożu Kłodawa 1 zasobów i bezpieczeństwa wobec zagrożenia wodnego. Obecnie przewiduje się utrzymanie eksploatacji przez kolejne ponad 30 lat, co wiąże się ze schożeniem na niższe poziomy i podpoziomy. Ograniczeniem dla dostępności zasobów leżących poniżej poziomu 750 jest głębokość szybów.

Planowane przedłużenie wydobywania stawia na pierwszym miejscu bezpieczeństwo kopalni wobec zagrożenia wodnego. Dotychczas podejmowane środki profilaktyczne mogą okazać się niewystarczające. Rozwiązaniem jest nieustające prognozowanie i rozpoznawanie źródeł zagrożenia wodnego oraz poszukiwanie i stosowanie środków profilaktycznych wobec zmieniających się warunków w coraz starszej kopalni.

Kopalnia dysponuje wyeksploatowanymi wyrobiskami o ogromnej objętości. Przyszłość kopalni powinna być ukierunkowana na wykorzystanie gospodarcze tych podziemnych przestrzeni w powiązaniu z ich likwidacją. Możliwość taka jest rozpatrywana od kilku lat. Likwidacja komór poprzez wypełnianie ich masowymi drobnoziarnistymi odpadami w technologii podszkapy hydraulicznej lub pastowej, bądź w inny sposób, zapewniający polepszenie stateczności górotworu w starych polach kopalnianych jest pożądanym działaniem profilaktycznym przed zagrożeniem wodnym.

Obecnie, w kopalni soli w Kłodawie istnieją możliwości zrealizowania optymalnego scenariusza funkcjonowania kopalni soli, tj. od wybierania surowca aż do wyczerpania zasobów, po pełne wykorzystanie gospodarcze przestrzeni poeksploatacyjnej.

Dzieje kopalni Soli „Kłodawa” są ważną i niepowtarzalną kartą w historii geologii i górnictwa salinarnego w Polsce.

SUMMARY

The development of salt mining in the post-war period in Poland is associated mainly with the exploitation of salt domes in the Polish Lowlands in central Poland, i.e. in the Kłodawa, Góra, Mogilno Inowrocław and Wapno salt domes (Fig. 1). The total production of salt in Poland between 1946 and 2016 from salt deposits in central Poland is shown in Figure 2. The Kłodawa Salt Mine established in the Zechstein salt dome in 1949 has been the largest producer of rock salt in the country for many years (Fig. 3). The structure of the mine consists of three shafts, three main mining levels and over a dozen interlevels built in several exploitation fields (Fig. 4). Currently, the operation in the Kłodawa mine is carried out in a room and pillar system, with low cuboid chambers (Fig. 5), with extraction of salt with explosive materials. The output of the mine varies between 400,000 up to over 800,000 Mg per year in the last decade (Fig. 6). It is planned to extend the extraction for another ca. 30 years. The total amount of so far extracted salt reached 38 mln Mg and the volume of underground excavations is about 19 mln m³. The future of the mine should be directed to salt extraction and to economic use of underground space. For a few years chamber liquidation has been considered, by filling them with the mixtures prepared of fine-grained waste. In the Kłodawa mine, there are possibilities to realize the optimum scenario of the salt mine total operation, i.e. from complete salt extraction to full economic use of the post-exploitation voids. The history of the Kłodawa Salt Mine is an important contribution to the geology of salt domes and salt mining in Poland.

LITERATURA

- Bilans gospodarki surowcami mineralnymi Polski i świata. Lata 1993 – 2017. Opracowanie zbiorowe. Pracownia Polityki Surowcowej. Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią. Polska Akademia Nauk. Kraków.
- CHEMKOP. „Kopalnia Soli „Kłodawa” - schemat przestrzenny wyrobisk górniczych”. Materiały archiwalne KS ”Kłodawa.
- CHWAŁEK J., 2010. Kopalnia Soli „Kłodawa”. Historyczny zarys warunków powstania kopalni oraz jej budowy i rozbudowy. W: Dzieje górnictwa – element europejskiego dziedzictwa kultury, 3, red. P.P. Zagożdżon i M. Madziarz, Wrocław.
- <http://geoportal.pgi.gov.pl/surowce/mapy>
- <http://www.sol-klodawa.com.pl/o-firmie/historia-firmy>
- <http://www.sol-klodawa.com.pl/produkty>
- Kopalnia Soli „Kłodawa” – dane produkcyjne.
- KRAUSE E., KOBIELA Z., 2005. Ocena stanu zagrożenia meta-nowego oraz zagrożenia wyrzutami gazów i skał w Kopalni Soli „Kłodawa”. W: Poborska-Młynarska K. (kier. zesp.), 2003. Możliwości utrzymania produkcji w Kopalni Soli „Kłodawa” oraz koncepcje jej likwidacji w świetle obecnego rozpoznania budowy geologicznej, zagrożeń naturalnych i geomechanicznych skutków wieloletniej eksploatacji. Materiały archiwalne KS”Kłodawa”.
- POBORSKA-MŁYNARSKA K. (kier. zesp.), 2003. Możliwości utrzymania produkcji w Kopalni Soli „Kłodawa” oraz koncepcje jej likwidacji w świetle obecnego rozpoznania budowy geologicznej, zagrożeń naturalnych i geomechanicznych skutków wieloletniej eksploatacji. Materiały archiwalne KS”Kłodawa”.
- POBORSKA-MŁYNARSKA K., 2007. Naturalne ograniczenia eksploatacji w geologiczno-górnictwowych warunkach złoża soli kamiennej Kopalni Soli „Kłodawa”. *Mechanizacja i Automaty-zacja Górnictwa*, 9 (440): 101 – 108.
- POBORSKI J., 1966. Z historii badań geologiczno-górnictwowych w Kłodawie. *Chemik*, 3, (XIX): 92-93.
- Rocznik statystyczny przemysłu. Lata: 1946 – 1990. GUS Warszawa.
- WERNER Z. z zesp., 1958. Dokumentacja geologiczna złoża soli potasowo-magnezowych i soli kamiennej w Kłodawie w/g stanu robót na dzień 1.IV.1958 r. IG, Warszawa.
- WERNER Z. z zesp., 1962. Dokumentacja geologiczna złoża soli potasowo-magnezowych i soli kamiennej w kłodawskim wysadzie solnym w/g stanu robót na dzień 1.VII.1962 r. IG, Warszawa.
- WERNER Z. z zesp., 1972. Dokumentacja geologiczna zasobów złoża soli kamiennej Kopalni Soli „Kłodawa” w Kłodawie, woj. konińskie. IG, Warszawa.



Deformacje górotworu wywołane eksploatacją pola nr 2 w Kopalni Soli „Kłodawa” S.A.

Rock mass deformation caused by the exploitation of field No. 2 in the „Kłodawa” Salt Mine S.A.

Józef BIENIASZ¹, Jakub PIETRAS¹

Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Górnictwa Surowców Chemicznych „CHEMKOP” Sp z o.o.
ul. Józefa Wybickiego 7, 31-261 Kraków; e-mail: jozef.bieniasz@chemkop.pl

STRESZCZENIE

Pole nr 2 jest największym polem eksploatacyjnym w Kopalni Soli „Kłodawa”. Od kilkadziesiąt lat prowadzone są w nim specjalistyczne pomiary deformacji. W ostatnich latach oprócz zaciskania wyrobisk komorowych mierzone są także przemieszczenia pionowe i względne przemieszczenia poziome. Znajomość i kontrola tych zjawisk podnosi bezpieczeństwo eksploatacji.

Słowa kluczowe: eksploatacja soli, zaciskanie wyrobisk, pomiary deformacji, górotwór

ABSTRACT

Field No. 2 is the largest exploitation field in the “Kłodawa” Salt Mine. Specialized deformation measurements have been carried out for several decades. In recent years, in addition to convergence excavation, vertical displacements and relative horizontal displacements are also measured. Knowledge and control of these phenomena increases the safety of exploitation.

Key words: salt exploitation, convergence of excavations, deformation measurements, rock mass

WSTĘP

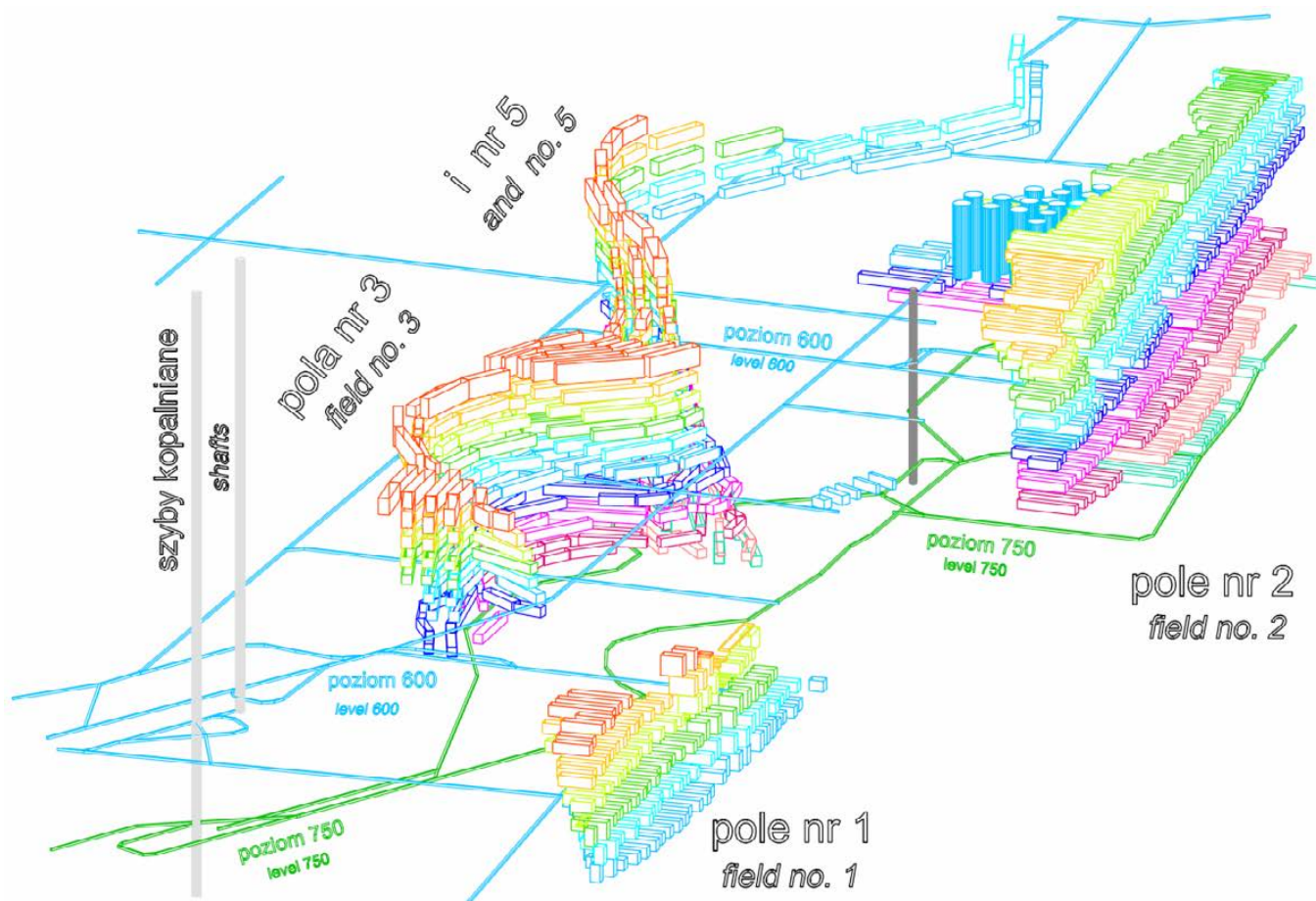
Kopalnia Soli „Kłodawa” od ponad 60 lat eksploatuje złożę będące centralną częścią cechsztyńskiego wysadu solnego Łęczycza-Izbica Kujawska. Stosowany jest tradycyjny sposób wybierania kopaliny systemem komorowo-filarowym z zastosowaniem materiałów wybuchowych. Eksploatacja prowadzona jest w układzie kilku oddzielnych pól rozmieszczonych

w przestrzeni wysadu solnego, w dostosowaniu do jego budowy geologicznej.

Pole nr 2, w którym wybierana jest starsza sól kamienna biała Na₂, jest polem o największej koncentracji eksploatacji w wysadzie. Świadczy o tym sumaryczna objętość pustek poeksploatacyjnych i jego najbardziej znaczące oddziaływanie deformacyjne na otaczający górotwór i powierzchnię terenu. Od kilkadziesiąt lat OBR Chemkop we współpracy ze służbą mierniczą Kopalni prowadzi specjalistyczne, cykliczne pomiary zjawisk deformacyjnych ujawniających się w polu nr 2 i całej kopalni. W ostatnich latach znacząco rozbudowano sieci pomiaru deformacji lokalnych wewnątrz pola nr 2 i globalnych przemieszczeń przestrzennych w jego otoczeniu. Uzyskano dzięki temu wiele istotnych danych pomiarowych. Pozwala to na pełniejszą kontrolę zjawisk deformacyjnych zachodzących w polu nr 2 i górotworze otaczającym, w tym w stropowej półce ochronnej nad polem.

CHARAKTERYSTYKA POLA NR 2

Eksploatację soli białej w polu nr 2 rozpoczęto w 1964 roku i trwa ona do chwili obecnej. Złożę wybierane jest w większości w regularnym układzie komorowo-filarowym przy stałym rozstawie osi komór, prostopadłych do rozciągłości złoża, wynoszącym 30 m. Długość pola po rozciągłości wynosi ok. 1,5 km, a największa szerokość w części środkowej osiąga ok. 0,5 km i maleje do kilkadziesiąt metrów w zakończeniach (skrzydłach) SE i NW. W centralnej, rozszerzonej części pola zastosowano odmienny schemat eksploatacyjny w postaci regularnego układu kilkunastu komór cylindrycznych mających spąg na poziomie 600, o wysokościach do 103 m i średnicach ok. 24 m. Eksploatację pola prowadzono



Ryc. 1. Główne pola eksploatacji w KS Kłodawa – schemat.

Fig. 1. Main fields of exploitation in KS Kłodawa - scheme.

no w kilku etapach. Początkowo na 5 poziomach w przedziale głębokości od 500 do 600 z interwałem międzypoziomym wynoszącym 25 metrów i stałą szerokością komór wynoszącą 15 m. Obecnie kończy się wybierane partie złoża pomiędzy poziomami 600 a 750, w interwale międzypoziomów co 30 m i szerokościach komór malejących wraz z głębokością od 13,4 m na poziomie 630 do 12 m na poziomie 750.

Na każdym z 10 istniejących międzypoziomów w polu wybrano ok. 50 komór prostopadłościennych o długościach od kilkudziesięciu do ponad 200 m. W chwili obecnej, gdy eksploatacja zesła w polu nr 2 do głębokości 750 m, wybranych zostało łącznie ponad 400 komór a sumaryczna objętość pustek wynosi ponad 8,8 mln m³, co stanowi ok. 47% objętości pustek w kopalni. Trwają także prace przy udostępnieniu nowych poziomów 780 i 810. Schematyczny widok pola nr 2 i jego położenia w strukturze kopalni pokazuje - Ryc.1.

DEFORMACJE LOKALNE PUSTEK POEKSPLOATACYJNYCH I CALIZN WEWNĄTRZ POLA

Systematyczne, cykliczne pomiary deformacji w polu nr 2 rozpoczęto pod koniec roku 1980 w pionie Ks11 zlokalizowanym w centralnej części pola. Zainstalowano wówczas, wg projektu OBR Chemkop, stacjonarne urządzenia pomiarowe

mierzące zaciskanie komór, deformacje filarów międzykomorowych oraz pólk międzypoziomowych na poziomach od 525 do 600. Ten tradycyjny system pomiarowy oparty o tzw. bazy rurowe wymagał zgromadzenia odpowiedniej ilości materiałów instalacyjnych i pracochłonnych robót montażowych w wyrobiskach. Zastosowano go także przed kilkunastu laty powiększając strefę objętą pomiarami konwergencji w tym pionie do poziomu 750, w ślad za postępującą coraz głębiej eksploatacją.

W latach 90-tych ubiegłego wieku OBR Chemkop opracował nową metodę pomiaru deformacji poeksploatacyjnych wyrobisk (przemieszczeń) wykorzystującą dalmierz laserowy jako urządzenie odczytowe zmian długości baz (Bieniasz, Ciągło, Wojnar, 2003). Wdrożenie tej znacznie tańszej techniki pomiarowej pozwoliło na wzbogacenie zakresu obserwacji w pionie Ks11 o dodatkowe bazy na poziomach od 600 do 750. Zalety i skuteczność nowej metody obserwacji przemieszczeń zostały także wykorzystane przy pomiarowym monitoringu rejonu zjawiska wodnego 30/619 w SE skrzydle pola nr 2 i nietypowej eksploatacji komory Ks20/600. W przypadku zjawiska wodnego 30/619 pomiarem zaciskania pionowego objęto komory na poziomach od 500 do 690, w których oprócz soli białej występują tzw. polihality.

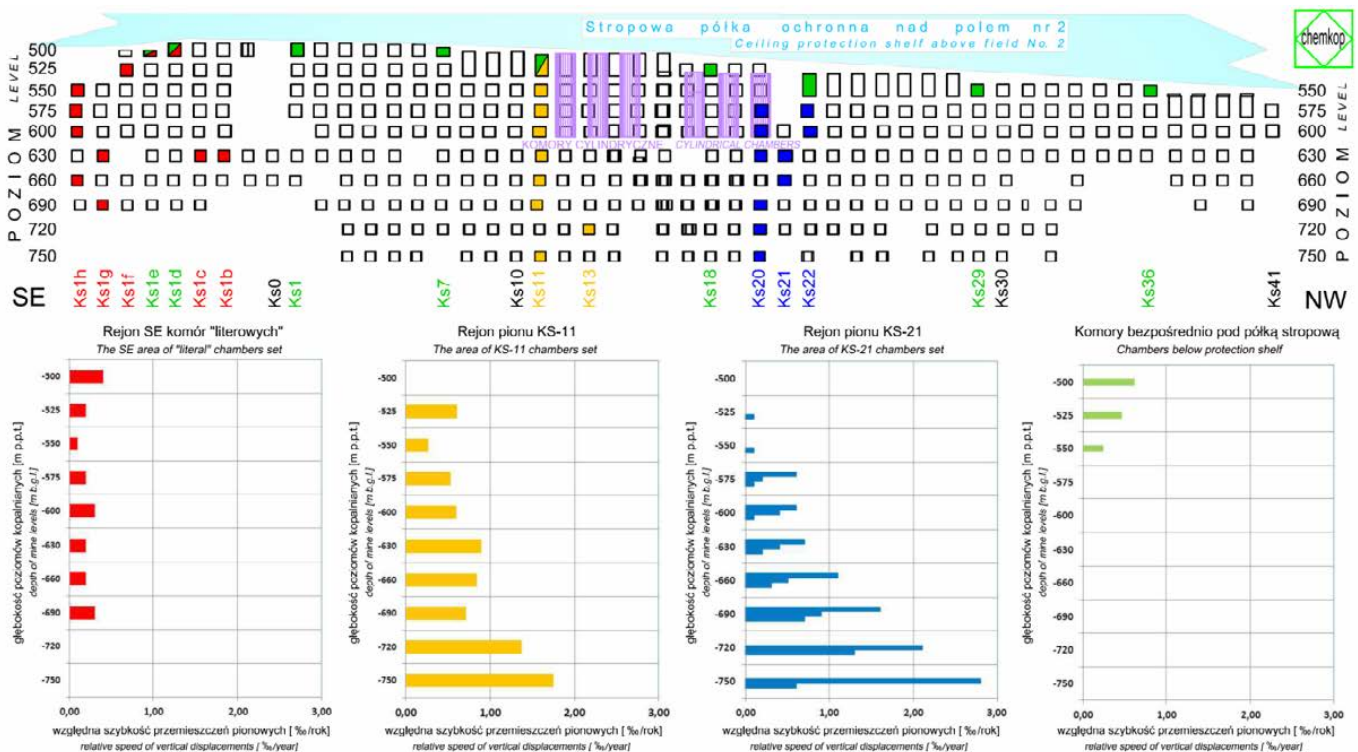
Pierwotnym celem tych pomiarów było uchwycenie ewentualnych różnic w deformacjach dwóch w/w typów górotworu solnego i wpływu zawilgocenia na szybkość zaciskania pustek. Pomiarów rozpoczęto w 2010 r.

Wspomniana komora Ks20/600 była eksploatowana na zasadzie odstępstwa od generalnego kierunku wybierania - od góry do dołu. Z tego względu jej wybieranie było monitorowane przez lokalną sieć obserwacji deformacji założoną w komorach i caliznach wyrobisk sąsiednich na poziomach od 575 do 630. Pomiarów rozpoczęto w 2010 r. Po zakończeniu eksploatacji komory Ks20/600 lokalną sieć rozbudowano instalując w 2016 r. bazy pomiarowe w komorach rejonu pionu Ks20 na poziomach 660 do 750. System pomiarowy w tym rejonie uzupełniono o bazy zainstalowane w 2014 r. na poziomach 525 i 550 jako element kontroli półki ochronnej nad polem nr 2. Dzięki temu utworzono drugi, po pionie Ks11, ciąg obserwacji zjawisk deformacyjnych w całym profilu głębokościowym centralnej części pola nr 2.

W chwili obecnej monitoring zjawisk deformacyjnych wewnątrz górotworu w polu nr 2 obejmuje wspomniane 2 ciągi w centralnej części pola tj. pionu Ks11 i Ks20, rejon tzw. „komór literowych” w SE części pola oraz 9 komór najwyższych poziomów eksploatacyjnych pod półką ochronną – Ryc. 2. Zgromadzony w efekcie corocznych, systematycznych obserwacji bardzo obszerny materiał pomiarowy pozwala na jakościową charakterystykę zjawisk deformacyjnych zachodzących w polu nr 2 oraz uchwycenie ich długoczasowych tendencji (Bieniasz, Pietras, 2017).

Obecną charakterystykę typowego zjawiska deformacyjnego tj. zaciskania pionowego, na podstawie wyników ostatnich kilku lat pomiarów w polu nr 2, prezentują 4 syntetyczne diagramy rozkładu względnej szybkości konwergencji pionowej komór w funkcji głębokości eksploatacji – Ryc.2. Dla najdłużej obserwowanego pionu Ks11 z centralnej części pola widoczny jest wyraźny wzrost szybkości zaciskania pionowego wraz z głębokością od kilku dziesiątych promila/rok na poziomach wyższych, przystopowych, do niemal 2 promil/rok na poziomie 750. W górnej strefie eksploatacji, gdzie wiek komór wynosi ponad 40 lat, dominują szybkości zaciskania od 0,3 do 0,6 promila/rok. Na poziomach 630 do 690 (wiek komór ponad 20 lat) szybkości zaciskania pionowego są nieco większe i wynoszą od 0,7 do 0,9 promila/rok. Natomiast na poziomach 720 i spągowym 750, gdzie wyrobiska są najmłodsze (kilkanaście lat), szybkość zaciskania jest wyraźnie większa i wynosi od 1,3 do 1,7 promila/rok. Analizując cały, niemal 40-letni, okres lokalnych pomiarów deformacji wewnątrz górotworu w pionie Ks11 wyraźnie widoczna jest długoczasowa tendencja do zmniejszania się szybkości ruchu lub do jej stabilizacji na określonym poziomie charakterystycznym dla wieku wyrobiska i jego głębokości. Spostrzeżenia te znalazły potwierdzenie także w opracowaniach innych autorów zajmujących się problemami deformacji poeksploatacyjnych górotworu solnego (Dec i in., 1981; Hejmanowski, 2001).

Dla obserwowanego znacznie krócej (od 1 roku do 7 lat) pionu Ks20, także w centralnej części pola nr 2, widoczny



Ryc. 2. Szybkości przemieszczeń pionowych w funkcji głębokości w polu nr 2.

Fig. 2. Post-exploitation deformations inside field No. 2.

jest wyraźny wzrost szybkości zaciskania pionowego wraz z głębokością od ok. 0,1 promila/rok na poziomach najwyższych 525 i 550 (komory ponad 40-letnie) do ok. 2,8 promila/rok na poziomie 750, gdzie wiek komór wynosi jedynie kilka lat. Cechą charakterystyczną sieci pomiarowej w pionie Ks20 jest umieszczenie kilku stanowisk na danym poziomie, często w tej samej, długiej komorze. Pozwoliło to na wychwycenie znacznych, nawet kilkukrotnych, różnic w wartościach szybkości zaciskania rejestrowanego w niezbyt odległych miejscach poziomu, co pokazano na jednym z diagramów Ryc.2. Wyjaśnienie tego zjawiska wymaga zgromadzenia danych z dłuższego okresu obserwacji.

Na tle przytoczonych wyników z centralnych rejonów pola nr 2 zdecydowanie odróżniają się wykresy szybkości zaciskania pionowego w funkcji czasu dla peryferyjnych tzw. „komór literowych”. W całym przedziale głębokości od 500 do 690 wartości te wynoszą od 0,1 do 0,4 promila/rok, czyli są kilkukrotnie mniejsze niż w centralnej części pola. Nie widać także wpływu typowego czynnika zwiększającej się głębokości eksploatacji na wzrost szybkości zaciskania.

W trakcie trwających jedynie ok. 3 lat obserwacji zaciskania 9 (z ok. 50) komór pod stropową półką ochronną w polu nr 2 stwierdzono niewielkie wartości i zanotowano znaczny przedział zmienności szybkości przemieszczeń pionowych od +0,2 promil/rok do -0,9 promil/rok. Wynika to prawdopodobnie z odmiennej lokalizacji poszczególnych komór w strukturze pola oraz z ich zróżnicowanej wysokości. Krótki czas obserwacji nie pozwala obecnie na pełniejszą analizę zjawiska.

DEFORMACJE GÓROTWORU O CHARAKTERZE GLOBALNYM W OTOCZENIU POLA

Od 2014 r. funkcjonuje w Kopalni dołowa sieć pomiarowa dla kontroli przemieszczeń poeksploatacyjnych w spągu półki ochronnej nad kopalnią założona w wyrobiskach przystropowych przez OBR Chemkop, wg własnego projektu. Przy jej stabilizacji i pomiarze wykorzystano przetestowane wcześniej nowe rozwiązania pomiarowe dotyczących sposobu stabilizacji znaków i techniki obserwacji (Bieniasz, Kurdek, Marcola-Sadowska, 2016). Sieć obserwacyjna ma charakter kompleksowy pozwalający uchwycić deformacje o charakterze globalnym w sąsiedztwie głównych pól eksploatacji, a szczególnie stropowej półki ochronnej nad polami. Przedmiotem pomiarów są:

- przemieszczenia pionowe wnętrza górotworu w rejonie spągu półki ochronnej mierzone metodami niwelacji geometrycznej i trygonometrycznej,
- względne przemieszczenia poziome na wydzielonych liniach pomiarowych prostopadłych do rozciągłości pól eksploatacyjnych mierzone metodą pomiaru zmian odległości punktów bazowych tworzących odcinki o długościach od 102 m do 214 m. Długości odcinków wynikają z lokalnego układu wyrobisk,

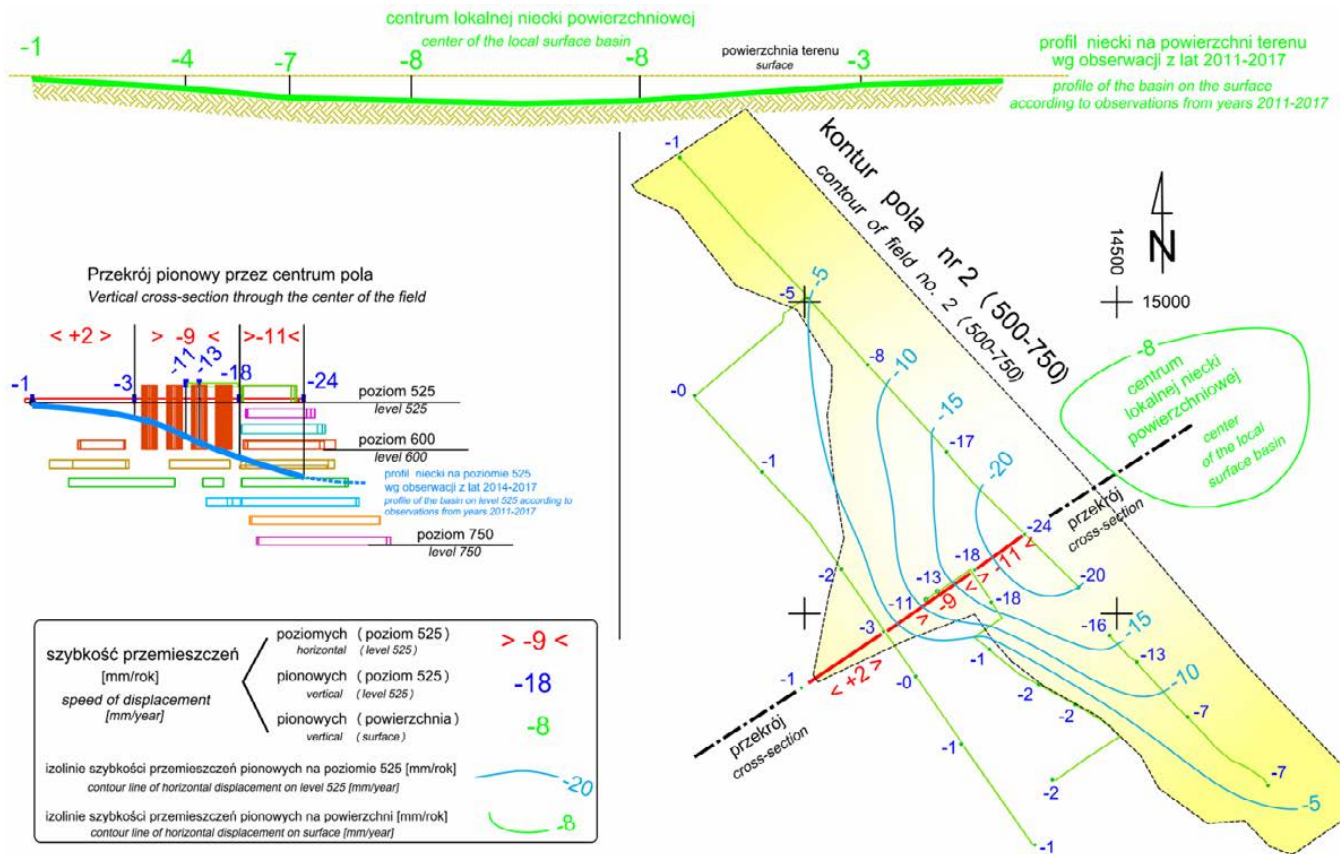
- konwergencja wyrobisk komorowych i chodnikowych w strefie przystropowej eksploatacji mierzona metodą pomiaru zmian długości baz konwergencyjnych techniką wykorzystującą dalmierz laserowy jako urządzenie odczytowe i pomocniczo metodą niwelacyjną.

W 2017 r. wykonano drugi pomiar pełnej sieci, po pomiarze postabilizacyjnym z 2014 r. (Bieniasz, Pietras, 2017). Pozwoliło to na obliczenie wielkości i pierwsze analizy rozkładu przemieszczeń pionowych, poziomych i zaciskania wyrobisk w przystropowej strefie eksploatacji pod ochronną półką stropową za okres 2014-2017 – Ryc.3. Obszar największych szybkości przemieszczeń pionowych (osiadań) stwierdzono w centralnej części pola, gdzie tworzy się lokalne centrum osiadań. Charakteryzują go szybkości przemieszczeń pionowych od ok. -13 mm/rok nad rejonem komór cylindrycznych do niemal -25 mm/rok w sąsiedztwie filara brzeżnego. Znaczna część lokalnej niecki osiadań wewnątrz górotworu formuje się w przestrzeni nieobjętej wyrobiskami i niedostępnej do pomiaru tj. w filarze brzeżnym i poza nim. Wynika to z pochylego ułożenia strefy eksploatacji w polu nr 2.

Wspomniany pomiar sieci pozwolił po raz pierwszy uzyskać wielkości przemieszczeń poziomych wnętrza górotworu. Mierzalne wartości przemieszczeń poziomych zanotowano na linii obserwacyjnej w przekopie przecinającym centralną część pola nr 2 na poziomie 525 i biegnącym od warstwy anhydrytu głównego (rejon wnętrza wysadu) do chodnika przyfilarowego. Odcinek leżący w nieeksploatowanym „cyplu” pola wykazał niewielkie rozciąganie poziome z szybkością +2 mm/rok. Na kolejnym odcinku obejmującym rejon komór cylindrycznych zanotowano poziome zaciskanie o szybkości -9 mm/rok. Trzeci bok segmentu obejmujący strefę komór prostopadłościennych wykazał także zaciskanie poziome z szybkością -11 mm/rok – Ryc. 3.

Czas obserwacji przemieszczeń pionowych i poziomych wynosi jedynie nieco ponad 3 lata, dlatego uzyskane wartości należy traktować jako przybliżone i wymagające potwierdzenia w kolejnych cyklach pomiarowych. Jednocześnie są to niezwykle cenne wyniki pomiarowe dokumentujące ruch przestrzenny górotworu w rejonie koncentracji eksploatacji w polu nr 2 pod ochronną półką stropową.

Uzyskane wartości przemieszczeń pionowych wnętrza górotworu na horyzoncie stropu eksploatacji w polu nr 2 skonfrontowano z wynikami pomiaru sieci powierzchniowej z ostatniego cyklu 2011-2017. Na powierzchni terenu nad rejonem pola nr 2 tworzy się lokalne centrum osiadań, którego lokalizację i zanotowaną szybkość ruchu pokazano na Ryc. 3. Lokalne centrum niecki powierzchniowej powiązane z eksploatacją w polu nr 2 jest przesunięte w stosunku do centrum na poziomie 525 o ok. 200 m w kierunku NE poza granicę wysadu. Wynika to z pochylego ułożenia strefy eksploatacji w polu nr 2 przy NE brzegu wysadu. Rejestrowane obecnie w centrum powierzchniowym szybkości przemieszczeń



Ryc. 3. Szybkość przemieszczeń przestrzennych nad polem nr 2.

Fig. 3. The speed of spatial displacement above field No. 2.

pionowych są około trzykrotnie mniejsze niż na poziomie stropu eksploatacji. Zamieszczone na Ryc.3. profile niecek powierzchniowej i dołowej w centralnym przekroju pola nr 2 pokazują specyfikę strefy deformacji poeksploatacyjnych pochodzących od tego pola. Stosunkowo krótki profil niecki dołowej z poziomu 525 wynika z typowych ograniczeń w obserwacjach zjawisk deformacyjnych wnętrza górotworu pochodzących od układu wyrobisk. Kontrastuje z nim profil niecki powierzchniowej pokazujący jej znaczną rozległość przestrzenną w kierunku NE.

WNIOSKI

W dominującym pod względem wielkości pustek poeksploatacyjnych polu nr 2, trwa ostatnia faza eksploatacji na głębokościach do 750 m ppt. W centralnej części pola systematyczne obserwacje lokalnych deformacji poeksploatacyjnych pustek i calizn trwają od niemal 40 lat. W ostatnich latach znacznie rozszerzono możliwość monitorowania zjawisk deformacyjnych w całym profilu głębokościowym pola w jego częściach; centralnej, przystropowej i skrzydle SE. Generalnie widoczne jest powolne narastanie wartości podstawowych wskaźników deformacyjnych dotyczących zaciskania komór, rozgniatania filarów i rozwarstwiania półek międzypoziomowych, z szybkościami charakterystycznymi dla głębokości położenia w złożu i wieku wyrobisk. W centralnej części pola nr 2 obecna szybkość pionowego zaciska-

nia pustek poeksploatacyjnych zmienia się od dziesiątych części promila/rok na poziomach najwyższych (wyrobiska kilkudziesięcioletnie) do niemal 3 promil/rok na poziomie 750 (wyrobiska kilkuletnie). W peryferyjnych częściach pola nr 2 szybkości konwergencji są kilkukrotnie mniejsze. W długich okresach czasu widoczna jest tendencja do łagodnego spowalniania tempa naturalnych procesów deformacyjnych, lub ich stabilizacji na ustalonym poziomie. Jest to okoliczność korzystna z punktu widzenia statyki calizn nośnych w polu nr 2.

Pomiar wielopoziomowej sieci obserwacji przemieszczeń przestrzennych wnętrza górotworu pozwolił stwierdzić tworzenie się na horyzoncie stropu eksploatacji lokalnej niecki osiadań nad polem nr 2. Charakteryzuje ją szybkość przemieszczeń pionowych w rejonie centrum wynosząca ok. - 25 mm/rok uzyskana z pomiarów w latach 2014-2017. W odpowiadającym mu centrum na powierzchni terenu szybkość osiadań jest trzykrotnie mniejsza i wynosi ok. -8 mm/rok, wg pomiarów z cyklu 2011-2017.

Wchodząca w skład sieci dołowej linia obserwacji przemieszczeń poziomych prostopadła do rozciągłości pola nr 2 pozwoliła uchwycić wielkości przemieszczeń poziomych w centralnej części pola obejmującej strefę komór prostopadłościennych i cylindrycznych. Zanotowano szybkość poziomego zaciskania strefy eksploatacji na poziomie 525 wynoszącą ok. -20 mm/rok.

Analiza danych z pomiarów konwergencji wewnątrz pola uzupełniona wynikami obserwacji przemieszczeń przestrzennych w górotworze na horyzoncie stropu eksploatacji i wynikami niwelacji sieci powierzchniowej pozwala na obiektywną ocenę stanu deformacji pochodzących od eksploatacji w polu nr 2.

Dotychczasowe wyniki pomiarów deformacji w polu nr 2 są zgodne z teoretycznymi rozwiązaniami modelowymi opisującymi przebieg zjawisk poeksploatacyjnych w funkcji czasu oraz z porównywalnymi obserwacjami z innych kopalń soli.

SUMMARY

In a field no. 2, which has the most significant post-mining voids, the last phase of exploitation takes place at depths up to 750 m b.g.l. In the central part of the field, systematic observations of local deformations of post-mining voids and frameworks have been going on for almost 40 years. In recent years, the opportunity to monitor deformation phenomena in the whole depth profile of the field in its parts has been significantly extended. In general the values of basic deformation indicators concerning chamber clamping, crushing of pillars and delamination of inter-level shelves are slowly increasing, with rates characteristic for the depth of location in the deposit and the age of excavations. In the central part of field No. 2, the current speed of vertical closure of post-mining voids varies from tenths of a %/year at the highest levels (several decades) to almost 3 %/ year at 750 (several years). In the peripheral parts of field 2, convergence rates are several times smaller. In long periods of time, there is a tendency to smoothly slow down the rate of natural deformation processes or stabilize them at a set level. This is a favorable circumstance from the point of view of statics of load-bearing cores in the field No. 2

Measurement of the multilevel observation network of spatial displacements of the rock mass allowed to establish the formation of a local subsidence basin over field No. 2 on the ceiling horizon. It is characterized by the speed of vertical displacements in the area of the center, amounting to approx. -25 mm/year obtained from measurements in the years 2014-

2017. In the corresponding surface center, the subsidence rate is three times smaller and approx. -8 mm/year, according to measurements from the 2011-2017.

The horizontal displacement observation line included in the underground network, perpendicular to the length of field No. 2, allowed to capture horizontal displacements in the central part of the field, including the zone of cuboidal and cylindrical chambers. The speed of horizontal crimping of the exploitation level 525 of approx. -20 mm/year was noted.

The analysis of data from convergence measurements within the field, complemented by the results of observations of spatial displacements in the rock mass on the horizon of the exploitation ceiling and the results of the leveling of the surface network, allows for an objective assessment of the deformation intensity from exploitation in field No. 2.

LITERATURA

- BIENIASZ J., CIĄGŁO W., WOJNAR W., 2003. Nowa metoda pomiarów deformacji solnej struktury filarowo-komorowej wykorzystująca dalmierz laserowy. *Geodezja półrocznik AGH*. 9 (2/1): 187-193.
- BIENIASZ J., KURDEK D., MARCOLA-SADOWSKA J., 2016. System kontroli deformacji poeksploatacyjnych górotworu nad polami eksploatacji w KS Kłodawa. *Przegląd solny 2016. Rocznik Polskiego Stowarzyszenia Górnictwa Solnego*. 12: 28-35.
- BIENIASZ J., PIETRAS J., 2017. Wykonanie pomiarów sieci do oceny deformacji stropowej półki ochronnej nad filarowo-komorowym górotworem pola nr 1, 2, 3 z wykorzystaniem pomiarów konwergencyjnych, długościowych i niwelacyjnych. *Archiwum OBR GSChem CHEMKOP Sp. z o.o.* 1145.
- BIENIASZ J., PIETRAS J., 2017. Wykonanie pomiarów konwergencji komór, filarów i półek międzykomorowych w polach eksploatacyjnych nr 1, 2, 3 i 5 Kopalni. *Archiwum OBR GSChem CHEMKOP Sp. z o.o.* 1149.
- DEC T., KOTARSKI E., KOPCZYŃSKI Cz., LENIAK K., 1981. Określenie odkształceń górotworu solnego wysadu kłodawskiego. Wydawnictwo WAT im. Jarosława Dąbrowskiego, Warszawa.
- HEJMANOWSKI R., 2001. Prognozowanie deformacji górotworu i powierzchni terenu na bazie uogólnionej teorii Knothe'go dla złóż surowców stałych, ciekłych i gazowych. Wydawnictwo IG-SMiE PAN.



Charakter i geneza wycieku 55/750 w Kopalni Soli „Kłodawa”

The characteristic and origin of the 55/750 leakage in the “Kłodawa” Salt Mine

Kajetan d’OBYRN¹, Jacek MOTYKA¹, Waław STASZCZAK²

¹Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska,

²Kopalnia Soli „Kłodawa”

STRESZCZENIE

Zagrożenie wodne w Kopalni Soli „Kłodawa” występuje od ponad 65 lat, czyli od rozpoczęcia eksploatacji soli. Jednym z wycieków stanowiących zagrożenie jest zjawisko wodne nr 55 występujące na poziomie 750. W artykule przedstawiono wyniki monitoringu tego zjawiska wodnego. Kopalnia prowadzi systematyczną kontrolę wydajności wycieku i jego składu chemicznego oraz izotopowego. Wyniki tych badań pozwalają na określenie wody pochodzącej z tego zjawiska wodnego jako syngenetycznej solanki pochodzącej z wód uwieczonych w wysadzie.

Słowa kluczowe: górnictwo solne, zagrożenie wodne, geneza zjawiska wodnego

ABSTRACT

The water hazard in the “Kłodawa” Salt Mine has been present for more than 65 years, since the beginning of the salt exploitation. The water phenomenon No. 55, occurring at the level 750, is one of the leakages contributing to this threat. The article presents the results of this water phenomenon monitoring conducted by the mine. Systematic control of this leakage consists of efficiency, and also chemical and isotopic composition measurements. Based on the monitoring results, water coming from this phenomenon can be considered as a syngenetic brine, originating from waters trapped in the salt deposit.

Key words: salt mine, water hazard, leakage origin

1. WSTĘP

W rejonie Kopalni Soli „Kłodawa” występują czwartorzędowe, neogeńskie, kredowe, jurajskie i triasowe piętra wodonośne: skrasowiałe i spękane skały czapy gipsowej wysadu mają podstawowe znaczenie dla warunków występowania i przepływu wód podziemnych w tym rejonie. Czapę wysadu tworzą słabo rozpuszczalne pozostałości z procesu ługowania soli chlorkowych, które są jednak rozpuszczane przez wody infiltrujące z nadkładu kenozoicznego. Potencjalnym źródłem dopływów wody do kopalni Kłodawa oprócz zawadzionych utworów czapy gipsowo – ilowej mogą być również skały permsko – mezozoiczne. Do wdarcia się wód do wyrobisk kopalni mogłoby dojść w przypadku przedarcia się wód słodkich przez półkę oddzielającą wyrobiska od lustra solnego, wdarcia się wody z utworów kenozoicznych przez uszkodzoną rurę szybową lub wdarcia się wody przez boczne filary graniczne albo zlikwidowane otwory wiertnicze. Ochroną przed tego typu sytuacją jest rozpoznawanie zagrożenia wodnego, zapobieganie rozwojowi takich zjawisk, kontrola filarów brzeżnych i półki stropowej oraz obudowy szybów.

W kłodawskiej kopalni soli zagrożenie wodne wynika z typu tektoniki złoża i stosunków hydrogeologicznych w jego otoczeniu, wewnętrznej budowy geologicznej wysadu solnego, charakterystyki źródeł cieczy oraz stanu rozprzestrzenienia wyrobisk górniczych i sposobu ich prowadzenia. Na podstawie rozpoznania rejonu KS „Kłodawa” wydzielono w kopalni strefy o zróżnicowanym nasileniu zagrożenia wodnego. Oprócz stref wyznaczono (Motyka i in., 2013) regiony wysadu solnego, wyraźnie rozgraniczone geologicznie i odznaczające się swoistą charakterystyką hydrogeologiczną ze

względem występowania źródeł cieczy określonego rodzaju i związany z nimi stopień zagrożenia wodnego. Jednym z tych regionów jest blok sztywnego anhydrytu głównego wśród przyległych soli.

2. BUDOWA GEOLOGICZNA REJONU WYCIEKU

Opisywany wyciek znajduje się w strefie związanej z anhydrytem głównym. Warstwa anhydrytu głównego jest spękana tektonicznie, szczelinowata, a główne niebezpieczeństwo stanowi jej kontakt z czapą gipsową, która stanowi realny i potencjalny zbiornik wód mogących przedostać się do wnętrza wysadu. Zasilanie wycieków tej strefy związane jest z utworami nadległymi w stosunku do czapy gipsowej, co może wiązać się z odwodnieniem warstw wodonośnych czwartorzędowych i neogeńskich.

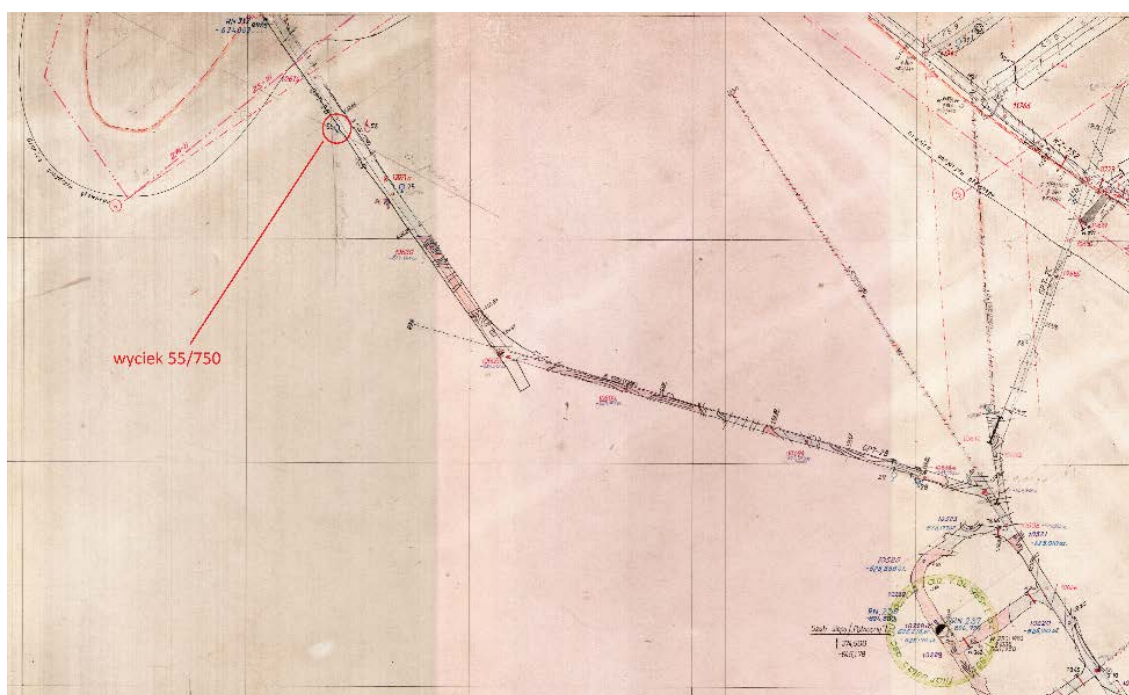
Wyciek 55/750 występuje w obrębie ławicy anhydrytu głównego A3, widocznej na poziomie 750. W przypadku kontaktu warstwy anhydrytu z wodami nadkładu lub czapy, jako pierwsze powinny być ługowane sole potasowo magnezowe i w nich powinno występować to zjawisko wodne. W takim przypadku należałoby się spodziewać wystąpienia podobnych zjawisk na wyższych poziomach kopalni (od poziomu 630 w górę), a nie stwierdzono ich. Wycieki pochodzące ze strefy anhydrytu głównego są znane z wielu miejsc w kopalni „Kłodawa”, a sama warstwa Ag jest znanym elementem wodonośnym, względem którego wyznacza się filar bezpieczeństwa.

Warstwa anhydrytu głównego stanowi skrzydło fałdu kulisowego o bardzo stromym upadzie (prawie pionowym) i przebiegu NE – SW. Miąższość tej warstwy wynosi ok. 43 m.

Kontakt warstwy anhydrytu ze skałami starszymi, czyli dolo-mitem płytowym Ca3, ma charakter sedymentacyjny. Anhydryt główny przykrywa zgodnie młodszą sól kamienna dolna Na3a. Miejscami na kontakcie anhydrytu głównego i młodszej soli kamiennej dolnej można dostrzec ślady ługowania z epigenetycznym halitem i śladowo polihalitem. Z obserwacji żył występujących w anhydrycie, dolomicie i ilo-lupkach (T3) wynika, że żyły powstawały wieloetapowo, a minerały w żyłach krystalizowały przy zmiennym składzie solanek. Na podstawie tych obserwacji można wnioskować o epigenetycznych zjawiskach rozpuszczania i krystalizacji minerałów solnych, co nie wskazuje na ich współczesną genezę. Żyły w anhydrycie są również wskaźnikami dróg migracji solanek, nawiązując do systemu spękań tej warstwy (Burliga, 2017).

3. CHARAKTERYSTYKA I WYDAJNOŚĆ WYCIEKU

Wyciek został zarejestrowany 27.01.2014 roku (Andrusikiewicz, Krokos, 2015; Staszczak, Krokos, 2017). W tym dniu w czole przodka GPT-2B w odległości ok. 55 m w kierunku SE od osi chodnika komorowego KS-15a zaobserwowano zawilgocenia SW ociosu o powierzchni ok. 1,5-2,5 m² oraz zawilgocenia stropu wyrobiska. Wyciek znajdował się w anhydrycie głównym, szaro-popielatym, miejscami jasno-popielatym, drobnokrystalicznym. W następnym dniu pas zawilgocenia rozszerzył się do około 5,5 m. Pomiar wydajności wykazał 173 krople/min, część solanki sączyła się po ociosie. Kolejne pomiary wydajności wykazały 154 krople/min i 160 kropli/min, a kolejne 395, 504 i 467 kropli/min. Na stropie pojawiło się ok. 30 stalaktytów. Kolejnego dnia na stropie stwierdzono ok. 90 stalaktytów o długości 5-25 cm



Ryc. 1. Lokalizacja wycieku 55/750 (Motyka i in. 2013).

Fig. 1. Location of 55/750 inflow (Motyka et al. 2013).

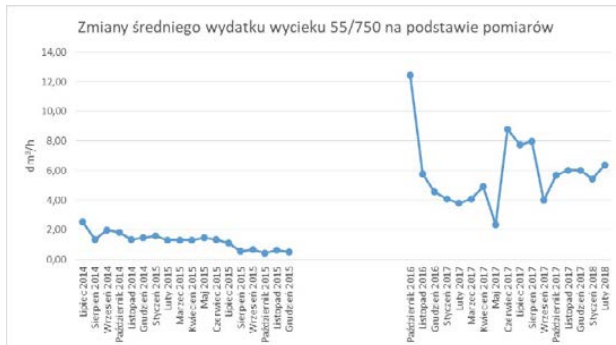
barwy białej, ocios mokry na szerokości ok. 2,5 m, a w dolnej części na szerokości ok. 3,5 m. Wydajność wycieku wynosiła 406 i 384 krople/min. W kolejnych tygodniach na spągu pojawiła się kałuża, a wydatek wycieku wahał się od 100 do 200 kropli na min., przybywało stalaktytów. W dniu 13.03.2014 r., w odległości ok. 13 m na NW od p.p. 12071, stwierdzono pojawienie się na stropie i ociosie 4 plam (wyciek podzielił się). Wszystkie znajdowały się w anhydrycie głównym, w obrębie którego widoczne były gniazda i żyły halitu epigenetycznego, kryształowego z wprysnięciami ciemno – czerwonego karnalitu i halitu niebieskiego. Całość zjawiska rozciągała się na odcinku ok. 3,8 m.

W kolejnych miesiącach charakter wycieku raczej nie zmieniał się. Wykroplenia i zawilgocenia migrowały po ociosie, jednak nie dalej niż kilka metrów. Czasem wyciek dzielił się na dwie strefy o nieco innej wydajności. Wydajność całego wycieku wynosiła od kilku do ponad stu kropli na minutę. Początkiem lipca 2014 r. wydajność wycieku wzrosła do 400 – 500 kropli/min., a 8 lipca do ok. 3,5 dm³/h, aby 9 lipca dojść do 4,8 dm³/h. Końcem lipca wydatek spadł do ok. 1 dm³/h i do końca roku kształtował się poniżej 1,5 dm³/h.



Ryc. 2. Wyciek 55/750.

Fig. 2. Inflow 55/750.



Ryc. 3. Wydatek wycieku.

Fig. 3. Inflow rate.

Na początku 2015 roku w rejonie wycieku było ok. 140 stalaktytów o dł. 3 – 80 cm, barwy białej i rdzawej, z kroplą płynu. Na ociosie widocznych było 10 stalaktytów z kroplą płynu, białych, o długości 10-60 cm. Ocios był wilgotny, pokryty naskorupieniami barwy biało – rdzawej. Pod ociosem występowało 10 stalagnatów o wysokości 10 – 50 cm oraz 30 stalagmitów o wysokości 20 – 50 cm barwy biało – rdzawej. Na spągu leżały połamane stalaktyty i stalagmity. Wydajność wycieku wynosiła 1,3 dm³/h. Pod koniec lipca 2015 roku wydajność wycieku spadła poniżej 1 dm³/h, natomiast z końcem roku 2015 wydatek wycieku wzrósł do 1,47 dm³/h, a pozostałe elementy wycieku nie uległy większym zmianom.

01.02.2016 r. decyzją Zespołu opiniodawczego w sprawach rozpoznania i zwalczania zagrożeń występujących w zakładzie górniczym KS „Kłodawa” zaprzestano pomiarów



Ryc. 4. Wielkość dopływu do rząpia.

Fig. 4. Inflow rate to the samp.

wydajności wycieku. Określona na podstawie ilości solanki wybranej z rząpia wydajność wycieku do października 2016 roku wynosiła ok 1,5 dm³/h, a wahania nie były znaczące.

21.10. 2016 r. zamontowano paker celem kontroli dopływu i mierzenia wydajności wycieku. W stropie odwiercono 18 otworów o dł. 1 m. Na kotwach została założona siatka w celu ochrony wyrobiska przed odpajającymi się pod wpływem wilgoci skałami i ich obwałem. W jednym z otworów, podczas wiercenia zaobserwowano dopływ solanki i na nim zamontowano paker. Wydajność wycieku po zamontowaniu pakera wzrosła do 14,5 dm³/h. Następnie wydajność wycieku systematycznie malała, aby ok. 10.11.2016 r. spaść poniżej 5,0 dm³/h i ta wielkość utrzymywała się do końca kwietnia 2017 roku, kiedy to wydatek wzrósł do ok. 6 dm³/h, aby po krótkim wzroście spaść ponownie poniżej 4 dm³/h w maju



Ryc. 5. Aktualne ujęcie wycieku.

Fig. 5. The samp of the inflow.



Ryc. 6. Kroplowy wydatek 55/750.

Fig. 6. Drop inflow 55/750.

2017 r., a nawet, chwilowo do 1,6 dm³/h. Pod koniec maja ponownie nastąpił wzrost wydatku do ok. 6 dm³/h, a w pierwszych dniach czerwca nawet do 25,5 dm³/h. Ten zdecydowany wzrost był jednak krótkotrwały i już w kolejnych dniach czerwca nastąpił spadek do 5,88, a następnie 3,6 dm³/h. Kolejny wzrost do 20,4 dm³/h nastąpił z końcem lipca, ale był to znowu krótkotrwały wzrost, po którym nastąpił kolejny spadek wydajności do 8,4 a następnie 6,0 dm³/h w sierpniu (Staszczak, Krokos, 2017). W październiku 2017 r. odnotowano spadek wydatku do nieco ponad 1,0 dm³/h, ale po nim, w połowie miesiąca pojawił się ponownie skokowy wzrost do ponad 15,0 dm³/h, który był krótkotrwały, bo na początku listopada wydatek spadł do 4,5 dm³/h i znowu zaczął rosnąć do ok. 6,0 dm³/h końcem roku.

Po koniec stycznia 2018 r. wydatek z ok. 6,0 dm³/h spadł do 3,9 a następnie wahał się od ok. 4,0 do 9,0 dm³/h.

Po uchwyceniu w 2016 roku wycieku wierceniem i odprowadzaniem go przez paker z jednego miejsca, charakterystyczną cechą wycieku jest jego pulsacyjny charakter, wskazujący na blokowanie i otwieranie dróg dopływu solanki.

OPRÓBOWANIE WYCIEKU ORAZ ANALIZY SKŁADU CHEMICZNEGO I IZOTOPOWEGO

Na podstawie wyników analiz chemicznych, wykonanych w laboratorium KS „Kłodawa” obejmujących okres od 03.01.2017 do 12.02.2018 roku, sporządzono wykresy zmienności charakterystycznych parametrów i jonów wycieku 55/750.

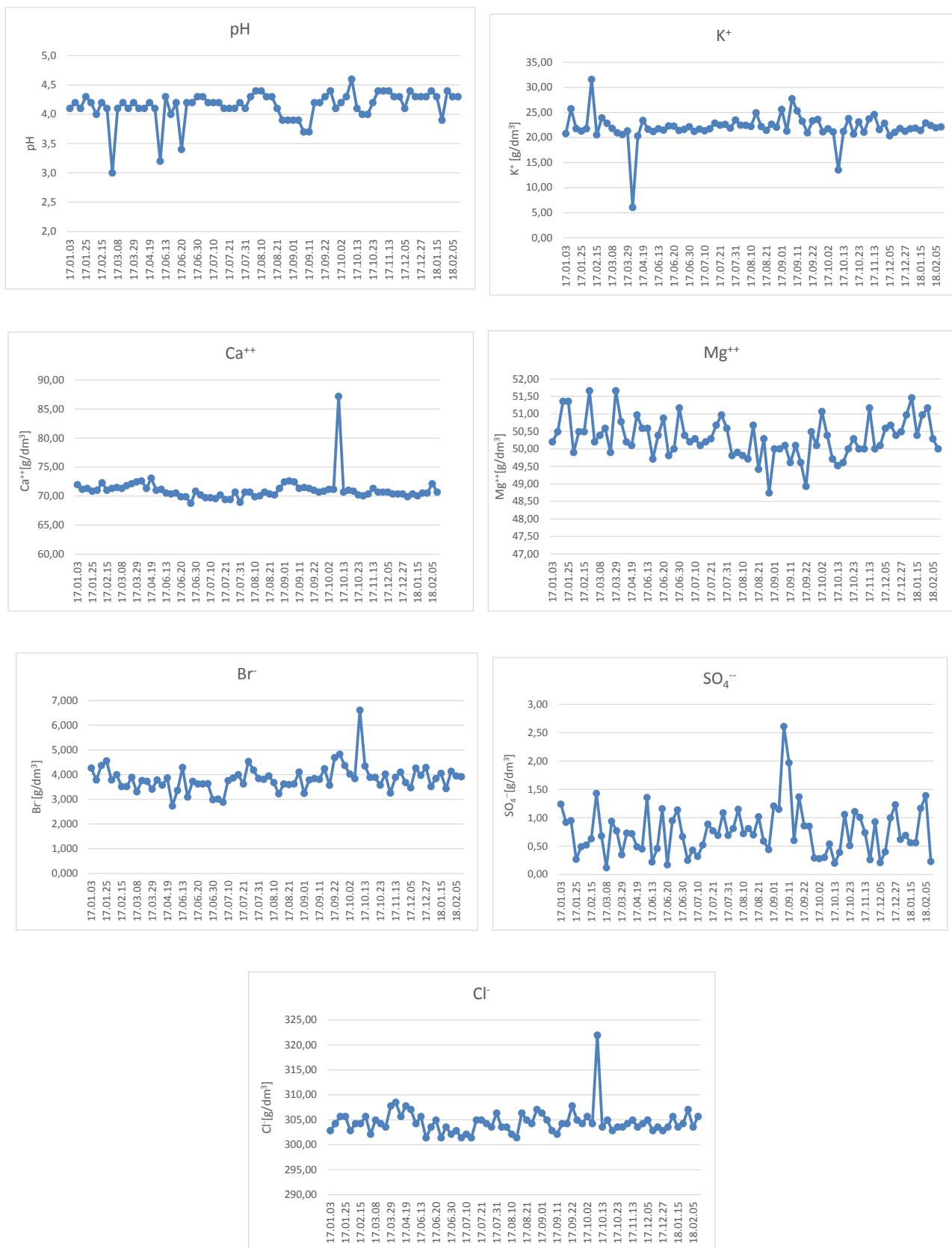
Wątpliwości dotyczące wiarygodności uzyskanych wyników budzi tylko jedna z analiz, dla której zawartości Ca, Br i Cl wykazują maksima. Wynik tej analizy przedstawiono na wykresach z uwagi na brak podstaw do wykluczenia takiej zmienności składu chemicznego solanki.

Rozszerzoną analizę chemiczną wycieku przeprowadzono w laboratorium Katedry Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej (KHGI) AGH (Tab.1.).

Różnice pomiędzy wynikami analiz dotyczące jonu Ca pomiędzy KHGI AGH a KS „Kłodawa” przy minimalnej wartości wynoszącej 64,7 g/dm³ (AGH) i 68,78 g/dm³ (KS „Kłodawa”) oraz Cl⁻ o zawartości minimalnej 285,5 g/dm³ (AGH) i 301,38 g/dm³ (KS „Kłodawa”) są mało znaczące. Natomiast wyniki Br 1,1 g/dm³ (KS „Kłodawa” min. 2,73 g/dm³) i SO₄⁻ < 5 mg/dm³ (KS „Kłodawa” min. 120 mg/dm³) zdecydowanie się różnią. Różnice mogą wynikać m.in. z odmiennych technik analitycznych stosowanych w różnych laboratoriach lub świadczyć o bardzo zmiennych składowych wód, pochodzących z różnych dróg krążenia, składających się na zmieszaną z nich wodę dopływającą do wycieku.

INTERPRETACJA WYNIKÓW

Woda ze zjawiska 55/750, według analizy laboratorium KHGI AGH w Krakowie, jest solanką typu Mg-Ca-Cl o mineralizacji 429 g/dm³. Taki typ hydrochemiczny wody, jej mineralizacja i stosunkowo wysokie stężenie potasu (około 21 g/dm³) wskazują na rozpuszczanie soli magnezowo-pota-



Ryc. 7. Wyniki analiz pH, K, Ca, Mg, Br, SO₄ i Cl, wycieku 55/750.
 Fig. 7. Results of 55/750 inflow analysis: pH, K, Ca, Mg, Br, SO₄ i Cl.

Tabela. 1. Wyniki analizy próbki pobranej 13.04.2018 r. ze zjawiska wodnego 55/750.**Table. 1.** Chemical analysis results of sample taken from 75/550 inflow at 13.04.2018.

Nr próbki	KLO-1				
Data poboru	13.04.2018 r.				
Miejsce poboru	wyciek 55/750				
pH	4,54		Tl	0,000328	mg/dm ³
Conduc.	150700	μS/cm	Se	11,76	mg/dm ³
Eh	330	mV	Mo	0,00239	mg/dm ³
Ca	64069	mg/dm ³	Sb	0,173	mg/dm ³
Mg	49570	mg/dm ³	Ag	0,0385	mg/dm ³
Na	8620	mg/dm ³	Cd	0,00462	mg/dm ³
K	20620	mg/dm ³	Br	1102	mg/dm ³
HCO ₃	515,6	mg/dm ³	I	0,076	mg/dm ³
SO ₄	< 5	mg/dm ³	B	14,65	mg/dm ³
Cl	285500	mg/dm ³	PO ₄	< 0,01	mg/dm ³
Fe	40,52	mg/dm ³	Y	0,00291	mg/dm ³
Al.	0,00596	mg/dm ³	Bi	0,00532	mg/dm ³
Ba	0,109	mg/dm ³	Ga	0,000606	mg/dm ³
Mn	4,205	mg/dm ³	Te	0,000186	mg/dm ³
Sr	1831	mg/dm ³	SiO ₂	< 0,1	mg/dm ³
Zn	1,756	mg/dm ³	Sn	0,0043	mg/dm ³
Cu	0,0111	mg/dm ³	W	0,000105	mg/dm ³
Li	1,733	mg/dm ³	Zr	0,000766	mg/dm ³
Pb	0,0702	mg/dm ³	Rb	1,636	mg/dm ³
Ni	0,0364	mg/dm ³	U	0,000005	mg/dm ³
Co	0,0551	mg/dm ³	Cr	0,157	mg/dm ³
As	15,01	mg/dm ³	Ti	< 0,0001	mg/dm ³
Be	3,6E-05	mg/dm ³	Cs	0,0225	mg/dm ³
V	0,0475	mg/dm ³	H ₂ S	bd.	-
Hg	< 0,00001	mg/dm ³	TDS	429	g/dm ³

sowych oraz oddziaływanie solanki na anhydryt, który jest źródłem wapnia w solance. W rezultacie tworzy się bardzo dobrze rozpuszczalny chlorek wapnia. Potwierdzeniem tego jest stosunek molarny strontu do wapnia mSr/mCa, wyrażony w promilach, równy 1,71%, który dla ewaporatów siarczanowych jest znacznie wyższy (Malata i in., 2018). Brak lub niewielkie stężenia siarczanów w solance należy tłumaczyć ich redukcją do siarkowodoru w środowisku redukcyjnym. O przejawach występowania tego gazu w wyciekach w tej części kopalni wspomina Burliga (2017). Skład chemiczny i izotopowy (Duliński i in., 2017) wody z wycieku 55/750 wskazują, że jest to woda syngenetyczna typowa dla wód uwięzionych w wysadzie.

Znane i opisywane zjawiska wodne w przypadku KS „Kłodawa” dowodzą, że stopień zagrożenia wodnego ze strony danego wycieku zależy nie tylko od jego pochodzenia, ale przede wszystkim od tzw. mocy rozpuszczania ciała solnego, pojęcia odnoszącego się w odniesieniu do analizy zagrożeń

wodnych w kopalniach soli (Motyka 2012). Jest to złożony parametr, który wiąże ze sobą stopień nasycenia roztworu wodnego, czas przepływu od miejsca zasilania do miejsca wypływu, a także zasobność źródła zasilania zjawiska wodnego w rozpatrywanym wyrobisku górniczym. Jest oczywiste, że najmniejszą moc rozpuszczania mają macierzyste ługi solne, czyli nasycone wody synsedymencyjne, uwięzione w ciele solnym (tzw. wody śródsolne). Są one roztworami nasyconymi względem soli i zajmują stosunkowo niewielką objętość. Wycieki wód tego typu nie rozpuszczają ciała solnego i nawet, jeśli mają stosunkowo dużą wydajność początkową, to szybko zanikają ze względu na niewielkie zasoby zbiornika (wyłącznie zasoby statyczne, tzn. nieodnawialne), z którego są zasilane.

Moc rozpuszczania roztworu wodnego ulega zmianie na drodze jego przepływu przez wysad solny od miejsca zasilania do miejsca jego wypływu w wyrobisku górniczym. Jeśli natężenie przepływu jest na tyle niewielkie, że roztwór wodny prze-

plywający przez wysad zyskuje pełne nasycenie, a wydajność wycieku zmniejsza się z upływem czasu, to oznacza, że moc rozpuszczania maleje i albo wyczerpują się zasoby, z których jest zasilany rozpatrywany wyciek albo też następuje uszczelnianie dróg przepływu poprzez wytrącanie się soli z przesyconego roztworu wodnego. Roztwór staje się przesycony wskutek parowania wody w wyrobisku i w jego bliskim sąsiedztwie.

Z punktu widzenia oceny zagrożenia wodnego dla wyrobisk górniczych w wysadzie solnym Kłodawa, podobnie jak i w innych wysadach, ważne są wyniki monitorowania wydajności danego wycieku, stężenia soli, z których jest zbudowany wysad oraz wyniki badań izotopowych wody zasilającej wyciek. Jeśli w wyrobisku wypływa nasycony roztwór soli, a wydajność wycieku zmniejsza się z upływem czasu i nie stwierdza się trytu w składzie izotopowym wody, to należy uznać, że maleje moc rozpuszczania, a w ślad za tym także zagrożenie wodne, które ten wyciek stwarza dla wyrobisk górniczych. Największe zagrożenie stwarzają wycieki zasilane roztworem wodnym, którego moc rozpuszczania rośnie z upływem czasu. Objawia się to w pierwszej kolejności wzrostem wydajności wycieku, a następnie pojawia się tendencja do zmniejszania się mineralizacji wody zasilającej wyciek. Jeśli w składzie izotopowym wody dodatkowo stwierdzi się obecność trytu, to w przypadku wyrobisk górniczych w wysadach solnych zagrożenie wodne należy traktować jako ekstremalnie wysokie. Do chwili obecnej w kopalni soli „Kłodawa” nie wystąpiło tego rodzaju zjawisko wodne.

Trzy wycieki: 19/680, 20/690 i 55/750 mogą mieć jedno źródło zasilania i stanowić jedną, szczelinową strefę kontaktów hydraulicznych. Strefa ta mogła zostać udroźniona na skutek robót górniczych (strzałowych) i związanym z tym odprężaniem górotworu. Dopływ solanki może pochodzić ze stropowej części anhydrytu, dokąd solanki mogą dopływać z kawerny/kawern lub stref o większej gęstości spękań występujących w anhydrycie lub soli.

Wyniki analiz chemicznych wskazują na stabilność składu chemicznego, a różnice w składzie jonowym mogą wynikać z opisanych powyżej różnych dróg zasilania wycieku, przebiegających w różnych solach lub innych utworach geologicznych. Różnice mogą wynikać także z chwilowej zmiany warunków krążenia wód wycieku w górotworze, ale mogą mieć także swoją przyczynę w metodyce poboru prób i różnych technikach badań laboratoryjnych, co wymagać będzie dodatkowych analiz porównawczych. Prócz jonu SO_4 wyniki analiz nie różnią się znacznie.

PODSUMOWANIE

Obserwacja występowania i położenia stalaktytów oraz wtórnej krystalizacji soli pochodzących z wycieku 55/750 wskazuje na związek wykropleń ze spękaniami anhydrytu. Spękania w anhydrycie mają pochodzenie zarówno naturalne - tektoniczne, jak i wtórne, wynikające z robót strzałowych

i odprężania górotworu w strefie wokół wyrobiska. Zmiany wydajności wycieku mogą być związane z robotami górnictwymi prowadzonymi w sąsiedztwie. Wpływ na zmienność mogą mieć roboty wiertnicze i strzałowe, co pośrednio może mieć potwierdzenie w wypływie po odwierceniu otworów kotwowych w pobliżu wycieku. Podobne zjawiska występują na poziomach 680 i 690: 19/680 i 20/690.

Badania składu izotopowego solanek pobranych z wycieku 55/750 przeprowadzono w lutym oraz w czerwcu 2017 roku (Duliński i in. 2017, 2018). Autorzy w podsumowaniu wyników badań izotopowych stwierdzili, iż analizy te wykazały, że skład izotopowy tlenu i wodoru jest typowy dla wód syngenetycznych uwieczonych w wysadzie, a wyciek nie stanowi bezpośredniego zagrożenia dla kopalni.

Omówione wyżej wycieki są najprawdopodobniej zasilane roztworami wodnymi o malejącej mocy rozpuszczania.

Zmiany wydatku wycieku mogą być związane z różnymi drogami dopływu roztworu solanki do wycieku oraz różną prędkością filtracji. Niektóre z dróg przepływu mogą być okresowo niedrożne w wyniku uszczelniania związanego z wytrącaniem się soli z przesyconego roztworu solnego. Udrożnienie tych lub innych dróg krążenia solanki w górotworze może nastąpić nie tylko na drodze rozpuszczania soli ale również na drodze geomechanicznej, wynikającej z otwierania się szczelin. Otwieranie szczelin może nastąpić w wyniku odprężania górotworu po robotach strzałowych.

Inne zjawiska wodne obserwowane w rejonie wycieku 55/750 pozwalają na sformułowanie generalnego wniosku dotyczącego wycieków tego rejonu. Prawie wszystkie wycieki w rejonach prowadzenia robót górniczych w tym w szczególności strzałowych, po pojawieniu się w postaci wykropleń, mokrych lub zawilgoconych ścian wyrobiska po kilku dniach, miesiącach lub latach zanikają. Dotyczy to również tych wycieków, które charakteryzowała zmienna wydajność.

LITERATURA

- ANDRUSIKIEWICZ W., KROKOS K., 2015, Zagrożenia naturalne w Kopalni Soli „Kłodawa” S.A. – stan aktualny, Przegląd Solny, 11, 57-65, Kraków.
- BURLIGA S., 2017, Określenie możliwości dróg migracji płynu w rejonie anhydrytu głównego w aspekcie warunków geologiczno – górniczych pomiędzy poziomem 600 do poziomu 750 m., Archiwum KS Kłodawa.
- DULIŃSKI M., RÓŻAŃSKI K., GORCZYCA Z., 2017, Badania składu izotopowego prób solnych pobranych w okresie od stycznia do marca 2017 roku w kopalni soli w Kłodawie; Towarzystwo Badania Przemian Środowiska „Geosfera”; Kraków.
- DULIŃSKI M., RÓŻAŃSKI K., GORCZYCA Z., 2018, Skład izotopowy ługu solnego z wycieku 55/750 pobranej 19.06.2017 roku w kopalni soli w Kłodawie; Towarzystwo Badania Przemian Środowiska „Geosfera”; Kraków.
- MALATA M., MOTYKA J., D’OBYRN K., POSTAWA A., 2018, Skład chemiczny wody w zatopionej odkrywcze gipsu „Gacki” (niecka nidziańska), Górniczo Odkrywkowe, 2, 43-49, Wrocław.

MOTYKA J., 2012, Ekspertyza hydrogeologiczna dotycząca możliwości uruchomienia eksploatacji w południowo-wschodniej części pola nr 2 w rejonie tzw. „komór literowych” w interwale głębokościowym 600-750 m w związku z występującym w tym rejonie zagrożeniem wodnym związanym głównie z wyciekami nr 30/619, Kraków.

MOTYKA J., BEZKOROWAJNY A., BORCZAK S., CZOP M., KNAP W., PIETRUCIN D., STOCHEL B., 2013, Dokumentacja hydrogeologiczna złoża „Kłodawa 1”, Stowarzyszenie Naukowe im. St. Staszica, Kraków,

STASZCZAK W., KROKOS K., 2017, Charakterystyka zagrożenia wodnego w Kopalni Soli „Kłodawa” na przykładzie wybranych zjawisk, Przegląd Solny, 13, 115-121, Kraków.



Ewaporaty górnego permu (cechsztyn) na obszarze centralnej części monokliny przedsudeckiej (SW Polska) – warunki występowania i wykształcenie

Geology of Upper Permian (Zechstein) evaporites in the central Fore-Sudetic Monocline (SW Poland)

Grzegorz CZAPOWSKI¹, Łukasz NOWACKI, Jacek CHEŁMIŃSKI,
Andrzej GŁUSZYŃSKI, Leszek SKOWROŃSKI

Państwowy Instytut Geologiczny-Państwowy Instytut Badawczy,
ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; ¹e-mail: grzegorz.czapowski@pgi.gov.pl

STRESZCZENIE

Analiza obecnego występowania i zróżnicowania miąższości utworów ewaporatowych (siarczanowych i chlorkowych) górnego permu (cechsztyn) na obszarze centralnej części monokliny przedsudeckiej, bazująca na danych z 635 archiwalnych otworów wiertniczych, umożliwiła przedstawienie obrazu przypuszczalnej paleogeografii basenów siarczanowych i chlorkowych w przypadku niektórych ewaporatowych wydzieleni litostratygraficznych kolejnych czterech cyklotemów.

Utwory siarczanowe i chlorkowe cyklotemów PZ1 i PZ3 oraz siarczany cyklotemu PZ2 (anhydryt podstawowy [A2]) powstały w zbiornikach o wyraźnie zróżnicowanej batymetrii, ze strefami płytszymi (bariera i płycizny) i głębszymi (baseny). Akumulacja tych osadów następowała według schematu występującego w basenie typu „wypełnieniowego”, w którym na etapie depozycji soli chlorki wypełniają głównie obniżenia dna wcześniejszego zróżnicowanego batymetrycznie zbiornika siarczanowego, zaakcentowane różnym tempem osadzania siarczanów (szybszym na płycinach i wolniejszym w basenach). Lokalne występowanie pozostałych ewaporatów cyklotemów PZ2 i PZ4 nie pozwala otworzyć paleogeografii ich zbiorników depozycji. Omówiono też wykształcenie wydzieleni ewaporatowych, wykorzystując dane z terenów sąsiadujących z obszarem badań w sytuacji braku miejscowego materiału rdzeniowego.

Tektonika dysjunktywna (sieci uskoków i dwa rowy tektoniczne) w różnym stopniu przemodelowała pierwotne rozmieszczenie ewaporatów i spowodowała ich lokalny wzrost miąższości w strefach przyuskokowych.

Słowa kluczowe: ewaporaty, górny perm (cechsztyn), centralna część monokliny przedsudeckiej, SW Polska

ABSTRACT

Analysis of recent extension and thickness of Upper Permian (Zechstein) evaporites (sulphates and chlorides) in the area of central Fore-Sudetic Monocline, based on data from 635 archive boreholes, enabled to reconstruct the possible palaeographic images of both sulphate and chloride basins, represented some evaporitic lithostratigraphic units of four Zechstein cyclothemes.

Sulphates and chlorides of PZ1 and PZ3 cyclothemes as well as sulphates of PZ2 cyclotheme (Basal Anhydrite [A2] unit) have deposited in the basins with distinctly varied bathymetry, where existed the shallow (barrier and shoals) and the deeper (basins) parts. Their accumulation realized the depositional scheme of the „infill” type of evaporitic basin, after which dominant infill by chlorides took place in the deeps of former sulphate basin with differentiated bathymetry accentuated by other accumulate rate of sulphates (a higher on bottom shoals and slower in the deeps). Local occurrence of other evaporate units of PZ2 and PZ4 cyclothemes eliminated

creation of similar palaeogeographic images for their depositional basins. Commented evaporite units were characterized by data representative for their age equivalents drilled in the nearest areas because of extremely rare core data from the study area.

Disjunctive tectonics (fault systems and two tectonic grabens) modified in a different rate the primary extent of studied evaporites as well as it was responsible for their local thickness increase in the near-fault zones.

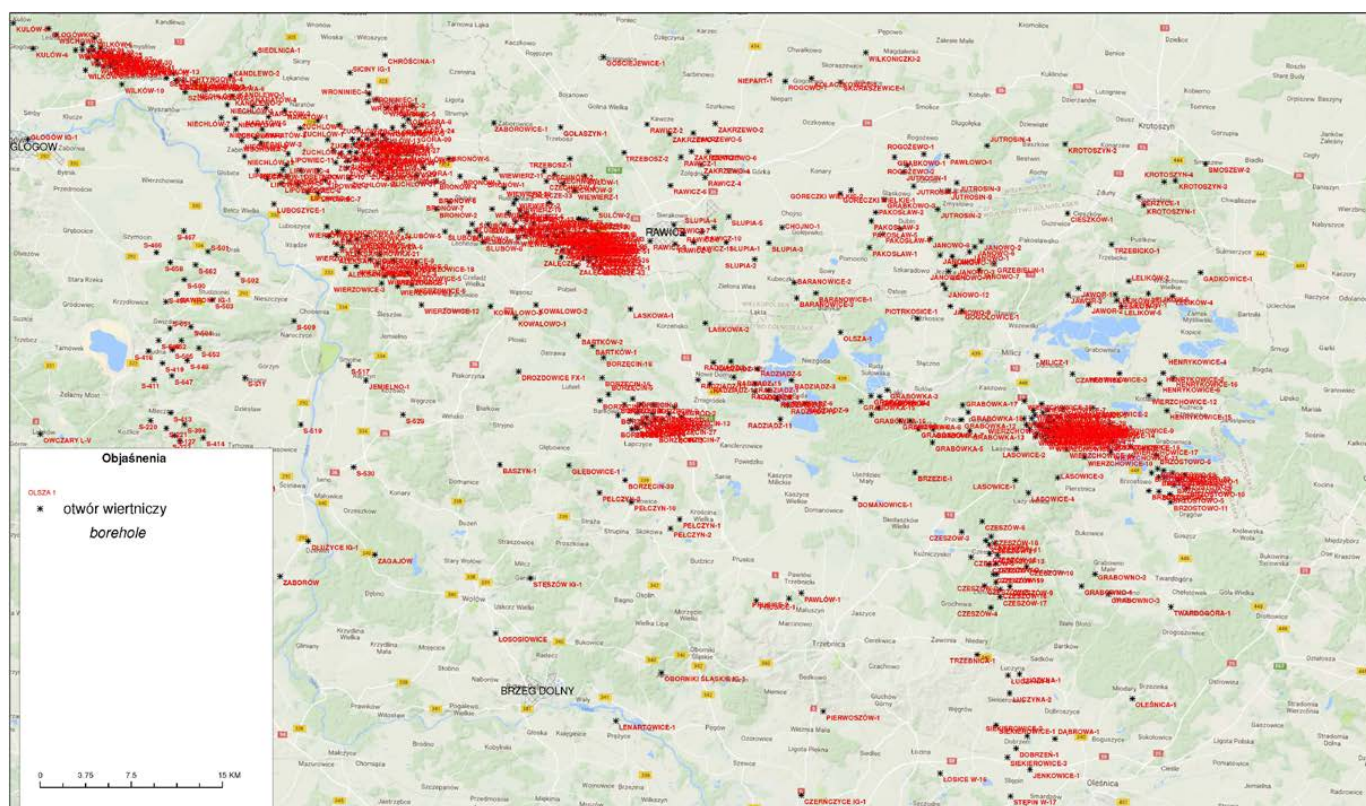
Key words: evaporites, Upper Permian (Zechstein), central Fore-Sudetic Monocline, SW Poland

WSTĘP

Ewaporaty (chlorki i siarczany) stanowią dominujący miąższościowo składnik górnopermskiej (cechsztyńskiej) sukcesji osadowej na obszarze monokliny przedsudeckiej (np. Pokorski, Wagner, 2001; Sokołowski, 1967; Wagner, 1994; Zwierzycki, 1951). W drugiej połowie ubiegłego wieku zostały one lepiej poznane dzięki poszukiwaniom i dokumentowaniu wystąpień rud miedzi i węglowodorów w utworach cechsztynu. Stratygrafię i wykształcenie osadów ewaporatowych najlepiej rozpoznano w zachodniej i środkowej części monokliny (np. Czapowski, 1995, 2001; Czapowski, Tomassi-Morawiec, 1987, 2006; Czapowski, Tomaszczyk, 2014; Czapowski i in., 1992, 2004; Kijewski, 1988; Kijewski, Salski, 1978; Kijewski i in., 1979; Kłapciński, 1964a, b,

1966a, b, 1967, 1971, 1986; 1989; Markiewicz, Becker, 2009, Milewicz, 1971; Peryt, Antonowicz, 1990; Peryt i in., 1996a, b; Podemski, 1964, 1965, 1972, 1973; Tomaszewski, 1962). Na północ od Wrocławia w rejonie Głogów-Lubin podczas dokumentowania złóż rud miedzi opracowano także dokumentację złóż soli kamiennej jako kopaliny towarzyszącej złożom miedzi (np. Kozula, Golczak, 1988; Kwaśny i in., 2013; Nuemann, 1995; Preidl, 1980; Szybist, 1976), na tym też obszarze szerzej omówiono zagadnienia tektoniki solnej (np. Kłapciński, 1989; Markiewicz, 1995, 2007; Markiewicz, Piotrowski, 1999; Salski, 1975). W ostatnich latach podjęto też próbę oszacowania zasobów przewidywanych soli kamiennej i soli potasowo-magnezowych na obszarze przedsudeckim (por. Czapowski, 2017; Czapowski, Bukowski, 2016; Czapowski i in., 2015; Mikulski i in., 2015, 2016).

Na obszarze położonym na wschód od tzw. Lubińsko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego z licznymi udokumentowanymi złożami rud miedzi zarejestrowano występowanie ewaporatów cechsztynu w wielu rozpoznawczych otworach wiertniczych, lecz wobec wyjątkowo skąpego materiału rdzeniowego brak jest określenia wykształcenia tych utworów. Nie analizowano dotychczas na tym obszarze przyczyn znacznej zmienności głębokości ich występowania i miąższości. Celem niniejszej pracy jest przedstawienie bardziej szczegółowego obrazu geologicznych warunków występowania serii ewaporatowych cechsztynu na tym obszarze, uzyskanego dzięki wykorzystaniu oprogramowania, umożliwiającego



Ryc. 1. Obszar badań na mapie topograficznej w skali 1:200 000
 Fig. 1. Studied area on the topographic map at scale 1:200 000

prorowadzenie analizy danych w środowisku 3D i wykreowanie szczegółowych map poszczególnych horyzontów geologicznych. Przy omówieniu wykształcenia komentowanych utworów ewaporatowych wykorzystano terminologię opisu struktury i tekstury tych skał, użytą przez cytowanych autorów, bez próby jej zaktualizowania – szczególnie w przypadku opisu soli kamiennej - zależnie od koncepcji czy dana skała ma charakter pierwotny (terminologia właściwa skałom osadowym), czy uległa przebudowie (terminologia stosowna dla skał metamorficznych).

OBSZAR I METODYKA BADAŃ

Przedstawiony w pracy obszar objęty analizą sięga na wschodzie po rejon Oleśnicy, Tylicza i Krotoszyna, na północy – od Kobyłina przez rejon Bojanowa i Wschowy, na zachodzie opiera się o rejon Lubina i Legnicy (złoża soli kamiennej

Bądzów w obrębie złoża rud miedzi Sieroszowice), zaś na południu analizę danych geologicznych prowadzono aż po rejon Środy Śląskiej i Wrocławia (ryc. 1). Obszar ten odwzorowany jest na 4 arkuszach mapy topograficznej w skali 1:200 000 (Kalisz M-34-I, Kluczbork M-34-VII, Leszno M-33-V i Ostrów Wielkopolski M-33-VI).

Zarys budowy geologicznej obszaru badań

Głównym przedmiotem analizy były utwory ewaporatowe cechsztyń (górnym perm), wkomponowane w 4 klasyczne sukcesje cyklotemowe o zmiennym zasięgu, od PZ1 do PZ4. Litostratygrafię tych utworów ukazuje tabela 1, w której podano także liczbę otworów wiertniczych rejestrujących dane wydzielenie oraz jego przeciętną miąższość.

Należy podkreślić użycie formuły „wydzielenie” w odniesieniu do omawianych utworów cechsztyń, np. „wydzielenie

Tabela. 1. Wydzielenia ewaporatowe w utworach górnego permu (cechsztyń) w centralnej części monokliny przedsudeckiej.
Table. 1. Evaporite units of the Upper Permian (Zechstein) succession from the Fore-Sudetic Monocline.

CYKLOTEM CYCLOTHEME	WYDZIELENIE (liczba otworów/średnia miąższość w m) UNIT (number of wells/average thickness in m)		
PZ4	anhydryt pegmatytowy górny (A4a2) <i>Upper Pegmatite Anhydrite</i> (8/1,26)		
	najmłodsza sól kamienna zailona (Na4at) <i>Youngest Clay Halite</i> (1/17,50)		
	najmłodsza sól kamienna (Na4a) <i>Youngest Halite</i> (126/5,82)		
	anhydryt pegmatytowy dolny (A4a1) <i>Lower Pegmatite Anhydrite</i> (21/1,60)		
PZ3	anhydryt stropowy (A3r) <i>top anhydrite</i> (15/3,65)		
	młodsza sól kamienna (Na3) <i>Younger Halite</i> (239/36,89)		
	anhydryt główny (A3) <i>Main Anhydrite</i> (592/31,39)		
PZ2	anhydryt kryjący (A2r) <i>Screening Anhydrite</i> (9/3,89)		
	starsza sól kamienna (Na2) <i>Older Halite</i> (14/55,18)		
	anhydryt podstawowy (A2) <i>Basal Anhydrite</i> (588/20,30)		
PZ1	anhydryt werry (A1) <i>Werra Anhydrite</i> (88/68,08)	anhydryt górny (A1g) <i>Upper Anhydrite</i> (524/38,44)	brekcja anhydrytowa (BrA1) <i>Anhydrite Breccia</i> (22/4,30)
		najstarsza sól kamienna górna (Na1g) <i>Oldest Halite – upper part</i> (19/62,49)	najstarsza sól kamienna (Na1) <i>Oldest Halite</i> (456/82,52)
		anhydryt śródsolny (A1s) <i>intrasalt anhydrite</i> (19/13,47)	
		najstarsza sól kamienna dolna (Na1d) <i>Oldest Halite – lower part</i> (19/37,32)	
	anhydryt dolny (A1d) <i>Lower Anhydrite</i> (525/50,97)		

starszej soli kamiennej”, zamiast „ogniwo czy warstwa starszej soli kamiennej”, który to termin ma określone konotacje formalne. Dotychczas nie przeprowadzono (np. Wagner, 1986, 1994) formalnego określenia rangi poszczególnych wydziełów litostratygraficznych cechsztynu w Polsce, za wyjątkiem lokalnie występujących osadów zubrowych (np. Wagner, Peryt, 1998). Analiza profili omawianych ewaporatów cechsztyńskich zmusza do wprowadzenia dodatkowych trzech nieformalnych wydziełów, nieobecnych w dotychczasowym formalnym schemacie litostratygraficznym cechsztynu w Polsce (Wagner, 1994):

- a) *anhdyrytu Werra* (A1), obejmujące oba wydziały anhydrytu górnego (A1g) i dolnego (A1d) w sytuacji braku rozdzielającej oba poziomy anhydrytów pokładu najstarszej soli kamiennej (Na1). Wydział ten stanowi zapewne odpowiednik facjalny i być może czasowy, osadzony w brzeżnej części basenu ewaporatowego, sukcesji dwu wymienionych wydziełów siarczanowych i jednego chlorowego,
- b) *anhdyrytu śródsolnego* (A1s), rozdzielającego wydział najstarszej soli kamiennej (Na1) na dwie części: dolną (Na1d) i górną (Na1g),
- c) *anhdyrytu stropowego* (A3r), który podobnie jak anhydryt kryjący (A2r) w cyklotemie PZ2 pojawia się nad serią solną (młodsza sól kamienna [Na3]) kończąc sukcesję cyklotemu PZ3 (tab. 1). Anhydryt ten stanowi odpowiednik facjalny i czasowy, osadzony w brzeżnej części basenu cechsztyńskiego cyklu PZ3, utworów wydziału młodszej soli kamiennej zailonej (Na3t) i zubrowego ogniwa Tuczna, wyróżnionych w centralnej części zbiornika (por. Wagner, 1994).

W skład czterech cyklotemów wchodzi także łupki ilaste, wapienie margliste i dolomityczne, dolomity, reprezentujące odrębne wydziały litostratygraficzne.

Na analizowanym obszarze nie stwierdzono występowania soli potasowo-magnezowych, zaś w stropie sukcesji cechsztyńskiej występuje powszechnie seria iłowcowo-mułowcowa, określana jako *stropowa seria terygeniczna* (PZt).

Utwory nadkładu utworów cechsztynu paleozoicznych to osady kenozoiczne i mezozoiczne. W żadnym z analizowanych otworów wiertniczych nie były one rdzeniowane, informacje o nich pochodzą z pobranych w trakcie wiercenia prób okruchowych i wykonanych karotaży.

Utwory kenozoiku obejmują osady czwartorzędowe (Q) i nierozdzielonego neogenu oraz paleogenu.

Utwory mezozoiku reprezentowane są głównie przez osady triasu i sporadycznie (2 otwory) na północy obszaru – utwory kredy. W analizowanych profilach otworów wiertniczych nie stwierdzono występowania utworów jurajskich.

Podłoże utworów cechsztynu stanowią zdeformowane skały piętra waryscyjskiego (Sokołowski, 1967; Znosko, 1998), reprezentowane przez:

- 1) utwory starszego permu (czerwonego spągowca), reprezentujące trzy megacykle diastroficzno-sedymentacyjne zbudowane ze zlepieńców, piaskowców, łupków ilastych i skał wulkanicznych (np. Pokorski, Wagner, 2001);
- 2) utwory karbonu górnego (westfal) zbudowane z piaskowców, iłowców mułowców i tufitów (*op. cit.*).

W budowie tektonicznej tej części monokliny przedśrodkowej wyróżnić można 3 główne piętra strukturalne: kenozoiczne, permsko-mezozoiczne (staroalpejskie) i dewońskie (?)-karbońskie (waryscyjskie).

Piętro waryscyjskie reprezentowane jest przez zdeformowaną osadową sukcesję karbońską. W podłożu permu w zapisie sejsmicznym interpretowane są dyslokacje o przebiegu NW-SE, i NE-SW (Pożaryski, Dembowski, 1983).

Permsko-mezozoiczne piętro strukturalne budują skały powstałe od górnego czerwonego spągowca po trias. Osady czerwonego spągowca, zalegające na karbonie, uformowały się w trakcie synsedymentacyjnych blokowych ruchów tektonicznych, generalnie w reżimie ekstensyjnym i przesuwczym (Karnkowski, 1991, 1999).

W efekcie oddziaływania laramijskich deformacji analizowany obszar uległ wydźwignięciu i w wyniku ścięcia erozyjnego powstała podtrzęciorzędowa powierzchnia niezgodności kątowej, na której osadziły się *osady kenozoiczne*, w znacznej części silnie zaburzone glacitektonicznie w plejstocenie.

Na badanym obszarze przebiegają dwie duże strefy uskokowe (ryc. 2):

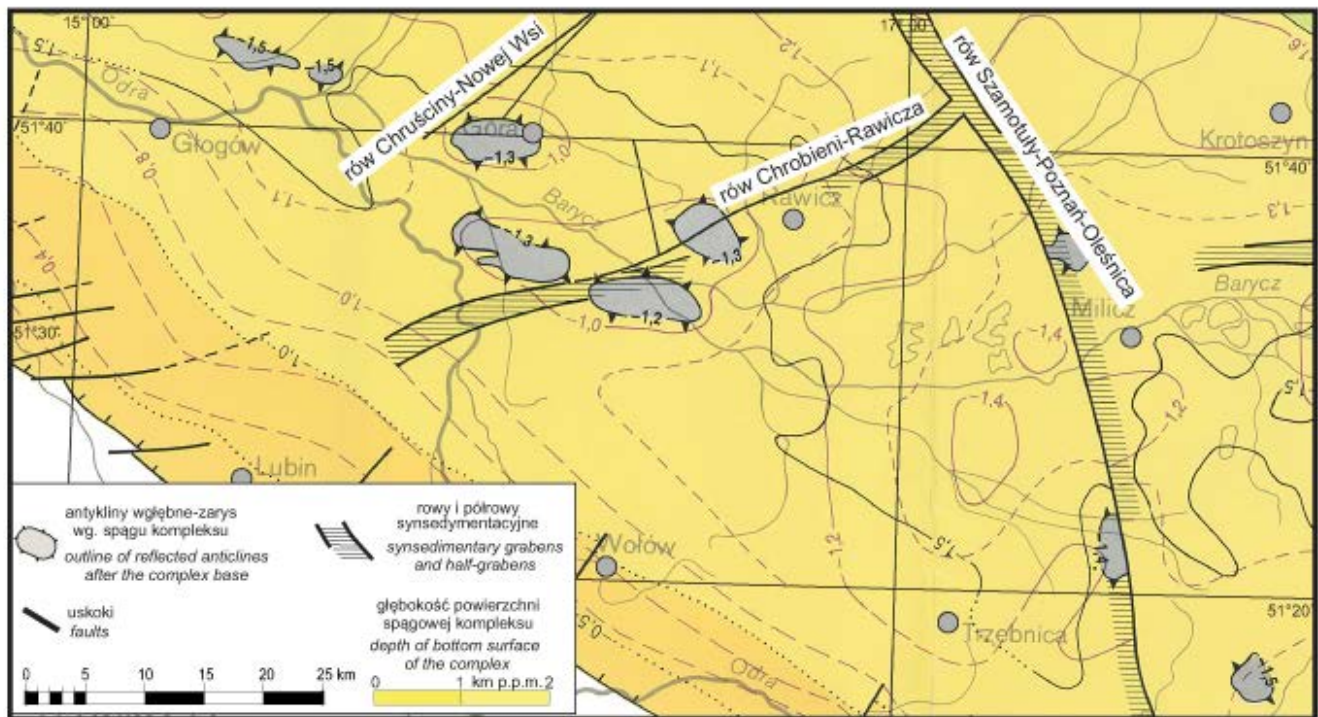
- a) znajdująca się w północno-zachodniej części obszaru i przebiegająca na kierunku NE-SW strefa uskokowa Chruściny-Nowa Wieś,
- b) znajdująca się w centralnej części obszaru i przebiegająca na kierunku ENE-WSW strefa uskokowa Chrobienia-Rawicz.

Strefy te łączą się w NE części (poza analizowanym obszarem) z przebiegającą na kierunku NW-SE strefą tektoniczną Szamotuły-Poznań-Oleśnica. W obrębie osadów permsko-mezozoicznych, strefy uskokowe Chruścina-Nowa Wieś, Chrobienia-Rawicz oraz Szamotuły-Poznań-Oleśnica mają charakter rowów tektonicznych, których powstanie zostało zainicjowane w trakcie ruchów kimeryjskich.

Rowy tektoniczne znajdują się najprawdopodobniej ponad regionalnymi strefami dyslokacyjnymi w podłożu cechsztynu (Pożaryski, Dembowski, 1983) powstałymi w trakcie deformacji waryscyjskich.

Wyniki szczegółowej interpretacji zdjęć sejsmicznych 3D w strefie Szamotuły-Poznań-Oleśnica obrzeżającej monoklinę od NE (Kowolek, 2000) ujawniają wzrost tempa subsyduencji w strefie rowów w kajprze i w liasie, co wskazuje na dominację reżimu transtensyjnego w tych interwałach czasowych.

Główne regionalne opracowania tektoniki tego obszaru wykonane zostały w końcu lat 70-tych XX w. przez Decz-



Ryc. 2. Obszar badań na wycinku mapy tektonicznej kompleksu cechsztyńsko-mezozoicznego (wg. Dadlez i in., 1998).

Fig. 2. Studied area on the fragment of tectonic map of the Zechstein-Mesozoic complex (after Dadlez et al., 1998).

kowskiego i Gajewską (1977, 1979). W pracach tych autorzy podkreślają rolę ruchów starokimeryjskich (kajper/retyk – jura dolna) i laramijskich (kreda górna-paleocen), reaktywowanych następnie w neogenie. Zwrócili oni uwagę na charakterystyczny kształt większości ze stref tektonicznych, mających w przekroju postać V-kształtnych bloków tektonicznych, których uskoki ograniczające zbiegają się w jeden uskoki w obrębie cechsztynu.

Rozwojowi rowów towarzyszyły lokalnie zjawiska tektoniki solnej. Przemieszczanie soli w płytsze partie górotworu było związane z ekstensją obszaru i powstawaniem zluźnień w strefach tektonicznych, wtedy znacznie lżejsze i plastyczne sole przemieszczały i wyciskały się ku górze.

Obserwacje Markiewicza (2007) - zawierające podsumowanie prac wcześniejszych z terenu kopalń LGOM (np. Kłapciński, 1989; Salski, 1975; Szybist, 1976), znajdujących się w bezpośrednim sąsiedztwie uskoku środkowej Odry na południowy-zachód od analizowanego obszaru – ujawniają złożoność i wielofazowość deformacji tektonicznych w obrębie cechsztynu oraz powszechne występowanie odkłucia mechanicznego w obrębie soli. Uskoki ekstensyjne o biegu NW-SE i zrzutach do 20 m, rozcinające spąg cechsztynu i zanikające w pokładzie najstarszej soli kamienniej (Na1), są w interpretacji autora (*op. cit.*) efektem prawoskrętnej wielofazowej reaktywacji strefy środkowej Odry. Ważną rolę w kształtowaniu tektoniki kompleksu cechsztyńskiego odegrały deformacje kompresyjne fazy laramijskiej. W jej trakcie doszło do powstania nasunięć i przeładowań anhidrytów, które istotnie zaburzyły wcześniejszy ekstensyjny plan strukturalny. Jest to ważna obserwacja wskazująca, że deformacje kompresyj-

ne cechsztynu mogą mieć na tym obszarze charakter penetratywny i obejmować również leżące na wschód od LGOM pokłady soli kamiennych, przyczyniając się do zróżnicowania ich miąższości. Późniejsza słaba ekstensyjna reaktywacja kimeryjskich struktur w neogenie ma mniejsze znaczenie dla przebudowy tektonicznej cechsztynu.

W rejonie stref tektonicznych zachodzić może zarówno zwielokrotnienie miąższości poprzez przemieszczenie nasuwce, jak również poprzez strome nachylenie warstw w obrębie fleksury lub występowanie załączkowej formy halokinetycznej, w której spiętrzeniu mogły ulec najbardziej mobilne sole.

Dane wiertnicze

Podstawowy materiał analityczny stanowiły archiwalne profile 635 otworów wiertniczych (ryc. 1), umieszczone w bazie danych Centralnej Bazy Danych Geologicznych (CBDG) oraz w lokalnych bazach, opracowanych na potrzeby aktualnie realizowanych projektów. W profilach tych dokonano weryfikacji i uzupełnienia wydzieleni stratygraficznych i litostratygraficznych, gdyż dominująca część otworów wykonana została w różnym czasie dla potrzeb poszukiwań surowców (głównie rud metali i węglowodorów). Skutkowało to bardzo wybiórczym rdzeniowaniem – w przypadku utworów cechsztynu dotyczyło zasadniczo poziomów węglanowych (Ca1, Ca2 i Ca3) oraz poziomu łupka miedzionośnego (T1), natomiast informacje o wykształceniu pozostałych wydzieleni w obrębie permu pochodziły jedynie z próbek okruchowych lub interpretacji karotaży otworowych. Utwory solne cechsztynu i towarzyszące im osady siarczanowe były praktycznie nierdzeniowane, jedyne rdzenie z tych skał pochodzą z obsza-

rów udokumentowanych złóż rud miedzi. Stąd konieczność weryfikacji przedstawionych w bazie CBDG profili pod kątem poprawnej rejestracji szczególnie tych utworów.

Praktycznie jedyny materiał rdzeniowy z utworów solnych i siarczanowych pochodzi z zachodniej części omawianego obszaru, gdzie udokumentowano złoża soli (obszar Lublińsko-Głogowski Okręgu Miedziowego) i stąd właśnie zaczerpnięto informacje o wykształceniu tych osadów (por. Czapowski i in., 1992).

Cyfrowe przetworzenie i modelowanie danych geologicznych

Do wykreowania przedstawionych map miąższości poszczególnych wydziałów ewaporatowych wykorzystano oprogramowanie umożliwiające analizę otworowych danych geologicznych w środowisku 3D. Użyty algorytm Discrete Smooth Interpolation (Mallet, 2002; Mallet, 2008) pozwolił na interpolację powierzchni stropowych i spągowych danego wydziału litostratygraficznego i w konsekwencji – stworzenie jego mapy miąższościowej.

Na prezentowanych mapach umieszczono - w oparciu o regionalne przesłanki tektoniczne, mapy archiwalne i przegląd dokumentacji sejsmicznej - szereg uskoków, głównie o przebiegu NE-SW, w tym dwa rowy tektoniczne wypełnione osadami jury i kredy, oraz serie uskoków o przebiegu NW-SE.

WARUNKI GEOLOGICZNE WYSTĘPOWANIA I WYKSZTAŁCENIE EWAPORATÓW CECHSZTYNU

Poniżej omówiono kolejno zasięgi i parametry występowania oraz ogólne wykształcenie poszczególnych wydziałów utworów ewaporatowych w obrębie kolejnych cyklotemów cechsztynu na badanym terenie.

Utwory cyklotemu PZ1

Na zarejestrowane ewaporatowe utwory tego cyklotemu składają się następujące wydzielenia: anhydryt dolny (A1d), najstarsza sól kamienna (Na1) i anhydryt górny (A1g). Ponadto w stropie lub spągu anhydrytu górnego wyróżnia się wydzielenie brekcji anhydrytowej (BrA1), zaś przy braku soli kamiennej w profilu cyklotemu utwory siarczanowe reprezentują wydzielenie tzw. anhydrytu werry (A1), obejmujące oba wydzielenia anhydrytu górnego i dolnego. Stosunkowo rzadkie występowanie w obrębie najstarszej soli kamiennej poziomu anhydrytu śródsolnego cyklotemu PZ1 (A1s) powoduje w tych miejscach konieczność rozdzielania serii solnej na dwa podwydzielenia: najstarszą sól kamienną górną (Na1g) i dolną (Na1d). Parametry występowania wymienionych wydziałów zawiera tabela 2.

Anhydryt dolny (A1d)

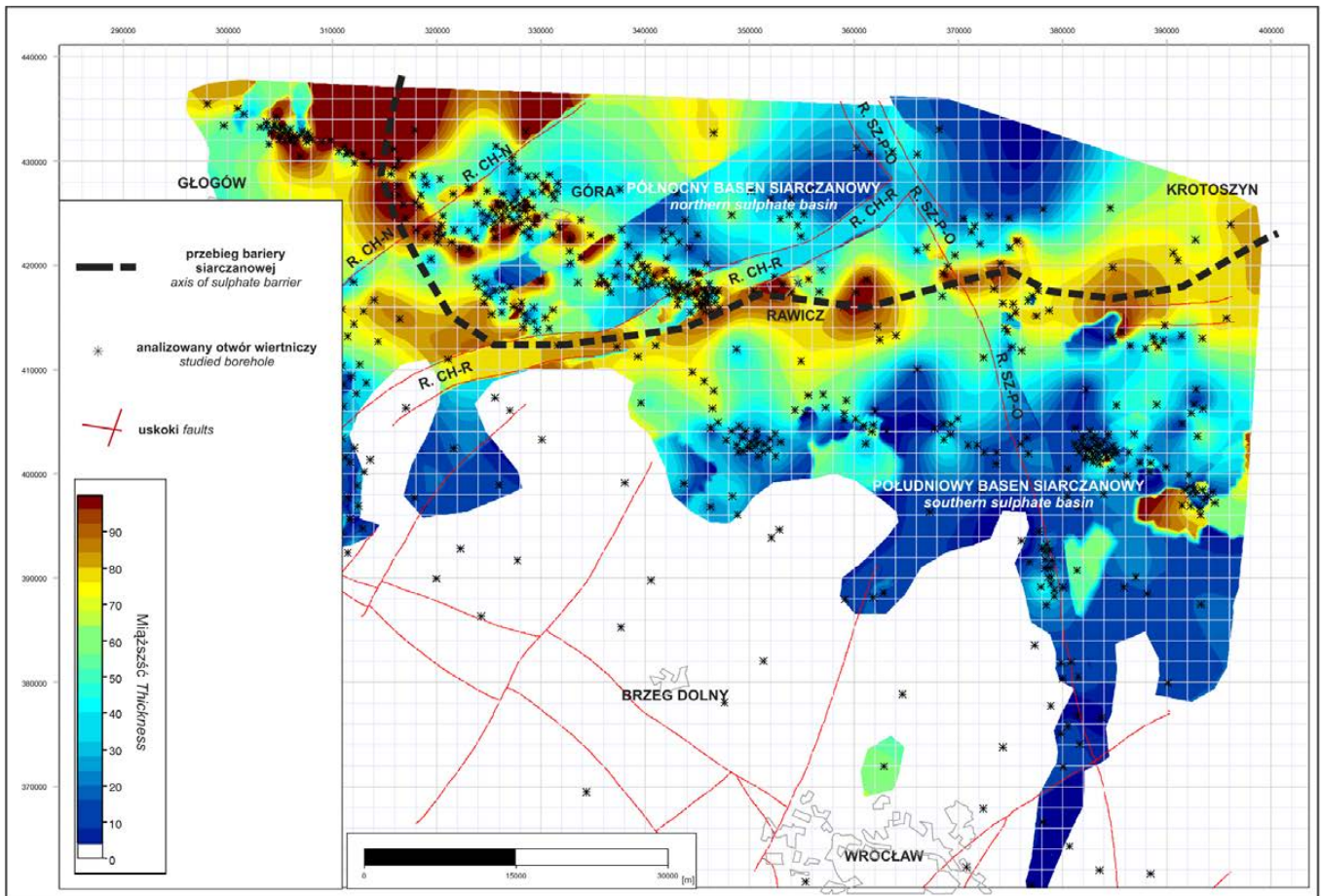
Utwory anhydrytu dolnego (A1d) zarejestrowano w 525 otworach wiertniczych na głębokości od 479,0 m do 1858,0 m (strop) i od 489,5 m do 1885,0 m (spąg; tab. 2). Średnia głębokość ich występowania to: strop – 1441,14 m (mediana – 1437,5 m) i spąg – 1492,11 m (mediana – 1499,0 m). Ich miąższość zmienia się od 1,0 m do 152,0 m (średnia – 50,97 m, mediana – 43,0 m; tab. 2).

Przy braku soli kamiennej w profilu cyklotemu PZ1 utwory tzw. anhydrytu werra (A1) zarejestrowano w 88 otworach wiertniczych na głębokości od 334,8 m do 1624,5 m (strop) i od 368,0 m do 1669,5 m (spąg). Średnia głębokość ich występowania to: strop – 1119,26 m (mediana – 1165,75 m) i spąg – 1187,33 m (mediana – 1246,50 m). Ich miąższość zmienia się od 17,5 m do 144,8 m (średnia – 66,08 m, mediana – 64,15 m; tab. 2). Komentowana poniżej mapa miąższości utworów siarczanowych anhydrytu dolnego (ryc. 3) uwzględnia także

Tabela 2. Parametry występowania utworów ewaporatowych cyklotemu PZ1 cechsztynu na obszarze centralnej części monokliny przedsudeckiej.

Table 2. Parameters of Zechstein PZ1 cyclotheme evaporites from the central Fore-Sudetic Monocline.

CYKLOTEM PZ1 CYCLOTHEME PZ1												
PARAMETR PARAMETER	A1g			BrA1			Na1			A1d		
	strop_top (m)	spąg_bottom (m)	miąższość thickness (m)	strop_top (m)	spąg_bottom (m)	miąższość thickness (m)	strop_top (m)	spąg_bottom (m)	miąższość thickness (m)	strop_top (m)	spąg_bottom (m)	miąższość thickness (m)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
WARTOŚĆ MINIMALNA MINIMUM	426,00	473,80	2,30	473,80	479,00	0,80	810,00	1064,00	1,50	479,00	489,50	1,00
WARTOŚĆ MAKSYMALNA MAXIMUM	1806,00	1808,90	95,80	1521,50	1525,00	14,20	1771,50	1858,00	517,50	1858,00	1885,00	152,00
ŚREDNIA (ARTMETYCZNA) AVERAGE	1331,38	1369,82	38,44	1033,79	1038,09	4,30	1371,57	1454,09	82,52	1441,14	1492,11	50,97
MEDIANA	1323,25	1363,25	37,50	1157,90	1161,25	3,50	1360,00	1432,50	70,25	1437,50	1499,00	43,00
LICZBA OTWORÓW NUMBER OF WELLS	524	524	524	22	22	22	456	456	456	525	525	525
CYKLOTEM PZ1 CYCLOTHEME PZ1												
PARAMETR PARAMETER	Na1g			A1s			Na1d			A1		
	strop_top (m)	spąg_bottom (m)	miąższość thickness (m)	strop_top (m)	spąg_bottom (m)	miąższość thickness (m)	strop_top (m)	spąg_bottom (m)	miąższość thickness (m)	strop_top (m)	spąg_bottom (m)	miąższość thickness (m)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
WARTOŚĆ MINIMALNA MINIMUM	1158,00	1264,50	12,50	1264,50	1278,00	2,50	1278,00	1294,00	2,00	334,80	368,00	17,50
WARTOŚĆ MAKSYMALNA MAXIMUM	1717,50	1737,50	137,00	1737,50	1762,50	42,50	1762,50	1777,50	100,50	1624,50	1669,50	144,00
ŚREDNIA (ARTMETYCZNA) AVERAGE	1384,85	1447,34	62,49	1447,34	1460,81	13,47	1460,81	1498,13	37,32	1119,26	1187,33	68,08
MEDIANA	1373,00	1412,50	66,00	1075,00	1424,00	11,50	1424,00	1491,00	27,00	1165,75	1246,50	64,15
LICZBA OTWORÓW NUMBER OF WELLS	19	19	19	19	19	19	19	19	19	88	88	88



Ryc. 3. Mapa miąższości utworów siarczanowych anhydrytu dolnego (A1d) na obszarze SE części monokliny przedsudeckiej. Objasnienia: R. CH-N - strefa uskokuwa Chruściny-Nowa Wieś, R. CH-R - strefa uskokuwa Chrobienia-Rawicz; R. SZ-P-O - strefa uskokuwa Szamotuły-Poznań-Oleśnica

Fig. 3. Thickness map of Lower Anhydrite (A1d) deposits in the SE part of Fore-Sudetic Monocline

Captions: R. CH-N - strefa uskokuwa Chruściny-Nowa Wieś, R. CH-R - strefa uskokuwa Chrobienia-Rawicz; R. SZ-P-O - strefa uskokuwa Szamotuły-Poznań-Oleśnica

osady tzw. anhydrytu werra, skupione głównie w południowej części obrazowanego obszaru.

Zróznicowanie miąższości utworów anhydrytu dolnego oraz anhydrytu werra (ryc. 3) jest przeważnie natury pierwotnej i wynika ze zmiennej batymetrii zbiornika siarczanowego. W partiach płytszych zbiornika osady siarczanowe były akumulowane szybciej, tworząc miąższe (grubość siarczanów od 7 m do ponad 100 m) struktury w formie barier i wysp np. widoczna łukowata strefa *bariery siarczanowej* i przyległych małych wysp/płyczn, przecięta wąskimi przesmykami, przebiegająca od rejonu na NE od Głogowa przez okolice Rawicza po Krotoszyn na wschodzie (ryc. 3). Bariera to rozdziela głębsze partie zbiornika, tzw. *baseny siarczanowe* (baseny północny i południowy), w których akumulacja siarczanów była spowolniona (miąższość do 30 m - ryc. 3).

Utwory bariery zostały później poprzesuwane wzdłuż dyslokacji podczas ruchów kimeryjskich, co najlepiej widoczne jest w obrębie rowu Chrobienia-Rawicz i północnej części strefy uskokuwa Chruściny-Nowa Wieś (ryc. 3). Przy uskokuach rejestruje się miejscami maksymalną pozorną miąż-

szość utworów siarczanowych, wynikającą z ich bardzo stromego nachylenia.

Wykształcenie utworów anhydrytu dolnego w najbliższym omawianemu obszarowi rejonie Sieroszowice-Lubin (teren LGOM) omawiał Kłapciński (1966a), wydzielając w ich profilu kolejno od dołu: anhydryty o strukturze gruzelkowej, następnie – falistej i anhydryty afanitowe w stropie. W rejonie Wrocławia opisano (Czapowski i in., 1992) anhydryty o strukturze gruzłowej z przewarstwieniami anhydrytów bezteksturalnych, brekcji i laminitów stromatolitowych oraz warstwowanych z relikami selenitowymi. Są to głównie utwory epigenetyczne z pewnym udziałem siarczanów pierwotnych. W stronę Lubina utwory siarczanowe są dość cienkie i dominuje w nich struktura gruzłowa. Badania petrograficzne wskazują (Czapowski i in., 1992; Lorenc, 1975) wskazują na obecność anhydrytów o genezie pierwotnej, epigenetycznej i mieszanej. Dominuje anhydryt grubokryształiczny, mniejszy udział mają anhydryty różnokryształiczne o strukturze porfiroblastycznej i odmiany drobnokryształiczne. Przeważa struktura skał granoblastyczna, porfiroblastyczna

i poikiloblastyczna, rzadziej pojawiają się struktury lepidoblastyczna i sferolityczna. Dominującym minerałem jest anhydryt, podrzędnie występuje neogeniczny gips, węglany (dolomit, kalcyt), halit, substancja ilasta, sporadycznie kwarc, skalenie, magnetyt i magnezyt.

Opisy odcinków rdzeniowych z utworów zaklasyfikowanych jako anhydryt dolny, np. z otworu Bronów-4 w rejonie Góry (środkowa część analizowanego obszaru), określają te skały jako bało-szaro-niebieskie, z odcieniem beżowym anhydryty, średnio- i grubokrystaliczne, nieregularnie lub faliście smugowany ciemną substancją ilastą i ilasto-dolomityczną, której w dolnej części towarzyszą bituminy. W dolnej części profilu pojawiają się partie anhydrytu o strukturze oczkowej (tzw. anhydryt „zlepnięcowaty”).

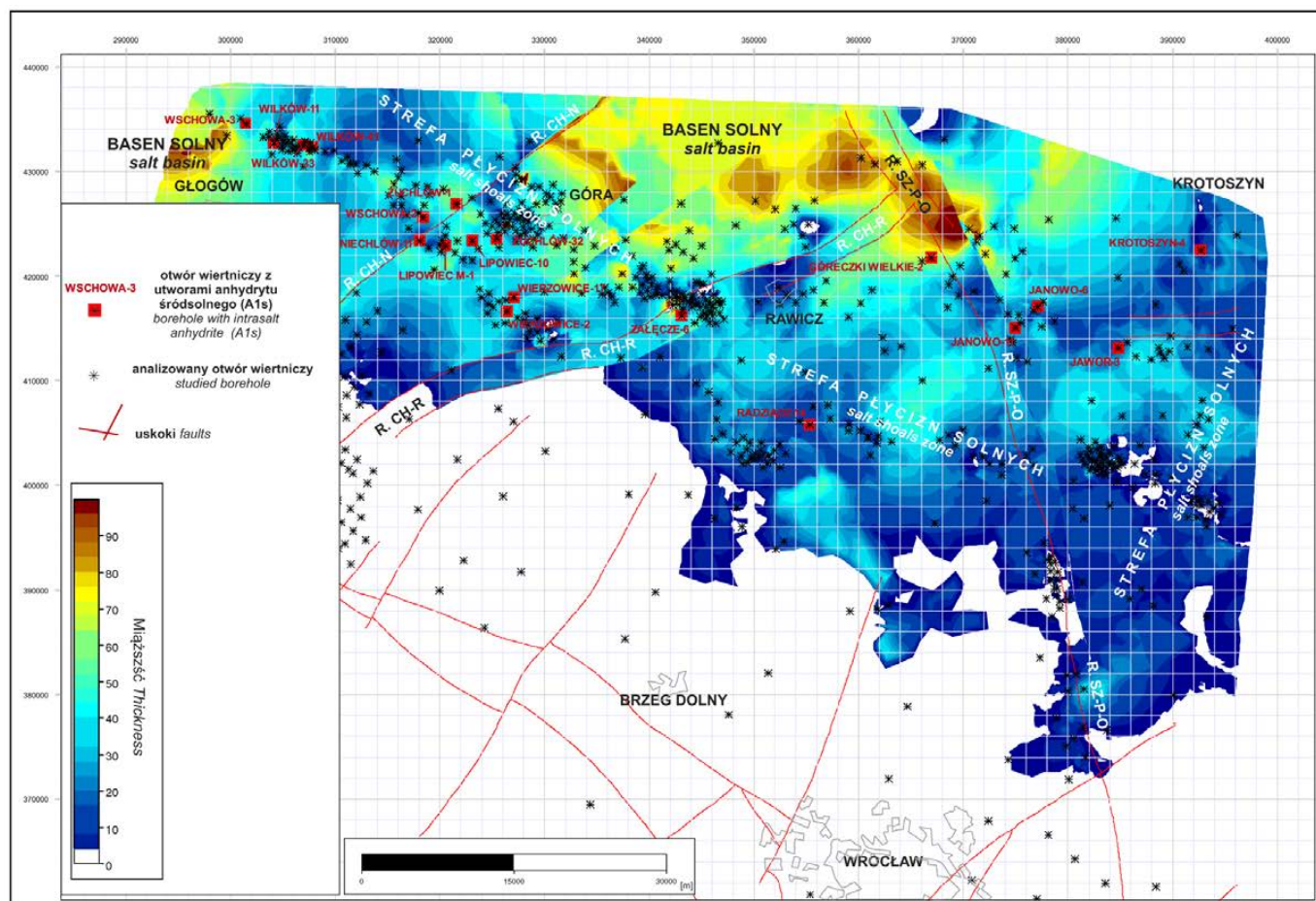
Najstarsza sól kamienna (Na1) wraz za anhydrytem śródsolnym (A1s)

Utwory nierozdzielonej najstarszej soli kamiennej (Na1) wyróżniono w 456 otworach wiertniczych na głębokości od 810,0 m do 1771,5 m (strop) i od 1064,0 m do 1858,0 m (spąg; tab. 2). Średnia głębokość ich występowania to: strop – 1371,57 m (mediana – 1360,0 m) i spąg – 1454,09 m (media-

na – 1432,5 m). Ich miąższość zmienia się od 1,5 m do 517,5 m (średnia – 82,52 m, mediana – 70,25 m; tab. 2).

Obecność utworów tzw. anhydrytu śródsolnego (A1s) w 19 otworach wiertniczych powoduje rozdzielenie najstarszej soli kamiennej nad dwa podwydzielenia: najstarszą sól kamienną górną (Na1g) i dolną (Na1d). Anhydryt śródsolny zarejestrowano na głębokości od 1264,5 m do 1737,5 m (strop) i od 1278,0 m do 1762,5 m (spąg; tab. 2). Średnia głębokość ich występowania to: strop – 1447,34 m (mediana – 1075,0 m) i spąg – 1460,81 m (mediana – 1424,0 m). Ich miąższość zmienia się od 2,5 m do 42,5 m (średnia – 13,47 m, mediana – 11,5 m; tab. 2).

Z kolei utwory najstarszej soli kamiennej górnej (Na1g) występują na głębokości od 1158,0 m do 1717,5 m (strop) i od 1264,5 m do 1737,5 m (spąg; tab. 2). Średnia głębokość ich występowania to: strop – 1384,85 m (mediana – 1373,0 m) i spąg – 1447,34 m (mediana – 1412,5 m). Ich miąższość zmienia się od 12,5 m do 137,0 m (średnia – 62,49 m, mediana – 66,0 m; tab. 2). Utwory najstarszej soli kamiennej dolnej (Na1d) zarejestrowano na głębokości od 1278,0 m do 1762,5 m (strop) i od 1294,0 m do 1777,5 m (spąg; tab. 2). Średnia głębokość ich występowania to: strop – 1460,81 m (mediana



Ryc. 4. Mapa miąższości utworów najstarszej soli kamiennej (Na1) na obszarze SE części monokliny przedsudeckiej z zaznaczeniem występowania utworów anhydrytu śródsolnego (A1s). Objasnienia: jak na ryc. 3

Fig. 4. Thickness map of Oldest Halite (Na1) deposits in the SE part of Fore-Sudetic Monocline with marked wells registered the intrasalt anhydrite (A1s) unit. Captions: as on Fig. 3

– 1424,0 m) i spąg – 1498,13 m (mediana – 1491,0 m). Ich miąższość zmienia się od 2,0 m do 100,5 m (średnia – 37,32 m, mediana – 27,0 m; tab. 2).

Przedstawiona mapa miąższości soli (ryc. 4) ukazuje zróżnicowanie grubości całego kompleksu najstarszej soli kamiennej, z włączeniem warstwy anhydrytu śródsolnego (A1s).

Podobnie jak w przypadku utworów anhydrytu dolnego zróżnicowanie miąższości osadów najstarszej soli kamiennej (ryc. 4) można w dużym stopniu tłumaczyć zmienną batymetrią zbiornika chlorkowego. Dużą miąższość (od 70 m do ponad 100 m) osady solne osiągnęły w obrębie głębszych *basenów solnych*, wypełniających wcześniejszy północny zbiornik siarczanowy i mały zbiornik na północ od Głogowa. Głębokość tych zbiorników zapewniała warunki dla spokojnej akumulacji chlorków zapewne aż do ich wypełnienia. Z kolei na odziedziczonych po depozycji siarczanów wyniesieniach dna zbiornika – tzw. *plycizny solne*, obejmujące teren wcześniejszej bariery i pływizn siarczanowych – osadzili się stosunkowo cienkie (do 20 m) osady chlorkowe. Duża zmienność warunków na tych pływiznach, spowodowana przemiennie występującymi okresami ewaporacji soli i momentami wynurzeń dna, połączonych z ew. niszczeniem zakumulowanego osadu przez opady (np. Czapowski, Tomassi Morawiec, 2013), skutkowała niewielką ostateczną miąższością nagromadzonego osadu w sytuacji niskiej subsydencji dna zbiornika.

Lokalnie duże miąższości soli (>100 m), zarejestrowane np. w północnej części rowu tektonicznego Szamotuły–Poznań–Oleśnica, są zapewne częściowo miąższością pozorną, efektem bardzo stromego nachylenia tego wydzielenia skalnego w strefach oddziaływania procesów halotektonicznych.

Wkładki siarczanów anhydrytu śródsolnego (A1s) odnotowano głównie wśród stosunkowo cienkich utworów solnych występujących w pasie pływizn (ryc. 4), pomiędzy Góra a Rawiczem, natomiast nie stwierdzono ich w grubych seriach chlorków terenu basenów solnych.

Odwrotne wzajemne relacje rozkładu miąższości utworów najstarszej soli kamiennej (Na1) i podścielających je utworów anhydrytu dolnego (A1d) wskazują na realizację podczas ich depozycji modelu basenu ewaporatowego typu „wypełnieniowego” (Czapowski, Tomaszczyk, 2014). W modelu tym osady chlorkowe wypełniają stopniowo zbiornik o zróżnicowanej batymetrii, wykreowanej przez zmienne tempo osadzania siarczanów, poprzedzających etap chlorkowej ewaporacji. Analogiczny obraz relacji siarczan/chlorki w utworach cyklotemu PZ1 opisano na północnym obrzeżu polskiego basenu cechsztyńskiego, na obszarze tzw. wyniesienia Łęby (np. Czapowski, 1987, 1998, 2007; Czapowski, Tomassi-Morawiec, 1985; Czapowski i in., 1993; Peryt i in., 1992).

Informacji o wykształceniu utworów najstarszej soli kamiennej (Na1) i tzw. anhydrytu śródsolnego (A1s) z najbliższego otoczenia omawianego obszaru dostarczają głównie dokumentacje geologiczne złóż rud miedzi (Kozula, Golczak, 1988; Kwaśny i in., 2013; Preidl, 1990) oraz opracowanie monograficzne utworów cechsztyń z obszaru LGOM (Czapowski i in., 1992).

W pokładzie soli kamiennej, występującej ponad złożem rud miedzi Sieroszowice, wyróżniono 5 odmian strukturalnych soli (Preidl, 1980):

- a) sól czysta, grubokrystaliczna (kryształy 5-10 mm średnicy), porfirowata, masywna lub pasiasta,
- b) sól szara, średnio-grubokrystaliczna (kryształy 2-10 mm średnicy), z domieszką ilitu, masywna i warstwowana piaskiem anhydrytowym,
- c) sól białawo-szara, średnio-grubokrystaliczna, warstwowana w zmiennych odstępach piaskiem anhydrytowym,
- d) sól jasno-szara, zanieczyszczona ilitem i anhydrytem,
- e) sól anhydrytyczna, średnio-grubokrystaliczna.

Ponadto występuje w pokładzie solnym sól wielkokrystaliczna (kryształy >10 mm średnicy) wtórna (efekt rekrytalizacji spowodowanej np. tektoniką lub krasem), tworząca soczewy i żyły.

Z kolei w profilach otworów, przewiercających pokład najstarszej soli kamiennej na terenie LGOM (Czapowski i in., 1992; Kozula, Golczak, 1988; Książkowska i in., 2015), stwierdzono występowanie soli kamiennej białej i szarej, półprzezroczystej i przezroczystej, głównie średnio-grubokrystalicznej, różno- do równokrystalicznej, miejscami wielkokrystalicznej, silnie potrzaskanej, z lokalnie widocznym w makro i mikroskali kierunkowym wydłużeniem kryształów (Burliga, 2007). Anhydryt tworzy skupienia gruzłowe, smugi i laminy. Dominującym minerałem w solach jest halit, jako domieszka występuje anhydryt, substancja ilasta (illit, chloryt, minerały mieszanopakietowe - montmorillonit), sporadycznie celestyn, kaolin, kwarc autigeniczny, diagenetyczny magnezyt oraz węglany (dolomit i kalcyt) (por. Cyran i in., 2016; Czapowski i in., 1992; Preidl, 1990). Odnotowano także obecność substancji organicznej w inkluzjach (Toboła i in., 2016). Podczas obserwacji mikroskopowych soli stwierdzono też występowanie relików kryształów halitu o budowie szewronowej, zdeformowane laminki anhydrytu, zaś duże kryształy halitu (poprawnie - blasty) są silnie spękane, z widocznymi przemieszczeniami kulisowymi (Czapowski i in., 1992).

Opisane z obszaru LGOM w szeregu otworów wiertniczych utwory anhydrytu śródsolnego (A1s) są wykształcone (Czapowski i in., 1992) jako anhydryty bezteksturalne i poziomo laminowane przewarstwione solą (facja pływizn siarczanowych) oraz faliście laminowane i gruzłowe (facja sebhya). W obrazie mikroskopowym widoczna jest wyraźna laminowana tekstura tych skał, częste są też pseudomorfozy po kryształach gipsu i halitu.

Anhydryt górny (A1g) i brekcja anhydrytowa (BrA1)

Utwory anhydrytu górnego (A1g) wyróżniono w 524 otworach wiertniczych (ryc. 5) na głębokości od 426,0 m do 1806,0 m (strop) i od 473,8 m do 1808,9 m (spąg; tab. 2). Średnia głębokość ich występowania to: strop – 1331,38 m (mediana – 1323,25 m) i spąg – 1369,82 m (mediana – 1363,25 m). Ich miąższość zmienia się od 2,3 m do 95,8 m (średnia – 38,44 m, mediana – 37,5 m; tab. 2).

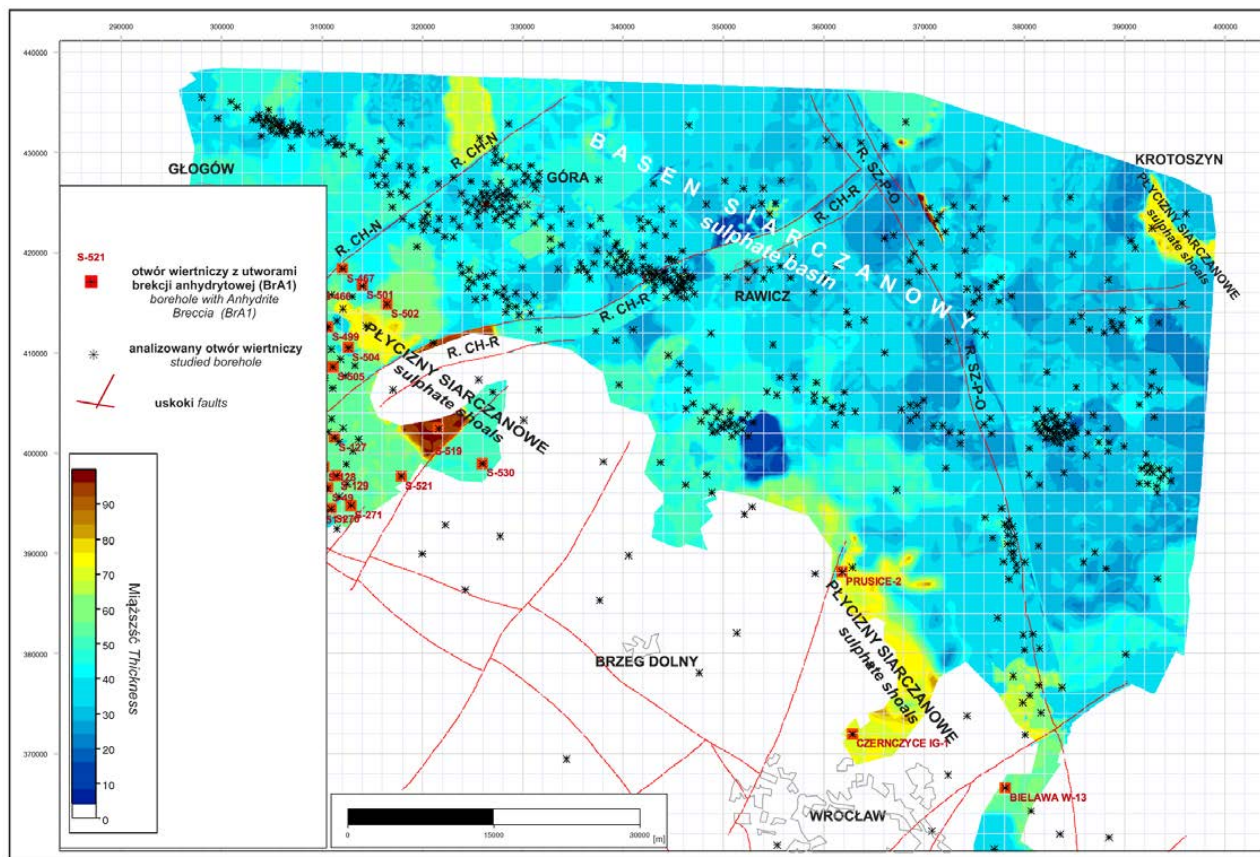
Utwory brekcji anhydrytowej (BrA1) zarejestrowano w 22 otworach wiertniczych (ryc. 5) na głębokości od 473,8 m do 1521,5 m (strop) i od 479,0 m do 1525,0 m (spąg; tab. 2). Średnia głębokość ich występowania to: strop – 1033,79 m (mediana – 1157,9 m) i spąg – 1038,09 m (mediana – 1161,25 m). Ich miąższość zmienia się od 0,8 m do 14,2 m (średnia – 4,3 m, mediana – 3,5 m; tab. 2).

Rozkład miąższości utworów siarczanowych (ryc. 5), przykrywających utwory najstarszej soli kamiennej, wskazuje na koncentrację bardziej miąższych (50-80 m) osadów głównie w SW (rejon Lubina) i S (na północ od Wrocławia) części omawianego obszaru. Tam też skupione są wystąpienia utworów brekcji anhydrytowej (BrA1). Na pozostałym obszarze grubość utworów siarczanowych nie przekracza 50 m, jedynie lokalnie: na NW od Góry i na S od Krotoszyna występują niewielkie wystąpienia o większej miąższości (ryc. 5), nawią-

zujące do podobnych wzrostów grubości osadów wydzielenia anhydrytu dolnego (ryc. 3).

Generalnie przedstawiony rozkład miąższości siarczanów anhydrytu górnego (A1g) nie wykazuje wyraźnych powiązań z rozkładami miąższości starszych ewaporatów czy przebiegiem dyslokacji i akumulacja tych utworów przebiegała niezależnie od wcześniejszych założeń morfologicznych. Nastąpiła ona zapewne na terenie zbiornika ewaporacyjnego o wyrównanej batymetrii, płytszego w odlądowej części SW omawianego obszaru i stopniowo pogłębiającego się ku północy (ryc. 5). W części płytszej, określonej tu jako obszary *plyciny siarczanowych*, częstym odsłonięciem dna towarzyszyła erozja zakumulowanego osadu, prowadząca do powstania utworów brekcji anhydrytowej (BrA1) w spągu bądź w profilu utworów anhydrytu górnego (A1g). W części głębszej, opisanej jako *basen siarczanowy* (ryc. 5), osadziły się cieńsze osady siarczanowe, bez wyraźnych znamion erozji.

Wzajemne relacje rozkładu miąższości utworów najstarszej soli kamiennej (Na1) i przykrywających je utworów anhydrytu górnego (A1g) wraz z brekcją anhydrytową (BrA1) w pewnym stopniu kontynuują wcześniej opisany model depozycji ewaporatów (basen ewaporatowy typu „wypełnieniowego” – por. Czapowski, Tomaszczyk, 2014), bazujący na zróżnicowanej batymetrii zbiornika sedymentacyjnego.



Ryc. 5. Mapa miąższości utworów anhydrytu górnego (A1g) na obszarze SE części monokliny przedsudeckiej z zaznaczeniem występowania utworów brekcji anhydrytowej (BrA1). Objaśnienia: jak na ryc. 3.

Fig. 5. Thickness map of Upper Anhydrite (A1g) deposits in the SE part of Fore-Sudetic Monocline with marked wells registered the Anhydrite Breccia (BrA1) unit. Captions: as on Fig. 3.

Tabela 3. Parametry występowania utworów ewaporatowych cyklotemu PZ2 cechsztyń na obszarze centralnej części monokliny przedsudeckiej.**Table 3.** Parameters of Zechstein PZ2 cyclothème evaporites from the central Fore-Sudetic Monocline.

PARAMETR PARAMETER	CYKLOTEM PZ2 CYCLOTHEME PZ2								
	A2r			Na2			A2		
	strop top (m)	spąg bottom (m)	miąższość thickness (m)	strop top (m)	spąg bottom (m)	miąższość thickness (m)	strop top (m)	spąg bottom (m)	miąższość thickness (m)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
WARTOŚĆ MINIMALNA MINIMUM	1152,50	1161,00	1,00	778,50	1008,50	3,50	320,30	334,80	1,50
WARTOŚĆ MAKSYMALNA MAXIMUM	1725,00	1729,50	8,50	1729,50	1734,00	297,00	1718,00	1743,00	63,00
ŚREDNIA (ARTMETYCZNA) AVERAGE	1438,83	1442,72	3,89	1335,11	1390,29	55,18	1278,41	1298,71	20,30
MEDIANA	1382,50	1383,50	3,00	1358,25	1374,00	15,25	1280,00	1303,75	20,50
LICZBA OTWORÓW NUMBER OF WELLS	9	9	9	14	14	14	588	588	588

Wykształcenie utworów anhydrytu górnego (A1g) w rejonie Sieroszowice-Lubin (teren LGOM) omawiał Kłapciński (Kłapciński, 1966a – por. Czapowski i in., 1992), wydzielając w ich profilu kolejno od dołu 6 poziomów:

- (1) brekcja okruchów anhydrytu spojona ciemnoszarym ilem, odpowiadająca utworom wydzielenia brekcji anhydrytowej (BrA1), opisywanym przez Lorenca (1975) w okolicach Wrocławia. Lorenc (*op. cit.*) opisał 3 typy brekcji o zmiennym stopniu selekcji ułożonych kierunkowo owalnych fragmentów anhydrytu i wzajemnych ciągłych przejściach. Drobnokrystaliczne spoiwo stanowią węglany (dolomit) anhydryt, minerały ilaste (montmorylonit i illit) oraz uwodnione tlenki żelaza. Brekcja ta, stanowiąca dobry poziom korelacyjny (Lorenc, 1975), w rejonie Wrocławia i Lubina pojawia się w spągu utworów anhydrytu górnego, natomiast dalej na N i NW występuje w wyższej części tego wydzielenia (Kłapciński, 1966a; Peryt i in., 1996a). Z kolei na obszarach występowania utworów najstarszej osoli kamiennej (Na1) w rejonie Lubina poziom brekcji odnotowano ponad solą, a lokalnie nawet w jej obrębie (Kłapciński, 1966a),
- (2) tzw. anhydryty pseudoperełkowe, w których występują drobne (średnica 1-3 mm) owalne ziarna anhydrytu, spojone ciemnoszarą substancją ilastą lub ilasto-dolomityczną (tekstura perełkowa),
- (3) tzw. anhydryty perełkowe o bardzo wyraźnej teksturze perełkowej,
- (4 i 5) odpowiednio tzw. anhydryty drobno- i grubooczkowe, zbudowane z owalnych ziaren anhydrytu (średnice odpowiednio 5-10 mm i 10-30 mm), spojone substancją ilastą lub ilasto-dolomityczną,
- (6) tzw. anhydryty o niewyraźnej teksturze perełkowej.

W obrazie petrograficznym wśród utworów anhydrytu górnego przeważają anhydryty drobno- do średnio- i różnoziarnistych (Kłapciński, 1966a - por. Czapowski i in., 1992), o strukturze lepidoblastycznej i granoblastycznej, rzadziej porfiroblastycznej, nematoblastycznej i poikiloblastycznej, co sugeruje epigenetyczny charakter tych skał (Lorenc, 1975). Średnica ziaren anhydrytu waha się od 0,8 mm do 1,44 mm

(por. Czapowski i in., 1992). Poza anhydrytem występują neogeniczne ziarna gipsu, sporadycznie włókniste skupienia wtórnego polihalitu, zaś rozproszonym agregatom ziaren węglanowych towarzyszą smugi substancji ilastej oraz niekiedy skupienia substancji organicznej oraz pojedyncze ziarna boracytu (*op. cit.*).

Z kolei w rejonie Wrocławia i Lubina powyżej utworów brekcji anhydrytowej opisano (Lorenc, 1975) kolejno serię anhydrytów masywnych (beztteksturalnych), anhydrytów przekrystalizowanych, oraz anhydrytów warstwianych z poziomami pseudomorfoz po selenitowych kryształach gipsu, przykrytych przez kompleks anhydrytów o strukturze gruzłowej. Są to głównie utwory epigenetyczne bądź o genezie mieszanej (pierwotne i epigenetyczne), jedynie w południowej części zasięgu wydzielenia występują w jego stropie anhydryty o genezie pierwotnej (*op. cit.*).

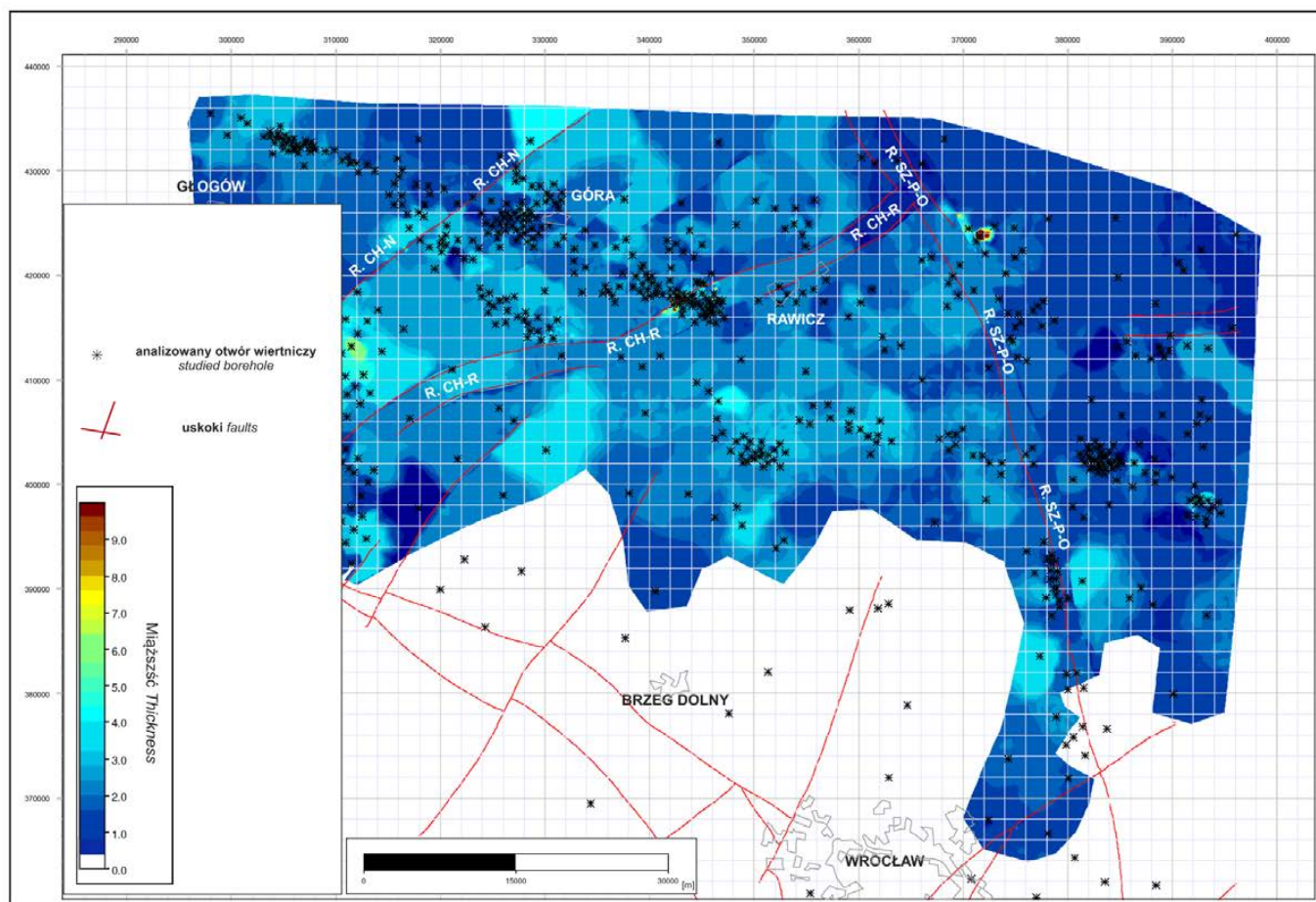
Utwory cyklotemu PZ2

Utwory ewaporatowe tego cyklotemu obejmują następujące wydzielenia: anhydryt podstawowy (A2), starsza sól kamienna (Na2) i anhydryt kryjący (A2r). Parametry występowania wymienionych wydzieleni zawiera tabela 3.

Anhydryt podstawowy (A2)

Utwory anhydrytu podstawowego (A2) zarejestrowano w 588 otworach wiertniczych, na głębokości od 320,3 m do 1718,0 m (strop) i od 334,8 m do 1743,0 m (spąg; tab.3). Średnia głębokość ich występowania to: strop – 1278,41 m (mediana – 1280,0 m) i spąg – 1298,71 m (mediana – 1303,75 m). Ich miąższość zmienia się od 1,5 m do 63,0 m (średnia – 20,3 m, mediana – 20,5 m; tab. 3).

Rozkład miąższości utworów siarczanowych (ryc. 6), podścielających utwory starszej soli kamiennej (Na2), wskazuje na stosunkowo większe zróżnicowanie w środkowej i zachodniej części badanego obszaru, gdzie pojawiają się nieregularne, „wyspowe” wystąpienia o miąższości siarczanów w przedziale 30-60 m, powiązane przypuszczalnie z lokalnymi spłyconiami dna zbiornika ewaporacyjnego. Ich rozmieszczenie i kształt w niewielkim stopniu jest uwarunkowa-



Ryc. 6. Mapa miąższości utworów anhydrytu podstawowego (A2) na obszarze SE części monokliny przedsudeckiej. Objasnienia: jak na ryc. 3.
Fig. 6. Thickness map of Basal Anhydrite (A2) deposits in the SE part of Fore-Sudetic Monocline. Captions: as on Fig. 3.

ny strefami dyslokacyjnymi i tektonika synsedymacyjna w tym etapie depozycji nie odgrywała znaczącej roli. W kierunku NE i NW zarejestrowana niewielka miąższość siarczanów (do 20 m; ryc. 6) wynika przypuszczalnie z niższego tempa ich akumulacji w zbiorniku siarczanowym, pogłębiającym się ku centrum basenu cyklu PZ2 cechsztynu. Z kolei podobne niewielkie miąższości, obserwowane w południowej części obszaru (ryc. 6), na skraju obecnego zasięgu wydzielenia, należy raczej wiązać zarówno z ograniczoną akumulacją siarczanów na skraju zbiornika jak również z późniejszym erozyjnym usunięciem ich części.

Wysztalcenie utworów anhydrytu podstawowego (A2) w rejonie Sieroszowice-Lubin (teren LGOM) omawiał Kłapciński (Kłapciński, 1967 – por. Czapowski i in., 1992), wydzielaając w ich profilu kolejno od dołu 5 poziomów:

- (1) anhydryty laminowane poziomo, skośnie bądź faliście, z laminami dolomitycznymi,
- (2) anhydryty kawernowe dolne, z kawernami wypełnionymi substancją ilastą,
- (3) dolna brekcja anhydrytu i ilitu, w której w masie ciemnoszarego ilitu występują fragmenty anhydrytu o zmiennych kształtach i rozmiarach (do kilku cm),

- (4) anhydryty kawernowe górne, z wkładkami anhydrytów masywnych i laminowanych,
- (5) górna brekcja anhydrytu i ilitu, z rosnącym ku stropowi udziałem substancji ilastej.

Opisy odcinków rdzeniowanych z utworów zaklasyfikowanych jako anhydryt podstawowy, np. z otworu Bronów-4 w rejonie Góry, określają te skały jako beżowo-szare dolomityczne anhydryty, skryto- i drobnokrystaliczne, przechodzące w spąg w dolomit anhydrytyczny.

Badania petrograficzne (Czapowski i in., 1992) wskazują, że omawiane anhydryty to głównie skały drobnokrystaliczne (maks. średnica ziaren to 0,8 mm) o strukturze lepidoblastycznej, rzadziej granoblastycznej oraz utwory grubokrystaliczne (ziarna anhydrytu o średnicy do 2,2 mm) o strukturze porfiroblastycznej i granoblastycznej, miejscami o strukturze nematoblastycznej i sferolitycznej. Poza anhydrytem występują w skale skupienia ziaren i „listewki” neogenicznego gipsu, poprzerastane polihalitem oraz skupienia i ziarna węglanów (dolomit), wzbogacone w substancję bitumiczną i tlenki żelaza. Substancja ilasta tworzy smugi lub okruchy i skupienia o średnicy do 0,8 mm, zaś substancja organiczna zwykle współwystępuje z materiałem ilastym bądź tworzy skupienia

i smugi. W poziome górnej brekcji anhydrytowej odnotowano obecność pojedynczych ziaren kwarcu, blaszek muskowitu, pirytu oraz węglanowe fragmenty organizmów (*op. cit.*).

Starsza sól kamienna (Na2)

Obecność utworów starszej soli kamiennej (Na2) stwierdzono w 14 otworach wiertniczych, na głębokości od 778,5 m do 1729,5 m (strop) i od 1008,5 m do 1734,0 m (spąg; tab. 3). Średnia głębokość ich występowania to: strop – 1335,11 m (mediana – 1358,25 m) i spąg – 1390,29 m (mediana – 1374,0 m). Ich miąższość zmienia się od 3,5 m do 297,0 m (średnia – 55,18 m, mediana – 15,25 m; tab. 3). Ekstremalna stwierdzona miąższość np. środkowa część rowu tektonicznego Chrobienia-Rawicz (ryc. 7) jest miąższością pozorną, wynikiem bardzo stromego nachylenia tego wydzielenia skalnego wskutek „wypiętrzenia” soli wzdłuż stref uskokowych.

Lokalne występowanie utworów starszej soli kamiennej (ryc. 7) we wschodniej i północnej części omawianego obszaru oraz nikłe ich zróżnicowanie miąższościowe (dominuje miąższość do 20 m) nie pozwala na wysnucie uzasadnionych wniosków o warunkach ich depozycji i możliwej zmiennej batymetrii zbiornika salinarnego, jak to przedstawiono

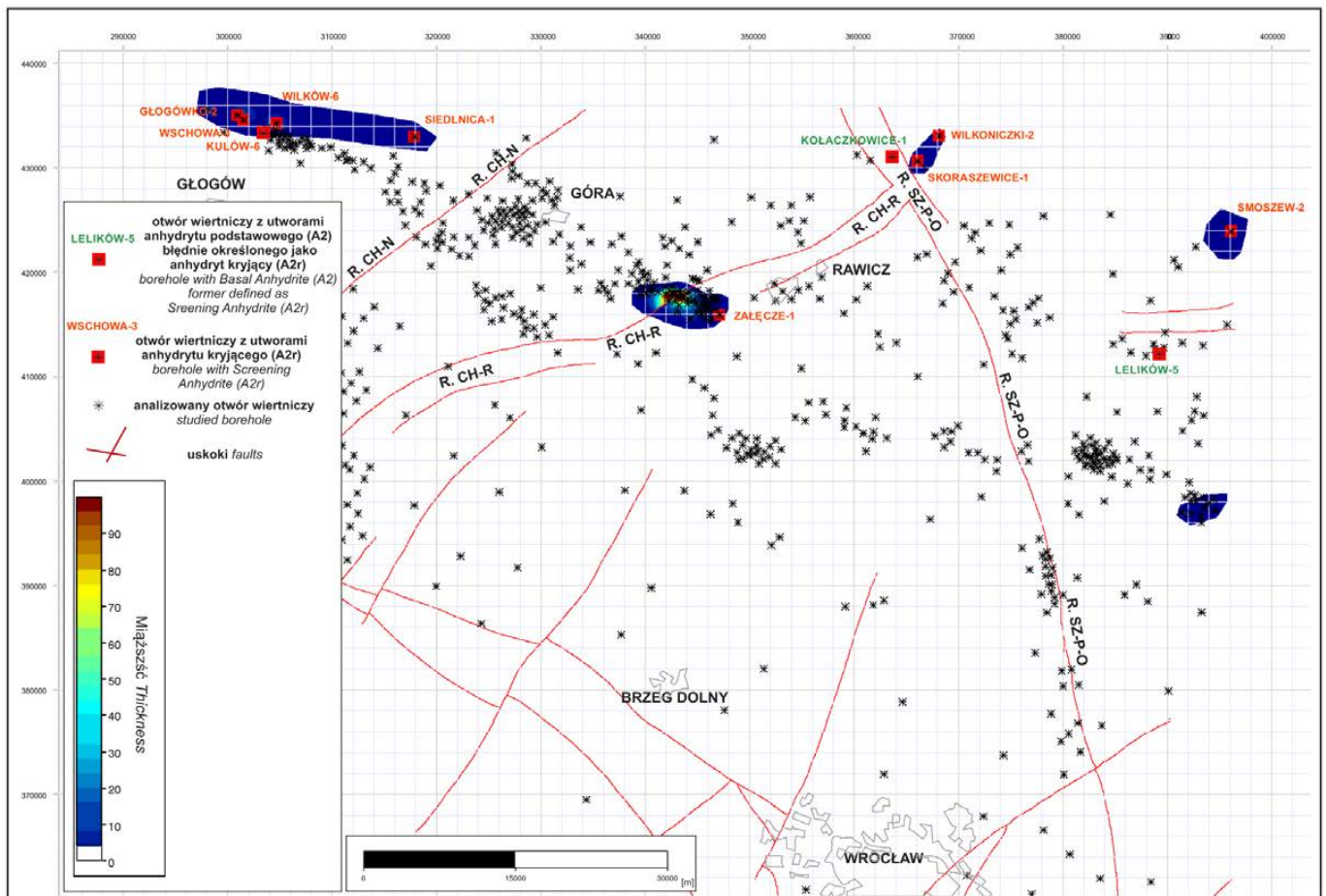
w przypadku utworów cyklotemu PZ1. Nie jest pewne czy obecny obraz rozmieszczenia soli odzwierciedla ich pierwotne występowanie czy jest też wynikiem usunięcia ich części przez późniejszą erozję.

Informacje o wykształceniu tych soli kamiennych pochodzą jedynie z badań prowadzonych na profilach otworów, rejestrujących pokład tej soli na terenie LGOM (Czapowski i in., 1992).

Są to głównie sole kamienne o barwie beżowej, szarej i różowawej, przezroczyste do nieprzezroczystych, głównie średnio-grubokrystaliczne, różno- do równokrystalicznych, miejscami wielokrystaliczne, silnie potraskane, z widocznym lokalnie kierunkowym wydłużeniem kryształów halitu. Anhydryt w solach tworzy skupienia gruzłowe, smugi i laminy. W składzie mineralnym obok halitu i anhydrytu występuje substancja ilasta (illit, chloryt), badania petrograficzne wykazały także sporadycznie obecność autigenicznych kryształów kwarcu i węglanów (dolomit i kalcyt).

Anhydryt kryjący (A2r)

Utwory anhydrytu kryjącego (A2r) wyróżniono w 9 otworach wiertniczych w północnej części badanego obszaru nad



Ryc. 7. Mapa miąższości utworów starszej soli kamiennej (Na2) na obszarze SE części monokliny przedsudeckiej z zaznaczeniem występowania utworów anhydrytu kryjącego (A2r). Objasnienia: jak na ryc. 3.

Fig. 7. Thickness map of Older Halite (Na2) deposits in the SE part of Fore-Sudetic Monocline with marked wells registered the Screening Anhydrite (A2r) unit. Captions: as on Fig. 3.

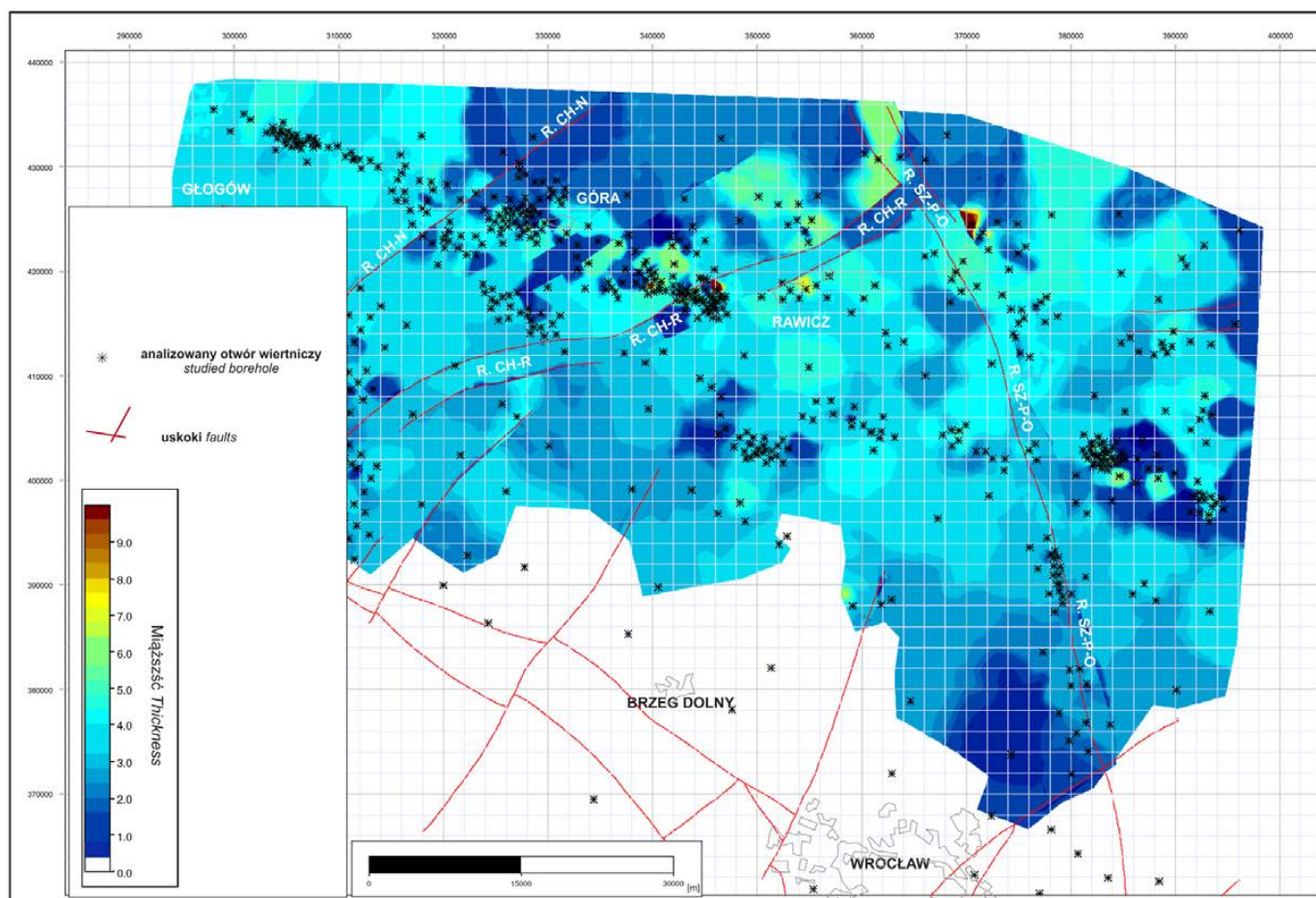
Tabela 4. Parametry występowania utworów ewaporatowych cyklotemu PZ3 cechsztynu na obszarze centralnej części monokliny przedsudeckiej.**Table 4.** Parameters of Zechstein PZ3 cyclotheme evaporites from the central Fore-Sudetic Monocline.

PARAMETR PARAMETER	CYKLOTEM PZ3 CYCLOTHEME PZ3								
	A3r			Na3			A3		
	strop top (m)	spąg bottom (m)	miąższość thickness (m)	strop top (m)	spąg bottom (m)	miąższość thickness (m)	strop top (m)	spąg bottom (m)	miąższość thickness (m)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
WARTOŚĆ MINIMALNA MINIMUM	867,00	905,00	0,20	790,00	1089,00	1,00	400,30	403,50	2,50
WARTOŚĆ MAKSYMALNA MAXIMUM	1600,50	1601,50	38,00	1698,50	1704,50	450,00	1704,50	1722,50	100,00
ŚREDNIA (ARTMETYCZNA) AVERAGE	1252,38	1256,03	3,65	1319,68	1356,56	36,89	1250,45	1281,84	31,39
MEDIANA	1242,50	1243,00	1,00	1345,00	1374,50	23,50	1245,00	1279,25	34,00
LICZBA OTWORÓW NUMBER OF WELLS	15	15	15	239	239	239	592	592	592

utworami chlorkowymi (ryc. 7). Omawiane siarczany stwierdzono na głębokości od 1152,5 m do 1725,0 m (strop) i od 1161,0 m do 1729,5 m (spąg; tab. 3). Średnia głębokość ich występowania to: strop – 1438,83 m (mediana – 1382,5 m) i spąg – 1442,72 m (mediana – 1383,5 m). Ich miąższość zmienia się od 1,0 m do 8,5 m (średnia – 3,89 m, mediana – 3,0 m; tab. 3).

Podobnie jak w przypadku podścielających chlorków skąpe dane geologiczne nie pozwalają wysnuć wniosków o ich pierwotnym rozprzestrzenieniu i paleogeografii zbiornika depozycyjnego.

Wykształcenie utworów anhydrytu kryjącego (A2r) zbadano najlepiej w odległym rejonie Nowej Soli (Podemski, 1973), gdyż na najbliższym obszarze LGOM one nie występują i chlorki cyklotemu PZ2 przykryte są tam pelitycznymi utworami wydzielenia szarego łu solnego (Czapowski i in., 1992). W okolicach Nowej Soli dolną część profilu anhydrytu kryjącego budują anhydryty pasmowane i laminowane lub smugowane (grubość lamin to 0,2-2 cm) substancją ilasto-dolomityczną (tzw. litosom L – Podemski, 1973) zaś górną – anhydryty gruzelkowe, gruzłowo-mozaikowe (gruzy siarczanowe o średnicy od kilku mm do 4 cm), miejscami warstwo-

**Ryc. 8.** Mapa miąższości utworów anhydrytu głównego (A3) na obszarze SE części monokliny przedsudeckiej. Objaśnienia: jak na ryc. 3.**Fig. 8.** Thickness map of Main Anhydrite (A3) deposits in the SE part of Fore-Sudetic Monocline. Captions: as on Fig. 3.

wane oraz mozaikowe i podrzędnie biolaminy (tzw. litosom M). W omawianych siarczanach występują pseudomorfozy po kryształach selenitowych gipsu, powierzchnie erozyjne, laminacja pozioma i smugowanie, uziarnienie frakcyjne, automorficzne kryształy halitu oraz ooidy powierzchniowe z jądrem siarczanowym i otoczką dolomityczną (por. Czapowski i in., 1992). Badania mikroskopowe (*op. cit.*) wskazują na obecność poza anhydrytem minerałów ilastych, kwarcu, łuszczyków, węglanów (dolomit i magnezyt), materii organicznej oraz agregatów pirytu.

Utwory cyklotemu PZ3

Na utwory cyklotemu PZ3 składają się trzy wydzielienia ewaporatowe: anhydryt główny (A3), młodsza sól kamienna (Na3) i tzw. anhydryt stropowy (A3ar), których parametry występowania zawiera tabela 4.

Anhydryt główny (A3)

Utwory anhydrytu głównego (A3) zarejestrowano w 592 otworach wiertniczych, na głębokości od 400,3 m do 1704,5 m (strop) i od 403,5 m do 1722,5 m (spąg; tab. 4). Średnia głębokość ich występowania to: strop – 1250,45 m (mediana – 1245,0 m) i spąg – 1281,84 m (mediana – 1279,25 m). Ich miąższość zmienia się od 2,5 m do 100,0 m (średnia – 31,39 m, mediana – 34,0 m; tab. 4).

Rozkład miąższości utworów siarczanowych anhydrytu głównego (ryc. 8), rozpoczynających sedimentację ewaporatów cyklotemu PZ3, cechuje stosunkowo słabe zróżnicowanie. Na większości omawianego obszaru miąższość ta zmienia się w granicach 25-45 m, z lokalnymi większymi wartościami (do 70-100 m) w pobliżu stref uskokowych np. otoczenie rowu Chrabienia-Rawicz i północnej części rowu Szamotuły-Poznań-Oleśnica (ryc. 8). Tak duże miąższości są zapewne miąższościami pozornymi, na co pośrednim dowodem jest sąsiedztwo obszarów z siarczanami o niewielkiej (do 25 m) grubości. Generalnie niewielkie miąższości siarczanów zarejestrowano w północnej i lokalnie we wschodniej części badanego obszaru, co być może jest wynikiem ich spowolnionej akumulacji w przegłębionych partiach basenu siarczanowego w odróżnieniu od dominującego terenu płycizn, gdzie przyrost osadów był szybszy. Z kolei niewielka grubość tych utworów w SE części, na NE od Wrocławia (ryc. 8) raczej jest wynikiem ich krótkotrwałej depozycji lub nawet częściowej erozji w najbardziej odlądowej strefie zbiornika ewaporatowego.

Wykształcenie utworów anhydrytu głównego (A3) w rejonie Lubina i Sieroszowic przedstawił Kłapciński (1966b), który wyróżnił w ich obrębie cztery ogniwa:

- (1) anhydryty pseudosferolityczne (sferolity ziaren anhydrytu w masie szarego anhydrytu),
- (2) anhydryty sferolityczne (sferolity ziaren anhydrytu o średnicy 0,5-2 cm), lokalnie z przerostami szarozółtego do-

lomitu i ciemnoszarymi dolomityczno-ilastymi i licznymi kawernami,

- (3) anhydryty kryptosferolityczne, podobnie wykształcone jak anhydryty sferolityczne lecz o mniejszych sferolitych (średnica do 1,6 mm), z przerostami anhydrytu bezteksturalnego,
- (4) gipsy wielkoziarniste, brunatnoszare, z nieregularnymi smugami gipsu włóknistego.

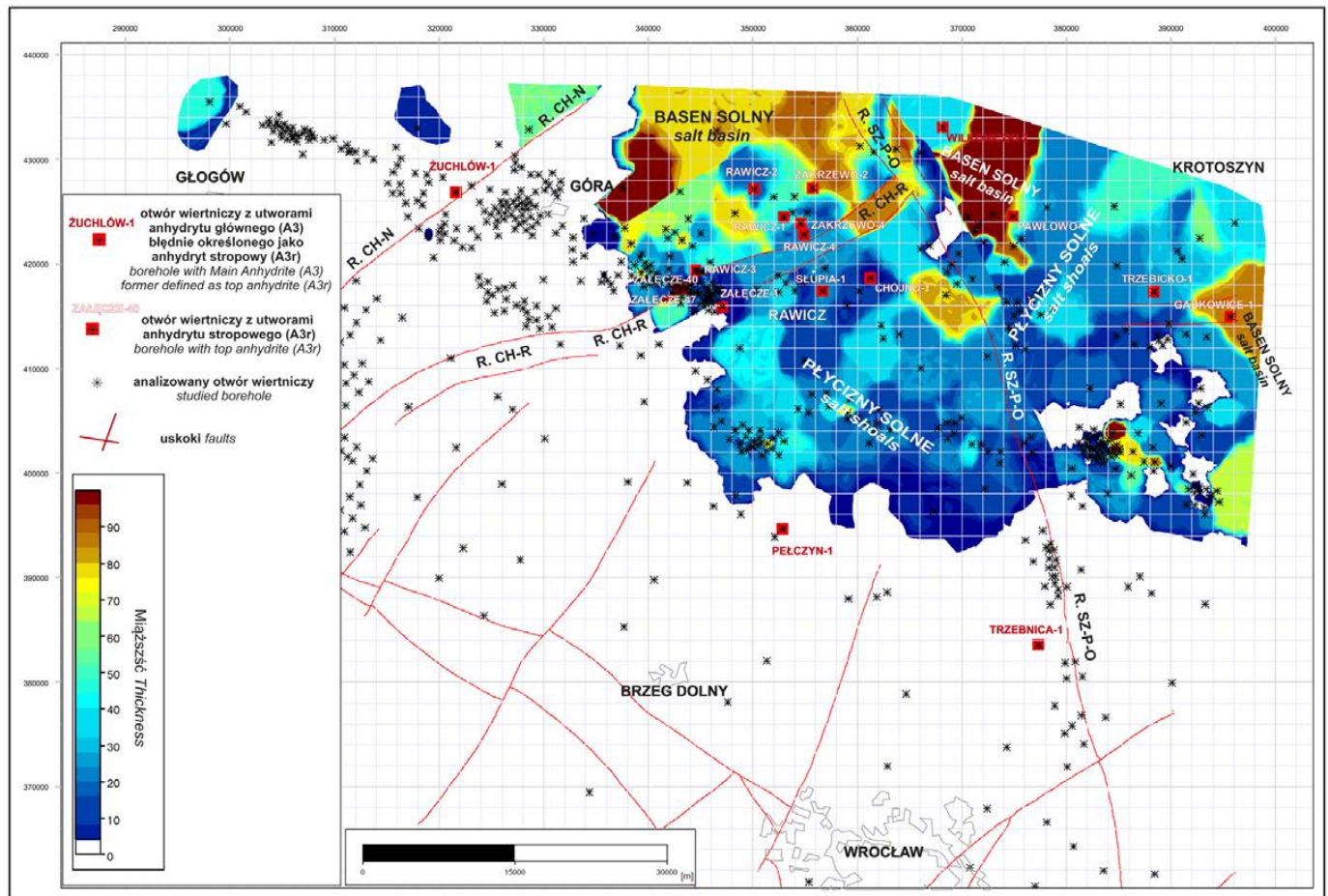
Opisy prób okruchowych i odcinków rdzeniowych z utworów zaklasyfikowanych jako anhydryt główny, np. z otworu Bronów-4 w rejonie Góry, określają te skały jako szare, w dolnej części biało-szare do beżowych, średnio- i grubokrystaliczne oraz skrytokrystaliczne anhydryty, z przerostami i wkładkami czarnej substancji ilastej oraz smugami i wkładkami dolomitu. Anhydryt w górnej części charakteryzuje struktura oczkowa, w dolnej zaś rośnie udział wkładek dolomitu, niekiedy o zarysie falistym lub nachylonych pod kątem 5-15 stopni. Cała seria anhydrytu jest w tym otworze silnie spękana.

Badania petrograficzne (por. Czapowski i in., 1992) wskazują, że omawiane anhydryty cechuje głównie struktura sferolityczna, miejscami lepidoblastyczna lub sferolityczno-granoblastyczna, rzadko nematoblastyczna. Anhydryty o strukturze granoblastycznej są bardzo drobnoziarniste lub porfiro- i poikiloblastyczne, zawierają sferolity anhydrytowe lub anhydrytowo-gipsowe o średnicy 0,5-5 mm. Oprócz anhydrytu i gipsu stwierdzono obecność w skale epigenetycznego polihalitu, agregatów dolomitu z towarzyszącą substancją bitumiczną i ilastą, podrzędnie zaś pirytu i wodorotlenków żelaza i sporadycznie – langbjarnitu.

Z kolei na obszarze pomiędzy Wrocławiem i Lubinem dolną część utworów anhydrytu głównego budują masywne anhydryty, zaś górną – anhydryty warstwowe i laminowane z wkładkami anhydrytów gruzłowych oraz ilowców z gruzłami anhydrytu (*op. cit.*).

Młodsza sól kamienna (Na3)

Utwory młodszej soli kamiennej (Na3) wyróżniono w 239 otworach wiertniczych, na głębokości od 760,0 m do 1698,5 m (strop) i od 1089,0 m do 1704,5 m (spąg; tab. 4). Średnia głębokość ich występowania to: strop – 1319,68 m (mediana – 1345,5 m) i spąg – 1356,56 m (mediana – 1374,5 m). Ich miąższość zmienia się od 1,0 m do 450,0 m (średnia – 36,89 m, mediana – 23,5 m; tab. 4), zaś ekstremalna miąższość soli (450 m) została zarejestrowana w pobliżu stref uskokowych np. północnej części rowu Szamotuły-Poznań-Oleśnica (ryc. 9) i jest miąższością pozorną, wynikiem bardzo stromego nachylenia tego wydzielenia skalnego w strefach zaangażowanych tektonicznie.



Ryc. 9. Mapa miąższości utworów młodszej soli kamiennej (Na₃) na obszarze SE części monokliny przedsudeckiej z zaznaczeniem występowania utworów anhydrytu stropowego (A3r). Objasnienia: jak na ryc. 3.

Fig. 9. Thickness map of Younger Halite (Na₃) deposits in the SE part of Fore-Sudetic Monocline with marked wells registered the top anhydrite (A3r) unit. Captions: as on Fig. 3.

Zróznicowanie miąższości osadów młodszej soli kamiennej (ryc. 9) przypomina – pod względem relacji z podścielającymi sól utworami anhydrytu głównego – obraz przedstawiony dla chlorków cyklotemu PZ1 (ryc. 4). „Wyspowy” charakter występowania soli w zachodniej części badanego obszaru (rejon Głogowa i Góry) oraz lokalny brak tych utworów we wschodniej części są przypuszczalnie wynikiem ich erozyjnego usunięcia u schyłku cechsztynu lub później. Jednak w środkowej części obszaru widoczna jest znana z cyklotemu PZ1 zależność – w południowej jego części, na wcześniejszych płycinach basenu siarczanowego ze średnią miąższością osadów, nagromadziły się w obrębie *plyczn solnych* (np. otoczenie Rawicza po Pelczyn na południu i Krotoszyn na NE - ryc. 9) cienkie (grubości do 40 m) chlorki. Obszar tych *plyczn solnych* ciągnął się zapewne od rejonu Głogowa przez Rawicz po Krotoszyn, na południu sięgając pierwotnie być może po Wrocław. W lokalnych przegłębieniach tych *plyczn* osadziły się bardziej miąższe chlorki (60–80 m). Z kolei w miejscu dawnych przegłębieni basenu siarczanowego w północnej i wschodniej części obszaru (ryc. 8), w obrębie tzw. *basenów solnych* (np. obszar na NE od Góry czy W i SE od Krotoszyzna – ryc. 9) nastąpiła akumulacja soli

o dużej miąższości (od 70 m do ponad 90 m). Należy podkreślić, że miejscami, np. północna część rowu Chrabienia-Rawicz czy rowu Szamotuły–Poznań–Oleśnica, obraz rozkładu miąższości soli jest zmodyfikowany przez późniejszą tektonikę, powodującą usunięcie części chlorków. W efekcie np. dwa sąsiednie baseny solne, rozdzielone strukturą rowu Szamotuły–Poznań–Oleśnica, pierwotnie stanowiły jeden zbiornik chlorkowy. Opisane tu odwrotne relacje miąższościowe podścielających utworów siarczanowych i nadległych chlorkowych odpowiadają omówionemu wcześniej w przypadku ewaporatów cyklotemu PZ1 modelowi depozycji w basenie ewaporatowym typu „wypełnieniowego”.

Dane o wykształceniu utworów młodszej soli kamiennej (Na₃) pochodzą z badań prowadzonych na profilach otworów, rejestrujących pokład tej soli na najbliższym położonym terenie LGOM (Czapowski i in., 1992). Są to sole kamienne białe, beżowe, szare i różowawe, półprzezroczyste i przezroczyste, głównie średnio-grubokrystaliczne, różno- do równokrystalicznych, miejscami wielokrystaliczne, silnie potrząskane, z widocznym lokalnie kierunkowym wydłużeniem kryształów. Widoczny makroskopowo anhydryt tworzy skupienia gruzłowe, smugi i laminy. Badania składu mineralnego soli

Tabela 5. Parametry występowania utworów ewaporatowych cyklotemu PZ4 cechsztyń na obszarze centralnej części monokliny przedsudeckiej.

Table 5. Parameters of Zechstein PZ4 cyclothème evaporites from the central Fore-Sudetic Monocline.

PARAMETR PARAMETER	CYKLOTEM PZ4 CYCLOTHEME PZ4			Na4at			Na4a			A4a1		
	A4a2		miąższość thickness	Na4at		miąższość thickness	Na4a		miąższość thickness	A4a1		miąższość thickness
	strop top (m)	spąg bottom (m)		strop top (m)	spąg bottom (m)		strop top (m)	spąg bottom (m)		strop top (m)	spąg bottom (m)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
WARTOŚĆ MINIMALNA MINIMUM	1115,10	1115,90	0,10	765,00	782,50	17,50	782,50	867,00	0,50	1037,00	1041,00	0,30
WARTOŚĆ MAKSYMALNA MAXIMUM	1577,00	1580,00	3,00	765,00	782,50	17,50	1697,50	1698,00	84,50	1528,50	1529,50	4,50
ŚREDNIA (ARTMETYCZNA) AVERAGE	1267,15	1268,41	1,26	765,00	782,50	17,50	1262,49	1268,31	5,82	1334,20	1335,80	1,60
MEDIANA	1236,05	1236,15	0,70	765,00	782,50	17,50	1227,25	1233,50	4,00	1365,00	1367,00	1,00
LICZBA OTWORÓW NUMBER OF WELLS	8	8	8	1	1	1	126	126	126	21	21	21

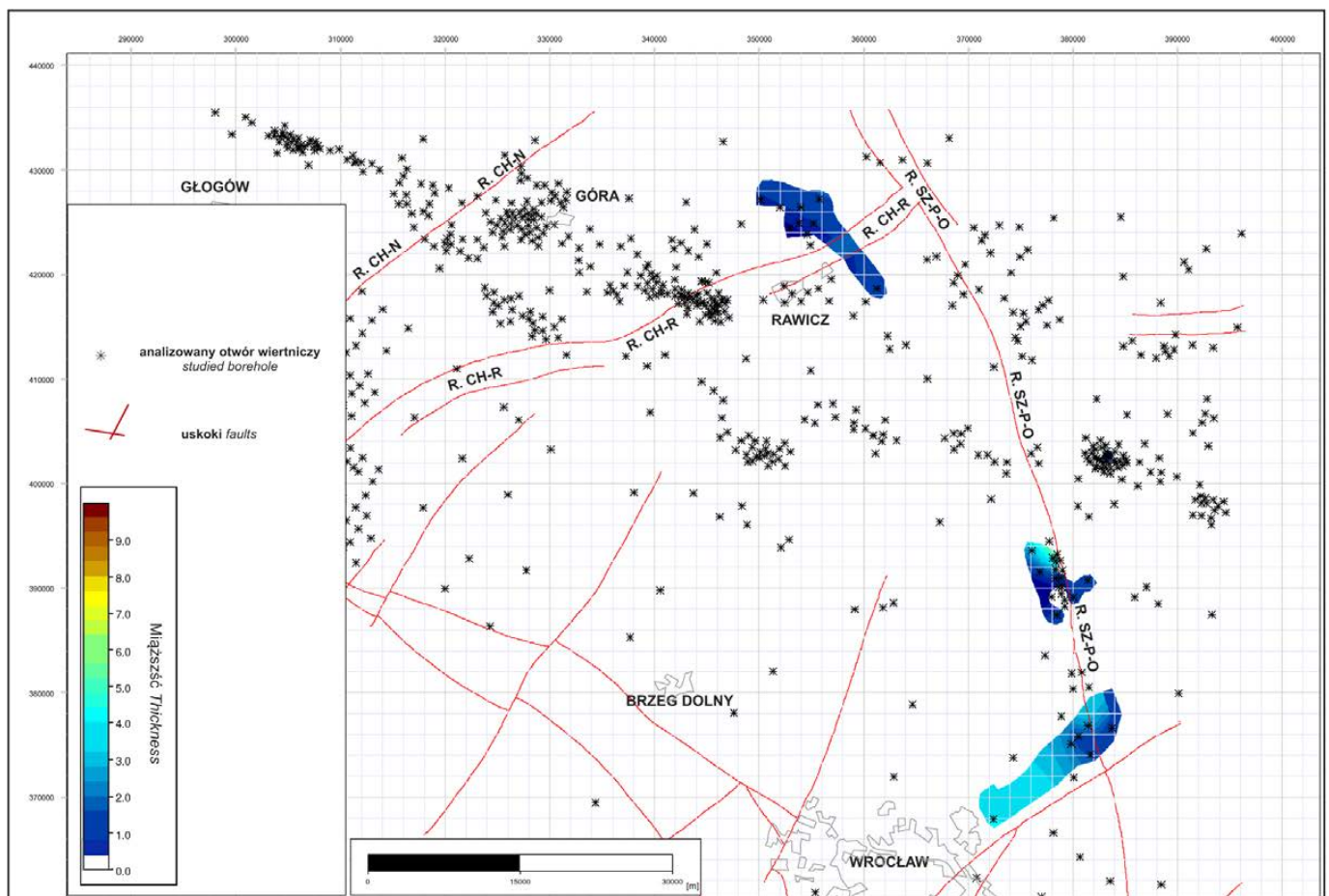
(op. cit.) wykazały, że obok halitu i anhydrytu występują w nich substancja ilasta (illit, chloryt), sporadycznie kwarc autigeniczny i węglany (dolomit i kalcyt).

Anhydryt stropowy (A3r)

Utwory tzw. anhydrytu stropowego (A3ar) wydzielono w 15 otworach wiertniczych, na głębokości od 867,0 m do 1600,5 m (strop) i od 905,0 m do 1601,5 m (spąg; tab. 4). Średnia głębokość ich występowania to: strop – 1252,38 m (mediana – 1242,5 m) i spąg – 1256,03 m (mediana – 1243,0 m). Ich miąższość zmienia się od 0,2 m do 38,0 m (średnia –

3,65 m, mediana – 1,0; tab. 4). Występują one przeważnie nad utworami solnymi niewielkiej miąższości, głównie w rejonie Rawicza (ryc. 9), zaś zarejestrowana w jednym otworze w pobliżu strefy tektonicznej ich duża miąższość jest miąższością pozorną.

Nieobecność opisywanego wydzielenia na najbliższym opisywanemu obszarze LGOM (Czapowski i in., 1992) oraz brak jego rdzeniowania w analizowanych otworach wiertniczych nie pozwalają na przedstawienie interpretacji przypuszczalnego rozprzestrzenienia i paleogeografii zbiornika, w którym te siarczany powstały.



Ryc. 10. Mapa miąższości utworów anhydrytu pegmatytowego dolnego (A4a1) na obszarze SE części monokliny przedsudeckiej. Objasnienia: jak na ryc. 3.

Fig. 10. Thickness map of Lower Pegmatite Anhydrite (A4a1) deposits in the SE part of Fore-Sudetic Monocline. Captions: as on Fig. 3.

Utwory cyklotemu PZ4

Utwory ewaporatowe tego cyklotemu (odpowiadające subcyklotemowi PZ4a) obejmują: anhydryt pegmatytowy dolny (A4a1), najmłodszą sól kamienną zailoną (Na4at), najmłodszą sól kamienną (Na4a) nierozdzieloną na części dolną i górną oraz anhydryt pegmatytowy górny (A4a2). Parametry występowania tych wydzieli zawiera tabela 5.

Anhydryt pegmatytowy dolny (A4a1)

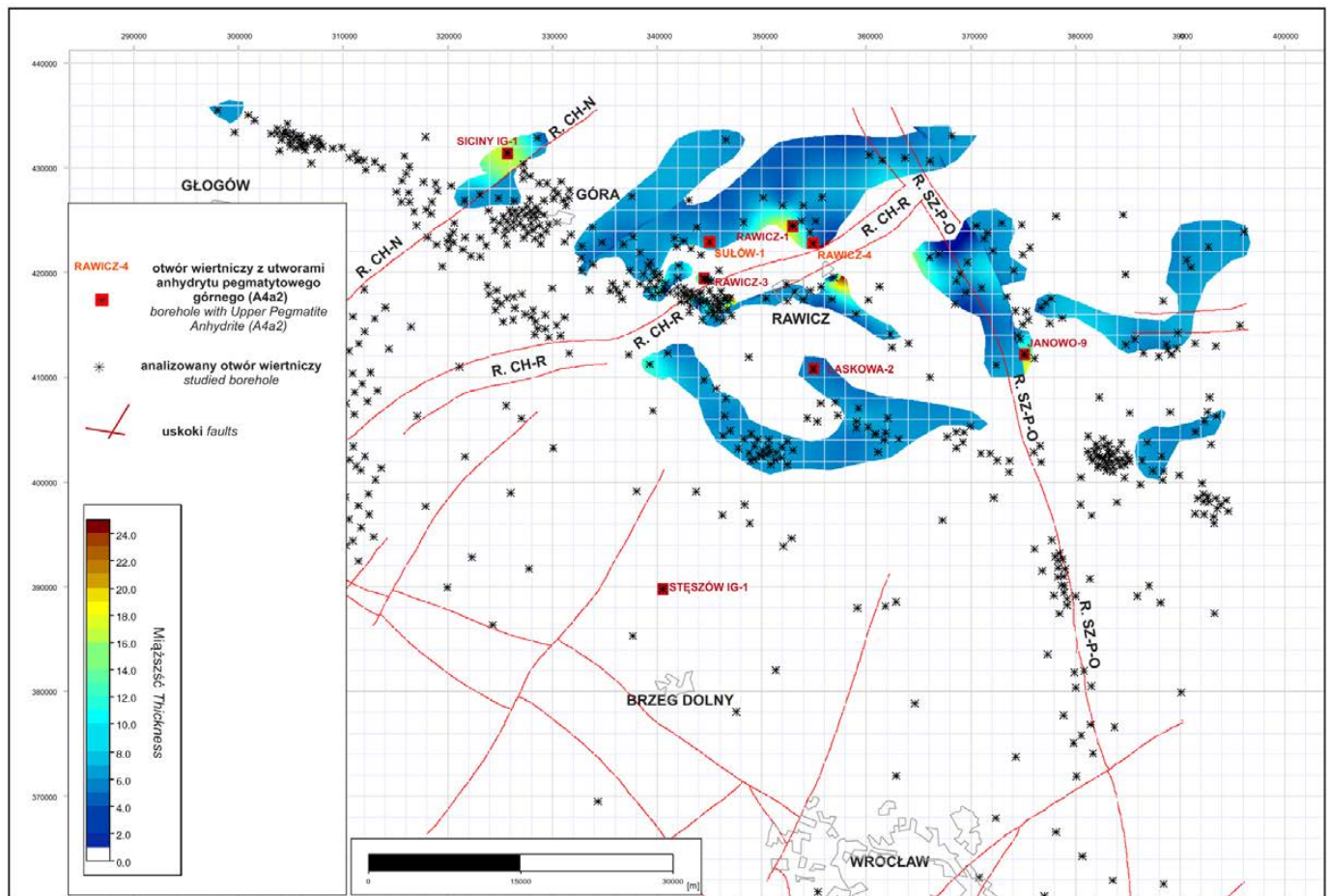
Utwory anhydrytu pegmatytowego dolnego (A4a1) opisano w 21 otworach wiertniczych, na głębokości od 1037,0 m do 1528,5 m (strop) i od 1041,0 m do 1529,5 m (spąg; tab. 5). Średnia głębokość ich występowania to: strop – 1334,2 m (mediana – 1366,0 m) i spąg – 1335,8 m (mediana – 1367,0 m). Ich miąższość zmienia się od 0,3 m do 4,5 m (średnia – 1,6 m, mediana – 1,0 m; tab. 5).

Cienkie (do 4,5 m) utwory anhydrytu pegmatytowego dolnego (A4a1) zarejestrowano lokalnie tylko w SE (na NE od Wrocławia) i w północnej (rejon Rawicza) części omawianego obszaru (ryc. 10). Skupione są w pobliżu dwu głównych stref uskokowych: rowów tektonicznych Chrobienia-Rawicz

i Szamotuły-Poznań-Oleśnica. Prawdopodobnie ich pierwotny zasięg był większy, na co wskazuje aktualny obszar występowania nadległych utworów chlorkowych (ryc. 11). Ich brak w miejscach, gdzie opisano młodsze utwory chlorkowe (ryc. 11) może być wyjaśniony bardzo szybkim rozwojem zbiornika chlorkowego cyklu PZ4 cechsztynu i wkroczeniem tej facji na obszary, gdzie nie osadziły się wcześniejsze osady siarczanowe. Inną opcją jest faza wypłylenia zbiornika siarczanowego i erozji części osadzonych siarczanów anhydrytu pegmatytowego dolnego przed akumulacją chlorków bądź częściowym usunięciem przez erozję pod koniec cyklu PZ4, przed depozycją osadów stropowej serii terygeniczej (PZt).

Brak wiarygodnych danych o wykształceniu utworów anhydrytu pegmatytowego dolnego na analizowanym obszarze i ich obecnie lokalny zasięg nie pozwalają na naszkicowanie paleogeografii i określenie warunków depozycji w ówczesnym zbiorniku siarczanowym.

Wykształcenie utworów anhydrytu pegmatytowego dolnego (A4a1) na badanym terenie odpowiada przypuszczalnie utworom opisywanym w rejonie LGOM jako anhydryt pegmatytowy (A4 - por. Czapowski i in., 1992). Stwierdzono



Ryc. 11. Mapa miąższości utworów najmłodszej soli kamiennej (Na4a) i najmłodszej soli kamiennej zailonej (Na4at) na obszarze SE części monokliny przedsudeckiej z zaznaczeniem występowania utworów anhydrytu pegmatytowego górnego (A4a2). Objaśnienia: jak na ryc. 3.

Fig. 9. Thickness map of Youngest Halite (Na4a) and Youngest Clay Halite (Na4at) deposits in the SE part of Fore-Sudetic Monocline with marked wells registered the Upper Pegmatite Anhydrite (A4a2) unit. Captions: as on Fig. 3.

tam występowanie wkładek i przeławiczeń anhydrytów i gipso-anhydrytów wraz z brekcjami ilasto-anhydrytowymi lub ilasto-gipsowymi wśród iłowców mułowcowych i mułowców zailonych. Siarczany reprezentowane są głównie przez anhydryty sferolityczne (maks. średnica sferolitów – 1,2 mm) i sferolityczno-rozetkowe, w których występuje gips o strukturze nematoblastycznej, relikty po kryształach halitu, włóknisty kainit oraz kryształy dolomitu (*op. cit.*). Z kolei w utworach typu brekcji obecne są okruchy siarczanów, iłowców i mułowców z ziarnami kwarcu, smugowane tlenkami żelaza. Utwory gipsowe zawierają ponadto wrostki węglanów (kalcyt), anhydrytu, polihalitu, hematyt i wodorotlenki żelaza oraz sporadycznie – ziarna boracytu.

Najmłodsza sól kamienna (Na4a) i najmłodsza sól kamienna zailona (Na4at)

Nierozdzielone utwory najmłodszej soli kamiennej dolnej i górnej (Na4a) opisano w 126 otworach wiertniczych, na głębokości od 782,5 m do 1697,5 m (strop) i od 867,0 m do 1698,0 m (spąg; tab. 5). Średnia głębokość ich występowania to: strop – 1262,49 m (mediana – 1227,25 m) i spąg – 1268,31 m (mediana – 1233,5 m). Ich miąższość zmienia się od 0,5 m do 84,5 m (średnia – 5,82 m, mediana – 4,0 m; tab. 5). Z kolei utwory zinterpretowane jako wydzielenie najmłodszej soli kamiennej zailonej (Na4at) zarejestrowano w jednym otworze wiertniczym (otw. Załęcze-47), na głębokości od 765,0 m do 782,0 m, ich miąższość wynosi 17,5 m.

Utwory najmłodszej soli kamiennej (Na4a) wraz z pojedynczym wstąpieniem najmłodszej soli kamiennej zailonej (Na4at) obecne są w formie nieregularnych „wysp” i pasm w północnej części badanego obszaru (ryc. 11). Charakteryzują je stosunkowo niewielkie (do 40 m) miąższości, nieco wyższe odnotowano na północ od Rawicza i NW od Góry w pobliżu stref tektonicznych – odpowiednio rowy Chrobienia-Rawicz i Chruściny-Nowa Wieś, gdzie ich większa grubość może być miąższością pozorną. Obecny obraz występowania tych soli częściowo jest warunkowany tektoniką, o czym świadczy obecność soli w obrębie rowu Szamotoły-Poznań-Oleśnica czy w pobliżu rowu Chruściny-Nowa Wieś.

Lokalne występowanie soli i niewielkie jej zróżnicowanie miąższościowe, przy braku materiału rdzeniowego oraz niemożności ustalenia relacji z podścielającymi utworami siarczanowymi, nie pozwala na przedstawienie obrazu paleogeografii basenu chlorkowego i rozmieszczenia paleofacji.

Informacje o wykształceniu utworów, odpowiadających omawianej soli kamiennej (Na4a), pochodzą z badań prowadzonych na 3 profilach otworów odwierconych w NW części najbliższego położonego obszaru LGOM (Czapowski i in., 1992). Opisano tam szare, różowawe i czerwone sole kamienne, półprzezroczyste i nieprzezroczyste, głównie średnio- i grubokrystaliczne, różnokrystaliczne, rzadziej wielokrystaliczne wtórne, silnie spękane. Widoczny makroskopowo anhydryt

tworzy skupienia gruzłowe, smugi i cienkie wkładki. Większa obecność rozproszonej substancji ilastej powoduje wzrost nieprzezroczystości soli i określanie jej jako odmianę soli zailonej, będącej odpowiednikiem wydzielenia najmłodszej soli kamiennej zailonej (Na4at). Niekiedy zaobserwowano tzw. kryształy „chmurzaste” halitu ze śladami po budowie strefowej. Badania składu mineralnego soli (*op. cit.*) wykazały, że obok halitu i anhydrytu w chlorkach występuje substancja ilasta, hematyt (jako pigment skały), rzadziej kwarc i pojedyncze skalenie i węglany (dolomit i kalcyt).

Anhydryt pegmatytowy górny (A4a2)

Utwory anhydrytu pegmatytowego górnego (A2ar) wyróżniono w 8 otworach wiertniczych, na głębokości od 1115,1 m do 1577,0 m (strop) i od 1115,9 m do 1580,0 m (spąg; tab. 5). Średnia głębokość ich występowania to: strop – 1267,15 m (mediana – 1236,05 m) i spąg – 1268,41 m (mediana – 1236,15 m), zaś ich miąższość zmienia się od 0,1 m do 3,0 m (średnia – 1,26 m, mediana – 0,7 m; tab. 5).

Utwory te występują lokalnie w środkowej części badanego obszaru, głównie w otoczeniu Rawicza (ryc. 11). Przykrywają one wydzielenie najmłodszej soli kamiennej (Na4a), jedynie w otworze Stęszów IG-1 występują bezpośrednio na pelitycznych utworach czerwonego łu solnego (T4). W sytuacji nieobecności tych siarczanów na obszarze LGOM (Czapowski i in., 1992) i braku materiału rdzeniowego niemożliwy jest opis wykształcenia tego wydzielenia na analizowanym obszarze, zaś jego lokalne występowanie nie pozwala na przedstawienie obrazu paleogeografii basenu ewaporatowego cyklu PZ4 cechsztyń w schyłkowym etapie jego rozwoju.

ŚRODOWISKA DEPOZYCJI I ROZWÓJ BASENÓW EWAPORATOWYCH CECHSZTYŃU

Analiza obecnego zróżnicowania miąższości utworów ewaporatowych (siarczanowych i chlorkowych) cechsztyń na obszarze od rejonu LGOM po Krotoszyn, Środę Śląską i Wrocław, wsparta doświadczeniami z badań tych utworów w innych częściach zbiornika cechsztyńskiego w Polsce (np. Czapowski, Tomaszczyk, 2014), pozwoliła, pomimo skąpego materiału rdzeniowego, przedstawić w przypadku utworów niektórych cyklotemów przypuszczalny obraz paleogeografii i ewolucję zbiornika ewaporacyjnego.

Najbardziej kompletny obraz, wynikający z dużego rozprzestrzenienia i zróżnicowania miąższościowego ewaporatów, nakreślono dla utworów cyklotemu PZ1 (ryc. 3 do 5).

Zbiornik depozycyjny utworów anhydrytu dolnego (A1d) oraz anhydrytu werra (ryc. 3) cechowała zmienna batymetria, znajdująca odbicie w różnej grubości akumulowanych siarczanów. W paleogeografii zbiornika zaznaczyła się łukowata strefa *bariery siarczanowej* i przyległych małych wysp/płyczn (ryc. 3), przebiegająca od rejonu na NE od Głogowa przez okolice Rawicza po Krotoszyn na wschodzie, przecię-

ta wąskimi przesmykami. Na tych płycznach osadziły się miąższe (grubość od 7 m do ponad 100 m) siarczany. Bariera rozdzieliła zbiornik siarczanowy na dwie głębsze partie, tzw. *baseny siarczane* (baseny północny i południowy), w których akumulacja siarczanych była spowolniona (miąższość siarczanych do 30 m).

Ewolujący z siarczanowego w chlorkowy basen depozycji osadów najstarszej soli kamiennej (Na1) odziedziczył wcześniejszy układ batymetryczny. Miejsce poprzednich basenów siarczanych zajęły *baseny solne* (ryc. 4), stopniowo wypełniane solami o dużej miąższości (od 70 m do ponad 100 m). Z kolei na terenie wcześniejszej bariery i płyczn siarczanych rozwinęły *płyczny solne*, gdzie osadziły się stosunkowo cienkie (do 20 m) osady chlorkowe.

Z kolei akumulacja siarczanych anhydrytu górnego (A1g) przebiegała niezależnie od wcześniejszych założeń morfologicznych w zbiorniku ewaporatowym, gdyż jego rozkład miąższości (ryc. 5) nie wykazuje wyraźnych powiązań z rozkładami miąższości starszych ewaporatów czy przebiegiem dyslokacji. Zbiornik siarczanowy miał zapewne już wyrównaną batymetrię, od części płytszej - obszary *płycin siarczanych* - w części SW omawianego obszaru i stopniowo pogłębiający się ku północy w tzw. *basen siarczanowy* (ryc. 5). Na płycznach częste odsłonięcia dna skutkowały erozją zakumulowanego osadu i powstaniem utworów brekcji anhydrytowej (BrA1) w spągu bądź w profilu utworów anhydrytu górnego (A1g). W basenie siarczanowym osadziły się cieńsze osady siarczane, bez wyraźnych śladów erozji.

W przypadku ewaporatów cyklotemu PZ1 ich wzajemne relacje rozkładu miąższości wskazują na depozycję tych utworów w basenie ewaporatowym typu „wypełnieniowego” (Czapowski, Tomaszczyk, 2014). Podobny obraz paleobatymetrii i rozwoju depozycji zbiornika siarczanowo-chlorkowego cyklotemu PZ1 opisano szczegółowo na północnym obrzeżu polskiego basenu cechsztyńskiego, na obszarze tzw. wyniesienia Łeby.

W przypadku ewaporatów cyklotemu PZ2 duże rozprzestrzenienie charakteryzuje utwory anhydrytu podstawowego (A2; ryc. 6) w odróżnieniu od lokalnego występowania osadów starszej soli kamiennej (Na2; ryc. 7). Siarczany o niewielkiej miąższości (do 20 m) osadziły się w głębszym zbiorniku w NE i NW części obszar badań (ryc. 6), ale w części południowej, na jego brzegu, obecnie cienkie warstwy siarczanych są skutkiem zarówno ich ograniczonej akumulacji jak i późniejszym erozyjnym usunięciem ich części.

Z kolei lokalne występowanie utworów starszej soli kamiennej (ryc. 7) we wschodniej i północnej części omawianego obszaru oraz nikłe ich zróżnicowanie miąższościowe (dominuje miąższość do 20 m) nie pozwala na wysnucie uzasadnionych wniosków o warunkach ich depozycji i możliwej zmiennej batymetrii zbiornika salinarnego. Nie jest pewne czy obecny obraz rozmieszczenia tych soli odzwierciedla ich

pierwotne występowanie czy jest też wynikiem usunięcia ich części przez późniejszą erozję. Podobnie przedstawia się problem interpretacji występowania i warunków powstania nadległych utworów anhydrytu kryjącego (A2r).

Obraz rozmieszczenia i stosunków miąższościowych ewaporatów cyklotemu PZ3 (ryc. 8 i 9) wykazuje pewne podobieństwa do ewaporatów cyklotemu PZ1.

Rozkład miąższości utworów siarczanych anhydrytu głównego (A3; ryc. 8) przypomina zróżnicowanie grubości osadów anhydrytu podstawowego (A2) starszego cyklotemu. Generalnie niewielkie miąższości siarczanych zarejestrowano w północnej i lokalnie we wschodniej części badanego obszaru, co być może jest wynikiem ich spowolnionej akumulacji w przegłębionych partiach basenu siarczanowego. W odróżnieniu na dominujących w części południowej obszarach płyczn siarczanych przyrost osadów był szybszy. Stwierdzona niewielka grubość tych utworów w SE części, na NE od Wrocławia raczej jest wynikiem ich krótkotrwałej depozycji lub nawet częściowej erozji w najbardziej odlądowej strefie zbiornika ewaporatowego.

W przypadku utworów młodszej soli kamiennej (Na3; ryc. 9) „wyspowy” charakter występowania soli w rejonie Głogowa i Góry oraz lokalny brak tych utworów we wschodniej części obadanego obszaru są przypuszczalnie wynikiem ich erozyjnego usunięcia u schyłku cechsztynu lub później. Jednak w południowej partii środkowego obszaru widoczna jest na płycinach wcześniejszego basenu siarczanowego, przemienionych w płyczny solne (np. otoczenie Rawicza po Pelczyn na południu i Krotoszyn na NE - ryc. 9) osadziły się cienkie (grubości do 40 m) chlorki. Obszar tych płyczn solnych ciągnął się zapewne od rejonu Głogowa przez Rawicz po Krotoszyn, na południu sięgając pierwotnie być może po Wrocław. W lokalnych przegłębieniach tych płyczn osadziły się bardziej miąższe chlorki (60-80 m). W przegłębieniach wcześniejszego basenu siarczanowego w północnej i wschodniej części obszaru rozwinęły się baseny solne (np. obszar na NE od Góry czy W i SE od Krotoszyna - ryc. 9), w których osadziły się sole o dużej (od 70 m do ponad 90 m) miąższości. Widoczne odwrotne relacje miąższościowe podścielających utworów siarczanych i nadległych chlorkowych tego cyklotemu wskazują, że podobnie jak w przypadku ewaporatów cyklotemu PZ1 funkcjonował tu model depozycji w basenie ewaporatowym typu „wypełnieniowego”.

Sporadyczne występowanie utworów anhydrytu stropowego (A3r; ryc. 9) oraz brak jego rdzeniowania w analizowanych otworach wiertniczych nie pozwalają na przedstawienie interpretacji przypuszczalnego rozprzestrzenienia i paleogeografii zbiornika, w którym te siarczany powstały.

Ewaporaty cyklotemu PZ4 charakteryzuje obecnie wyjątkowo ograniczone występowanie, zarówno siarczanych (ryc. 10 i 11) jak i soli kamiennej (ryc. 11).

Pierwotny zasięg cienkich (do 4,5 m) utworów anhydrytu pegmatytowego dolnego (A4a1), stwierdzonych jedynie w SE i w północnej części omawianego obszaru (ryc. 10), był prawdopodobnie większy, na co wskazuje aktualny obszar występowania nadległych utworów chlorkowych (ryc. 11). Ich nieobecność w miejscach, gdzie opisano młodsze utwory chlorkowe (ryc. 11) może sugerować bądź bardzo szybki rozwój zbiornika chlorkowego cyklu PZ4 cechsztyń i wkroczenie tej facji na obszary, gdzie nie osadziły się wcześniejsze osady siarczanowe lub okres spłynięcia zbiornika siarczanowego i erozji części osadzonych siarczanów przed akumulacją chlorków. Nie można też wykluczyć ich częściowego usunięcia przez erozję pod koniec cyklu PZ4, przed depozycją osadów stropowej serii terygeniczej (PZt).

Utwory najmłodszej soli kamiennej (Na4a) o niewielkiej (do 40 m) miąższości, wraz z pojedynczym wstąpieniem najmłodszej soli kamiennej zailonej (Na4at), występują obecnie w formie nieregularnych „wysp” i pasm w północnej części badanego obszaru (ryc. 11). Ich lokalne występowanie i niewielkie jej zróżnicowanie miąższościowe, przy braku materiału rdzeniowego oraz niemożności ustalenia relacji z podścielającymi utworami siarczanowymi, nie pozwala określić paleogeografii basenu chlorkowego i rozmieszczenia paleofacji. Podobnie przedstawia się występowanie i możliwość interpretacji warunków powstania siarczanów wydzielenia anhydrytu pegmatytowego górnego (A4a2), kończących depozycję ewaporatów cyklotemu PZ4.

Przedstawione interpretacje warunków depozycji i paleogeografii kolejnych zbiorników ewaporatowych cechsztyń na opisywanym terenie są pewną hipotezą, gdyż opierają się na obecnych stosunkach miąższościowych utworów siarczanowych i solnych oraz analogiach z podobnymi relacjami z innych części basenu cechsztyńskiego w Polsce. Ogólny brak materiału rdzeniowego z tych utworów na obszarze badań, poza lokalnym rdzeniowaniem siarczanów anhydrytu dolnego (A1d), podstawowego (A2) i głównego (A3), nie pozwala udokumentować tych interpretacji wynikami badań sedymetologiczno-facjalnych rdzeni. Wykształcenie omawianych utworów nie musi odpowiadać opisom ich odpowiedników, pochodzącym z terenów najbliższych obszarowi badań.

ROLA TEKTONIKI W KSZTAŁTOWANIU OBRAZU DZISIEJSZEGO WYSTĘPOWANIA UTWORÓW EWAPORATOWYCH CECHSZTYŃ

Omówione wcześniej na badanym obszarze strefy tektoniczne (ryc. 2) w różnym stopniu wpływały na obecny obraz występowania i zróżnicowania miąższości kolejnych wydzieleni ewaporatowych cechsztyń.

W przypadku wydzielenia anhydrytu dolnego (A1d) utwory bariery zostały później poprzesuwane wzdłuż dyslokacji podczas ruchów kimeryjskich, co najlepiej widoczne jest w obrębie rowu Chrobienia-Rawicz i północnej części strefy

uskokowej Chruściny-Nowa Wieś (ryc. 3). Przy uskokach rejestruje się też miejscami maksymalną pozorną miąższość utworów siarczanowych, wynikającą z ich bardzo stromego nachylenia. Podobnie lokalne duże (>100 m) miąższości najstarszej soli kamiennej (Na1), stwierdzone np. w północnej części rowu tektonicznego Szamotuły-Poznań-Oleśnica (ryc. 4), też są zapewne miąższością pozorną. Z kolei rozkład miąższości siarczanów anhydrytu górnego (A1g; ryc. 5) nie wykazuje wyraźnych powiązań z przebiegiem dyslokacji. Podobna sytuacja odnosi się do utworów anhydrytu podstawowego (A2; ryc. 6) zaś lokalne obecne występowanie starszej soli kamiennej (Na2) i anhydrytu kryjącego (A2r; ryc. 7) nie pozwala wskazać ich związku z systemami dyslokacji.

Ponownie powiązanie większych (do 70-100 m) miąższości ewaporatów ze strefami tektonicznymi zaznacza się w przypadku utworów anhydrytu głównego (A3) np. w otoczeniu rowu Chrobienia-Rawicz i północnej części rowu Szamotuły-Poznań-Oleśnica (ryc. 8). Tak duże miąższości są zapewne miąższościami pozornymi, na co pośrednim dowodem jest sąsiedztwo obszarów z siarczanami o niewielkiej (do 25 m) grubości. Z kolei obraz rozkładu miąższości młodszej soli kamiennej (Na3) jest miejscami, np. północna część rowu Chrobienia-Rawicz czy rowu Szamotuły-Poznań-Oleśnica (ryc. 9) zmodyfikowany przez późniejszą tektonikę, powodującą usunięcie części chlorków. Przypuszczalnie obecnie dwa sąsiednie baseny solne, rozdzielone strukturą rowu Szamotuły-Poznań-Oleśnica, pierwotnie stanowiły jeden zbiornik chlorkowy.

Cienkie utwory anhydrytu pegmatytowego dolnego (A4a1) występują obecnie w pobliżu dwu głównych stref uskokowych: rowów tektonicznych Chrobienia-Rawicz i Szamotuły-Poznań-Oleśnica (ryc. 10), ale brak dowodów, że ich tam obecność jest związana z syn- czy postsedymen-tacyjną aktywnością tych uskoków. Z kolei zarejestrowane obecnie większe (>40 m) miąższości utworów najmłodszej soli kamiennej (Na4a) w pobliżu stref tektonicznych: rowy Chrobienia-Rawicz i Chruściny-Nowa Wieś (ryc. 11) odpowiadają zapewne miąższości pozornej. Obecny obraz występowania tych soli jest częściowo zmodyfikowany przez późniejszą tektonikę, na co wskazuje ich obecność w obrębie rowu Szamotuły-Poznań-Oleśnica czy w pobliżu rowu Chruściny-Nowa Wieś.

PODSUMOWANIE

Dane o występowaniu utworów ewaporatowych cechsztyń (tab. 1-5), zawarte w archiwalnych profilach 635 otworów wiertniczych, wykonanych na obszarze centralnej części monokliny przedsudeckiej, od rejonu LGOM na zachodzie po Krotoszyn na wschodzie i Środę Śląską oraz Wrocław na południu (ryc. 1), posłużyły wykreowaniu map miąższości poszczególnych wydzieleni ewaporatowych (ryc. 3-11) z wykorzystaniem algorytmu Discrete Smooth Interpolation. Na

mapach umieszczono też systemy uskoku i dwa rowy tektoniczne o przebiegu NE-SW i NW-SE (ryc. 2-11).

Analiza występowania i obecnego zróżnicowania miąższości utworów ewaporatowych (siarczanowych i chlorkowych) na omawianym obszarze pozwoliła przedstawić zarys przypuszczalnej paleogeografii basenów siarczanowych i chlorkowych w przypadku niektórych wydzieleni litostratigraficznych kolejnych czterech cyklotemów. Podjęto też próbę określenia wpływu tektoniki na obecny obraz rozmieszczenia ewaporatów.

Najpełniejszy obraz paleogeografii zbiornika, ewoluującego od etapu siarczanowego do chlorkowego, uzyskano dla sukcesji ewaporatów cyklotemu PZ1. W zbiorniku tym wyróżniono:

- 1) w pierwszej fazie siarczanowej rozwoju (osady anhydrytu dolnego [A1d]; ryc. 3):
 - a) strefę bariery i płycizn siarczanowych z szybkim przyrostem osadów,
 - b) baseny siarczanowe (północny i południowy) z wolniejszą akumulacją siarczanów,
- 2) w fazie chlorkowej rozwoju (utwory najstarszej soli kamiennej [Na1]; ryc. 4):
 - a) baseny solne ewoluujące z siarczanowych, z akumulacją miąższych chlorków,
 - b) płycizny solne w miejscu wcześniejszej bariery i płycizn siarczanowych, z wolniejszym przyrostem soli wskutek działania czynników erozyjnych (np. ługowania soli przez opady czy napływ świeżych wód morskich),
- 3) w kolejnej fazie siarczanowej (osady anhydrytu górnego [A1g]; ryc. 5), gdzie w mniej zróżnicowanym batymetrycznie zbiorniku wyróżniono:
 - a) strefę płycizn w części SW obszaru badań, gdzie nagromadziły się grubsze siarczany z okresami erozji i redepozycji osadu (utwory brekacji siarczanowej [BrA1]),
 - b) głębszy zbiornik w północnej części obszaru z cieńszymi siarczanami.

Opisany rozwój sedymentacji ewaporatów wskazuje na ich depozycję w basenie ewaporatowym typu „wypełnieniowego” (Czapowski, Tomaszczyk, 2014). Ten model depozycji został dotychczas najlepiej udokumentowany dla utworów cyklotemu PZ1 na obszarze tzw. wyniesienia Łeby na północnym obrzeżu polskiego basenu cechsztyńskiego.

Podobny rozwój depozycji w zbiornikach o zróżnicowanej batymetrii obowiązywał podczas akumulacji części ewaporatów cyklotemu PZ3 (ryc. 8 i 9).

Zbiornik utworów siarczanowych anhydrytu głównego (A3; ryc. 8) przypominał swą paleogeografią starszy zbiornik osadów anhydrytu podstawowego cyklotemu PZ2 (A2; ryc. 6). W części południowej obszaru badań rozciągała się rozległa strefa płycizn z szybszym przyrostem siarczanów, zaś w północnej i lokalnie we wschodniej części siarczany o niewielkiej o miąższości osadziły się zapewne w przegłę-

bionych partiach zbiornika. Z kolei w następującej kolejno fazie chlorkowej (osady młodszej soli kamiennej [Na3]; ryc. 9) wspomniane płycizny stały się miejscem akumulacji cienkich (grubości do 40 m) chlorków, zaś w głębszych partiach wcześniejszego basenu siarczanowego w północnej i wschodniej części obszaru rozwinęły się baseny solne z solami o dużej (od 70 m do ponad 90 m) miąższości.

W przypadku ewaporatów cyklotemu PZ2 jedynie wspomniane wcześniej utwory anhydrytu podstawowego (A2; ryc. 6), o dużym rozprzestrzenieniu i istotnym zróżnicowaniu miąższości, pozwalają nakreślić obraz zbiornika siarczanowego ze strefą płycizn w części południowej, zaś w NE i NW części – przegłębień. Pozostałe wydzielenia ewaporatowe cyklotemów PZ2 i PZ4 jak: starsza sól kamienna (Na2) i anhydryt kryjący (A2r; ryc. 7), anhydryt stropowy (A3r; ryc. 9), anhydryt pegmatytowy dolny (A4a1; ryc. 10) oraz najmłodsza sól kamienna (Na4a) wraz z anhydrytem pegmatytowym górnym (A4a2; ryc. 11), ze względu na lokalne występowanie, nie dają podstaw do przedstawienia wiarygodnego obrazu paleogeografii ich zbiorników depozycyjnych.

Przedstawione interpretacje paleogeografii kolejnych cechsztyńskich zbiorników ewaporatowych nie są poparte wynikami badań sedymetologiczno-facialnych materiału skalnego z powodu braku materiału rdzeniowego z utworów ewaporatowych, występujących na obszarze badań. Zmieszczona charakterystyka wykształcenia tych osadów odnosi się do ich odpowiedników z terenów najbliższych omawianemu obszarowi i nie musi odpowiadać ściśle ich rzeczywistym cechom.

Stwierdzone na badanym obszarze strefy tektoniczne (ryc. 2-11) w różnym stopniu wpływały na obecny obraz występowania i zróżnicowania miąższości kolejnych wydzieleni ewaporatowych cechsztynu. Ten wpływ wyraził się np. przesunięciem utworów bariery w przypadku wydzielenia anhydrytu dolnego (A1d) np. w rowie Chrobienia-Rawicz i północnej części strefy uskoku Chruściny-Nowa Wieś (ryc. 3) czy wzrostem grubości (miąższości pozorne) ewaporatów np. najstarszej soli kamiennej (Na1) w północnej części rowu tektonicznego Szamotuły-Poznań-Oleśnica (ryc. 4), anhydrytu głównego (A3) w otoczeniu rowu Chrobienia-Rawicz i północnej części rowu Szamotuły-Poznań-Oleśnica (ryc. 8) czy najmłodszej soli kamiennej (Na4a) w pobliżu rowów Chrobienia-Rawicz i Chruściny-Nowa Wieś (ryc. 11).

Podziękowanie: Autorzy dziękują Recenzentom: prof. dr. hab. Pawłowi Henrykowi Karnowskiemu i dr. inż. Jackowi Wachowiakowi za cenne uwagi i sugestie, pomocne w podniesieniu wartości merytorycznej pracy.

SUMMARY

Archive data about the Upper Permian (Zechstein) evaporites (Tab. 1-5), registered in 635 boreholes drilled in the

central Fore-Sudetic Monocline (Fig. 1), enabled to create the thickness maps of individual evaporite units (Fig. 3-11) applying the Discrete Smooth Interpolation algorithm. Fault systems and two tectonic grabens with NE-SW and NW-SE orientation were also visualised in these maps (Fig. 2-11).

Analysis of recent extension and thickness of Zechstein evaporites (sulphates and chlorides) in the studied area, allowed to reconstruct the possible palaeogeographic images of both sulphate and chloride basins, represented some evaporitic lithostratigraphic units of four Zechstein cyclothemes.

Most complete palaeogeographic images of depositional basins, evolving from the sulphate to the chloride stage, were proposed for the evaporites succession of PZ1 cyclotheme. In these basins were distinguished several morphological/bathymetric elements:

- 1) for the I-st sulphate development phase (Lower Anhydrite [A1d] unit; Fig. 3):
 - a) sulphate barrier and shoals zone with a high accumulation rate,
 - b) sulphate basins (northern and southern ones) with a lower accumulation rate,
- 2) for the chloride development phase (Oldest Halite [Na1] unit; Fig. 4):
 - a) salt basins replaced the former sulphate ones, with thick chlorides,
 - b) salt shoals replaces the former sulphate barrier and shoals, with a lower salt accumulation (e. g. dissolution by meteoric or fresh marine water inputs),
- 3) for the II-nd sulphate development phase (Upper Anhydrite [A1g] unit; Fig. 5):
 - a) shoals zone in the SW part of studied area, where accumulated thicker sulphates with erosional and re-deposition features (Anhydrite Breccia [BrA1] unit),
 - b) deeper basin in the northern part with thinner sulphates.

Such depositional scheme and reverse relations of evaporites thickness indicated their accumulation in the "infill" type of evaporitic basin (Czapowski, Tomaszczyk, 2014). This depositional model became hitherto best documented for the corresponding evaporites in the Łeba elevation area, that time occupied the northern margin of the Polish Zechstein basin (Czapowski, 1987, 1998, 2007; Czapowski, Tomassi-Morawiec, 1985; Czapowski i in., 1993).

Similar development scheme was realized for accumulation of sulphate (Main Anhydrite [A3] unit; Fig. 8) deposits and chlorides (Younger Halite [Na3] unit; Fig. 9) of PZ3 cyclotheme. Also the sulphate basin of Main Anhydrite (A2) unit was divided into the southern shallow part with thicker sulphates and the local deeps in the NE and NW parts with thinner sediments (Fig. 6).

Other commented evaporite units of PZ2 and PZ4 cyclothemes as: Older Halite (Na2) with Screening Anhydrite (A2r; Fig. 7), Top Anhydrite (A3r; Fig. 9), Lower Pegmatite An-

hydrite (A4a1; Fig. 10), Youngest Halite (Na4a) with Upper Pegmatite Anhydrite (A4a2; Fig. 11) have occurred recently only locally and the palaeogeographic reconstruction of their depositional basins will be hazardous.

Characteristics of commented evaporite units based on studies of their age equivalents drilled in the nearest areas because of very rare and selected coring of evaporites in the study area.

Disjunctive tectonics (fault systems and two tectonic grabens; Fig. 2) modified in a different rate the primary extent of studied evaporites, e. g. displacement of sulphate barrier deposits of Lower Anhydrite (A1d), visible in the tectonic graben Chrobienia-Rawicz and in the northern part of fault zone Chruściny-Nowa Wieś (Fig. 3). Tectonics was also responsible of the local thickness increase of evaporite units in the near-fault zones e. g. Oldest Halite (Na1) unit in the northern part of tectonic graben Szamotuły-Poznań-Oleśnica (Fig. 4), Main Anhydrite (A3) unit nearby the tectonic graben Chrobienia-Rawicz and the northern part of Szamotuły-Poznań-Oleśnica graben (Fig. 8) and Youngest Halite (Na4a) unit nearby the Chrobienia-Rawicz graben and Chruściny-Nowa Wieś fault zone (Fig. 11).

LITERATURA /REFERENCES

- BURLIGA S., 2007. Internal structure of subhorizontal bedded rock salt formation in the area of Sieroszowice, SW Poland – meso- and microstructural indications. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi* (Przegląd Solny), 23 (1): 51-64.
- CYRAN K., TOBOŁA T., KAMIŃSKI P., 2016. Ocena wpływu domieszek na parametry wytrzymałościowe soli kamiennej z rejonu LGOM. WYZWANIA POLSKIEJ GEOLOGII, 3. Polski Kongres Geologiczny, Tom kongresowy: 54-56. PTG, Wrocław.
- CZAPOWSKI G., 1987. Sedimentary facies in the Oldest Rock Salt (Na1) of the Łeba elevation (northern Poland). *Lecture Notes of Earth Sciences*, 10: 207-224.
- CZAPOWSKI G., 1995. Upper Permian (Zechstein) salt deposits on the Żary Pericline - characteristics, origin and economic value. *Prace PIG*, 150: 35-60.
- CZAPOWSKI G., 1998. Geneza najstarszej soli kamiennej cechsztyń w rejonie Zatoki Puckiej (studium sedymentologiczne). Praca doktorska. 1-114. NAG PIG [696/99], Warszawa.
- CZAPOWSKI G., 2001. Środowiska i rozwój depozycji soli permjskich na monoklinie przedsudeckiej. *Posiedz. nauk. PIG*, 57 (9): 37-39.
- CZAPOWSKI G., 2007. Ocena głębokości zbiornika solnego i czasu depozycji chlorków sodu na przykładzie utworów najstarszej soli kamiennej (Na1) cyklu PZ1 cechsztyń w rejonie Zatoki Puckiej. *Prz. Geol.*, 55 (7): 573-581.
- CZAPOWSKI G., 2017. Potencjał zasobowy soli kamiennej i soli potasowo-magnezowych obszaru przedsudeckiego. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego*, 469: 105-128.
- CZAPOWSKI G., DĘBSKI J., KASPRZYK A., KIEŻEL W., LANGIER-KUŹNIAROWA A., PERYT T. M., 1992. Monografia anhydrytu i soli kamiennej na monoklinie przedsudeckiej (rejon LGOM). NAG PIG-PIB [20/93], Warszawa.

- CZAPOWSKI G., BUKOWSKI K., 2016. Mapy wystąpień zasobów perspektywicznych soli w Polsce jako narzędzie w projektowaniu przyszłego zagospodarowania złóż kopalin. *Przegląd Solny* (Salt Review), 11: 5-31.
- CZAPOWSKI G., BUKOWSKI K., GAŚIEWICZ A., SADŁOWSKA K., 2015. Obszary perspektywiczne wystąpień i zasoby przewidywane surowców chemicznych Polski na mapach w skali 1:200 000 - sól kamienna, sole potasowo-magnezowe i siarka. *Prz. Geol.*, 63 (9): 561-571.
- CZAPOWSKI G., PERYT T.M., ANTONOWICZ L., 1993. Facies and paleogeography of the Zechstein (Upper Permian) Oldest Halite (Na1) in Poland. *Bull. Pol. Acad. of Sciences, Earth Sciences*, 41 (4): 217-227.
- CZAPOWSKI G., TOMASSI-MORAWIEC H., 1985. Sedymentacja i geochemia najstarszej soli kamiennej w rejonie Zatoki Puckiej. *Prz. Geol.*, 33 (12): 663-670.
- CZAPOWSKI G., TOMASSI-MORAWIEC H., 1987. Wykształcenie soli cechsztyńskich w rejonie Lubiatowa (zachodnia część monokliny przedsudeckiej). *Kwart. Geol.*, 31 (1): 200-201.
- CZAPOWSKI G., TOMASSI-MORAWIEC H., 2006. Wykształcenie, geochemia, geneza i kierunki zagospodarowania cechsztyńskich pokładowych złóż soli kamiennych na obszarze Lubińsko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego. Abstrakty XI. Międz. Symp. Solne QUO VADIS SAL, Szklarska Poręba 2006, 9-10 listopada 2006: 7-10.
- CZAPOWSKI G., TOMASSI-MORAWIEC H., 2013. Paleogeographic and palaeoclimate factors of salinity fluctuations in the eastern part of the Late Permian (Zechstein) European Basin: case study from the salt basin in Poland. *Geol. Soc. of London, Special Publications*, 376: 457-474.
- CZAPOWSKI G., TOMASSI-MORAWIEC H., BUKOWSKI K., 2004. Analiza facjalna soli kamiennych jako metoda oceny możliwości zagospodarowania formacji solnych. *Tech. Posz. Geol, Geosynoptyka i Geotermia*, 225-226 (1-2/2004): 43-58.
- CZAPOWSKI G., TOMASZCZYK M., 2014. Baseny ewaporatowe cykli PZ1, PZ2 i PZ3 cechsztynu (górnym perm) w Polsce – studium miąższościowe. *Przegląd Solny* (Salt Review), 10: 49-64.
- DADLEZ R., MAREK S., POKORSKI J. (red.), 1998. Atlas paleogeograficzny epikontynentalnego permu i mezozoiku w Polsce, skala 1:2 500 000. Warszawa.
- DECZKOWSKI Z., GAJEWSKA I., 1977. Charakterystyka starokimeryjskich i laramijskich struktur blokowych monokliny przedsudeckiej. *Kw. Geol.*, 21 (3): 467-481.
- DECZKOWSKI Z., GAJEWSKA I., 1979. Budowa geologiczna podłoża retyku obszaru monokliny przedsudeckiej. *Kwart. Geol.*, 23 (1): 161-177.
- KARNKOWSKI P. H., 1991. Zagadnienie ruchów tektonicznych w czerwonym spągowcu. *Prz. Geol.*, 39 (7-8): 352-356.
- KARNKOWSKI P. H., 1999. Stratygrafia sekwencji czerwonego spągowca w basenie polskim: relacje między tektoniką a klimatem. *Prz. Geol.*, 47 (5): 473-475.
- KIJEWSKI P., 1988. Sole cechsztyńskie na północ od Wrocławia. *Konf. nauk. nt. Wybrane zagadnienia złóż Polski Zachodniej*, Wrocław 1988: 60-75.
- KIJEWSKI P., SALSKI W., 1978. Cechsztyńska sól kamienna cyklotemu Z1 w południowo-zachodniej części monokliny przedsudeckiej. *Geol. Sudet.*, 13: 97-139.
- KIJEWSKI P., SALSKI W., TOMASZEWSKI J. B., 1979. Das Auftreten von Steinsalzen in Zechsteinablagerungen im Südwestteil der Vorsudetischen Monoklinale. *Zeitschrift für Geologische Wissenschaften*, 7 (7): 879-889.
- KŁAPCIŃSKI J., 1964a. Stratygrafia cechsztynu okolic Lubina, Sieroszowic i Wschowy (monoklina przedsudecka). *Rocznik PTG*, 34 (1-2): 65-93.
- KŁAPCIŃSKI J., 1964b. Paleogeografia cechsztynu monokliny przedsudeckiej. *Rocznik PTG*, 34 (4): 551-557.
- KŁAPCIŃSKI J., 1966a. Stratygrafia anhydrytów Werra w rejonie Lubina i Sieroszowic (monoklina przedsudecka). *Rocznik PTG*, 36 (1): 65-78.
- KŁAPCIŃSKI J., 1966b. Stratygrafia anhydrytów Leine w rejonie Lubina i Sieroszowic (monoklina przedsudecka). *Rocznik PTG*, 36 (3): 315-321.
- KŁAPCIŃSKI J., 1967. Stratygrafia anhydrytów Stassfurt w okolicach Lubina i Sieroszowic. *Kwart. Geol.*, 11 (2): 303-311.
- KŁAPCIŃSKI J., 1971. Litologia, fauna, stratygrafia i paleogeografia permu monokliny przedsudeckiej. *Geol. Sudetica*, 5: 77-136.
- KŁAPCIŃSKI J., 1986. The Leine Anhydrite of the Polish Zechstein: a significant lithostratigraphical marker-unit. *Geol. Society Special Publication*, 22: 211-216.
- KŁAPCIŃSKI J., (ed.), 1989. Atlas obszaru miedzionośnego (monoklina przedsudecka), skala 1: 50000. Wyd. Śląsk. Katowice.
- KOWOLEK K., 2000. Wiek ruchów tektonicznych w strefie dyslokacyjnej Poznań-Kalisz, monoklina przedsudecka. *Prz. Geol.*, 48 (9): 804-814.
- KOZULA R., GOLCZAK I., 1988. Dokumentacja geologiczna złoża rud miedzi „Bytom Odrzański” w kat. C-1 i C-2. Wrocław. NAG PIG-PIB [6454/90], Warszawa.
- KSIĘŻOPOLSKA K., WRZOSEK J., BUKOWSKI K., 2015. Litologia i zawartość bromu w najstarszej soli kamiennej w otworze BG-3-3 na obszarze Kazimierzów 1, O/ZG Polkowice-Sieroszowice. *Przegląd Solny* (Salt Review), 12: 66-71.
- KWAŚNY L., ZIELIŃSKA A., NIŻNIK E., 2013. Dokumentacja geologiczna złoża soli kamiennej „Bądzów” w kat B+C1. NAG PIG [1001/2014], Warszawa.
- LORENZ S., 1975. Petrografia i zróżnicowanie facjalne wapieni i anhydrytów Werry monokliny przedsudeckiej. *Geologia Sudetica*, 10: 59-104.
- MALLET J.-L., 2002. *Geomodeling. Applied geostatistics*. Oxford University Press.
- MALLET, J.L., 2008. *Numerical Earth Models*. EAGE Publications.
- MARKIEWICZ A., 1995. Halotektonika soli cechsztyńskich w strefie dyslokacyjnej Środkowej Odry, a zaburzenia glacictektoniczne we Wzgórzach Dałkowskich. *Mater. VIII Symp. Glacictektonicznego*: 175-192, Wyd. Uczel. WSI. Zielona Góra.
- MARKIEWICZ A., PIOTROWSKI A., 1999. Wpływ tektoniki soli cechsztyńskich na współczesną morfologię Środkowego i Dolnego Nadodrza. *Prz. Geol.*, 47 (10): 937-941.
- MARKIEWICZ A., 2007. Naskórkowa struktura południowej części monokliny przedsudeckiej a zagospodarowanie utworów najstarszej soli kamiennej (Na1). *Gospodarka Surowcami Mineralnymi* (Przegląd Solny), 23 (1): 35-49.
- MARKIEWICZ A., BECKER R., 2009. Pierwotny zasięg występowania najstarszej soli kamiennej (Na1) w południowej części monokliny przedsudeckiej (SW Polska). *Geologia* (Przegląd Solny 2009), 35 (3): 327-348.
- MIKULSKI S. Z., OSZCZEPALSKI S., CZAPOWSKI G., SADŁOWSKA K., GAŚIEWICZ A., MARKOWIAK M., STRZELSKA-SMAKOWSKA B., SZTROMWASSER E., KOŻMA K., SIKORSKA-MAYKOWSKA M., PAULO A., CHMIELEWSKI A., RADWANEK-BAK B., GIEŁŻECKA-MĄDRY D., MĄDRY S., MICHNIEWICZ M., BUKOWSKI K., KUĆ P.,

- BLIŹNIUK A., KOSTRZ-SIKORA P., PIOTROWSKA M., 2015. Mapy obszarów perspektywicznych wystąpień rud metali i surowców chemicznych w Polsce w skali 1:200 000 wraz z ich oceną surowcową i ograniczeniami środowiskowymi i zagospodarowania przestrzennego. NAG PIG-PIB [1714/2015], Warszawa.
- MIKULSKI S. Z., OSZCZEPALSKI S., CZAPOWSKI G., GAŚIEWICZ A., SADŁOWSKA K., MARKOWIAK M., SZTROMWASSER E., BUKOWSKI K., GIEŁŻECKA-MĄDRY D., MĄDRY S., STRZELSKA-SMAKOWSKA B., PAULO A., MICHNIEWICZ M., RADWANEK-BAK B., CHMIELEWSKI A., KUĆ P., SIKORSKA-MAJKOWSKA M., KOŹMA J., BLIŹNIUK A., PIOTROWSKA M., KOSTRZ-SIKORA P., 2016. Obszary i zasoby perspektywiczne wystąpień rud metali i surowców chemicznych w Polsce na mapach w skali 1:200 000 wraz z ich oceną surowcową oraz ograniczeniami środowiskowymi i zagospodarowania przestrzennego. *Prz. Geol.*, 64 (9): 657-670.
- MILEWICZ J., 1971. Cechsztyń w rejonie Gubina. *Kwart. Geol.*, 3: 605-623.
- NEUMANN U., 1995. Dodatek nr 1 do dokumentacji geologicznej złoża rud miedzi „Bytom Odrzański” w kat. C-1+C-2. NAG PIG [2546/96], Warszawa.
- PERYT T. M., ANTONOWICZ L., 1990. Facje i paleogeografia cechsztyńskiego anhydrytu dolnego (A1d) w Polsce. *Prz. Geol.*, 38 (4): 173-180.
- PERYT T. M., CZAPOWSKI G., GAŚIEWICZ A., 1992. Facje i paleogeografia cechsztyńny zachodniej części syneklizy perybałtyckiej. *Prz. Geol.*, 40 (4): 223-233.
- PERYT T. M., KASPRZYK A., ANTONOWICZ L., 1996a. Upper Werra Anhydrite (Zechstein, Upper Permian) in Poland. *Bull of Pol. Academy of Sciences, Earth Sciences*, 44 (3): 121-129.
- PERYT T. M., KASPRZYK A., CZAPOWSKI G., 1996b. Basal Anhydrite and Screening Anhydrite (Zechstein, Upper Permian) in Poland. *Bull. Pol. Academie des Sciences, Earth Sciences*, 44, 3: 131-139.
- PODEMSKI M., 1964. Zagadnienie sedymentacji chemicznej cechsztyńny na monoklinie przedsudeckiej. *Kwart. Geol.*, 8 (4): 920-921.
- PODEMSKI M., 1965. Rozwój sedymentacji utworów cechsztyńny w rejonie Lubin Legnicki Sierszowice. *Kwart. Geol.*, 9 (1): 115-130.
- PODEMSKI M., 1972. Cechsztyńskie sole kamienne i potasowe cyklotemów Z2, Z3 w okolicach Nowej Soli. *Biul. IG*, 260 (2): 5-62.
- PODEMSKI M., 1973. Sedymentacja cechsztyńska zachodniej części monokliny przedsudeckiej na przykładzie okolic Nowej Soli. *Pr. Inst. Geol.*, 71:1- 101.
- POKORSKI J., WAGNER R., 2001. Występowanie osadów permu w basenie polskim. W: M. Pajchłowa i R. Wagner (eds). Budowa geologiczna Polski. T. III. Atlas skamieniałości przewodnich i charakterystycznych, cz. 1c-z. 3. Młodszy paleozoik. Perm. 11-15. PIG, Warszawa.
- POŻARYSKI W., DEMBOWSKI Z., 1983. Mapa geologiczna Polski i krajów ościennych bez utworów kenozoicznych, mezozoicznych i permskich, 1 : 1 000 000. Inst. Geol., Warszawa.
- PREIDL M. 1990. Dokumentacja geologiczna złoża soli kamiennej występującej ponad złożem rud miedzi kopalni Sierszowice. Zasoby w kategorii C1 i szacunkowe. NAG PIG-PIB [732/91], Warszawa.
- SALSKI W., 1975. Tektonika okolic Lubina. *Biuletyn IG*, 287 (24): 61-198.
- SOKOŁOWSKI J., 1967. Charakterystyka geologiczna i strukturalna obszaru przedsudeckiego. *Geologia Sudetica*, 3: 297-367.
- SZYBIST A., 1976. Złoże soli kamiennej w Legnicko Głogowskim Okręgu Miedzianym. *Prz. Geol.*, 24 (10): 572-576.
- TOBOŁA T., CYRAN K., KAMIŃSKI P., 2016. Wstępna analiza ramanowska substancji organicznej w solach najstarszych Na1 z szybu SW-4 (LGOM). *Przegląd Solny (Salt Review)*, 12: 83-91.
- TOMASZEWSKI J. B., 1962. Utwory solne cechsztyńny monokliny przedsudeckiej w rejonie Lubin-Sierszowice. *Prz. Geol.*, 10 (12): 668-671.
- WAGNER R., 1986. Problemy formalnej litostratygrafii cyklotemów ewaporatowych na przykładzie cechsztyńny. *Prz. Geol.*, 34 (5): 250-254.
- WAGNER R., 1994. Stratygrafia i rozwój basenu cechsztyńskiego na Niżu Polskim. *Prace PIG*, 146:1-71.
- WAGNER R., PERYT T. M., 1998. O możliwościach podziału cechsztyńny w sekwencji stratygraficzne w basenie polskim. *Prace PIG*, CLXV: 129-146.
- ZNOSKO J. (red.), 1998. Atlas Tektoniczny Polski. PIG, Warszawa.
- ZWIERZYCKI J., 1951. Sole potasowe na północ od Wrocławia. *Prace IG*, 7: 257-291.



Model numeryczny procesu ługowania (Proces ługowania kawern solnych cz. III)

Numerical model of leaching process. (Salt cavern leaching process p. III)

Kazimierz URBAŃCZYK

ul. Kanadyjska 34, 32-087 Zielonki, e-mail: kazeku@poczta.onet.pl

STRESZCZENIE

Przedstawiono model matematyczno-fizyczny procesu ługowania w postaci zaproksymowanej, wykorzystując przybliżenie z jednowymiarową hydrodynamiką i warunkiem równowagi grawitacyjnej. Istotnym elementem modelu jest opis kształtu kawerny niezależny od aproksymacji jej wnętrza. Zastosowano jawny schemat różnicowy typu Leleviera z aproksymacją równania przepływu pod prąd. Opisany model jest podstawą algorytmu UBRO. Krótko omówiono też inne modele.

Słowa kluczowe: proces ługowania, kawerna solna, model procesu ługowania.

ABSTRACT

Mathematical and physical model of leaching process is presented in the approximated form. One-dimensional hydrodynamics and gravity equilibrium condition are used to create the model. Description of the cavern shape independent on approximation of the cavern inside is significant feature of the model. An explicit scheme of Lelevier type is applied and an upwind scheme for the flow equation. The described model is the base of the UBRO algorithm. Other models are shortly discussed.

Key words: leaching process, salt cavern, model of leaching process.

WSTĘP

Niniejszy tekst jest trzecim z serii poświęconej procesowi ługowania, ukazującej się na łamach *Przeгляdu Solnego*. Zamierzeniem autora jest podsumowanie wiedzy na ten temat,

zwłaszcza jeśli idzie o opis matematyczno-fizyczny, jego stosowność oraz implementacje w postaci modeli komputerowych.

Część druga (Urbańczyk 2017) omawiająca opis matematyczno-fizyczny procesu ługowania soli, zakończyła się podsumowaniem, stwierdzającym m.in. iż: stężenie solanki w kawernie jest praktycznie jedynie funkcją głębokości i czasu, zatem stan wewnątrz kawerny może być przybliżony modelem 1D (jednowymiarowym), w którym równanie Naviera-Stokesa jest bez znaczenia, a turbulencja zastąpiona warunkiem równowagi grawitacyjnej. Przy przejściu do modelu 1D, warunek brzegowy na ruchomej powierzchni przechodzi w człon źródłowy dla równania stężenia.

Równania modelu można rozwiązać jedynie drogą numeryczną. W tym celu konieczna jest jego dyskretyzacja dająca przejście od równań całkowych i różniczkowych do równań algebraicznych.

Niniejszy artykuł poświęcony jest temu przejściu i wprowadzeniu opisu procesu ługowania do postaci algebraicznej. Opisany tu jest jeden z możliwych sposobów takiego przejścia oparty na aproksymacji różnicowej równań modelu (tzw. metoda różnic skończonych). Aproksymacji dokonuje się w układzie współrzędnych walcowych. W procesie brak zależności radialnej, zatem promień nie podlega aproksymacji. Azymut aproksymuje się dzieląc kąt pełny na pewną liczbę równych sektorów, głębokość aproksymuje się jednorodnym i stałym krokiem przestrzennym. Czas aproksymuje się krokiem czasowym o zmiennej długości, stosuje się przy tym w równaniu transportu schemat jawny sprzężenia czas-głębokość, co wynika z trudności z prognozowaniem wprzód członu źródłowego (poza szczególnymi przypadkami).

Schemat ten został z sukcesem zaimplementowany w oprogramowaniu UBRO/WinUbro, które uzyskało dominu-

jącą pozycję w świecie (Kunstman&Urbańczyk 1984, 1990, 1994a, 1994b, 2000). Tego typu algorytm wykorzystano również w programie PROSACAV (Edler 1997, Kunstman&Urbańczyk 2000, Edler i in 2008)

OGÓLNE CECHY MODELU

Zdyskretyzowany model obejmuje kawernę i górotwór. Kawerna jest dzielona krokiem aproksymacyjnym głębokości na plastry (bloki) o stałej grubości i stałym położeniu. Stan kawerny w danej chwili określony jest przez objętości plastrów, stężenia solanki w plastrach i średnie prędkości przepływu między plastrami. Dodatkową zmienną może być temperatura, która wpływa na zależność między stężeniem solanki a jej gęstością, a także na wielkość kontrakcji towarzyszącej rozpuszczaniu się soli. W typowym modelu temperatura jest zadawana z zewnątrz, najczęściej jednorodna w całej kawernie i, przynajmniej okresami, stała (pomija się efekty termodynamiczne).

Górotwór jest ośrodkiem w którym powstaje kawerna. Stąd w modelu udział biorą tylko niektóre jego własności, te które wpływają na rozwój kawerny. Są to podatność na rozpuszczanie czyli współczynniki ługowania oraz udział części nierozpuszczalnych. Mogą być one funkcjami trzech zmiennych przestrzennych. W praktyce jednak rzadko uwzględnia się całą tę zależność, z uwagi na trudności jej rozpoznania. Wprowadza się jedynie zmienność części rozpuszczalnych z głębokością na podstawie profilu otworu a w przypadku współczynników ługowania zależność od głębokości i azymutu. Tę ostatnią zależność można ocenić dopiero po pierwszych fazach ługowania na podstawie nieregularności kształtu zmierzonego echosondą. Górotwór dzieli się na plastry aproksymacyjne tym samym krokiem, co wnętrze kawerny i dla tych plastrów podaje się udział części nierozpuszczalnych. Współczynniki ługowania dodatkowo różnicuje się azymutalnie i w każdym sektorze określa dwa ciągi współczynników w plastrach głębokościowych. Własności górotworu są dla modelu ługowania stałymi parametrami.

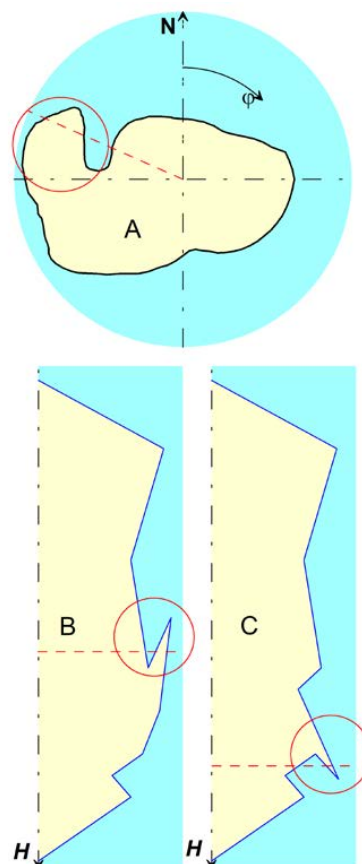
W skład modelu wchodzi również opis własności solanki – relacja między jej stężeniem a gęstością w zależności od temperatury, efektywna gęstość soli w roztworze w zależności od stężenia i temperatury i wynikający stąd współczynnik kontrakcji również zależny od stężenia i temperatury.

Powierzchnia graniczna między górotworem a kawerną, czyli powierzchnia zewnętrzna kawerny (ocios), potocznie zwana kształtem kawerny, wymaga niezależnego opisu w przestrzeni trójwymiarowej. Szczególnie ważne jest by kąt nachylenia ociosu był właściwie przybliżony, bo od niego zależy szybkość ługowania czyli przemieszczania się ociosu w czasie, w głąb górotworu. Używa się współrzędnych cylindrycznych, w których opis kształtu kawerny polega na podaniu promienia jako funkcji głębokości i kąta azymutalnego. Aproksymacja polega na wprowadzeniu w każdym sektorze

ekwiwalentnego półprofilu kawerny, który z kolei jest aproksymowany łamaną (ciąg odcinków powiązanych końcami-węzłami).

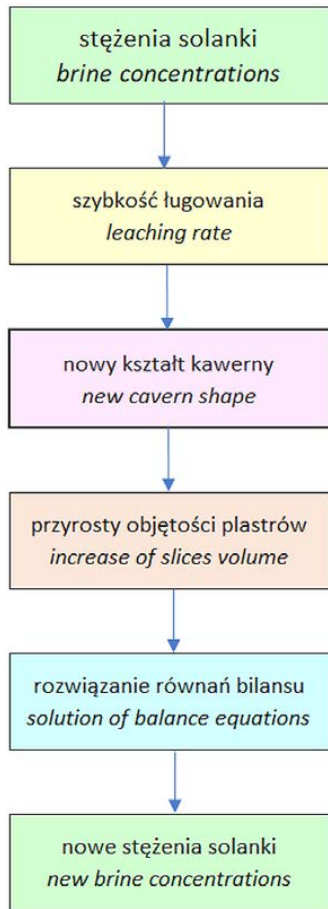
Trzeba tu zwrócić uwagę, że taki opis kształtu kawerny, wymagający, by każdemu azymutowi na danej głębokości odpowiadał tylko jeden promień i podobnie w każdym azymucie każdej głębokości również odpowiadał jeden promień, ma ograniczenia i nie każdy kształt kawerny da się tak opisać. Ryc. 1 przedstawia sytuacje, które nie są możliwe do przedstawienia w powyższy sposób. Przypadek A przedstawia przekrój poziomy kawerny z wnęką boczną, dla pewnego azymutu kontur trzykrotnie przecina promień. W przypadku B, kawerna ma idący w górę tzw. komin widoczny w półprofilu, zaś w przypadku C – kieszeń idącą w dół, obok głównej części kawerny. Na Ryc. 1 i dalszych rycinach kolor żółty przedstawia wnętrze kawerny, kolor niebieski – sól.

Omawiany opis stanowi istotne ograniczenie, gdyż takie przypadki jak na Ryc. 1 zdarzają się, jednak, jak dotąd, nikomu nie udało się zaproponować lepszego opisu kształtu kawerny.

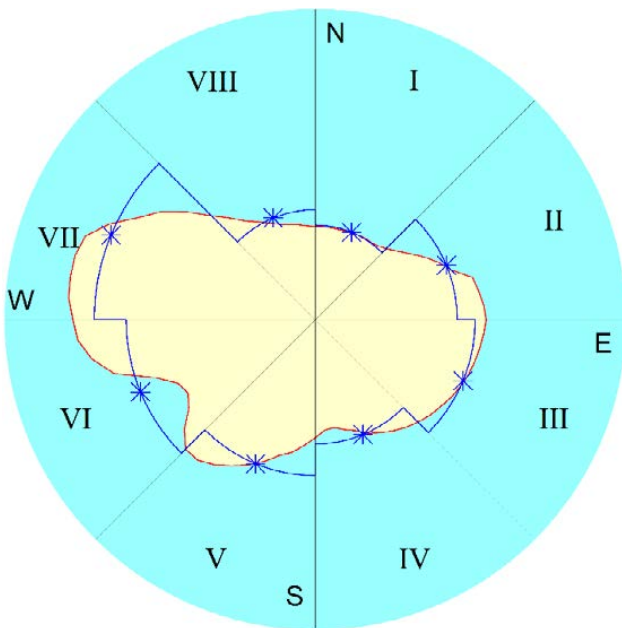


Ryc. 1. Przykłady kształtów kawern, nie dających się opisać przyjętym modelem: A – wnęka boczna na przekroju poprzecznym, B – komin w półprzekroju pionowym, C – kieszeń w półprzekroju pionowym

Fig. 1. Examples of the forbidden cavern shapes in described model: A – “side branch” in horizontal cross section, B – “chimney” in semi-profile, C – “pocket” in semi-profile



Ryc. 2. Schemat kroku czasowego w opisywanym modelu
Fig. 2. Time-step diagrams in the described model



Ryc. 3. Redukcja obrysu poziomego kawerny do promieni ekwiwalentnych w sektorach
Fig. 3. Reduction of horizontal cavern contour to sector equivalent radii
— cavern contour, —*— contour of equivalent radii

Aby rozpocząć symulację musimy znać stan początkowy kawerny, czyli jej kształt, objętości plastrów i stężenie w każdym z nich. Zaproksymowane równania bilansu (równanie ciągłości i równanie transportu) pozwalają wyznaczyć stan kawerny po upływie kroku czasowego.

Aby rozwiązać układ zaproksymowanych równań bilansu, trzeba najpierw wyznaczyć dla nich człon źródłowy, czyli m.in. ile soli doszło z górotworu do każdego z plastrów wskutek ługowania, ile opadło na dno części nierozpuszczalnych i jaka ilość medium ługującego jest zatłaczana do kawerny.

Dlatego symulacja każdego kroku czasowego musi się zacząć od wyznaczenia rozkładu szybkości ługowania (po głębokości i azymutach) na podstawie rozkładu stężenia w kawernie, biorąc pod uwagę nachylenie jej ścian i zróżnicowanie współczynników ługowania w górotworze. Szybkość ługowania określa przemieszczenie ścian kawerny w trakcie kroku czasowego.

Wyznaczywszy przemieszczenie ścian kawerny dostajemy nowy jej kształt. Oblicza się wtedy nowe objętości plastrów kawerny i porównując z objętościami poprzednimi, wyznacza ilości soli wylugowane w obrębie każdego z plastrów. Pozwala to wyznaczyć człon źródłowy dla równań bilansu, co umożliwia ich rozwiązanie i wyznaczenie nowych stężeń w plastrach kawerny. One stają się punktem wyjścia do nowego kroku czasowego. Ilustruje to Ryc. 2.

Podsumowanie:

Model matematyczno-fizyczny, by wykonywać przy jego pomocy obliczenia, musi być zdyskretyzowany.

Głębokość dzieli się jednorodnym i stałym krokiem aproksymacyjnym, czas krokiem o zmiennej długości, stosuje się sprzężenie schematem jawnym tzw. Leleviera. Oprócz tego zmienną azymutalną dzieli się stałym krokiem na sektory.

Parametry górotworu określa się w azymutalnych wycinkach plastrów aproksymacyjnych.

Stan kawerny określa się w plastrach kawerny, przy czym jest on zmienny w czasie.

Model ogranicza się do kształtów kawerny dających się opisać promieniem, jako funkcją głębokości i azymutu, kształt aproksymuje się niezależnie od kroku aproksymacyjnego głębokości, w każdym sektorze niezależnie, w postaci łamanej.

Symulacja w pojedynczym kroku czasowym odbywa się, jak przedstawiono na Ryc. 2.

APROKSYMACJA PRZEKROJU POPRZECZNEGO KAWERNY – SEKTORY AZYMUTALNE

Ideę sektorów azymutalnych ilustruje Ryc. 3, na przykładzie 8 sektorów. Kontur kawerny zostaje zastąpiony 8 promieniami ekwiwalentnymi, czyli w każdym sektorze wycinek kawerny zostaje sprowadzony do wycinka koła.

Promień ekwiwalentny określony jest wzorem:

$$(R_{i,eq})^2 = \frac{K}{2\pi} \int_{(i-1)\frac{2\pi}{K}}^{i\frac{2\pi}{K}} [R(\varphi)]^2 d\varphi \quad (1)$$

gdzie:

i – numer sektora,

K – liczba sektorów,

φ – kąt azymutalny [-],

$R(\varphi)$ – obrys przekroju poprzecznego kawerny na jakiejś głębokości (np. otrzymany z echosondy) [m].

Taka redukcja obrysu do np. ośmiu wartości w sektorach zachowuje pole powierzchni przypadające na każdy z sektorów, a jeśli idzie o całą kawernę nie zmienia jej objętości. Jednak traci się przy tym część informacji. Gdy zachodzi potrzeba odtworzenia obrysu kawerny, na podstawie promieni ekwiwalentnych w sektorach, taki odtworzony kontur będzie „zubożony”, różny mniej lub bardziej od wyjściowego konturu.

Odtwarzać kontur można na różne sposoby, jeden z nich jest następujący:

W obrębie rozpatrywanego sektora promień komory przybliża się funkcją:

$$\mathcal{R}(\varphi) = \left(\frac{K}{\pi}\right)^2 a\varphi^2 + \frac{K}{\pi} b\varphi + c \quad (2)$$

gdzie:

a, b, c – stałe [m],

φ – tutaj kąt tak dobrany, by jego wartość (w radiach) w centrum rozpatrywanego sektora wynosiła 0, w centrum poprzedniego sektora $-2\pi/K$, zaś w centrum następnego sektora $+2\pi/K$, czynnik $\frac{K}{\pi}$ został wprowadzony dla uproszczenia późniejszych rachunków.

Funkcja $\mathcal{R}(\varphi)$ musi spełniać warunek równości pola, tzn. dawać w sektorze pole identyczne jak promień ekwiwalentny:

$$\frac{K}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{K}}^{\frac{\pi}{K}} [\mathcal{R}(\varphi)]^2 d\varphi = (R_{eq})^2 \quad (3)$$

Uwzględniając (2) zachodzi warunek:

$$\frac{1}{5}a^2 + \frac{1}{3}b^2 + c^2 + \frac{2}{3}ac = (R_{eq})^2 \quad (4)$$

Wprowadzając oznaczenia:

$$\begin{aligned} R_{\frac{1}{2}} &= R\left(\frac{\pi}{K}\right) \\ R_{-\frac{1}{2}} &= R\left(-\frac{\pi}{K}\right) \\ \alpha &= \frac{8}{15} \\ \beta &= \frac{2}{3}\left(R_{\frac{1}{2}} + R_{-\frac{1}{2}}\right) \end{aligned}$$

$$\gamma = \frac{1}{3}\left(\left(R_{\frac{1}{2}}\right)^2 + \left(R_{-\frac{1}{2}}\right)^2 + R_{\frac{1}{2}}R_{-\frac{1}{2}}\right) - (R_{eq})^2$$

otrzymuje się:

$$a = \frac{\beta - \sqrt{\beta^2 - 4\alpha\gamma}}{2\alpha} \quad (5)$$

$$b = \frac{1}{2}\left(R_{\frac{1}{2}} - R_{-\frac{1}{2}}\right) \quad (6)$$

$$c = a - \frac{1}{2}\left(R_{\frac{1}{2}} + R_{-\frac{1}{2}}\right) \quad (7)$$

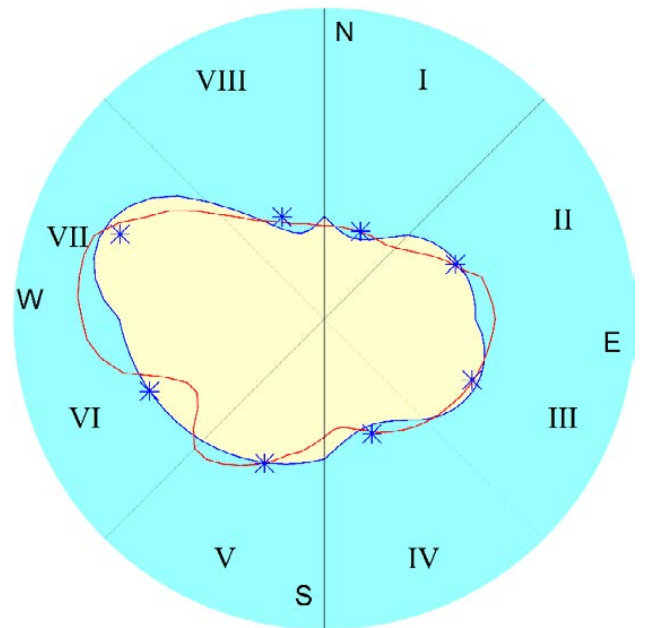
Pozostaje wyznaczenie wartości $R_{\frac{1}{2}}$ i $R_{-\frac{1}{2}}$, t.j. promieni na granicach sektorów.

Jedną z możliwości, stosunkowo dobrze działającą, jest przyjęcie, że są one średnimi harmonicznymi wartości ekwiwalentnych w sąsiednich sektorach:

$$R_{\frac{1}{2}} = \frac{2 R_{(i+1),eq} R_{i,eq}}{R_{(i+1),eq} + R_{i,eq}} \quad (8)$$

$$R_{-\frac{1}{2}} = \frac{2 R_{(i-1),eq} R_{i,eq}}{R_{(i-1),eq} + R_{i,eq}} \quad (9)$$

Odtworzony tą metodą kontur, na przykładzie 8 sektorów przedstawia Ryc. 4. Widać, że odtworzony obrys (linia niebieska) różni się od wyjściowego (linia czerwona).



Ryc. 4. Odtworzenie obrysu poziomego kawerny z promieni ekwiwalentnych

— kontur kawerny, *promień ekwiwalentne,
— odtworzony kontur kawerny

Fig. 4. Recovery of cavern contour from equivalent radiuses
— cavern contour, * equivalent radii, — recovered cavern contour

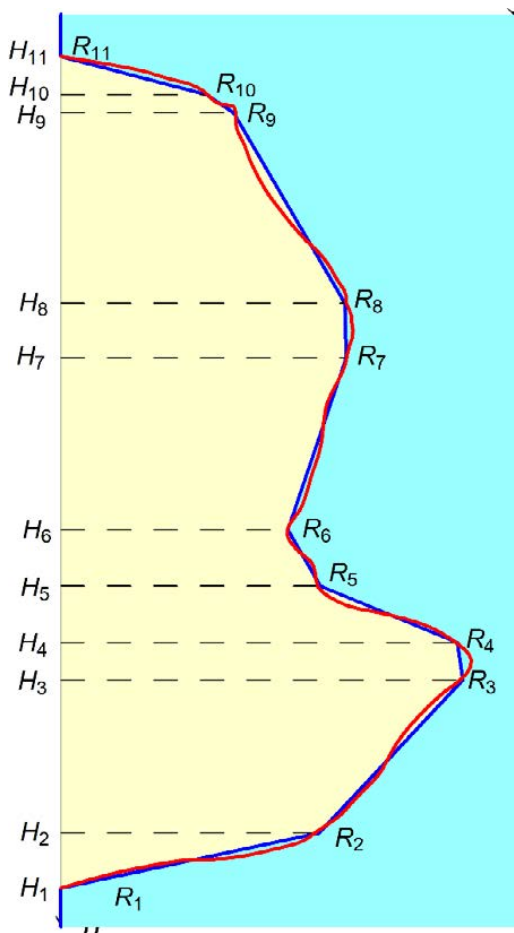
Podsumowanie:

W przekroju poziomym kształt kawerny jest wyrażony przez wartości promieni ekwiwalentnych w sektorach. Dzięki temu powierzchnia przekroju i, co za tym idzie, objętość kawerny jest zachowana.

W razie potrzeby, jest procedura przejścia od promieni ekwiwalentnych do ciągłego obrysu. Jednak będzie ona tylko przybliżała rzeczywisty obrys, bo przy przejściu do promieni ekwiwalentnych część informacji ginie.

PIONOWY PÓLPROFIL KAWERNY W SEKTORZE

W sektorze azymutalnym promień ekwiwalentny jako funkcję głębokości przybliża się łamaną, jak przedstawia to Ryc. 5. Każdy z odcinków tej łamanej jest określony przez dwa punkty węzłowe: początkowy i końcowy, tj.: (H_i, R_i) i (H_{i+1}, R_{i+1}) .



Ryc. 5. Aproxymacja łamaną pionowego półprofilu kawerny

— kontur kawerny, — kontur zaproxymowany

Fig. 5. Approximation of the cavern vertical semi-profile by an open polygonal line

— cavern contour, — approximated contour

Ponieważ w przyjętym opisie promień kawerny jest funkcją głębokości, głębokości kolejnych punktów wyznaczających półprofil kawerny muszą spełniać warunek monotoniczności:

$$H_i > H_{i+1} \quad (10)$$

Teoretycznie można by przyjąć warunek przeciwny do (10), jednak ponieważ kawerny ługownicze rozwijają się od dołu ku górze, praktyczniej jest przyjąć za H_1 najgłębszy punkt kawerny.

Ciąg punktów (H_i, R_i) zarazem określa parametry równań prostych na których leżą poszczególne odcinki półprofilu.

$$r = a_i h + b_i \quad (11)$$

$$a_i = \frac{R_{i+1} - R_i}{H_{i+1} - H_i} \quad (12)$$

$$b_i = R_i - a_i H_i = \frac{R_i H_{i+1} - R_{i+1} H_i}{H_{i+1} - H_i} \quad (13)$$

Zachodzi związek

$$a_i = -\operatorname{ctg} \psi_i \quad (14)$$

$$\sin \psi_i = \frac{1}{\sqrt{a_i^2 + 1}} \quad (15)$$

gdzie:

ψ_i – kąt nachylenia rozpatrywanego odcinka łamanej [-], przy czym 0° oznacza płaskie dno, 90° - pionowy ocios, 180° - poziomy strop.

Biorąc pod uwagę kwestie numeryczne, warunek (10) został zmodyfikowany do postaci:

$$-\operatorname{ctg} \psi_{gr} \leq a_i \leq -\operatorname{ctg} \psi_{str} \quad (16)$$

gdzie:

ψ_{gr} – graniczny kąt ługowania [-],

ψ_{str} – stropowy kąt ługowania [-].

Kąt graniczny ługowania to wielkość fizykalna, dla niższych nachyleń szybkość ługowania jest zerem, bo części nierozpuszczalne nie ześlizgują się z ługowanej powierzchni i powstaje między nimi warstewka nasyconego roztworu. Natomiast kąt stropowy jest związany z kwestiami numerycznymi, kiedy trzeba odejmować małe a od dużego a . Przy dokładności obliczeń w czasach, gdy powstawał algorytm UBRO, graniczna wartość a była rzędu 50-100. 179° było wartością „okrągłą” ($180^\circ - 1^\circ$), i wystarczającą by algorytm działał prawidłowo. Wartość tę zostawiono w późniejszych implementacjach.

Z tych samych powodów przyjęto, że $\psi_{gr} \geq 1^\circ$.

Podsumowanie:

Półprofil pionowy każdego z sektorów przedstawia się jako łamana. Głębokości kolejnych punktów węzłowych muszą tworzyć ciąg malejący.

Nachylenia odcinków łamanej muszą mieścić się w przedziale wyznaczonym przez graniczny kąt ługowania oraz kąt ługowania stropowego.

Kąt ługowania stropowego wprowadzony został z przyczyn numerycznych, dla opisywanego modelu przyjęto 179° .

PRZEMIESZCZENIE PIONOWEGO PÓLPROFILU KAWERNY
W KROKU CZASOWYM

W trakcie pojedynczego kroku czasowego Δt następuje przesunięcie konturu, zgodnie z szybkością ługowania, zależną od wartości współczynników szybkości ługowania i stężenia na danej głębokości. Przesunięcie konturu kawerny w kierunku normalnym do konturu wyraża się formułą:

$$\Delta n(h) = \omega(h)\Delta t \quad (17)$$

$$\text{zaś przyrost promienia:} \quad \Delta r(h) = \frac{\omega(h)\Delta t}{\sin \psi} \quad (18)$$

gdzie:

ω – szybkość ługowania określona wzorami (19) (20) [m/s]
 $\mathbf{n} = (\cos \psi, \sin \psi)$ – kierunek normalny do ługowanej powierzchni
 ψ – kąt nachylenia ośrodku na rozpatrywanej głębokości [-].

$$\omega(\psi, T, C) = k(\psi)(1 + 0.0262(T - 20^\circ\text{C})) \frac{(C_N - C)^{1.5} C_N^{0.5}}{(C_N(20^\circ\text{C}))^2} \quad (19)$$

$$k(\psi) = \begin{cases} 0 & \text{dla } 0 \leq \psi \leq \psi_{gr} \\ k_h \frac{\sin^2 \psi - \sin^2 \psi_{gr}}{1 - \sin^2 \psi_{gr}} & \text{dla } \psi_{gr} \leq \psi \leq \frac{\pi}{2} \\ k_h \sin^2 \psi + k_v \cos^2 \psi & \text{dla } \frac{\pi}{2} \leq \psi \leq \pi \end{cases} \quad (20)$$

gdzie:

T – temperatura roztworu ługującego [$^\circ\text{C}$],
 C – stężenie roztworu ługującego [kg/m^3],
 C_N – stężenie roztworu nasyconego [kg/m^3],
 k_h, k_v – współczynniki ługowania, boczny i stropowy [m/s].

We wzorze (18), w stosunku do wzoru (42) z poprzedniej publikacji (Urbańczyk 2017) przyjęto $\xi=0$, czyli $\cos \xi = 1$, co

jest związane z koncepcją konturów ekwiwalentnych w sektorach.

Odcinki leżące w jednym plastrze Δh lub w strefie jednorodnej szybkości ługowania ulegają równoległemu przesunięciu (Δr jest dla całego odcinka jednakowe). Odcinki nie obejmujące pełnych dwóch plastrów także przesuwane są zawsze równolegle, według szybkości ługowania dla środka odcinka.

Równanie prostej, na której leży odcinek przesunięty równolegle, określa poniższa formuła:

$$r = a'_i h + b'_i \quad (21)$$

$$a'_i = a_i \quad (22)$$

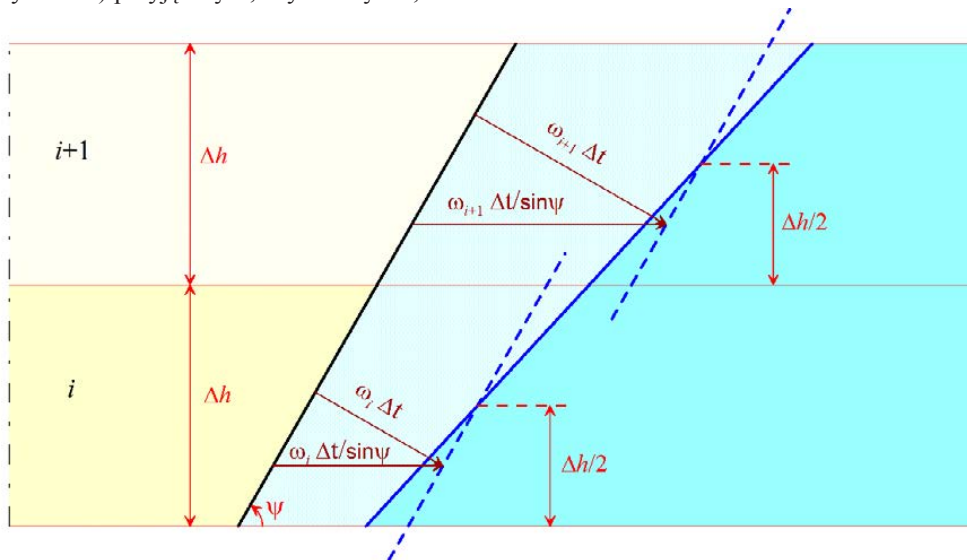
$$b'_i = b_i + \Delta R_i = b_i + \frac{\omega(H_i)\Delta t}{\sin \psi_i} = b_i + \omega(H_i)\Delta t \sqrt{1 + a_i^2} \quad (23)$$

gdzie:

a, b – parametry prostej odcinka przed przemieszczeniem [-],[m],
 a', b' – parametry prostej odcinka po przemieszczeniu [-],[m],
 H_i – głębokość środka odcinka [m].

Odcinki, które obejmują tylko 2 pełne sąsiednie plastry Δh , przesuwane są z przemieszczeniem wypadkowym z przesunięć w wyższym i niższym plastrze (por. Ryc. 6.). Wpływ niepełnych plastrów, w których leżą końce odcinków zaniebduje się. Nachylenie odcinka ulega zmianie, jeśli w wyższym i niższym plastrze są różne szybkości ługowania (np. z powodu różnych stężeń). Parametry prostej, na której leży odcinek określa formuła:

$$a'_i = a_i + \frac{(\omega_{i+1} - \omega_i)\Delta t \sqrt{1 + a_i^2}}{H_{i+1} - H_i} \quad (24)$$



Ryc. 6. Przesunięcie odcinka obejmującego dwa pełne plastry aproksymacyjne

— odcinek przed przemieszczeniem, - - - - - przemieszczone części odcinka, — odcinek po przemieszczeniu (wypadkowym),
 - · - · - oś kawerny

Fig. 6. Displacement of the contour segment containing two entire approximation slices

— the segment before the displacement, - - - - - displaced parts of the segment, — the segment after the net displacement,
 - · - · - cavern axis

$$b'_i = b_i + \frac{(\omega_i H_{i+1} - \omega_{i+1} H_i) \Delta t \sqrt{1 + a_i^2}}{H_{i+1} - H_i} \quad (25)$$

gdzie:

H_i, H_{i+1} – głębokości środków plastrów aproksymacyjnych [m].

Kolorem żółtym wypełniono wnętrze kawerny, niebieskim sól, bładniebieskim sól wylugowaną w rozpatrywanym kroku czasowym.

Dla odcinków dłuższych, obejmujących 3-5 pełnych plastrów, wypadkowe przemieszczenie wyznaczone jest metodą najmniejszych kwadratów z przesunięć w poszczególnych plastrach (por. Ryc. 7).

$$a' = a + \frac{n \sum (\omega_{i+j} H_{i+j}) - (\sum \omega_{i+j})(\sum H_{i+j})}{n \sum H_{i+j}^2 - (\sum H_{i+j})^2} \Delta t \sqrt{1 - a^2} \quad (26)$$

$$b' = b + \frac{(\sum H_{i+j}^2)(\sum \omega_{i+j}) - (\sum H_{i+j})(\sum (\omega_{i+j} H_{i+j}))}{n \sum H_{i+j}^2 - (\sum H_{i+j})^2} \Delta t \sqrt{1 - a^2} \quad (27)$$

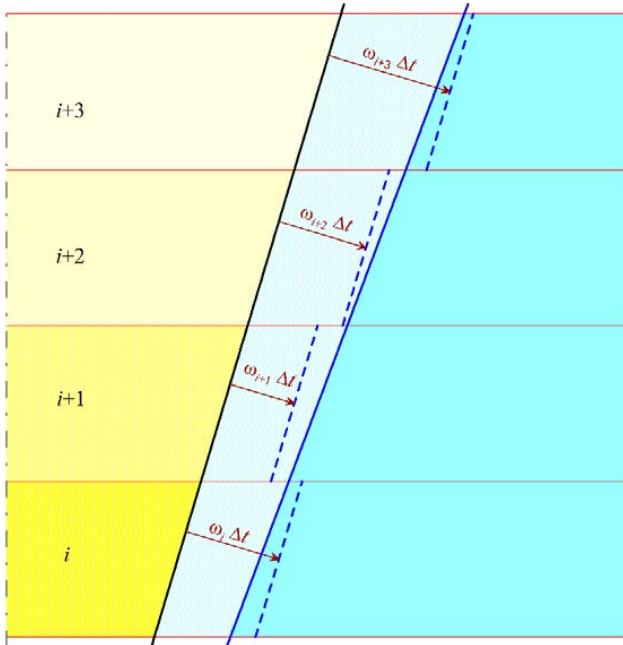
gdzie:

wie wszystkich sumach sumowanie przebiega po j od zera do $(n-1)$,

n – liczba pełnych plastrów komory objętych przez odcinek,

H_i – głębokość odpowiadająca środkowi i -tego plastra [m],

ω_i – szybkość ługowania w i -tym plastrze [m/s].



Ryc. 7. Przesunięcie odcinka obejmującego cztery pełne plastry aproksymacyjne

— odcinek przed przemieszczeniem, - - - przemieszczone części odcinka, — odcinek po przemieszczeniu (wypadkowym), - · - · - oś kawerny

Fig. 7. Displacement of the contour segment containing four entire approximation slices.

— the segment before the displacement, - - - displaced parts of the segment, — the segment after the net displacement, - · - · - cavern axis

Natomiast odcinki obejmujące więcej niż 5 plastrów dzieli się na równe części, z których każda jest traktowana jak niezależny odcinek. Części jest tyle, by każda obejmowała nie mniej niż dwa pełne odcinki, ale nie więcej niż pięć.

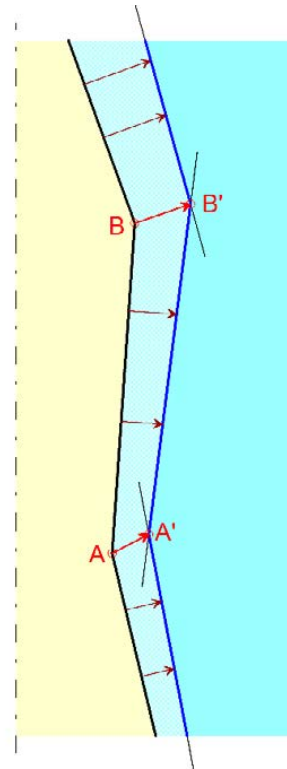
Aby stworzyć możliwość „zaokrąglenia” ostrym krawędziom, wprowadzono dodatkową regułę: odcinki, których górny sąsiad jest prawie pionowy, a dolny prawie stropowy, przesuwane są o połowę szybciej, zaś odcinki, których górny sąsiad jest prawie stropowy a dolny - prawie pionowy, przesuwane są o połowę wolniej.

Odcinek o nachyleniu stropowym (lub jemu bliskim), jeśli położony jest w pobliżu dolnej granicy plastra, przesuwany jest z szybkością odpowiadającą stężeniu plaster niżej. Gdyby nie ta reguła, przy obiegu lewym mogłoby dochodzić do stężenia ponadnasyconego, skutkiem zbyt dużego przyrostu objętości plastra w jednym kroku czasowym.

Po przemieszczeniu prostych odpowiadających odcinkom konturu kawerny, wyznacza się punkty przecięcia przemieszczonych prostych, które wyznaczą nowy półprofil kawerny, po kroku czasowym. Położenia tych punktów nowego profilu wyznacza się wzorami:

$$H'_i = \frac{b'_{i-1} - b'_i}{a'_i - a'_{i-1}} \quad (28)$$

$$R'_i = \frac{a'_i b'_{i-1} - a'_{i-1} b'_i}{a'_i - a'_{i-1}} \quad (29)$$



Ryc. 8. Nowy półprofil kawerny wyznaczają punkty przecięcia przemieszczonych prostych odcinków starego półprofilu

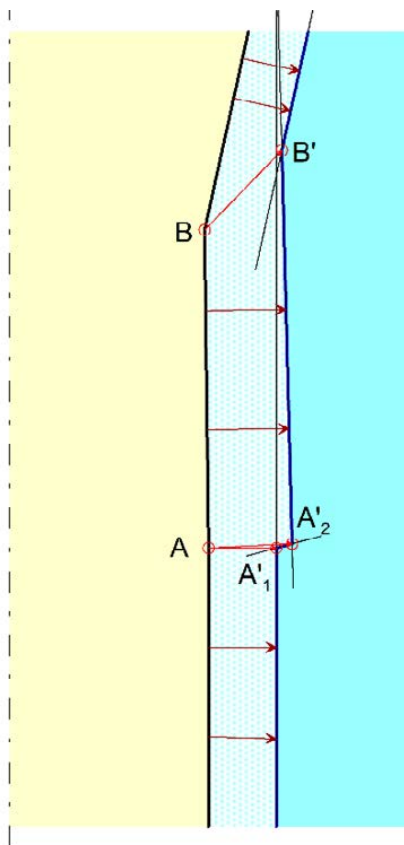
— kontur przed przemieszczeniem, — kontur po przemieszczeniu, - · - · - oś kawerny

Fig. 8. New cavern semi-profile is determined by intersection points of displaced straight lines of the old cavern semi-profile

— the contour before the displacement, — the contour after the displacement, - · - · - cavern axis

Ryc. 8 ilustruje jak punkty przecięcia przemieszczonych prostych wyznaczają nowy półprofil kawerny. Warto zwrócić uwagę, że punkty końcowe przemieszczonego odcinka AB, tzn. A' i B' leżą na innych głębokościach, niż punkty A i B przed przemieszczeniem.

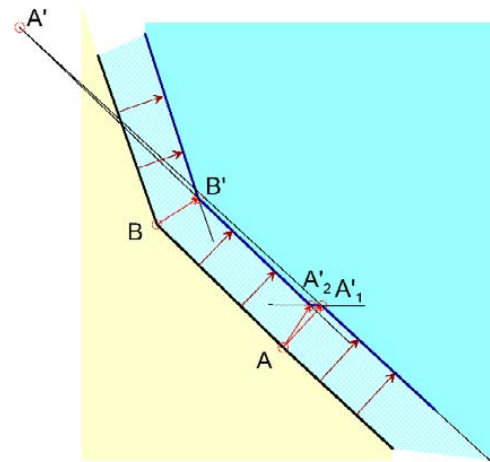
Wzory (28) i (29) nie mają zastosowania w przypadku, gdy $a'_i \approx a'_{i-1}$, czyli gdy proste (i-1) oraz i są równoległe, lub bliskie równoległości. Wówczas albo w ogóle się nie przecinają, albo ich punkt przecięcia jest niefizyczny, położony wysoko w górze, głęboko w dole, lub ma ujemny promień, czy tp. Wymaga to wstawienia dodatkowego odcinka pomiędzy owe bliskie równoległości. Zależnie od konfiguracji, dodatkowy odcinek ma nachylenie stropowe, bądź granicznego kąta ługowania.



Ryc. 9. Wstawienie odcinka o nachyleniu granicznym, gdy punkt przecięcia przesuniętych prostych leży zbyt wysoko
 — kontur przed przemieszczeniem, — kontur po przemieszczeniu, — · — · — oś kawerny

Fig. 9. Insertion of the new segment of the boundary inclination in the case where intersection point lies too high
 — the contour before the displacement, — the contour after the displacement, — · — · — cavern axis

Ryc. 9. przedstawia przypadek gdy punkt A' odpowiadający punktowi A leży wysoko, poza rysunkiem, gdyż przecinające się w nim proste są prawie równoległe. Konieczne jest wstawienie dodatkowego odcinka A'1A'2, o nachyleniu granicznym



Ryc. 10. Wstawienie odcinka o nachyleniu stropowym, gdy punkt przecięcia przesuniętych prostych ma promień ujemny
 — kontur przed przemieszczeniem, — kontur po przemieszczeniu, — · — · — oś kawerny

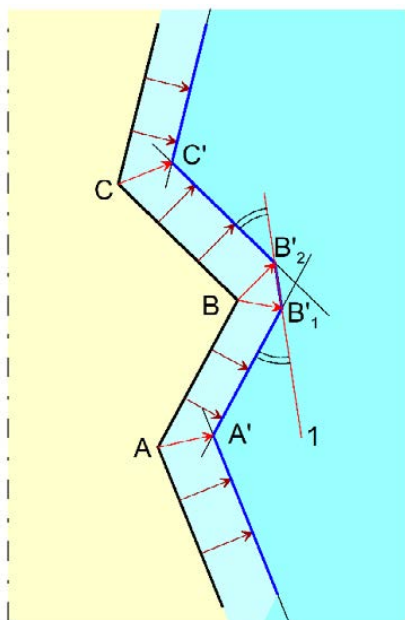
Fig. 10. Insertion of the new segment of the roof inclination in the case where intersection point is of negative radius
 — the contour before the displacement, — the contour after the displacement, — · — · — cavern axis

Ryc. 10. przedstawia inny przypadek niefizycznego punktu przecięcia, gdy punkt A' odpowiadający punktowi A ma promień ujemny, gdyż przecinające się w nim proste są prawie równoległe. Konieczne jest wstawienie dodatkowego odcinka A'1A'2, o nachyleniu stropowym 179°.

Należy dodać, że jeśli odcinek wstawiony między dwie proste równoległe miały być bardzo krótki, nie wstawia się odcinka, a proste scala w jedną. Jako kryterium krótkości odcinka można przyjąć np. jedną dziesiątą przesunięcia ościsłu kawerny na poziomie rury wodnej.

Jeszcze w jednym przypadku wstawia się dodatkowy odcinek. Jeśli kąt między sąsiednimi odcinkami jest mniejszy niż 105°, wprowadza się prostą l, równonachyloną do obu odcinków, jak ilustruje to Ryc. 11, a przemieszczoną względem punktu B o 2/3 odcinka, o jaki przemieściłaby się prosta o tym nachyleniu.

Skrajne punkty półprofilu kawerny nie ulegają przemieszczeniu, dlatego pierwszy przesunięty odcinek musi mieć nachylenie graniczne, a ostatni odcinek – stropowe. Jeśli takich odcinków brak, to dodaje się je w najbliższym kroku czasowym. Dodanie odcinka w stropie kawerny ilustruje Ryc. 12. C jest skrajnym górnym punktem półprofilu. Ponieważ odcinek AC początkowego konturu ma małe nachylenie, w konturze przemieszczonym pojawia się dodatkowa prosta l o nachyleniu stropowym i jej przecięcie B' z ostatnią przemieszczoną prostą starego konturu wyznacza dodatkowy odcinek B'C'. Odcinek stropowy nie przemieszcza się (bo strop jest izolowany) i w następnym kroku czasowym nie ma już potrzeby dodawania odcinka.

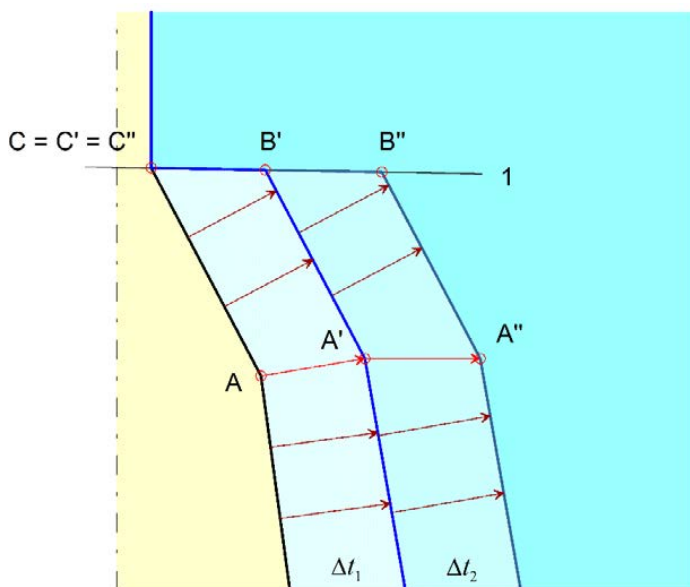


Ryc. 11. Wstawienie odcinka o nachyleniu pośrednim, gdy kąt między przesuniętymi prostymi jest mniejszy niż 105° .

— kontur przed przemieszczeniem, — kontur po przemieszczeniu, - · - · - oś kawerny

Fig. 11. Insertion of the new segment of the intermediate inclination in the case where the angle between displaced straights is less than 105°

— the contour before the displacement, — the contour after the displacement, - · - · - cavern axis



Ryc. 12. Wstawienie odcinka o nachyleniu stropowym, tworzącego izolowany strop kawerny

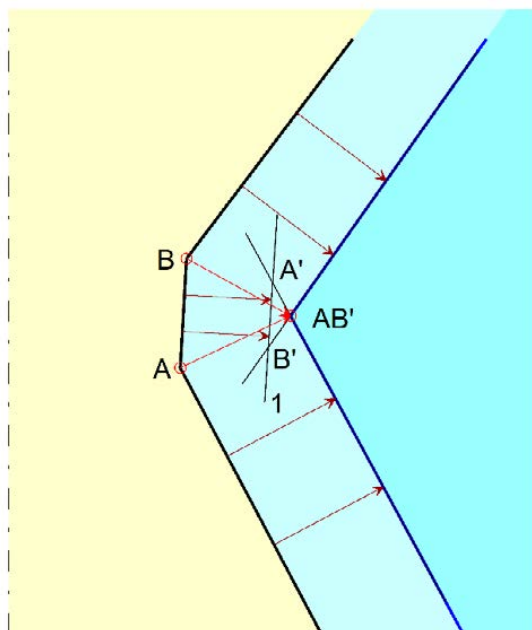
— kontur przed przemieszczeniem, — kontur po przemieszczeniu, - · - · - oś kawerny

Fig. 12. Insertion of the new segment of the roof inclination, creating the isolated cavern roof

— the contour before the displacement, — the contour after the displacement, - · - · - cavern axis

W podobny sposób dodaje się odcinek o granicznym nachyleniu na dole kawerny, jeśli zachodzi taka potrzeba.

Oprócz pojawiania się w konturze dodatkowych odcinków, mogą zdarzyć się przypadki zaniku odcinków. Klasyczny przypadek takiego zaniku przedstawia Ryc. 15. Punkty przecięcia się przesuniętych prostych są położone niewłaściwie: punkt A' płycej niż punkt B' . Odcinek $A'B'$ zmienił zwrot, stał się „ujemny”. Prosta 1 należy wyeliminować z profilu, a odcinek zastąpić jednym punktem AB' .



Ryc. 13. Zanik odcinka, który po przemieszczeniu „zmiął zwrot”

— kontur przed przemieszczeniem, — kontur po przemieszczeniu, - · - · - oś kawerny

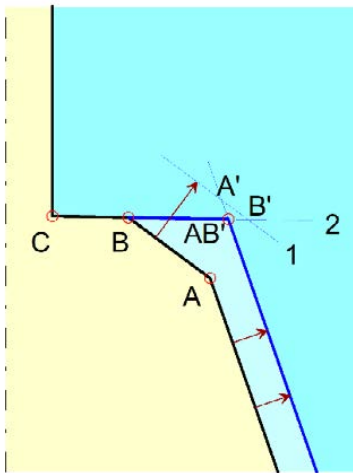
Fig. 13. Vanishing of the segment which reversed direction after displacement

— the contour before the displacement, — the contour after the displacement, - · - · - cavern axis

Szczególny przypadek zmiany zwrotu odcinka zachodzi, gdy przekracza on izolowany strop (Ryc. 14). Jedyną istotną różnicą w stosunku do poprzedniego przypadku jest ta, że odcinek stropowy nie ulega przemieszczeniu. Odcinek $A'B'$ znalazł się ponad stropem, w związku z tym zastąpiony zostaje punktem AB' , leżącym na prostej 2, o nachyleniu stropowym, zaś prosta 1 wypada z konturu.

Do zastąpienia odcinka jednym punktem może też dojść nawet gdy swego zwrotu nie zmienił, ale jego długość stała się porównywalna z dokładnością obliczeń. Nie ma większego sensu rozpatrywania odcinków długości 1 mm lub krótszych.

Ostatni przypadek wymagający omówienia, to zastąpienie trzech odcinków, które znalazły się w jednym plastrze aproksymacyjnym, jednym odcinkiem, co ilustruje Ryc. 15.

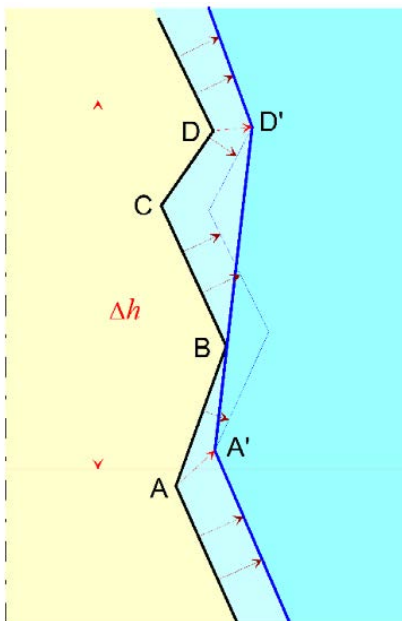


Ryc. 14. Zanik odcinka, który po przemieszczeniu znalazł się nad stropem kawerny

— kontur przed przemieszczeniem, — kontur po przemieszczeniu, - · - · - oś kawerny

Fig. 14. Vanishing of the segment which displaced above the cavern roof

— the contour before the displacement, — the contour after the displacement, - · - · - cavern axis



Ryc. 15. Zastąpienie trzech odcinków jednym, gdy znalazły się w obrębie jednego plastra

— kontur przed przemieszczeniem, — kontur po przemieszczeniu, - · - · - oś kawerny

Fig. 15. Three segments are replaced by one segment if they are found within one slice

— the contour before the displacement, — the contour after the displacement, - · - · - cavern axis

Na początku kroku czasowego punkt A znajdował się w niższym plastrze niż punkty B, C, D, odcinek AB jedynie częściowo leżał w rozpatrywanym plastrze. Po kroku czasowym punkt A' już wszedł do plastra, w którym pozostały

punkty B', C' i D'. Dlatego punkty B' i C' eliminowane są z profilu.

Podsumowanie:

Nowy kształt kawerny wyznacza się przemieszczając proste, na których leżą odcinki półprofilu i wyznaczając nowe punkty ich przecięć.

Przemieszczenia prostych zależą od szybkości ługowania. Może dojść do zmiany nachylenia prostej w przypadku zróżnicowania tej szybkości w obrębie odcinka.

Przy pewnych konfiguracjach mogą w półprofilu pewne odcinki zanikać, albo pojawić się nowe.

Nie podlega przemieszczaniu dolna część półprofilu, jeśli w niej solanka jest nasycona, oraz górna, w obrębie izolacji. Przemieszczana część zaczyna się odcinkiem o nachyleniu granicznym a kończy odcinkiem o nachyleniu stropowym.

OBLICZANIE PRZYROSTÓW OBJĘTOŚCI PLASTRÓW KAWERNY

Kiedy są już znane kształty kawerny przed i po kroku czasowym, należy wyznaczyć przyrosty objętości w kolejnych plastrach aproksymacyjnych. Objętość plastra kawerny składa się z objętości sektorów plastra. Objętość sektora z kolei składa się z objętości wycinków stożków ściętych. Każdy odcinek półprofilu kawerny w sektorze jest tworzącą takiego stożka.

Objętość wycinka stożka ściętego wyraża się wzorem:

$$V_{im} = \frac{\pi}{3K} (R_{im}^2 + R_{(i+1)m}^2 + R_{im}R_{(i+1)m}) (H_{im} - H_{(i+1)m}) \quad (30)$$

gdzie:

V_{im} – objętość wycinka stożka w sektorze m , utworzonego przez i -ty odcinek półprofilu [m^3],

$(R_{im}, H_{im}), (R_{(i+1)m}, H_{(i+1)m})$ – promienie i głębokości punktów wyznaczających i -ty odcinek półprofilu w sektorze m [m],

K – liczba sektorów.

Jeśli odcinek przecina granicę plastrów, dzieli się go na dwie części, interpolując wartość na głębokości dzielącej dwa plastry:

$$RR = R_{im} + \frac{R_{im} - R_{(i+1)m}}{H_{im} - H_{(i+1)m}} (H_{ij} - HH) \quad (31)$$

gdzie:

$(R_{im}, H_{im}), (R_{(i+1)m}, H_{(i+1)m})$ – promienie i głębokości punktów wyznaczających i -ty odcinek półprofilu w sektorze m [m],

(RR, HH) – promień i głębokość punktu na granicy dwóch plastrów i na i -tym odcinku półprofilu w sektorze m [m].

Jeśli przez plaster przechodzą rury ługownicze, ich objętość (wycinek walca) należy odjąć od objętości wyliczonej wg (30).

Sumując stożki ścięte w kolejnych sektorach a następnie objętości sektorów w obrębie plastra otrzymujemy objętość plastra.

Przyrosty objętości plastrów są różnicami objętości na końcu kroku Δt i na jego początku:

$$\Delta V_i = \sum_{m=1}^K (V'_{im} - V_{im}) \quad (32)$$

gdzie:

V_{im}, V'_{im} – objętości wycinka i -tego plastra w sektorze m , na początku i na końcu kroku czasowego Δt [m³],

ΔV_i – przyrost objętości i -tego plastra w ciągu kroku czasowego Δt [m³].

Podsumowanie:

Objętości plastrów kawerny oblicza się sumując objętości wycinków plastra w sektorach. Te z kolei oblicza się sumując objętości wycinków stożków ściętych, jakie składają się na dany wycinek plastra.

OBLICZANIE STĘŻEŃ SOLANKI W KAWERNIE

Podstawowe równania modelu, to podane w poprzedniej publikacji (Urbańczyk 2017) wzory (40), (53) i (62) z odpowiednimi podstawieniami. Do równań tych stosuje się aproksymację różnicową.

Całkowanie przekroju poprzecznego po głębokości daje objętość, całkowanie prędkości ługowania z kolei daje przyrost objętości na jednostkę czasu. Przyrosty objętości w różnych sektorach mogą być różne, zwłaszcza jeśli kształt komory nie jest osiowo-symetryczny, a współczynniki szybkości ługowania są zróżnicowane między sektorami. Tego zróżnicowania nie da się jednak wyznaczyć na podstawie analiz rdzenia pobranego z otworu, można je oszacować dopiero w trakcie ługowania na podstawie odstępstw kształtu zmierzzonego przez echosondę od symetrii osiowej lub prognozy przy współczynnikach niezróżnicowanych. Natomiast zależność od azymutu zawartości części nierozpuszczalnych jest niewyznaczalna.

Równanie transportu (bilans masy soli) po zaproksymowaniu przyjmuje postać:

$$\begin{aligned} \frac{1}{\Delta t} (V'_i C'_i - V_i C_i) &= S_{i+1} C_m v_{i+1} - S_i C_n v_i + Q_{WE} C_{WE} \delta_{ii_{WE}} - \\ &- Q_{WY} C_{WY} \delta_{ii_{WY}} - Q_N C_N \delta_{ii_N} + \frac{\Delta V_i}{\Delta t} (1 - (p_N)_i) (\rho_{ZL})_i \end{aligned} \quad (33)$$

gdzie:

plaster $i-1$ leży poniżej plastra i , a plaster $i+1$ powyżej,

C_i, C'_i – stężenie w plastrze i na początku i na końcu kroku czasowego Δt [kg/m³],

$$C_m = \begin{cases} C_{i+1} & \text{gdy } v_{i+1} > 0 \\ C_i & \text{gdy } v_{i+1} < 0 \end{cases}$$

$$C_n = \begin{cases} C_i & \text{gdy } v_i > 0 \\ C_{i-1} & \text{gdy } v_i < 0 \end{cases}$$

C_{WE}, C_{WY}, C_N – stężenie medium ługującego (zero, gdy jest to słodka woda), stężenie produkowanej solanki i stężenie w najniższym niezasypanym plastrze kawerny [kg/m³],

$(p_N)_i$ – udział objętościowy części nierozpuszczalnych w skale solnej w plastrze i [-],

Q_{WE}, Q_{WY}, Q_N – wydajność zatłaczania medium ługującego, wydajność odbioru produkowanej solanki i objętość osiadanania części nierozpuszczalnych w najniższym niezasypanym plastrze kawerny, na jednostkę czasu [m³/s],

S_p, S_{i+1} – powierzchnie dolna i górna plastra i [m²],

Δt – krok czasowy [s],

V_i, V'_i – objętości i -tego plastra na początku i na końcu kroku czasowego Δt [m³],

ΔV_i – przyrost objętości i -tego plastra w ciągu kroku czasowego Δt [m³],

v_p, v_{i+1} – średnie prędkości przepływu solanki: przez S_i powierzchnię dolną plastra i , oraz przez S_{i+1} powierzchnię górną, jeśli przepływ jest w dół, to są dodatnie, jeśli w górę – ujemne [m/s],

$(\rho_{ZL})_i$ – gęstość soli w złożu solnym w plastrze i [kg/m³],

$\delta_{ii_{WE}}, \delta_{ii_N}$ – symbol Kroneckera, równy 1 gdy $i=i_{WE}$, inaczej równy zero, podobnie $\delta_{ii_{WY}}, \delta_{ii_N}$.

Krok aproksymacyjny głębokości Δh nie występuje jawnie w (33), zawarty jest on w objętości plastra i jej przyroście. Aproksymacja czasu jest tu sprzężona z aproksymacją głębokości schematem jawnym. Aby zapewnić zbieżność aproksymacji, aproksymacja przepływu musi być prowadzona „pod prąd”, stąd zależność C_m i C_n od kierunku przepływu (Potter 1977). Taki schemat bywa w literaturze nazywany schematem Leleviera.

Równanie ciągłości (bilans objętości) po zaproksymowaniu przyjmuje postać:

$$\begin{aligned} S_{i+1} v_{i+1} - S_i v_i &= \frac{\Delta V_i}{\Delta t} (1 - (p_N)_i) \left(1 - \frac{(\rho_{ZL})_i}{\rho_{SR}} \right) + \frac{\Delta V_i}{\Delta t} (p_N)_i + \\ &+ Q_{WE} \delta_{ii_{WE}} - Q_{WY} \delta_{ii_{WY}} - Q_N \delta_{ii_N} \end{aligned} \quad (34)$$

gdzie:

ρ_{SR} – efektywna gęstość soli w roztworze [kg/m³],

pozostałe oznaczenia jak w równaniu poprzednim.

Efektywna gęstość soli w roztworze ρ_{SR} jest wprowadzona tak, aby spełniała równanie:

$$\rho = \rho_W + C \left(1 - \frac{\rho_W}{\rho_{SR}} \right) \quad (35)$$

gdzie:

ρ – gęstość solanki [kg/m³],

ρ_W – gęstość wody [kg/m³].

Efektywna gęstość soli w roztworze jest funkcją stężenia i temperatury, a także zależy w pewnym stopniu od typu soli – udziału domieszek innych soli rozpuszczalnych w skale solnej. Wyznacza się ją empirycznie, na podstawie pomiarów gę-

stości solanki. Wielomian aproksymacyjny dla soli z wysadu Mogilno podają Kunstman i in. (2004, 2007).

Interpretacja równań (33) i (34) jest prosta i bezpośrednia.

Dwa wyrazy po lewej stronie (33) oznaczają sól zawartą w objętości plastra na końcu i na początku kroku czasowego Δt . Na różnicę pomiędzy nimi składają się (prawa strona) sól, która wpłynęła do plastra, sól, która wypłynęła z plastra w związku ze średnim przepływem przez kawernę, dalej sól zatłoczona z medium ługującym, o ile but rury wodnej znajduje się wewnątrz plastra, sól wydobyta w solance, o ile but rury solankowej znajduje się w plastrze, sól w solance wypchniętej przez części nierozpuszczalne, o ile plaster znajduje się na dole kawerny oraz sól wylugowana w obrębie plastra.

Dwa wyrazy po lewej stronie (34) oznaczają objętość cieczy, która wpłynęła i która wypłynęła z plastra w związku ze średnim przepływem przez kawernę. Na różnicę składa się kontrakcja towarzysząca rozpuszczaniu soli, objętość części nierozpuszczalnych, które opadły na dno oraz objętość zatłoczonego medium ługującego o ile but rury wodnej znajduje się w obrębie plastra, objętość wydobytej solanki, o ile but rury solankowej znajduje się w plastrze, oraz objętość solanki wypchniętej przez części nierozpuszczalne, o ile plaster znajduje się na dole kawerny.

Warunek równowagi grawitacyjnej ma postać:

$$C_{i+1} \geq C_i \quad (36)$$

Jeśli dojdzie do naruszenia tego warunku, należy w danym momencie stężenie uśrednić wg wzoru:

$$C_{sr} = \frac{\sum_{j=i_1}^{i_2} C_j V_j}{\sum_{j=i_1}^{i_2} V_j} \quad (37)$$

gdzie:

i_1 – dolna granica strefy inwersji; dla $i < i_1$ warunek (36) jest zachowany,

i_2 – największa głębokość zapewniająca likwidację inwersji, taka że:

$$C_{sr} \leq C_i \quad \forall i > i_2 \quad (38)$$

przy czym kontrolę warunku (36) należy przeprowadzać od stropu kawerny ku spągowi, czyli od największego i po coraz malejącym.

Na dnie kawerny warunki brzegowe są zerowe:

$$S_{i_D} C_m v_{i_D} = 0 \quad (39a)$$

$$S_{i_D} v_{i_D} = 0 \quad (39b)$$

Przy stropie izolowanym również warunki brzegowe są zerowe:

$$S_{i_{IZ}} C_n v_{i_{IZ}} = 0 \quad (40a)$$

$$S_{i_{IZ}} v_{i_{IZ}} = 0 \quad (40b)$$

Przy stropie nieizolowanym:

$$S_{i_G} C_n v_{i_G} = (1 - (p_N)_{i_G}) \frac{\Delta V_S}{\Delta t} \quad (41a)$$

$$S_{i_G} v_{i_G} = - \left(1 - (1 - (p_N)_{i_G}) \frac{(\rho_{ZL})_{i_G}}{\rho_{SR}} \right) \frac{\Delta V_S}{\Delta t} \quad (41b)$$

gdzie:

i_D – numer dolnego niezasypanego plastra kawerny,

i_{IZ} – numer górnego plastra kawerny z poziomem izolacji,

i_G – numer chwilowo górnego plastra kawerny zawierającego jej strop,

ρ_{ZL} – gęstość soli w złożu solnym [kg/m³],

ρ_{SR} – efektywna gęstość soli w roztworze [kg/m³],

ΔV_S – przyrost objętości w stropie kawerny w ciągu kroku czasowego Δt [m³],

Dla kompletności równań potrzebne są jeszcze wyrażenia na Q_{WE} , Q_{WY} , Q_N . Zwykle dana jest Q_{WE} – wydajność zatłaczania medium ługującego. Wydajność produkcji solanki jest wtedy dana wzorem:

$$Q_{WE} - Q_{WY} = \frac{1}{\Delta t} \sum_{j=j_D}^{j_{IZ}} (V'_j - V_j) (1 - (p_N)_j) \left(1 - \frac{\rho_{ZLj}}{\rho_{SR}} \right) \quad (42)$$

Tempo osiadania części nierozpuszczalnych na dnie kawerny wyraża się z kolei relacją:

$$Q_N = \frac{\Delta V_N}{\Delta t} = \frac{1}{\Delta t} \sum_{j=j_D}^{j_{IZ}} (V'_j - V_j) (p_N)_j \quad (43)$$

gdzie:

$(\Delta V_N)_j$ – ilość części nierozpuszczalnych uwolnionych w danym kroku czasowym w plastrze j ,

ΔV_N – sumaryczna ilość części nierozpuszczalnych uwolnionych w całej kawernie,

V_j – objętość plastra j na początku kroku czasowego,

V'_j – objętość plastra j na końcu kroku czasowego,

$(p_N)_j$ – udział objętościowy części nierozpuszczalnych w skale solnej, w plastrze j ,

j_D – najniższy plaster kawerny niewypełniony częściami nierozpuszczalnymi,

j_{IZ} – najwyższy plaster kawerny, zawierający lustro izolacji lub strop.

Podsumowanie:

W trakcie wykonywania kolejnego kroku czasowego, mając nowe objętości plastrów kawerny można obliczyć ilość soli wylugowanej i uwolnionych części nierozpuszczalnych, można rozwiązać równania bilansu soli i bilansu objętości i określić nowy rozkład stężenia.

Oprócz przepływu wywołanego zatłaczaniem medium ługującego, w kawernie występuje niewielki przepływ solanki wypchniętej z rząpka kawerny przez części nierozpuszczalne.

W nowym rozkładzie stężeń należy zlikwidować ewentualne strefy inwersji grawitacyjnej.

OGRANICZENIA KROKU CZASOWEGO

Jak już była mowa, aproksymacja czasu krokiem Δt i głębokości krokiem Δh są sprzężone schematem jawnym, pod prąd (up-wind). Aby schemat taki był zbieżny i stabilny, krok czasowy musi spełniać dwa ograniczenia.

Po pierwsze - warunek Couranta-Friedrichsa-Lewy'ego, w tym przypadku wymagający, by objętość solanki przepływającej w kroku czasowym przez dowolny plaster kawerny była mniejsza niż objętość tego plastra. Prowadzi to do warunku:

$$\Delta t \leq \frac{V_i}{Q_i} \quad (44)$$

gdzie:

V_i – objętość i -tego plastra [m^3],

Q_i – natężenie przepływu przez i -ty plaster [m^3/s].

Warunek (44) powinien być spełniony dla każdego plastra. Wystarczy jednak sprawdzić go dla plasterów pomiędzy butem rury wodnej a butem rury solankowej przy obiegu lewym. Pozostałe przepływy są na tyle niewielkie, że nie ograniczają kroku czasowego w sposób istotny, zaś przy obiegu prawym solanka ponad butem rury wodnej ulega wymieszaniu w związku z warunkiem równowagi grawitacyjnej (36)-(37).

Drugi warunek to warunek stabilności szybkości ługowania w pojedynczym kroku czasowym. Wymaga on ograniczenia zmienności stężenia. Można go zapisać następująco:

$$\alpha (C_N - C) \leq (C_N - C') \leq (C_N - \alpha C) \quad (45)$$

gdzie:

C_N – stężenie solanki nasyconej [kg/m^3],

C, C' – stężenie na początku i na końcu kroku czasowego Δt w plastrze zawierającym but rury wodnej [kg/m^3],

α – współczynnik ograniczający, pomiędzy zero a jeden, blisko zera ograniczenie jest słabe, blisko jedynki bardzo silne; w algorytmie UBRO zastosowano 0,5.

Warunek (42), poza szczególnymi przypadkami, wystarczy sprawdzać na poziomie buta rury wodnej, gdzie stężenie jest najniższe a szybkość ługowania największa.

Jeśli posługując się równaniami (33),(34) wyznaczyć C' , przyjmując, że dopływ wody jest zerowy a stężenie przepływającej solanki jest nasycone (najgorszy możliwy przypadek) otrzymuje się następujący warunek:

$$\Delta t \leq \frac{1}{\omega} \sqrt{\frac{V}{\pi \Delta h}} \left(\sqrt{1 + \frac{(1-\alpha)(C_N - C)}{u - C - (1-\alpha)(C_N - C)}} - 1 \right) \quad (46)$$

gdzie:

Δh – krok aproksymacji głębokości [m],

V – objętość plastra na poziomie buta rury wodnej [m^3],

ω – szybkość ługowania w kierunku poziomym na poziomie buta rury wodnej [m/s],

$$u = (1 - p_N) \rho_{ZL} + \left(1 - (1 - p_N) \frac{\rho_{ZL}}{\rho_{SR}} \right) C_N$$

p_N – udział objętościowy części nierozpuszczalnych w skale solnej,

ρ_{SR} – efektywna gęstość soli w roztworze [kg/m^3],

ρ_{ZL} – gęstość soli w złożu solnym [kg/m^3].

Niezależnie od powyższych warunków, w programie UBRO wprowadzono maksymalny krok czasowy, który jest przyjmowany, gdy ograniczenia warunkami (41), (43) są mało istotne.

Podsumowanie:

Jawny schemat sprzężenia czasu i głębokości nakłada ograniczenia na krok czasowy mające zapewnić stabilność obliczeń.

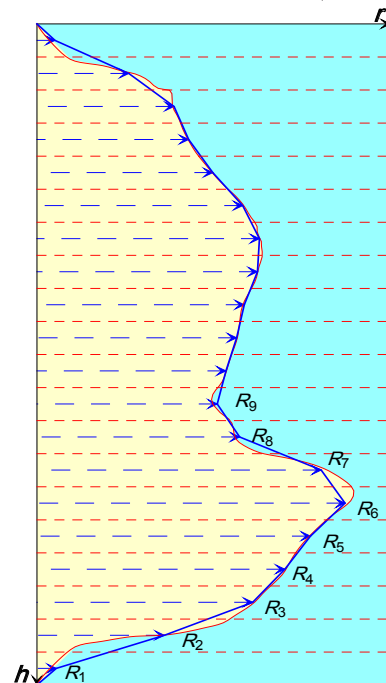
Pierwszy z warunków to warunek Couranta-Friedrichsa-Lewy'ego związany z prędkością przepływu i objętością plasterów.

Drugi z warunków związany jest z szybkością ługowania i wielkością niedosycenia solanki

ALTERNATYWNE MODELE

Oprócz opisanego tu modelu numerycznego istnieją alternatywne modele, różniące się w niektórych elementach.

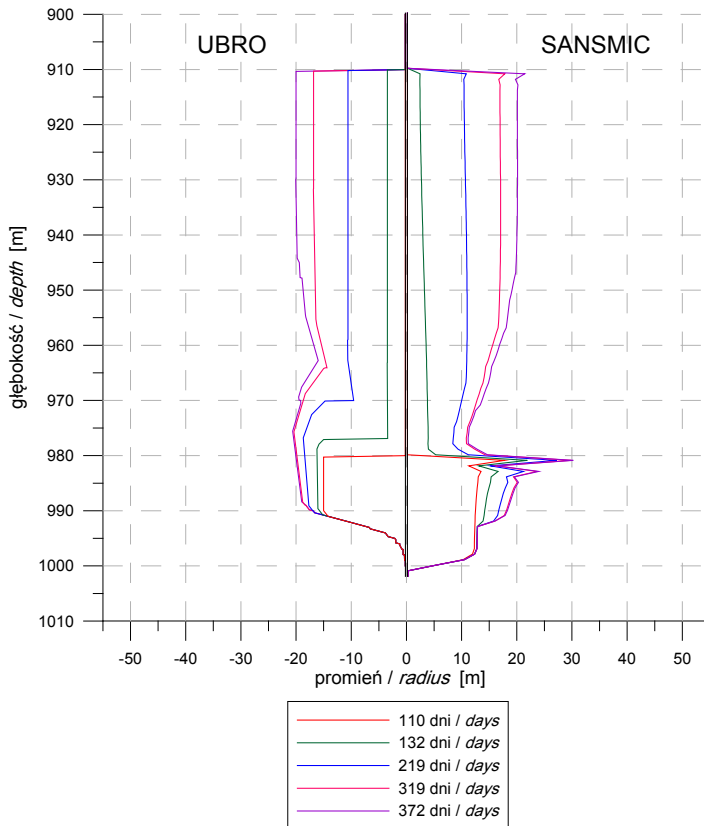
Najbardziej rzucający się w oczy jest opis konturu kawerny przy pomocy promieni ekwiwalentnych plasterów aproksymacyjnych. Wprowadzony przez Saberiana, stosowany w programie SALGAS (Saberian 1984) i programach pochodnych, jak włoska CAVITA oraz w SANSMIC (Russo 1981).



Ryc. 16. Aproksymacja kształtu komory przez promienie ekwiwalentne w plastrach

- kontur kawerny, — kontur promieni ekwiwalentnych,
 - podział na plastry, - - -> promienie ekwiwalentne plasterów
- Fig. 16.** Approximation of the cavern shape by equivalent radii of the cavern slices
- cavern contour, — contour created by equivalent radii,
 - division onto slices, - - -> equivalent radii of the slices

Przedstawia to Ryc. 16. W porównaniu z aproksymacją niezależną od podziału na plastry (por. Ryc. 5) kształt kawerny wyznaczony przez promień ekwiwalentne jest mniej dokładny. Przede wszystkim często kąt nachylenia ociosu nie jest właściwie oddany, a przemieszczenia następują horyzontalnie, w obrębie plastra. W efekcie odcinek stropowy nie wędruje w górę, ale zwiększa promień plastra w którym się znajduje, co z kolei zmniejsza promień plastra poniżej itd. Równy początkowo ocios staje się zębaty.



Ryc. 17. Rozwój kształtu kawerny – porównanie programów UBRO i SANSMIC

Fig. 17. Cavern shape development – comparison of UBRO and SANSMIC software

Bardzo dobitnie ilustruje to Ryc. 17 (Kunzman, Urbańczyk 1997). Pokazuje rozwój kawerny, w której po wylugowaniu wrębu w obiegu prawym nastąpiło ługowanie 70-metrowej wysokości stopnia metodą zbliżonych butów rur. Wyniki programu SANSMIC pokazują dwie główne wady tego modelu: strop wrębu nie powędrował do góry po przejściu na metodę zbliżonych butów rur, zamiast tego pojawiły się „zęby”.

Jest jeszcze różnica w kształcie wrębu, wywołana tym, że w programie SANSMIC części nierozpuszczalne osiadają na dnie kawerny dopiero, gdy wydajność przepływu spadnie do zera. Wydaje się jednak, że bliższe prawdy jest założenie, że osiadają szybko, w ciągu pojedynczego kroku czasowego. We wczesnym stadium rozwoju kawerny, gdy prędkość przepływu jest wysoka, cząstki nierozpuszczalne małych rozmiarów

mogą pozostawać zawieszane w solance i razem z nią wpływać z kawerny. Dotyczy to jednak jedynie pierwszych dni ługowania kawerny.

Symulacje dwóch rzeczywistych procesów ługowania kawern przeprowadzone pod auspicjami SMRI pokazały, że SALGAS i SANSMIC nie oddają poprawnie rozwoju kształtu kawerny (Charnavel, Eyermaun 2008).

Podobna aproksymacja została zastosowana przez Gaz de France, w programie INVDIR (van Vliet 1990), a później Simless (Charnavel&Lubin 2002). Udało się tam jednak wprowadzić procedurę kompensującą powyższe efekty, dzięki której kształt kawerny rozwija się poprawnie. W strefach, gdzie zmiana promienia kawerny jest znaczna, wprowadza się lokalne zagęszczenia podziału aproksymacyjnego. Przepuszczalnie (algorytm nie jest dokładnie opisany), gdy strefa przemieści się wyżej, powrót do niezagęszczonego podziału wygląda zakłócenia.

Oprócz algorytmu opartego na modelu jednowymiarowym, istnieją inne podejścia. Jedno z nich można nazwać podwójnym modelem jednowymiarowym. W modelu tym, powyżej buta rury wodnej zachodzą dwa przepływy jednowymiarowe. Jeden to strumień nisko stężonej solanki, wokół rur ługowniczych w górę, drugi – strumień solanki o wyższym stężeniu, obok ociosu kawerny w dół. Między nimi dochodzi do mieszania, w efekcie stężenia stopniowo się wyrównują i rozdziela na dwa strumienie ustaje, chyba, że strop kawerny znajdzie się po drodze. Jeden z takich algorytmów opracował Ahmed Saberian na podstawie eksperymentów laboratoryjnych na uniwersytecie w Austin i zastosował w programie SALGAS (Saberian 1984). Inny algorytm oparty na analogii z termodynamiką wokół płomienia stworzył Anthony J. Russo z Sandia Laboratories i użył w programie SANSMIC (Russo 1981). Nie wprowadził warunku równowagi grawitacyjnej, który zastąpił dość skomplikowaną dyfuzją. O ile kod źródłowy programu SALGAS jest opublikowany, o tyle opisy SANSMIC są niejednoznaczne i trudno ocenić poprawność założeń i algorytmu. W każdym razie algorytmy mieszania solanki w kawernie, jak w programie SALGAS albo w programie SANSMIC rezultaty dają gorsze niż UBRO, czy PROSACAV (Charnavel & Eyermaun 2008).

Co do programów zawierających algorytm z trójwymiarową hydrodynamiką (np. Nolen i in. 1974, Kretschmar&Heidenreich 1978, Каратыгин 1994), autor wypowiedział się w poprzedniej publikacji (Urbańczyk 2017). Programy takie, o ile ich równania są poprawnie zaproksymowane, nie powinny działać.

Jeśli idzie o weryfikację programów przez porównanie z rzeczywistym ługowaniem, to jedynie trzy programy przeszły ją pozytywnie WinUbro, SIMLESS i PROSACAV. SALGAS i SANSMIC dają wyniki poprawne jedynie w ograniczonej klasie przypadków (Charnavel&Eyermaun 2008). Jeśli idzie o inne programy, autorzy ich nie przystąpili do weryfikacji.

Jak wspomniano, nie udało się dotąd znaleźć takiego opisu kształtu kawerny, który umożliwiałby objęcie nim kominów, kieszeni, bocznych wnęk. Problem wynika z liniowości elementów użytych w opisie (fragmenty prostych lub płaszczyzn). Otóż przy takim opisie pojawiają się przecięcia w niefizycznych punktach (por. Ryc. 11) i brak jest kryteriów pozwalających odróżnić je od faktycznych kominów i kieszeni. Dlatego też próba opisu rozwoju kominów i kieszeni przy użyciu trójkątów i czworościanów (Edler i in. 2008) nie mogła przynieść pozytywnych efektów. Warto zauważyć, że im „dokładniejsza” jest aproksymacja kształtu, tym więcej pojawi się odcinków o nieznacznie różnym nachyleniu i tym więcej pojawi się przecięć w punktach niefizycznych. Konieczne byłoby albo użycie wielomianów, albo wprowadzenie dodatkowego parametru. W każdym przypadku pociąga to za sobą znaczne komplikacje modelu.

Podsumowanie:

Główne różnice między proponowanymi modelami polegają na:

Innym opisie kształtu kawerny – poprzez wartości ekwiwalentnych promieni plastrów. Ma on dwie wady – brak ługowania stropowego i niestabilność ociosu poniżej dawnego stropu (staje się „zębaty”). W programach INVDIR i SIMLESS udało się wprowadzić procedurę kompensującą te wady. Programy SALGAS i SANSMIC jej nie mają.

Innym opisie hydrodynamiki w kawernie – poprzez dwa strumienie – wznoszący wzdłuż rur i opadający wzdłuż ścian, między którymi zachodzi mieszanie. Programy SALGAS i SANSMIC, w których tego typu opis zaimplementowano, nie dają lepszych wyników, niż algorytm UBRO.

WNIOSKI KOŃCOWE

Opisany model z hydrodynamiką 1D jest zaimplementowany w różnych wersjach programu UBRO a podobny model w programie PROSACAV.

Model jest opisany we współrzędnych cylindrycznych. Własności górotworu i stan kawerny są w modelu zależne od głębokości i zadane w plastrach aproksymacyjnych, współczynniki ługowania dodatkowo są zróżnicowane po sektorach azymutalnych.

Kształt kawerny musi być opisany niezależnie od plastrów aproksymacyjnych. W modelu opisuje go promień, jako funkcja głębokości i azymutu. Aproksymacja polega na przybliżeniu półprofilu w każdym z sektorów łamaną, która w kolejnych krokach czasowych podlega przemieszczeniom zależnym od szybkości ługowania.

W krokach czasowych, mając nowe objętości plastrów kawerny, określa się ilość soli wylugowanej i uwolnionych części nierozpuszczalnych, a następnie rozwiązując równania bilansu soli i bilansu objętości otrzymuje nowy rozkład stężenia.

Przyjęty opis kształtu kawerny nie dopuszcza kominów, kieszeni ani bocznych wnęk, nie udało się jednak zaproponować lepszego opisu.

Wprowadzanie komplikacji do hydrodynamiki 1D nie prowadzi do lepszych rezultatów.

SUMMARY

Mathematical and physical model described in the previous paper (Urbanczyk 2017) can be solved by numerical methods after discretization. A cylindrical coordinate system is used – radius, azimuth and depth. The model is independent of radial distance so radius can be not discretized. Azimuth is divided into equal azimuthal sectors. Depth is divided by a regular approximation step into depth-slices of the rock-massif and cavern.

Leaching coefficients of the rock salt can be defined in slices and sectors, insoluble content only in slices. Cavern state is defined as distribution of brine concentration in the slices and brine flow between the slices. Cavern hydrodynamics is one-dimensional.

Cavern shape is described in the form of radius being a function of depth and azimuth. With such an approach, chimneys, pockets or side branch of the cavern cannot be modelled – cf. Fig. 1. Cavern shape is approximated by the set of semi-profiles in azimuthal sectors.

Simulation of leaching process consists of time-steps. Generally, the time step is realised as follows. Based on the concentration distribution in the cavern slices, leaching rate distribution is obtained. Consequently, the cavern semi-profiles in all sectors are accordingly displaced and a new cavern shape is obtained. Once the new shape is known, the volumes of the cavern slices and their increase within the time step can be calculated. Based on increases of the cavern slice volumes and the injection rate, the balance equation can be solved and new concentration distribution obtained (Fig. 2).

The cavern shape is approximated as follows: In each horizontal section of the cavern, the cavern contour is replaced by set of equivalent radii in cavern sectors (Fig. 3). Surface of the cavern section is not changed in the above method as well as the cavern volume. The reverse procedure is described (2)-(9), but the recovered cavern contour can differ from the original, some part of information is lost during approximation (Fig. 4).

Approximation of the cavern semi-profile in a sector is independent of depth slices. The broken line (open polygon) is used (Fig. 5). Its sections differ in length, their number and position varies in time. During a single time step, the straight lines defined by the sections of the contour broken lines are appropriately displaced and their crossing points become new nodes of the new broken line (Fig. 8). If leaching rate is the same along the section, it is displaced parallelly (21)-(23). If the section contains exactly two whole slices with different

leaching rates, it is displaced according to (24)-(25) as shown in Fig. 6. If the section contains three to five whole slices, it is displaced according to the least square method (26)-(27) (Fig. 7).

In certain cases, (Fig. 9, Fig. 10, Fig. 11 and Fig. 12) a new section must be added into the cavern semi-profile. In other cases (Fig. 13, Fig. 14 and Fig. 15) certain section disappears from the semi-profile.

By comparing the new cavern shape and the old one, it is possible to calculate amount of salt dissolved in every slice and amount of insoluble freed from the salt massif, which create source term for the balance equations. To solve the set of balance equation (33) (34) the rate of injection is also needed and boundary conditions at the cavern roof and sump (39)-(41). The last procedure is to verify the gravity equilibrium condition and eliminate possible inversion zones.

In this way, the new concentration distribution is obtained and the next time step can start.

The explicit coupling of time with depth approximation is applied. Balance equation is approximated upwind. Time step must satisfy two limits to guarantee stability of calculations. There are the Courant-Friedrichs-Lewy condition (44) and the limit on unsaturation decrease (46).

An alternative approach to approximate the cavern semi-profile consists in using of equivalent radii of cavern depth cells (Fig. 16). However, leaching of an old flat roof does not occur in this approach and the cavern wall below it becomes unstable (some teeth can appear) cf. Fig. 17. INVDIR and SIMLESS software contain; a procedure which compensates the above effects, but there is no such procedure in SALGAS and SANSMIC.

Alternative hydrodynamics was also proposed and implemented in software. According to this approach, two streams occur in the cavern: one along the leaching tubings, another one downwards, along the cavern wall. Mixing of the brine occurs between them. Different mixing mechanism were proposed for SALGAS and for SANSMIC. However, this such additional complexity does not improve the results.

LITERATURA/REFERENCES

- CHARNAVEL Y., EYERMANN T., 2008. SalGas Validation and Benchmark. *SMRI Fall 2008 Technical Conference* Austin, Texas, USA.
- CHARNAVEL Y., LUBIN N., 2002. Insoluble Deposit in Salt Cavern – Test Case – SMRI Fall 2002 Technical Conference, Bad Ischl, Austria
- EDLER D., 1997, Ankieta dla Technical Class podczas Konferencji Technicznej SMRI w Krakowie (niepublikowana).
- EDLER D., BEHR A., KÖCKRITZ V., 2008. On an attempt to simulate the development of fingers and pockets in 3D solution mining modelling using a triangulated cavern surface. *SMRI Fall 2008 Technical Conference* Austin, Texas, USA.
- КАРАТЫГИН Е.П., КУБЛАНОВ А.В., ПУСТЫЛЬНИКОВ Л.М., ЧАНЦЕВ В.П., 1994. Подземное растворение соляных залежей (проблемы, моделирование, управление). Санкт-Петербург, Гидрометеоиздат.
- KRETZSCHMAR H.-J., HEIDENREICH H., 1978. Stromungsmechanisch-matematischen Solmodell für untertagige Lösungsprozesse. *Neue Bergbautechnik* **11** (1978), 94-99
- KUNSTMAN A., URBAŃCZYK K., 1984. Komputerowy model procesu ługowania podziemnych kawern w złożach soli. *Symposium Górnictwo Surowców Chemicznych - Zbiorniki Podziemne - Środowisko Naturalne*, Kraków, wyd. AGH, 267-279.
- KUNSTMAN A.S., URBAŃCZYK K.M., 1990. Ubro - a Computer Model for Designing Salt Cavern Leaching Process - Developed at Chemkop, *SMRI Fall 1990 Meeting*, Paris October 1990.
- KUNSTMAN A., URBAŃCZYK K., 1994a. The new UBRO version - leaching simulation code for asymmetrical caverns - result of applying to a Mogilno gas cavern. *SMRI Fall 1994 Meeting* Hannover, pp. 451-486
- KUNSTMAN A., URBAŃCZYK K., 1994b. Nowa wersja UBRO - program symulujący ługowanie w komorach asymetrycznych - rezultaty zastosowania dla komory zbiornikowej w Mogilnie. *Prz. Górn.* **10** (1994) 52-59
- KUNSTMAN A.S., URBAŃCZYK K.M., 1997. Computer Modelling of Salt Cavern Leaching Process. Manual of SMRI Spring 1997 Technical Class, Cracow.
- KUNSTMAN A., URBAŃCZYK K., 2000. Computer Models of the Salt Cavern Leaching Process - Evolution Over the Last 35 Years. *8th World Salt Symposium*, The Hague 2000, V. 1, p. 279, Wyd. Elsevier
- KUNSTMAN A., POBORSKA-MŁYNARSKA K., URBAŃCZYK K., 2004. Zarys otworowego górnictwa solnego. Wyd. AGH, Kraków
- KUNSTMAN A., POBORSKA-MŁYNARSKA K., URBAŃCZYK K., 2007. Solution mining in Salt Deposits. Wyd. AGH, Kraków.
- NOLEN J.S., VON HANTLEMAN G., MEISTER S., KLEINITZ W., HIEBLINGER J., 1974. Numerical Simulation of the Solution Mining Process. *European Spring Meeting of SPE(AIME)* Amsterdam, May 1974.
- POTTER D., 1977. Metody obliczeniowe fizyki, PWN, Warszawa 1977
- RUSSO A. J., 1981. A solution mining code for studying axisymmetric salt cavern formation. *Sandia Report SAND81-1231*, (1981) 1-32
- SABERIAN A., 1984. SALGAS User's Manual, Volume 1 - Theories, Formulas & Program Description. *SMRI Research Project Report* No. 84-003-SMRI, 1984.
- URBAŃCZYK K., 2017. Matematyczno-fizyczny opis procesu ługowania (Proces ługowania kawern solnych cz. II). *Przegląd Solny / Salt Review*, **13** (2017) 47-66
- VAN VLIET L.J.J., 1990. - *INVDIR: Comparison of INVDIR Results with Field Data* - SMRI Fall 1990 Meeting Paper, Paris France.



Material magnetyczny w części nierozpuszczalnej soli wysadu Góra (otwór G-40) – najnowsze wyniki i ich odniesienie do wcześniejszych prac

Magnetic particles in the insoluble material from Góra Salt Dome (G-40)
– the latest results and their reference to previous works

Joanna JAWORSKA¹, Krzysztof BOROWCZYK

¹Institut Geologii UAM, ul. B. Krygowskiego 12, 61-680 Poznań, e-mail: veronika@amu.edu.pl

STRESZCZENIE

W celu zbadania pochodzenia materiału magnetycznego w próbkach soli cechsztyńskich przeanalizowano dostępny, siedmiometrowy fragment rdzenia G-40, z głębokości 510-528 m p.p.t., pozyskanego z wysadu Góra (ryc. 1). Szczególną uwagę poświęcono wykluczeniu możliwości udziału materiału pochodzenia antropogenicznego wśród materii magnetycznej stanowiącej składniki rezyduum z rozpuszczenia soli.

Łącznie rozpuszczono 96,874 kg soli cechsztyńskiej uzyskując po osuszeniu 1069,8 g suchej pozostałości. Średnia zawartość rezyduum dla przebadanych fragmentów rdzenia wyniosła 1,12%. Wśród materiału magnetycznego zebrano jedynie nieregularne, blaszkowate ziarna o rozmiarach od 150 do ok. 400 μm (ryc. 2). Przebadane ziarna magnetyczne zawierają 52,7-84,2 % tlenku żelaza Fe_2O_3 , ok. 0,3-3,04% tlenku glinu, a także krzemionkę, sód, wapń lub mangan. W 2 próbkach odnotowano obecność cynku oraz w pojedynczych molibdenu, wolframu, a także fosforu.

Ponieważ każdy etap pracy przygotowawczej, a także późniejszej, laboratoryjnej odbywał się ze szczególną dbałością o zachowanie sterylności próbek, należy wykluczyć możliwość udziału – przedostania się do analizowanego materiału składników pochodzenia antropogenicznego. Zatem pochodzenie kosmiczne materiału magnetycznego o kształtach nieregularnych jest bardzo prawdopodobne. W badanym materiale nie stwierdzono obecności żadnej formy kulistej – sferuli. Tym samym obecność form kulistych – sferulek w większych ilościach (zob. praca L. Mazura 1973, tab. 1), może budzić wątpliwości.

Słowa kluczowe: sole cechsztyńskie, rezyduum, składniki magnetyczne, antropogeniczny czy pozaziemski materiał

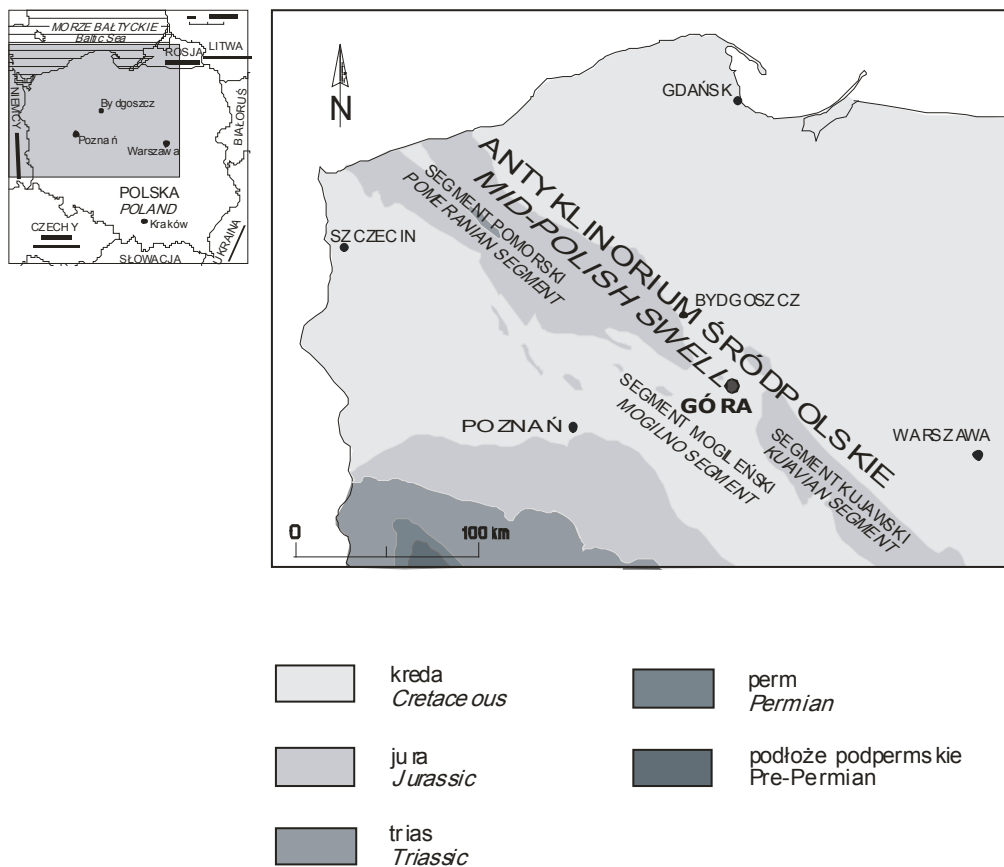
ABSTRACT

Near 97 kg of salt samples from borehole G-40 from Góra Salt Dome (fig. 1) was obtained and dissolved. There was analysed insoluble material, which was characterized by high magnetisation. All analyzed salt samples come from 2-nd Zechstein (Late Permian) cyclothem Stassfurt, from deep 510-528 m b.g.l. The collected material (15 grains) are representing only one type form - irregular particles, plates form of size 150 to over 400 μm (see fig. 2). There was not noted any regular, spherical form – spherules. This material was analysed using the SEM - EDS. The chemical composition of particles ranges from 52,7 to 84,2 % iron oxide and 0,3-3,04 % aluminium oxide. In none of the samples was noted Ni. Irregular particles have rough surface and sharp edges. The origin of this material can be extraterrestrial. Highly probably that this particles are cosmic dust, micrometeorites or small shattered fragments of bigger meteorite body. The possibility of participation of anthropogenic material as accidental contamination of analyzed samples has been rather excluded.

Key words: Zechstein salt, residuum, magnetic particles, anthropogenic or extraterrestrial material

WSTĘP

Wysad Góra stanowi jedną z wielu struktur solnych na Nizu Polskim. Znajduje się na terenie województwa kujaw-



Ryc. 1. Lokalizacja wysadu solnego Góra na tle odkrytej, uproszczonej mapy geologicznej Polski (za Narkiewicz, 1997)
Fig. 1. Simplified geological map of Poland without Cenozoic and location of Góra Salt Structure (after Narkiewicz, 1997)

sko-pomorskiego, kilka km od Inowrocławia, na granicy antyklinorium śródpolskiego (*Mid-Polish Swell*) i synklinorium szczecińsko-miechowskiego, między segmentem mogileńskim (*Mogilno Segment*) i kujawskim (*Kuiavian Segment*; ryc. 1).

Wysad Góra uformował kulminację w obrębie większego ciała solnego - poduszki solnej Radziejowa, rozwiniętej w strefie uskokowej o ogólnym przebiegu NW-SE, równoległe do antyklinorium śródpolskiego. W przekroju pionowym przybiera formę kopuły, która rozszerza się od strony południowo wschodniej i pochyla w kierunku północno zachodnim. W przekroju poziomym ma kształt zbliżony do elipsy, o wymiarach 1,0 - 0,9 km (Garlicki red., 1988; Szybist, 2003). Strop wysadu przykrywa czapa gipsowo-anhydrytowa lub ilasto-gipsowa o miąższości od 34 do 116 m; lustro solne znajduje się na głębokości od 101 do 172 m (Szybist, 2003; Drogowski i Tadych, 2006; Czapowski i in., 2009). Centralną część wysadu budują utwory cechsztyńskich ewaporatów, gł. sole kamienne drugiego cyklotemu (PZ2) reprezentowane przez starszą sól kamienną (Na2). W otoczeniu wysadu znajdują się utwory mezozoiku przez które przebieży się ewaporaty cechsztyńskie stopniowo formując diapir. Do pierwszych przemieszczeń tych soli doszło już w środkowym triasie, natomiast najbardziej intensywny ruch soli miał miejsce na przełomie kredy i paleogenu (Marek i Pajchłowa, 1997; Krzy-

wiec, 2000 i 2004). Zarówno utwory permo-mezozoiku, jak i silnie skrasowiałą powierzchnię czapy wysadu, przykrywają osady kenozoiku, gł. czwartorzędowe gliny zwałowe, piaski, żwiry i iły (Szybist, 2003).

Wysad Góra jest obecnie eksploatowany przez Inowrocławskie Kopalnie Soli „Solino” S.A. W kopalni pozyskiwana jest solanka metodą otworową. W 2002 uruchomiono tu Podziemny Magazyn Ropy i Paliw.

MATERIAŁ BADAWCZY I METODY BADAŃ

Do badań wykorzystano siedmiometrowy rdzeń soli, podzielony na 64 próbki, odwiercony na wysadzie w 2013 roku przez Inowrocławskie Kopalnie Soli SOLINO S.A. Łącznie rozpuszczono 96,874 kg soli cechsztyńskiej, z której uzyskano po osuszeniu 1069,8 g suchej pozostałości. Średnia zawartość rezydium wyniosła 1,12%. Analizom poddano materiał pozyskany z otworu G-40 z głębokości 510-528 m.p.p.t. Sole te zaliczono do poziomu starszych soli kamiennych (Na2) PZ2 (Karta otworu eksploatacyjnego, IKS Solino S.A., 2013). Należy podkreślić, że każdy etap pracy przygotowawczej, a później laboratoryjnej odbywał się ze szczególną dbałością o zachowanie czystości próbek, tak aby uniknąć możliwości zanieczyszczenia badanego materiału. Stąd w pierwszej kolejności wyszorowano fragmenty rdzeni solnych pod bieżącą wodą, a w czasie ich rozpuszczania naczynie było szczelnie

Tabela 1. Skład chemiczny 5 ziaren magnetycznych (A-E) w ujęciu procentowym (%)*Table 1.* Chemical composition of 5 magnetic particles (A-E) in percent (%)

próbkka sample	A	B	C	D	E
skład chemiczny [w %] chemical composition [in %]					
Fe ₂ O ₃	77.72	84.18	83.82	78.27	52.7
CO ₂	16.31	11.2	12.26	16.66	22.85
Al ₂ O ₃	0.59	2.6	3.04	2.58	0.3
ZnO	2.52				13.81
CaO	0.26	0.7	0.37	0.57	1.88
SiO ₂	1.86	0.66			5.36
SO ₃		0.67		0.72	0.92
Na ₂ O			0.51		
MnO				0.93	
V ₂ O ₅				0.26	
P ₂ O ₅					0.57
Cl					1.88
MoO ₃	0.73				
suma totality	99.99	100.01	100	99.99	100.27

przykryte. Kontakt z powietrzem w pomieszczeniu laboratorium zebranego materiału był ograniczony do minimum. Należy założyć, że analizowane próbki nie uległy kontaminacji materiałem obcym, szczególnie antropogenicznym.

Część wyseparowanego materiału poddano analizie chemicznej z zastosowaniem elektronowego mikroskopu skaningowego firmy Hitachi S-3700Nz detektorem EDS typu ultradry o zdolności rozdzielczej (FWHM) 129 eV. Łącznie tym badaniom poddano 5 ziaren.

WYNIKI BADAŃ

Po rozpuszczeniu soli w wodze zebrano część nierozpuszczalną, z której wybrano materiał charakteryzujący się wysoką magnetycznością z pomocą magnesu. Łącznie zebrano 15 tego typu ziaren, średnio 2 ziarna na 1 mb rdzenia lub 6,4 ziarna w przeliczeniu na 1 kg soli. W pozostałej części materiału rezydualnego stwierdzono obecność anhydrytu – jest on głównym składnikiem (ok. 99%), dodatkowo odnotowano pojedyncze, automorficzne kryształy dolomitu, kwarcu, pirytu oraz w jednym przypadku agregat siarki rodzimej.

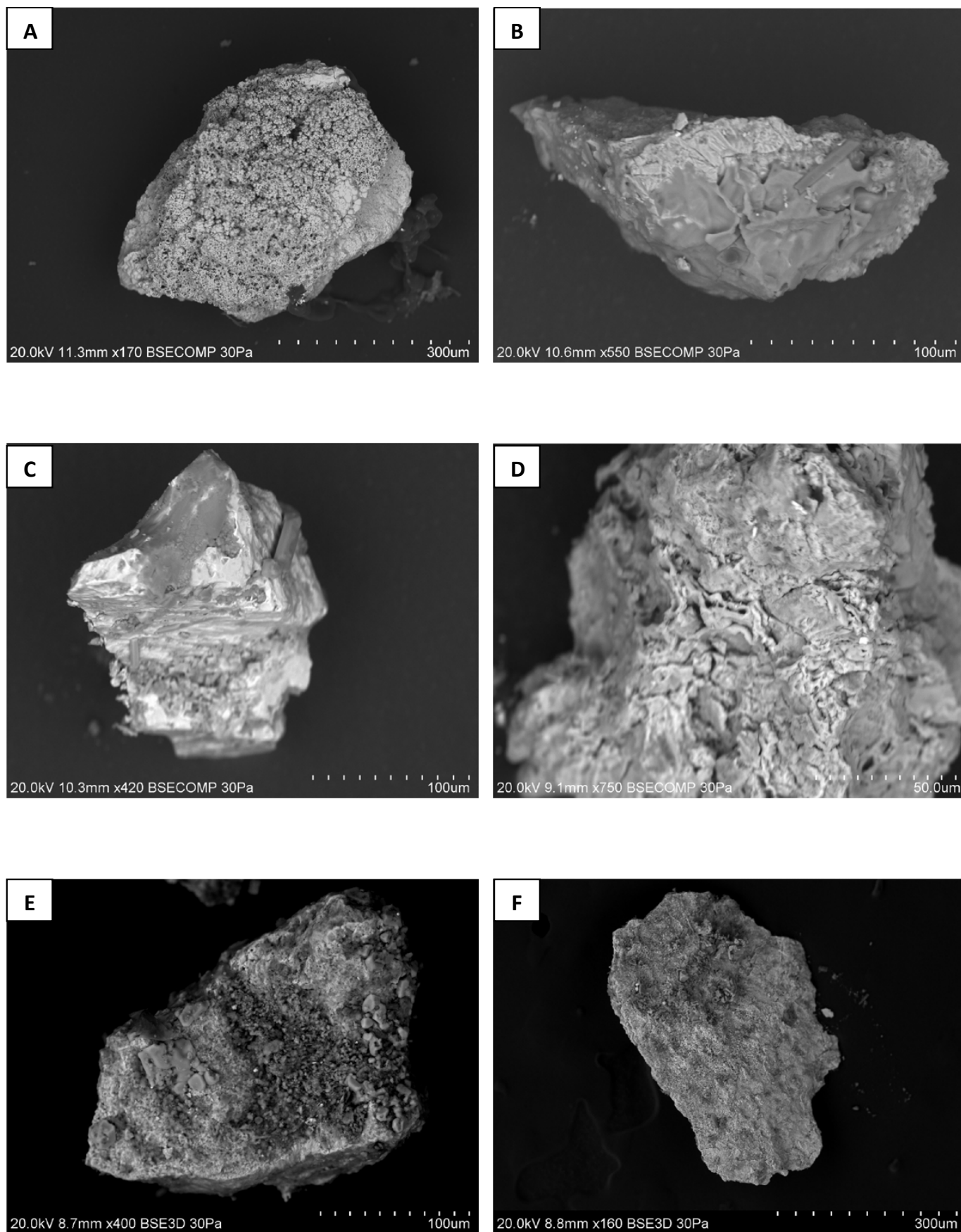
Wszystkie badane ziarna magnetyczne mają bardzo zbliżony skład chemiczny (tab. 1), który został wyrażony w tlenkach (z wyjątkiem chloru). Zawierają 52,7-84,18% tlenku żelaza Fe₂O₃ (w większości przekraczając 70%), ok. 0,3-3,04% tlenku glinu oraz zazwyczaj poniżej 2-1,5% krzemionki, tlenku sodu, wapnia lub manganu. W 2 próbkach odnotowano obecność cynku (2,52 i 13,81% ZnO) oraz w pojedynczych molibdenu (0,73% MoO₃), wolframu (0,26% V₂O₅), a także fosforu (0,57% P₂O₅). Nie odnotowano obecności niklu. Trudno precyzyjnie określić skład mineralny tych ziaren, ponieważ oznaczony tlenek żelaza może być wykształco-

ny jako: magnetyt, hematyt, wüstyt (wustyt) lub maghemit. Zebrane pojedyncze ziarna magnetyczne reprezentują tylko jeden typ morfologiczny materiału, tj. nieregularne formy, nieforemne odłamki większych obiektów osiągając rozmiary/długości rzędu od 150 do ok 400 μm (ryc. 2 A,B,C,D). Ich powierzchnia jest matowa, nierówna i chropowata. Wartym podkreślenia jest fakt, że nie znaleziono żadnego ziarna kulistego – sferuli.

WNIOSKI

Nieregularne magnetyczne ziarna pozyskane w materiale rezydualnym z rozpuszczenia soli cechsztyńskich z wysadu Góra są składnikiem obcym – allochtonicznym dla soli tych ewaporatów, w przeciwieństwie do anhydrytu czy dolomitu występującego w rezydium. Współautorka niniejszego artykułu już rozważała dwie możliwości odnoszące się do obecności materiału magnetycznego w suchej pozostałości w niedużych próbkach soli pochodzących z fragmentów rdzeni z wysadów Wapno i Góra (otwory: G-33 z głębokości 526 m i G-37 z głębokości 203 m). Jedną z koncepcji zakładała ich pochodzenie antropogeniczne, a druga - kosmiczne (Jaworska, 2015).

W tym pierwszym przypadku ziarna magnetyczne tworzą się podczas spalania paliw kopalnych, ścierania się części układów hamulcowych oraz części silnika w pojazdach (Bourliva i Papadopoulou, 2015). Wydostają się także z kominów pieców domowych, hutniczych czy też fabryk (Hornig i in., 2009; Kim i in., 2009). Ich obecność notuje się w powietrzu oraz w osadach w rejonach zurbanizowanych i zindustrializowanych. Zakładając taką genezę materiału magnetycznego należy uznać, że jego obecność jest efektem braku zachowa-



Ryc. 2. Nieregularne magnetyczne formy, próbka Góra G-40 (A, B, C, D) i Góra G-37 (E, F); obraz BSE
Fig. 2. Irregular magnetic particles, sample Góra G-40 (A, B, C, D) and Góra G-37 (E, F); BSE image

nia ostrożności oraz sterylności przy pobieraniu, przygotowywaniu i rozpuszczaniu próbek soli (Jaworska, 2015).

W drugim przypadku materiał magnetyczny ma genezę pozaziemską. Jest efektem opadu pyłu kosmicznego lub mikrometeorytów (albo fragmentów większego ciała kosmicznego) do zbiornika sedymentacyjnego. Wg różnych autorów co roku na Ziemię spada od kilku do kilkunastu tysięcy ton tego typu materiału (Pettersson i Fredriksson, 1958; Loughed, 1966; Barker i Anders, 1968). Zook (2001) oraz Flynn (2001) szacują wielkość opadu materiału pozaziemskiego na ok. 30 tysięcy ton, a Brownlee (2001) nawet na 40 tysięcy ton w skali rok.

Współcześnie bardzo trudno jest odróżnić materiał pochodzenia pozaziemskiego od zanieczyszczeń antropogenicznych. Należy się liczyć, że co najmniej od kilku wieków (a przynajmniej od czasów rewolucji przemysłowej) oba typy składników mogą ze sobą współwystępować. Szacowanie wielkości opadu materii pozaziemskiej jest możliwe tylko w oparciu o materiał kopalny, szczególnie nadają się do tego ility głębokomorskie (np. Blanchard i in., 1978 i 1980), skały krzemionkowe (czerty, np. Onoue i in., 2011), ewaporaty (Davidson i in., 2007; Mutch, 1964 i 1966) oraz rdzenie lodu pobranego z Grenlandii, Antarktydy (np. Wright i in., 1963; Genge i Grady, 1998).

We wspomnianej literaturze najczęściej opisywaną formą występowania materii pozaziemskiej są formy kuliste, czy też kulki kosmiczne, zwane sferulami (sferulkami). Wyróżnia się ich kilka typów, np. o powierzchniach gładkich, czy też mających charakterystyczną rzeźbę dendrytyczną, o wielkości kilkudziesięciu do ok. 100 μm i różnym składzie chemicznym (od zawierających gł. szkliwo po bogate w Fe), np. Gange i in. (2008). Natomiast niewiele miejsca poświęca się innym składnikom, nieforemnym ziarnom, przypominającym fragmenty płytek, o chropowatej powierzchni, o zaokrąglonych lub ostrych krawędziach. Osiągają one często wielkość ponad 100 μm .

Najszerzej kwestią obecności materii pozaziemskiej w polskich złożach soli zajmował się Leopold Mazur. W 1973

ukazała się drukiem jego praca habilitacyjna zatytułowana *Z badań pyłów kosmicznych*. Autor przebadał sole pochodzące z kopalń: Wieliczka, Wapno, Inowrocław i Kłodawa, koncentrując się na kulkach kosmicznych zbudowanych z magnetytu (zob. tab. 2).

Wg cytowanego autora najwięcej kulek magnetytowych zawierają sole z Wapna (39 ziaren na kg skały), a w dalszej kolejności z Inowrocławia (19,3 ziarna na kg skały), z Kłodawy (7,5 ziarna na kg) i z Wieliczki (zaledwie 3,5 ziarna na kg skały). W tym zestawieniu mocno zastanawiający jest wynik uzyskany z soli wysadu Góra. Wielkość analizowanego materiału (blisko 97 kg soli) jest porównywalna do masy próbki z wysadu Inowrocławia (103,4 kg) i który leży najbliżej wysadu Góra. W przypadku materiału pochodzącego z Inowrocławia ilość kulek magnetycznych przypadająca na kilogram soli wynosi 19 podczas gdy w Górze (G-40) nie odnotowano ani jednej! Sferule magnetyczne w solach wysadu Góra opisano z otworów G-33 i G-37, przy czym wówczas nie rozstrzygnięto jednoznacznie ich pochodzenia – a w każdym razie nie wykluczono ich antropogenicznej genezy (Jaworska, 2015). W tym kontekście i w świetle nowych badań wydaje się bardziej zasadne stwierdzenie, że opisane kuliste ziarna magnetyczne mają raczej antropogeniczne pochodzenie. Zatem ich obecność oznacza kontaminację badanego materiału obcymi składnikami unoszącymi się w atmosferze i mającymi dostęp do analizowanych próbek.

W opisywanym materiale – pochodzącym z soli wysadu Góra (G-40) – pozyskano tylko składniki magnetyczne będące nieregularnymi, nieforemnymi ziarnami o chropowatej powierzchni. Ich wielkość i skład jest zbliżony do wyników uzyskanych z analiz innych próbek soli z tego samego wysadu: G-33 i G-37 (zob. ryc. 2. D,E). Skład chemiczny tych nieforemnych, magnetycznych ziaren z rdzeni G-33 i G-37 wyniósł: 70-87% tlenku żelaza, 2,5-5% tlenku glinu. I w tym przypadku w żadnej z próbek nie odnotowano obecności niklu (Jaworska i Tadych, 2015; Jaworska, 2015).

Genezę opisywanych składników - nieregularnych magnetycznych ziaren - tłumaczy się opadem pyłu kosmicznego

Tabela 2. Zawartość liczbowa i udział procentowy kulek magnetycznych (sferuli) w wybranych złożach soli (na podstawie Mazura, 1973 – dotyczy Wapna, Inowrocławia, Kłodawy i Wieliczki oraz własnych obserwacji - Góra)

Table 2. Content of magnetic spherules in selected salt deposits (based on Mazur, 1973 - Wapno, Inowrocław, Kłodawa and Wieliczka as well as observation of authors - Góra)

miejscowość <i>localization</i>	masa próbki soli [kg] <i>weight of the salt sample [kg]</i>	liczba kulek (sferuli) magnetytu <i>the number of magnetite spherules</i>	
		ogólna <i>general</i>	na kg soli <i>per kg of salt</i>
Wapno	77,5	2995	39
Inowrocław	103,4	1999	19,3
Kłodawa	118	877	7,5
Wieliczka	90	320	3,5
Góra (G-40)	96,9	0	0

albo, co bardziej prawdopodobne, są małymi fragmentami większych obiektów pozaziemskich. Mogą one powstać na skutek destrukcji, defragmentacji zewnętrznych warstw meteorytów w wyniku działania wysokiego ciśnienia; przy czym temperatura odgrywa tu podrzędną rolę. Nie uległy przetopieniu w przeciwieństwie do form kulistych - sferuli (Marini i in., 2004; Uścińowicz, 2008). Skład chemiczny analizowanego materiału (wysoki udział Fe_2O_3) wskazywałby na materię, obiekty bogate w żelazo, np. meteoryty żelazne.

PODSUMOWANIE

W rezydium pozyskanym z rozpuszczenia soli cechsztyńskich pochodzących z wysadu Góra, z otworu G-40, wyseparowano materiał (15 sztuk) charakteryzujący się wysoką magnetycznością. Jego zawartość w przeliczeniu na 1 kg soli wyniosła 6,4 ziarna. Występuje on w postaci pojedynczych nieforemnych składników, o nieregularnych kształtach, osiągając wielkość rzędu 150 - 400 μm . Powierzchnia tych ziaren jest matowa, nierówna i chropowata.

Skład chemiczny szczegółowo przebadanych 5 tego typu ziaren wykazał, że zawierają ok. 52,7-84,2% tlenku żelaza Fe_2O_3 , ok. 0,3-3,04% tlenku glinu oraz zazwyczaj niewielkie ilości krzemionki, tlenku sodu, wapnia, manganu. Odnotowano obecność cynku, molibdenu, wolframu, a także fosforu. Geneza tych ziaren magnetycznych wydaje się dość jednoznaczna. W przypadku soli pozyskanych z rdzenia otworu G-40, ze względu na sposób preparatyki i zachowanie szczególnej ostrożności i sterylności badanego materiału, należy wykluczyć z dużym prawdopodobieństwem udział w suchej pozostałości składników pochodzenia antropogenicznego. Zatem są najprawdopodobniej składnikami powstałymi na skutek rozerwania zewnętrznych powłoki materii meteorytowej (meteorytów bogatych w żelazo), czy też ogólnie są składnikami materii kosmicznej.

Wydaje się też, że należy podchodzić z dużą dozą ostrożności do wyników przedstawionych w pracy Leopolda Mazura (1973). Tak wysoki udział kulistych składników magnetycznych w części próbek, jaką przedstawił ten autor, może budzić duże wątpliwości i należy rozważyć możliwość przedostania się do analizowanego rezydium materiału antropogenicznego. Niewątpliwie poruszona problematyka przedstawiona w niniejszym artykule może posłużyć za kolejny etap w dyskusji nad obecnością i zachowaniem materii pozaziemskiej w polskich złożach soli.

SUMMARY

Some residual material (15 particles) from the dissolution of Zechstein's salt from the Góra Salt Dome, from the core G-40, was characterized by high magneticity. The content of particles per 1 kg of salt was 6.4 grains. These particles have irregular shapes, reaching a size of 150 - 400 μm . Their surface

is dull and rough. The chemical composition of 5 analyzed grains (see table. 1) showed that they contain about 52.7-84.2% Fe_2O_3 iron oxide, about 0.3-3.04% aluminium oxide and usually small amounts of silica, sodium, calcium oxides. Zinc, molybdenum, wolfram and phosphorus have been noted also.

These results were compared to the others: Mazur (1973; see tab. 2) and Jaworska (2015). Due to the way of preparation and preservation of the particular caution and sterility of the analyzed material, the participation of anthropogenic components in the residue can be excluded. Therefore, magnetic particles are (most likely) components of extraterrestrial matter (ex. iron-rich meteorites). Undoubtedly, the issue presented in this article can be used as the next stage in the discussion on the presence and preservation of extraterrestrial matter in Polish salt deposits.

Wyniki badań zaprezentowane w niniejszym artykule stanowią część pracy magisterskiej jej współautora - Krzysztofa Borowczyka (*Skład mineralny części nierozpuszczalnych z wybranych poziomów soli cechsztyńskich z otworu G-40; wysad solny Góra*), realizowanej w Instytucie Geologii UAM. Autorzy dziękują Inowrocławskim Kopalniom Soli „Solino” S.A., a szczególnie Pani Joannie Tadych za pomoc i udostępnienie fragmentów rdzeni soli do analiz.

LITERATURA/REFERENCES

- BARKER J.L., ANDERS E., 1968. Accretion rate of cosmic matter from iridium and osmium contents of deep-sea sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 32: 627-645.
- BLANCHARD M.B., BROWNLEE D.E., BUNCH T.E., HODGE P.W., KYTE F.T., 1978. Meteor ablation spheres from deep-sea sediments. NASA Technical Memorandum 78510.
- BLANCHARD M.B., BROWNLEE D.E., BUNCH T.E., HODGE P.W., KYTE F.T., 1980. Meteoroid ablation spherules from deep-sea sediments. *Earth and Planetary Science Letters* 46: 178-190.
- BOURLIVA A., PAPADOPOULOU L., 2015. Microstructural characteristics of magnetic particles in urban and industrial dusts from Thessaloniki area, Greece: preliminary results. In: Proceedings of the 14th International Conference on Environmental Science and Technology, 3-5.09.2015, Rhodes, Greece.
- BROWNLEE D.E., 2001. The origin and properties of dust impacting the Earth. In: *Accretion of extraterrestrial matter through out Earth's* (eds.) B. Peucker-Ehrenbrink and Schmitz B. Springer Science+Business Media New York.
- CZAPOWSKI G., TOMASSI-MORAWIEC H., TADYCH J., GRZYBOWSKI Ł., SZTYRAK T., 2009. Wykształcenie i tektonika utworów solnych cechsztynu w wysadzie solnym Góra koło Inowrocławia w świetle wyników kompleksowych badań geochemiczno-litologicznych w wybranych otworach wiertniczych. *Prz. Geol.* 57: 494-503.
- DAVIDSON J., GENGE M.J., MILLS A.A., JOHNSON D., GRADY M., 2007. Ancient cosmic dust from Triassic halite. In: 38th Lunar and Planetary Science Conference, 12-16.03.2007, Houston, Texas, USA.

- DROGOWSKI J., TADYCH J. 2006. Budowa geologiczna i zagospodarowanie wysadów solnych „Mogilno I” i „Góra” - stan aktualny i perspektywy. *Przegląd Geologiczny* 54: 306.
- FLYNN G.J., 2001. Atmospheric entry heating of interplanetary Dust. In: *Accretion of extraterrestrial matter throughout Earth's* (eds.) B. Peucker-Ehrenbrink and Schmitz B. Springer Science+Business Media New York.
- GARLICKI A. (red.), 1988. Charakterystyka przemysłu solnego w Polsce i jego możliwości produkcyjne z uwzględnieniem rozszerzenia zasobów o sól występującą jako surowiec towarzyszący w złożach innych kopalni. *Arch. Zakł. Złóż Rud i Soli AGH*.
- GENGE M.J., GRADY M.M., 1998. Melted micrometeorites from Antarctic ice with evidence for the separation of Fe-Ni-S liquids during entry heating. *Meteoritics & Planetary Science* 33 (3): 425 – 434.
- GENGE M.J., ENGRAND C., GOUNELLE M., TAYLOR S., 2008. The classification of micrometeorites. *Meteoritics & Planetary Science* 43 (3): 497 – 515.
- HORNG C.-S., HUH C.-A., CHEN K.-H., HUANG P.-R., HSIUNG K.-H and LINH.-L., 2009. Air-pollution history elucidated from anthropogenic spherules and their magnetic signatures in marine sediments off south western Taiwan. *Journal of Marine Systems* 76: 468-478.
- JAWORSKA J., 2015. Materiał magnetyczny w próbkach soli z wysadów solnych Góra i Wapno (Magnetic material contained in the salt samples from the Góra and Wapno salt domes). *Przegląd Solny. Salt Review* 11: 78–82.
- JAWORSKA J., TADYCH J., 2015. Materiał magnetyczny w wybranych próbkach soli – badania wstępne (Magnetic material in selected salt samples – preliminary study). In: 20th International Salt Symposium QVS, 7-10.2015, Bochnia, Poland. Abstrakt: 77-80.
- KIM W., DOH S.J., YU Y., 2009. Anthropogenic contribution of magnetic particulates in urban roadside dust. *Atmos. Environ.* 43: 3137–3144.
- KRZYWIEC P., 2000. O mechanizmach inwersji bruzdy środkowopolskiej - wyniki interpretacji danych sejsmicznych. *Biul. P.I.G.* 393: 135-166.
- KRZYWIEC P., 2004. Triassic evolution of the Kłodawa salt structure: basement-controlled salt tectonics within the Mid-Polish Trough (Central Poland). *Kwartalnik Geologiczny* 48 (2): 123-134.
- LOUGHEED M.S., 1966. A classification of extraterrestrial spherules found in sedimentary rocks and till. *The Ohio Journal of Science* 66 (3): 274-283.
- MAREK S., PAJCHŁOWA M. (red.), 1997. Epikontynentalny perm i mezozoik w Polsce. *Pace. P.I.G.*, Warszawa.
- MARINI F., RAUKAS A., TIIRMAA R., 2004. Magnetic fines from the Kaali impact-site (Holocene, Estonia): Preliminary SEM investigation. *Geochemical Journal* 38: 107–119.
- MAZUR L., 1973. Z badań pyłów kosmicznych. *Prace Habilitacyjne - Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Toruń*, 42.
- MUTCH T.A., 1964. Extraterrestrial particles in Paleozoic salts. *Ann. NY Acad. Sci.* 119: 166-185.
- MUTCH, T.A., 1966. Abundances of magnetic spherules in Silurian and Permian salt samples. *Earth and Planetary Science Letters* 1, 325.
- NARKIEWICZ M., 1997. Sedimentary basin analysis of the Polish Lowlands – an introduction. *Geological Quarterly* 41 (4): 405-418.
- ONOUE T., NAKAMURA T., HARANOSONO H., YASUDA C., 2011. Composition and accretion rate of fossil micrometeorites recovered in Middle Triassic deep-sea deposits. *Geology* 39 (6): 567-570.
- PETTERSSON H., FREDRIKSSON K., 1958. Magnetic spherules in deep-sea deposits. *Pacific Science* 12 (1): 71-81.
- SZYBIST A., 2003. Struktury solne regionu kujawskiego. W: *Bujakowski W. (red.): Termiczna charakterystyka górotworu w rejonie wysadów solnych*. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków, 15–37.
- UŚCINOWICZ G., 2008. Materia pozaziemska w otoczeniu kraterów meteorytowych Kaali (Estonia). *Geologos* 14 (2): 211–219.
- WRIGHT F.W., HODGE P.W., LANGWAY C.C. Jr., 1963. Studies o particles for extra-terrestrial origin: 1. Chemical analyses of 118 particles. *J. of Geophys. Res.* 68 (19): 5575-5587.
- ZOOK H.A., 2001. History space craft measurements of the cosmic dust flux. In: *Accretion of extraterrestrial matter throughout Earth's* (eds.) B. Peucker-Ehrenbrink and Schmitz B. Springer Science+Business Media New York.



Petrologiczna i geochemiczna charakterystyka soli kamiennych formacji Lotsberg w środkowej Albercie (Kanada)

Petrological and geochemical characteristic of Lotsberg Salt Formation in Central Alberta (Canada)

Piotr KUKIAŁKA¹, Tomasz TOBOŁA²

¹ CBW Engineering, 700, 435 - 4th Avenue SW, Calgary, Alberta T3E 5B9, Kanada, e-mail: piotr_kukialka@hotmail.com

² AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, e-mail: tob@geol.agh.edu.pl

STRESZCZENIE

Pierwsze badania petrologiczne i geochemiczne formacji solonośnych występujących Zachodniej Kanadzie na terenie Alberty prowadzone były w latach lat 50-tych oraz 60-tych XX wieku. Wykazały one duże zróżnicowanie mineralogiczno-petrologiczne pomiędzy najmłodsza formacja (Prairie Evaporite) a formacjami starszymi (Cold Lake i Lotsberg). Formacja Lotsberg posiada bardzo nietypowe wykształcenie soli kamiennych, wskazujący na całkowicie odmienne warunki ich sedymentacji. Dodatkowo badania geochemiczne uwiarydliły bardzo niską zawartość bromu. Obecne badania petrologiczne i geochemiczne, wykonane przy użyciu dużo nowocześniejszej aparatury, uzupełniają wcześniejsze obserwacje wykazując przy tym jeszcze niższą zawartość bromu niż stwierdzono w pierwszych badaniach.

Słowa kluczowe: Lotsberg, brom, części nierozpuszczalne, halit, sól kamienna.

ABSTRACT

The first petrological and geochemical studies of the saline formation occurring in Western Canada, Alberta were conducted in the 1950s and 1960s. They showed large mineralogical and petrological differences between the youngest Prairie Evaporite Formation, the older Cold Lake Formation and Lotsberg Formation. Lotsberg Formation has a very unusual mineralogical and petrographic composition of rock

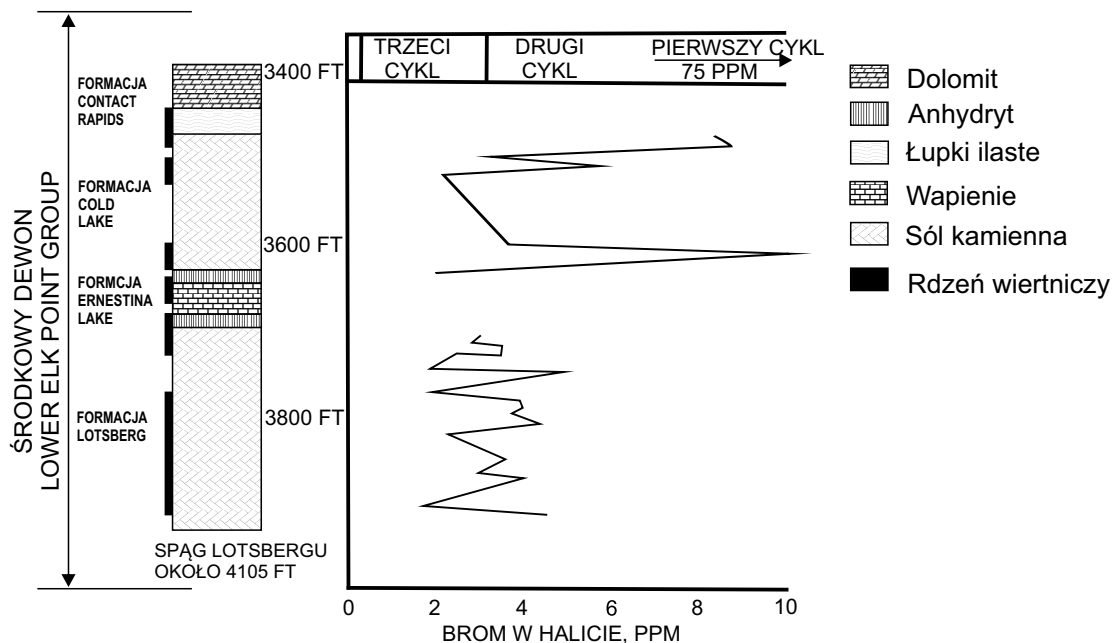
salt indicating completely different sedimentation conditions. Also, geochemical studies have shown very low bromine content. The current petrological and geochemical studies, made with modern equipment, complement the previous observations showing even lower bromine content that was found in the first tests.

Key words: Lotsberg, bromine, insolubilities, halite, salt rock.

1. WSTĘP

Formacja Lotsberg występująca w prowincji Alberta jest najstarszą (dolno dewońska) formacją solonośną należącą do zespołu skał osadowych zwanych Elk Point Group (Wardraw i Watson 1966, Grobe 2000). Ponad nią występują jeszcze dwie formacje solonośne tj. Cold Lake i Prairie Evaporite, z których znaczenie gospodarcze ma jedynie najmłodsza z nich – Prairie Evaporite. Od lat 50-tych XX wieku formacja Lotsberg ma coraz większe znaczenie gospodarcze. Pomimo zalegania na dużej głębokości i stosunkowo niewielkiej miąższości coraz częściej jest wykorzystywana do budowy kavern solnych przeznaczonych na cele składowania odpadów oraz magazynowe. Ponadto jest wykorzystywana także w celu uzysku solanki stosowanej w przemyśle chemicznym.

Szerokie zastosowanie przemysłowe formacji Lotsberg nie jest jednak ściśle powiązane z jej dobrym rozpoznaniem mineralogiczno-petrograficznym i geochemicznym. Przemysł wykorzystujący sól kamienną z tej formacji opiera się głów-



Ryc. 1. Krzywa zawartości bromu w soli kamiennej Lotsberg i Cold Lake (Holser, Wardlaw, Watson, 1972)

Fig. 1. Bromide profile in Lotsberg and Cold Lake salts (Holser, Wardlaw, Watson, 1972)

nie na badaniach geofizyki otworowej, pomimo zalecanego i nawet częściowo obowiązkowego rdzeniowania otworów. Rdzenie wiertnicze służą na ogół do badań geomechanicznych, oraz makroskopowych oględzin skał solnych bez szczegółowych badań mineralogiczno-petrograficznych. Pierwszy makroskopowy opis soli kamiennych formacji Lotsberg, Cold Lake i Prairie Evaporite przedstawili Waldrow i Watson (1966). Wyróżnili oni 5 typów kryształów halitu, tj. halit czysty, halit brązowy, halit o strukturze jodełkowej (chevron) i halit włóknisty. Czysty halit w oparciu o zawartość bromu podzielono na dwa typy: halit o dużej zawartości bromu występuje jedynie w formacji Prairie Evaporite, natomiast o bardzo małej w formacjach Cold Lake i Lotsberg. Hamilton (1971) stwierdził przewagę soli grubokryształowych i kryształowych w dolnej części formacji Lotsberg w bardzo zmienny sposób zanieczyszczonych czerwonymi łupkami. Przedstawił on również występowanie nieciągłych przerostów tego typu łupków oraz zauważył brak anhydrytu w tej części profilu. W górnej części formacji Lotsberg stwierdził występowanie bardzo dużych kryształów czystego halitu i generalnie mniejszą ilość zanieczyszczeń. Zauważył ponadto brak typowego warstwowania w obrębie soli kamiennych.

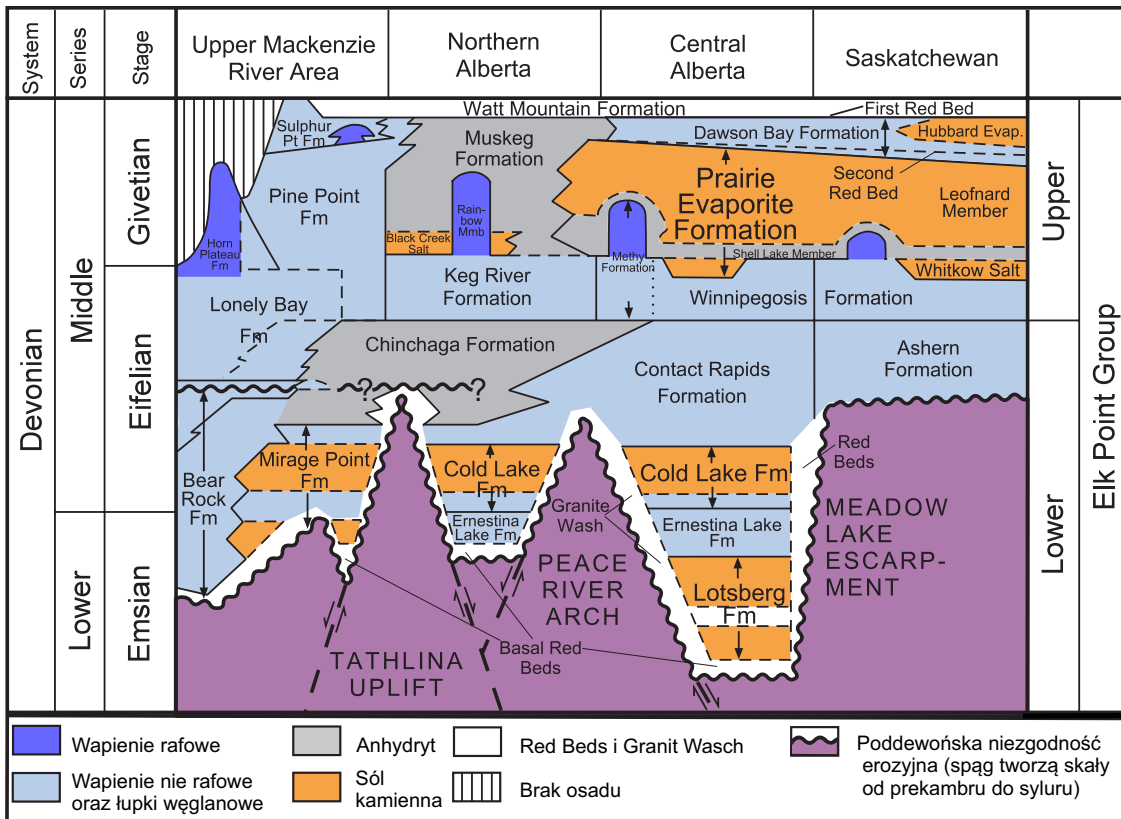
W połowie XX w. rozwinęto badania geochemiczne formacji solonośnych. Szczególnie wiele uwagi poświęcono badaniom zawartości bromu (m.in. Dean 1978; Dean, Anderson 1974; Holser 1965, 1970 1979; Kühn 1968; Raup, Hite 1978; Stewart 1963; Walaszko 1956). Pierwiastek ten uznano za bardzo użyteczny wskaźnik geochemiczny przydatny do określania genezy, warunków sedymentacyjnych, charakteru basenów sedymentacyjnych itp. Badania zawartości bromu w dolnodewońskich skalach solnych (Formacje Lotsberg,

Prairie Evaporite i Cold Lake) zapoczątkowane zostały przez Holsera w pierwszej połowie lat 60-tych. Holser prowadził badania na rdzeniu Anglo-Canadian No.1 Elk Point, a wyniki ogłosił w maju 1965 roku podczas konferencji „Second Conference on Salt in Cleveland” (Holser 1965). Okazało się, że równoległe z nim dla tego samego rdzenia badania geochemiczne prowadzili Wardlaw i Watson (1966). Prace wszystkich trzech badaczy wykazały bardzo niską zawartość bromu, a drobne różnice w wartościach wynikały jedynie z zastosowania odmiennej metody pomiaru. Dodatkowo w celu potwierdzenia zaskakujących wyników Wardlaw i Watson (1966) przeprowadzili testy rdzenia z sąsiedniego otworu Anglo-Canadian No.2 Elk Point. Wyniki wspólnych badań Holser, Wardlaw i Watson (1972) ogłosili podczas konferencji UNESCO w Hanowerze w roku 1968, które wydano drukiem w roku 1972 (Ryc. 1).

Celem badań opisanych w niniejszym artykule jest przedstawienie petrologicznej i geochemicznej charakterystyki soli kamiennych występujących w formacji Lotsberg. Formacja Lotsberg wyróżnia się przede wszystkim cechami strukturalnymi i teksturalnymi soli kamiennych, proporcjami minerałów ewaporatowych oraz bardzo niską zawartością bromu. Cechy te wskazują na nietypowe warunki sedymentacyjne, a zawartość bromu na krystalizację halitu z solanek o składzie odbiegającym od składu wody morskiej.

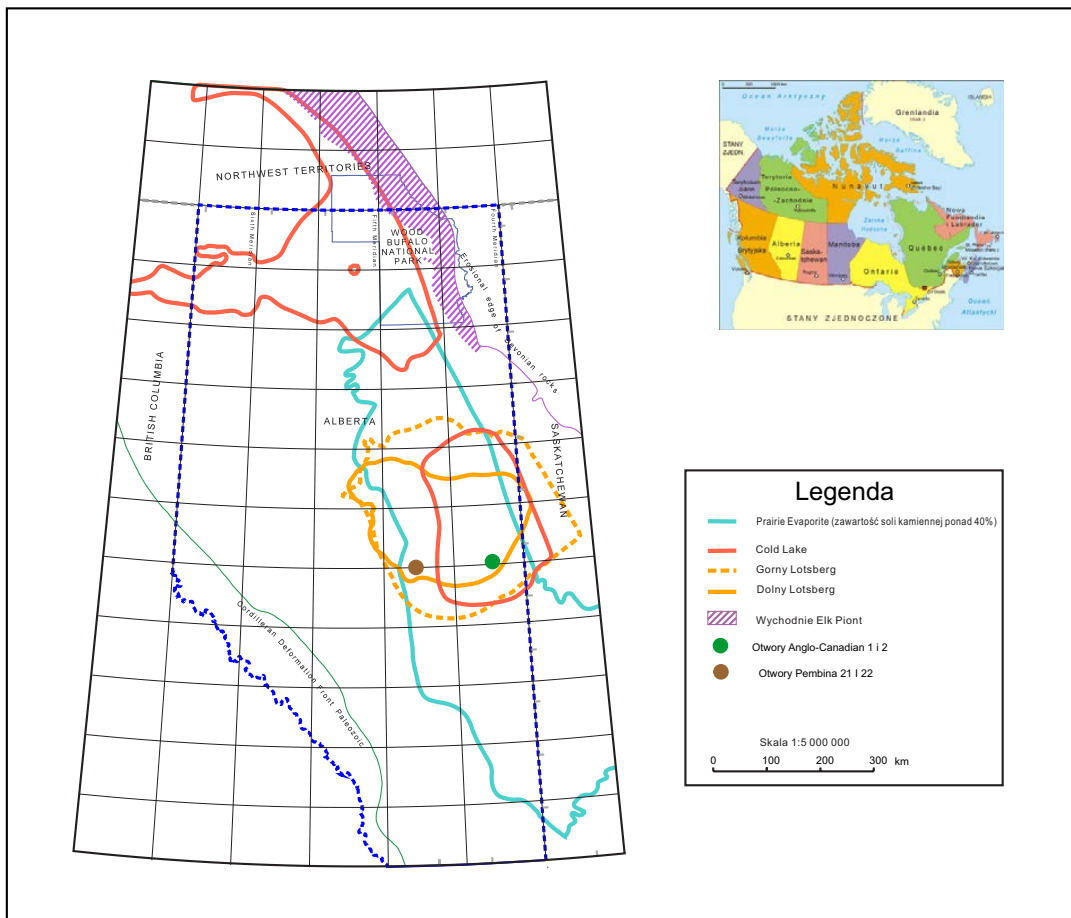
2. ZARYS BUDOWY GEOLOGICZNEJ

Na terenie prowincji Alberta występują trzy formacje solonośne: Lotsberg, Cold Lake i Prairie Evaporite. Wchodzą one w skład The Western Canada Sedimentary Basin (Meijer-Drees 1994). Basen ten zbudowany jest generalnie z niez-



Ryc. 2. Tabela stratygraficzna Devonian Elk Point Group (Grobe 2000)

Fig. 2. The stratigraphic position of the Devonian Elk Point Group (Grobe 2000)



Ryc. 3. Mapa zasięgu występowania dewonских złóż soli w Albercie (Grobe 2000)

Fig. 3. Distribution of salt within the Devonian Elk Point Group in Alberta (Grobe 2000)

burzonych tektonicznie fanerozoicznych skał osadowych zalegających bezpośrednio na prekambryjskim podłożu (Grobe 2000).

Utwory solonośne występują w trzech formacjach: Lotsberg, Cold Lake i Prairie Evaporite i należą do dolnego i środkowego dewonu. Razem tworzą grupę zwaną Elk Point Group (Ryc. 2). Jest ona podzielona na dwie części: dolną i górną (Hamilton 1971). W centralnej Albercie utwory dolnej części Elk Point Group zbudowane są (w spągu) z czerwonych łupków zalegających bezpośrednio na prekambryżu, nieposiadających oficjalnej nazwy i potocznie nazywanych Basal Red Beds (Glass 1997) oraz z zalegającymi bezpośrednio na nich formacjach: Lotsberg, Ernestina Lake, Cold Lake i Contact Rapids (Ryc. 2). Z tych formacji jedynie w formacji Lotsberg oraz Cold Lake występuje sól kamienna.

Górna część Elk Point Group rozpoczyna się od bogatych w skamieniałości węglanów Winnipegosis, która w kierunku północnym przechodzi w osady formacji Keg River (Hamilton 1971). Nad węglanami zalega najgrubsza (do 300 m) formacja solonośna Prairie Evaporite przechodząca w kierunku północnym w formację Muskega (Grobe 2000). Ponad nią ponownie występuje formacja węglanowa zwana Dawson Bay Formation. Najmłodszą formacją należąca do Górnej Elk Point Group jest formacja Watt Mountain (Ryc. 2). Budują ją charakterystyczne wymieszane czerwone i zielone łupki, piaskowce, anhydryt, dolomit i wapień.

3. FORMACJE SOLONOŚNE ALBERTY

3.1. Lotsberg

a. Dolny Lotsberg

Formacja ta zalega zgodnie i rozciąga się w Środkowej Albercie w kierunku wschodnim od centrum, aż po granicę prowincji Saskatchewan (Ryc. 3). W części centralnej osiąga maksymalną miąższość ponad 60 m (Grobe 2000).

b. Górny Lotsberg

Górny Lotsberg oddzielony jest od dolnego warstwą czerwonego ilu dolomitycznego o miąższości od kilku do maksymalnie 67 metrów (Grobe 2000). Maksymalna miąższość tej formacji dochodzi do ponad 150 m. Podobnie jak Dolny Lotsberg, górna część charakteryzuje się niezaburzoną budową oraz praktycznie poziomo zalegającym stropem. W okolicach Fosrt Saskatchewan strop Lotsbergu znajduje się na głębokości około 1900 m pod poziomem terenu.

3.2. Cold Lake

Sól ta występuje w dwóch rejonach oddzielonych od siebie przez wyniesienie (Ryc. 3) (Grobe 2000).

Cześć południowa znajduje się we wschodniej części centralnej Alberty ciągnąc się dalej w kierunku wschodnim aż do centralnej części prowincji Saskatchewan.

Cześć północna zlokalizowana jest w północnej Albercie, w przeciwieństwie do części południowej rozciąga się w kierunku zachodnim aż do północno-wschodniej Kolumbii Brytyjskiej.

Podobnie jak w Lotsberg, seria solna Cold Lake jest niezaburzona. Zbudowana jest z grubokrystalicznych soli kamiennych. Kryształy charakteryzują się wysokim stopniem czystości, lecz w przeciwieństwie do formacji z Lotsberg pomiędzy kryształami znajdują się nieregularne skupienia czerwonozielonego ilu. Maksymalna stwierdzona miąższość soli w północno-zachodniej Albercie wynosi 60 m, a w północno-wschodniej osiąga prawdopodobnie 80 m (okolice Wood Buffalo National Park).

3.3. Prairie Evaporite

W przeciwieństwie do wyżej wymienionych formacji solnych Prairie Evaporite posiada najbardziej zróżnicowaną budowę wewnętrzną. Rozciąga się ona od centralnej Alberty w kierunku wschodnim poprzez południowy Saskatchewan, aż do granicy z Manitoba i dalej w kierunku południowym na terenie USA. Miąższość, w prowincji Alberta, waha się od kilkunastu metrów na południowym zachodzie aż do ponad 300 metrów na północy (Grobe 2000).

Formacja Prairie Evaporite nieformalnie jest dzielona na dwie części oddzielone od siebie łożcem. Dolna część zbudowana jest z poziomo zalegających warstw soli kamiennej z bardzo licznymi przerostami anhydrytu o miąższości od kilku mm aż do prawie 1 m. Na niej zalega kilkumetrowa warstwa szarego łożca ograniczona od dołu i góry kilkudziesięciu centymetrową warstwą anhydrytu (rdzeń otw. ECA ECOG SALT-2 FISHER). W górnej części bezpośrednio pod anhydrytem często występuje warstwa zdolomityzowana charakteryzująca się wysoką twardością. W strefie powyżej, oprócz soli kamiennej występują również sole potasowo-magnezowe. Są one mieszaniną sylwinu i karnalitu o ciemno ceglasto-czerwonej barwie. Zawartość soli K-Mg nie jest stała i generalnie rośnie w kierunku wschodnim. Na terenie prowincji Saskatchewan zawartość soli K-Mg osiąga wielkość mającą znaczenie gospodarcze, w wyniku czego szeroko rozwinął się tam przemysł wydobywczy soli potasowo-magnezowych.

4. METODYKA BADAŃ

Ze względu na brak dostępu do jednego pełnego rdzenia reprezentującego pełny profil soli kamiennej formacji Lotsberg, próbki zostały pobrane z dwóch rdzeni z sąsiadujących ze sobą otworów tj. Pembina 22A (UWI 100/07-12-056-22-W4/0) oraz Pembina 21A (UWI 100/02-12-056-22-W4/1). Sytuacja ta zaistniała z powodu utraty rdzenia z części stropowej formacji solnej w otworze Pembina 21A. Rdzeń z górnej części formacji solnej został pobrany podczas wiercenia kolejnego otworu Pembina 22A. Oba otwory zlokalizowane są na terenie należącym do zakładów Pembina Pipeline Cor-



Ryc. 4. Typy litologiczne soli kamiennych formacji Lotsberg: A) Sól kamienna grubokrystaliczna i kryształowa z niewielką zawartością zanieczyszczeń. B) Pojedynczy, bardzo czysty kryształ halitu. C) Sól kamienna grubokrystaliczna z dużą zawartością zanieczyszczeń.

D) Obraz mikroskopowy halitu występującego w solach czystych, kryształowych, zawierającego skupienia brunatnej substancji.

Fig. 4. *Lithological types of Lotsberg Salt Formation: A) Coarse-grained salt rocks with large halite crystals containing small amounts of impurities. B) Clean large halite crystal. C) Coarse-grained salt rocks with a large number of impurities. D) Microscopic image of large halite crystal with a concentration of impurities.*

poration w okolicy miejscowości Redwater, ok 30 km na północny wschód od Edmonton.

Do szczegółowych badania mineralogiczno – petrograficznych wytypowano 16 próbek skał z otworu Pembina 22A pobranych z przedziału głębokości od 1830.64 do 1839.25 m. Próbkę te są reprezentatywne dla całości dolnej części profilu Formacji Lotsberg. Po wstępnych, makroskopowych obserwacjach z próbek wykonano preparaty w formie płytek grubych przeznaczonych do badań mikroskopowych. Płytki otrzymano w wyniku rozłupywania wcześniej wyseparowanych kryształów halitu wzdłuż powierzchni łupliwości. Grubość otrzymanych płytek wynosiła od 1 mm do 5 mm. Badania mikroskopowe przeprowadzono na lupie binokularnej MONTIC SMZ168 Stereo Zoom z powiększeniem w zakresie 0,75X-5X oraz na mikroskopie polaryzacyjnym MONTIC BA310-POL wyposażonym w obiektywy 4X, 10X, 40X i 60X.

Podczas obserwacji mikroskopowych wytypowano próbki do badań ramanowskich. Badania ramanowskie przeprowadzono na spektrometrze DXR Raman Microscope Thermo Scientific z laserem o długości fali świetlnej 532 nm i mocy 2-5 mW. Spektrometr wyposażony był w mikroskop firmy Olympus z obiektywami o powiększeniach 10X, 50X, 100X.

Do badań geochemicznych wytypowano łącznie 80 próbek, w tym 59 z dolnej części rdzenia Pembina 21A (Tabela 1) oraz 21 z górnej części rdzenia Pembina 22A (Tabela 2). Opróbowanie obu rdzeni przeprowadzono w miarę możliwości w równych odstępach wynoszących 1m.

We wszystkich próbkach, poza wyznaczeniem zawartości bromu, przeprowadzona została również analiza ilościowa części nierozpuszczalnych. Analizę wykonano metodą wagową po uprzednim rozpuszczeniu próbek w wodzie. Zawartość bromu została zbadana metodą ICP z błędem oznaczenia wynoszącym 0,5ppm przy użyciu spektrometru ELAN 6100 Perkin Elmer.

5. PETROLOGICZNA CHARAKTERYSTYKA SOLI KAMIENNYCH FORMACJI LOTSBERG

Analizowane sole kamienne górnej części formacji Lotsberg w otworze Pembina 22A pod względem zawartości zanieczyszczeń i wykształcenia halitu można makroskopowo podzielić na trzy typy. Pierwszy typ, dominujący w profilu otworu, stanowią sole białe lub przezroczyste, grubokrystaliczne i kryształowe, zawierające nieznaczące (na ogół <0,1%)

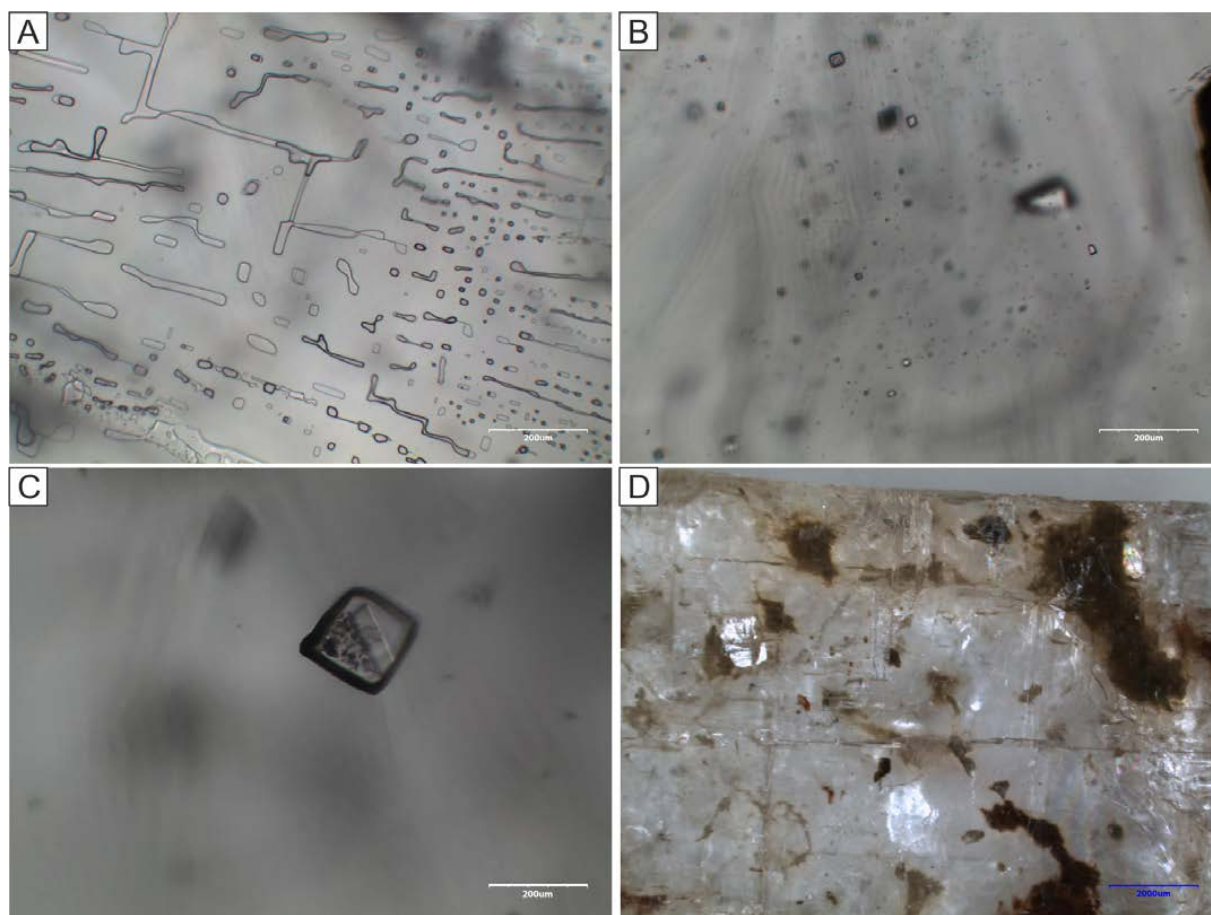
ilości zanieczyszczeń. Wielkość kryształów halitu waha się od około 1 cm do kilku centymetrów. Materiał zanieczyszczający stanowi ciemno brunatna substancja występująca w formie nagromadzeń punktowych skupień o średnicach rzędu od kilku milimetrów do około 1 cm (Ryc. 4A). Najczęściej tego typu nagromadzenia spotykane są na granicach kryształów halitu, rzadziej w obrębie kryształów halitu.

Drugi typ stanowią sole kryształowe, bardzo czyste, o kryształach halitu osiągających wielkość od kilku do kilkunastu centymetrów (Ryc. 4B). W ich obrębie spotykane są niekiedy drobne (do 2 mm wielkości) nagromadzenia punktowych skupień brunatnej substancji.

Trzeci typ stanowią sole o zabarwieniu brązowo-czerwonym z dużą ilością zanieczyszczeń (Ryc. 4C). Są to również sole grubokryształiczne przechodzące w kryształowe, na ogół jednak o mniejszych kryształach halitu niż w pierwszym i drugim typie. Zanieczyszczenia o zabarwieniu brunatnym rozmieszczone są w sposób nierównomierny, koncentrując się głównie na granicach kryształów halitu, w mniejszym stopniu w obrębie kryształów halitu. Sporadycznie spotykane są także nieregularne skupienia szarej substancji ilastej (Ryc. 4C).

W badaniach mikroskopowych wszystkie powyżej opisane typy soli kamiennych wykazują bardzo podobne cechy. Jedyną różnicą pomiędzy opisanymi typami soli jest zawartość zanieczyszczeń. W pierwszym i drugim typie kryształy halitu są czyste, przezroczyste, sporadycznie zawierają nieregularne, ostrokrawędziste skupienia brunatnej substancji (Ryc. 4D). W niewielkiej ilości spotykane są inkluzje fluidalne. Są to głównie zespoły inkluzji wtórnych występujące wzdłuż powierzchni łupliwości (Ryc. 5A). Szeregi budują inkluzje o zróżnicowanych kształtach od sześciennych po silnie wydłużone, często wyraźnie spłaszczone. Są to głównie inkluzje ciekło – gazowe o różnej proporcji faz.

Bardzo rzadko w obrębie dużych kryształów halitu występują relikty zespołów inkluzji pierwotnych (Ryc. 5B). Najczęściej są to inkluzje ciekłe, rzadziej ciekło - gazowe o równych proporcjach faz. Częściej niż inkluzje pierwotne spotykane są pojedyncze duże inkluzje fluidalne. Są to inkluzje ciekło – gazowe lub ciekłe z widocznym minerałem potomnym (Ryc. 5C). Badania ramanowskie wykazały, że minerałem potomnym najczęściej jest anhydryt.



Ryc. 5. Obrazy mikroskopowe w świetle przechodzącym: A) Zespół inkluzji wtórnych, złożony z ciekło – gazowych inkluzji o zróżnicowanych kształtach. B) Relikt bardzo małych inkluzji pierwotnych. C) Pojedyncza duża inkluzja z minerałem potomnym (anhydryt). D) Skupienia brązowej substancji w obrębie kryształów halitu w solach o dużej zawartości zanieczyszczeń (typ trzeci).

Fig. 5. Microscopic images in transparent light: A) Secondary fluid inclusions assemblage consisting of liquid-gas inclusions with different shapes. B) Relict of very small primary inclusions. C) Large inclusion with daughter mineral (anhydrite). D) Concentrations of brown substance in halite crystals from the third type of salt rocks.

Jedynie w trzecim typie soli zanieczyszczenia kryształów halitu są wyraźne (Ryc. 5D). Tworzą one nieregularne skupienia o rozmiarach od kilkunastu mikrometrów do kilku milimetrów. Badania ramanowskie wykazały, że skupienia te są zbudowane z bardzo drobnokrystalicznego dolomitu, któremu towarzyszy hematyt a niekiedy manganit.

6. ROZKŁAD ZAWARTOŚCI BROMU W PROFILU LITOSTRATYGRAFICZNYM W FORMACJI LOTSBERG

Rozkład zawartości bromu w profilu litostratygraficznym soli kamiennych Formacji Lotsberg w rdzeniu Pembina 22 został przedstawiony na Rycinie 6. Maksymalna zawartość bromu w całym profilu litostratygraficznym Formacji Lotsberg nie przekracza wartości 3,5 ppm. W dolnej części profilu (Pembina 21) zawartość bromu waha się w granicach pomiędzy 0,4 a 0,6 ppm (Tabela 1), przy czym w trzech próbkach jego zawartość spada poniżej 0,4 ppm (próbki nr 42 i 49).

Ze względu na zawartość bromu, profil litostratygraficzny Formacji Lotsberg można podzielić na trzy części: dolną, środkową i górną. Wszystkie one są wyraźnie widoczne w rdzeniu Pembina 21 (Ryc. 7).

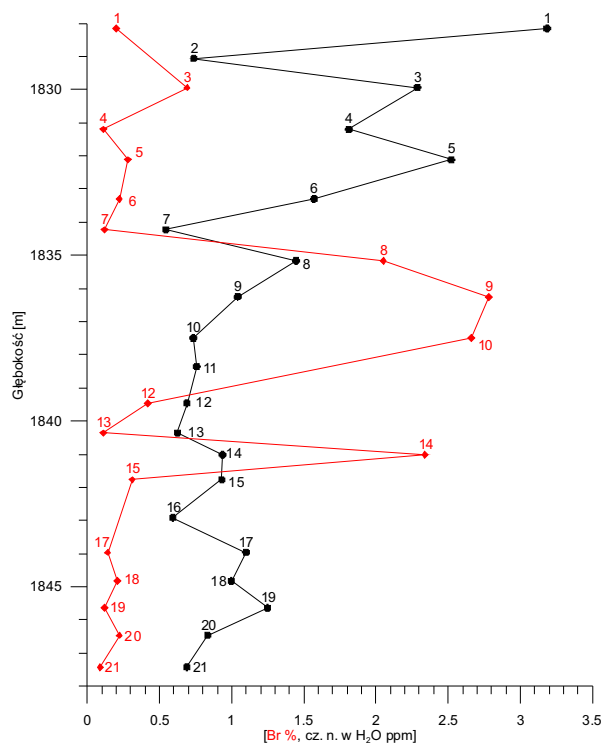
Najniższa część (próbki od 38 do 59) charakteryzuje się zawartością bromu w zakresie pomiędzy 0,4 ppm a 0,6 ppm, jednak występują tam dwa wyraźne piki odzwierciedlające jego większą zawartość. Pierwszy pik widoczny jest w prób-

kach od 57 do 54, przy czym swoje maksimum osiąga on w próbce 55 gdzie zawartość bromu wynosi 1,115 ppm. Drugi pik widoczny jest w próbkach 40 do 37, gdzie największa zawartość bromu obserwowana jest w próbce nr 40 i wynosi 2,369 ppm. Najniższa zaś zawartość bromu w tej części profilu litostratygraficznego została zaobserwowana w próbce nr 49 i wynosi 0,314 ppm.

W środkowej części profilu (próbki od 37 do 9) rozkład zawartości bromu jest w miarę stały i waha się w granicach od 0,2 ppm do 0,6 ppm. Największą zawartość bromu stwierdzono w próbce nr 13 (0,561 ppm), a najmniejsza w próbce nr 25 (0,167 ppm).

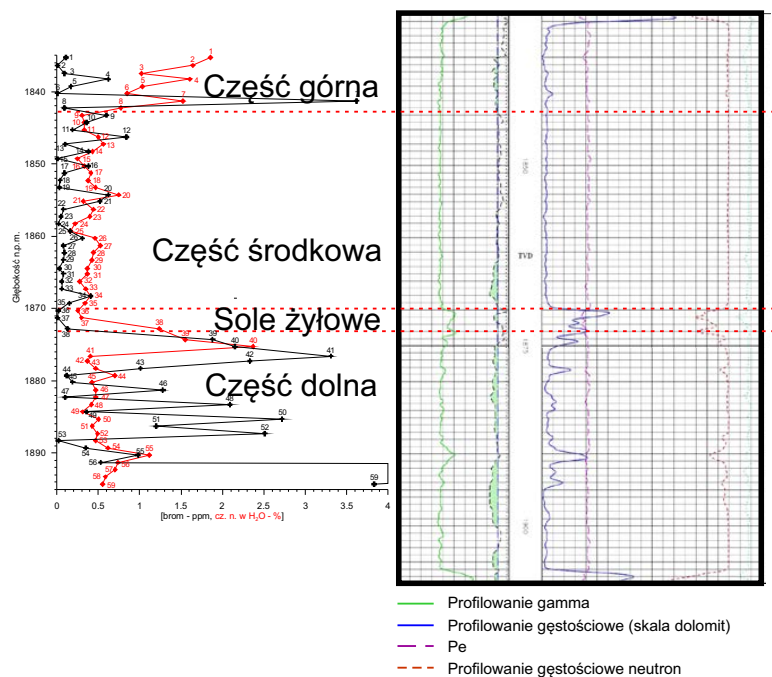
Nieco odmienna sytuacja ma miejsce w górnej części profilu litostratygraficznego (próbki od 1 do 8), która charakteryzuje się stopniowym wzrostem zawartości bromu. W rdzeniu Pembina 21 rozpoczyna się on od próbki nr 8 (0,771 ppm) i osiąga maksymalną wartość w próbce nr 1 (1,858 ppm).

Granica pomiędzy strefą dolną a środkową wyraźnie koresponduje ze zmieniającą się zawartością minerałów nierozpuszczalnych w kryształach halitu. W dolnej strefie większa zawartość bromu związana jest z nieregularnymi przerostami dolomitu oraz ze zwiększonym stopniem zanieczyszczenia kryształów halitu dolomitem. Dwa największe piki zawartości bromu wyraźnie korelują się z największymi przerostami dolomitu w Formacji Lotsberg. Dolna strefa profilu oprócz



Ryc. 6. Krzywa zawartości bromu oraz części nierozpuszczalnych w wodzie w rdzeniu Pembina 22

Fig. 6. Bromide and particles insoluble in H_2O profile in the core Pembina 22



Ryc. 7. Krzywa zawartości bromu oraz części nierozpuszczalnych w wodzie w rdzeniu Pembina 21

Fig. 7. Bromide and solids profile in the core Pembina 21

Tabela 1. Zawartość bromu oraz części nierozpuszczalnych w H₂O w rdzeniu Pembina 21A.*Table 1.* Content of bromine and particles insoluble in H₂O in the core Pembina 21A

Próbka	Głębokość	Części nierozpuszczalne w H ₂ O	Br
	[m]	[%]	[ppm]
1	1849.0	0.11	1.9
2	1850.1	0.01	1.6
3	1851.2	0.09	1.0
4	1852.0	0.62	1.6
5	1853.0	0.17	1.0
6	1854.0	0.01	0.8
7	1855.0	3.62	1.5
8	1856.0	0.09	0.8
9	1857.0	0.6	0.3
10	1858.0	0.36	0.3
11	1859.0	0.19	0.3
12	1860.0	0.84	0.5
13	1861.0	0.1	0.6
14	1862.0	0.38	0.4
15	1863.0	0.01	0.2
16	1864.0	0.38	0.3
17	1865.0	0.09	0.4
18	1866.0	0.04	0.4
19	1867.0	0.03	0.5
20	1868.0	0.62	0.7
21	1868.9	0.52	0.3
22	1870.0	0.08	0.4
23	1871.0	0.05	0.4
24	1872.0	0.02	0.2
25	1873.0	0.16	0.2
26	1874.0	0.31	0.5
27	1875.0	0.08	0.5
28	1876.0	0.09	0.4
29	1877.0	0.08	0.4
30	1878.2	0.03	0.4

Próbka	Głębokość	Części nierozpuszczalne w H ₂ O	Br
	[m]	[%]	[ppm]
31	1878.9	0.08	0.4
32	1880.0	0.06	0.3
33	1881.0	0.06	0.3
34	1882.0	0.41	0.4
35	1883.0	0.15	0.3
36	1884.0	0.02	0.3
37	1885.0	0.01	0.3
38	1886.5	0.13	1.2
39	1888.0	1.88	1.6
40	1889.0	2.15	2.4
41	1890.3	3.31	0.4
42	1891.0	2.33	0.4
43	1892.0	1.01	0.5
44	1893.0	0.12	0.7
45	1893.9	0.19	0.4
46	1895.0	1.28	0.5
47	1896.0	0.1	0.5
48	1897.0	2.09	0.4
49	1898.0	0.36	0.3
50	1899.0	2.72	0.5
51	1900.0	1.2	0.4
52	1901.0	2.51	0.5
53	1902.0	0.02	0.5
54	1903.0	0.35	0.6
55	1904.0	0.98	1.1
56	1905.0	0.53	0.7
57	1906.0	18.34	0.7
58	1907.0	7.73	0.6
59	1908.0	3.83	0.6

znaczących przerostów dolomitu charakteryzuje się dużo wyższą zawartością (2,42%) minerałów nierozpuszczalnych w wodzie (obecnych w kryształach halitu). Natomiast w środkowej części zawartość części nierozpuszczalnych wynosi 0,26%. Granica pomiędzy strefami środkową a górną nie jest widoczna ze względu na obecność minerałów nierozpuszczalnych obecnych w kryształach halitu. Średnia zawartość tych minerałów w górnej części wynosi średnio 0,87%, przy czym wartość ta jest znacznie zawyżona przez próbkę nr 7, dla której ilość części nierozpuszczalnych wynosi 3,62%. W przypadku pozostałych siedmiu próbek, średnia zawartość

części nierozpuszczalnych wynosi 0,22%. Rdzeń Pembina 22 reprezentuje środkową i górną część profilu litostratygraficznego formacji Lotsberg. Bezwzględna zmierzona zawartość bromu w próbkach pobranych z tego rdzenia jest większa niż w rdzeniu Pembina 21A, jednak rozkład wartości zawartości bromu powiela kształt krzywej dla (Ryc. 6) środkowej i górnej części profilu litostratygraficznego. Trend wzrostowy widoczny jest od próbki nr 9 i osiąga swoją maksymalną wartość (3,185 ppm) w próbce nr 1. Podobnie jak w górnej części rdzenia Pembina 21A wzrost zawartości bromu nie koreluje się z zawartością części nierozpuszczalnych

Tabela 2. Zawartość bromu oraz części nierozpuszczalnych w H₂O w rdzeniu Pembina 22A.Table 2. Content of bromine and particles insoluble in H₂O in the core Pembina 22A

Próbka	Głębokość	Części nierozpuszczalne w H ₂ O	Br
	[m]	[%]	[ppm]
1	1828.5	0.2	3.2
2	1829.4	<0.01	0.7
3	1830.2	0.69	2.3
4	1831.5	0.11	1.8
5	1832.4	0.28	2.5
6	1833.6	0.22	1.6
7	1834.5	0.12	0.5
8	1835.5	2.05	1.4
9	1836.5	2.78	1.0
10	1837.8	2.66	0.7
11	1838.7	<0.01	0.7
12	1839.8	0.42	0.7
13	1840.7	0.11	0.6
14	1841.3	2.34	0.9
15	1842.1	0.31	0.9
16	1843.2	<0.01	0.6
17	1844.3	0.14	1.1
18	1845.1	0.21	1.0
19	1845.9	0.12	1.2
20	1846.8	0.22	0.8
21	1847.7	0.09	0.7

7. INTERPRETACJA WYNIKÓW

Formacja Lotsberg pod względem cech petrologicznych i geochemicznych bardzo wyraźnie odróżnia się od większości znanych formacji solonośnych. Pomimo niezaburzonego tektonicznie poziomego zalegania sole kamienne występują bezpośrednio ponad poziomem utworów terygenicznych (Red Beds) zbudowanych głównie z piaskowców przechodzących ku górze w piaskowce dolomityczne a następnie w wapienne łupki ilaste. W utworach Red Beds odnotowano występowanie żył halitu włóknistego, skupienia czystego halitu i niewielkie ilości anhydrytu (Wardlaw, Watson 1966). Obecność minerałów ewaporatowych może wskazywać na duże zasolenie wód z których następowała depozycja lub na późniejszą infiltrację stężonych solanek. Ponadto, pomiędzy tymi utworami terygenicznymi a solami kamiennymi brak jest osadów siarczanowych (gips, anhydryt) poprzedzających sedymentację chlorków w trakcie ewaporacji wody morskiej (m.in. Borchert, Muir 1964, Braitsch 1971, Warren J. 1999, Holser 1979), co wskazuje, że skład chemiczny roztworów był wyraźnie zubożały w siarczany w stosunku do wody morskiej.

Kolejnym czynnikiem wskazującym na odmienne warunki sedymentacyjne Formacji Lotsberg jest brak typowej dla

skał solnych rytmiczności przejawiającej się teksturami uporządkowanymi takimi jak: pasiasta, laminowana, warstwowa itp (m.in. Borchert, Muir 1964, Braitsch 1971, Warren 1999). Sole kamienne formacji Lotsberg są grubokrystaliczne i kryształowe z kilkunastu centymetrowymi, czystymi kryształami halitu. Materiał zanieczyszczający skupiony jest głównie na granicach kryształów halitu. Tworzy go drobnokrystaliczny dolomit z dużym udziałem hematytu. Duże rozmiary kryształów halitu i sposób rozmieszczenia zanieczyszczeń sugeruje powolną krystalizację halitu w warunkach spokojnych i z niedużą dostawą węglanów. Basen sedymentacyjny prawdopodobnie był płytki i dobrze przewietrzany (warunki utleniające) o czym świadczy obecność hematytu. Na rozmiary kryształów halitu wpłynęły także późniejsze procesy diagenetyczne i związana z nimi rekrytalizacja.

Wartym podkreślenia jest fakt, że w całym profilu soli kamiennych z Formacji Lotsberg zanieczyszczenia stanowi dolomit, podczas gdy krystalizacja soli kamiennych z roztworów powstałych z ewaporacji wody morskiej towarzyszy anhydryt. W analizowanych solach kryształy anhydrytu są bardzo rzadkie i związane głównie z inkluzjami fluidalnymi. Takie wyraźne zaburzenie proporcji halitu do anhydrytu potwierdza znaczne zubożenie roztworów w siarczany.

Opisane powyżej wyniki badań zawartości bromu oraz części nierozpuszczalnych w solach kamiennych formacji Lotsberg stanowią rozwinięcie wcześniejszych badań wykonanych oraz opublikowanych w latach 60-tych i 70-tych (Holser 1965; Holser et al. 1972). Wyniki tych badań przedstawiają średnią zawartość bromu na poziomie 2-4 ppm. Opisane w tym artykule badania wykazały jeszcze niższą zawartość bromu, wynosząca średnio poniżej 1 ppm. Rozbieżność w wartościach może wynikać z zastosowania odmiennych metod analitycznych, jak również z lokalizacji analizowanych profili otworów wiertniczych względem centrum basenu sedymentacyjnego.

Stwierdzona w halicie z Formacji Lotsberg niska zawartość bromu potwierdza wcześniejsze teorie Holsera o wtórnym pochodzeniu soli kamiennych tej formacji. Pierwotne skały solne wykrystalizowane z wody morskiej zawierają od 68 ppm według Walaszki (1956) do około 75 ppm według Holsera (1966, 1972). W chwili obecnej uznaje się, że pierwotne sole kamienne, bezpośrednio krystalizujące z wody morskiej zbudowane są z halitu o zawartość bromu powyżej 40 ppm (Thomassi-Morawiec 2003). Każdy cykl rozpuszczania i krystalizacji halitu powoduje zubożenie zawartości bromu. Jeżeli medium rozpuszczającym halit jest woda morska, niezależnie od ilości cykli rozpuszczanie/krystalizacja zawartość bromu w halicie nie spada poniżej minimalnej wartości 7 ppm (Holser 1966). Osiągnięcie tak niskiej zawartości bromu, jaka występuje w Formacji Lotsberg, wymagało przynajmniej dwóch cykli rozpuszczania i krystalizacji halitu, przy czym medium rozpuszczającym musiały być wody meteoryczne (Holser 1970).

Rozkład zawartości bromu w obrębie profilu formacji Lotsberg wykazuje bardzo niewielkie wahania. Jedynie w dolnej części pojawiają się dwa piki wyższej koncentracji bromu, które są związane z podwyższoną zawartością części nierozpuszczalnych w wodzie. Może to wskazywać na okresowe wzrosty natężenia sedymentacji ewaporatowej, po których nastąpiły zwiększone dopływy. W najwyższej części profilu stopniowy wzrost koncentracji bromu świadczy o wzroście natężenia sedymentacji ewaporatowej i „zamykaniu” się basenu sedymentacyjnego.

8. WNIOSKI

Pomimo szerokiego wykorzystania przemysłowego formacji Lotsberg do celów składowania odpadów i magazynowania, formacja jest słabo rozpoznana pod względem petrologicznym i geochemicznym. Nieliczne badania przeprowadzane głównie w połowie XX wieku (Hamilton 1971 Holser 1965, Holser et al. 1972, Wardlaw, Watson 1966) wykazały, że różni się ona od znanych światowych formacji solonośnych.

Opisane powyżej badania petrologiczne i geochemiczne soli kamiennych formacji Lotsberg uzupełniają wcześniejsze obserwacje tej formacji. Sole kamienne tworzące tę formację

są grubokrystaliczne i kryształowe, nie wykazujące tekstur uporządkowanych. Wyróżniają się spośród osadów solonośnych morskiego pochodzenia brakiem utworów siarczanych oraz niezwykle niską zawartością bromu (poniżej 1 ppm). Powstanie soli kamiennych formacji Lotsberg związanej jest zatem z krystalizacją halitu z wtórnych roztworów w rozległym i izolowanym basenie sedymentacyjnym. Solanki te pochodziły z wielokrotnego ługowania przez wody słodkie starszych, bliżej nieokreślonych starszych formacji solonośnych. Taka geneza tłumaczy niską zawartość bromu oraz brak minerałów siarczanych, które jako znacznie słabiej rozpuszczalne niż halit, nie podlegały ługowaniu. Ponadto, wskazuje, że proces ługowania odbywał się stosunkowo szybko.

Badania zostały zrealizowane w ramach badań statutowych nr 11.11.140.161 WGGIOŚ AGH, Kraków.

SUMMARY

Currently, the Lotsberg Formation located in Alberta, Canada, is widely used for storage purposes. Despite this, it is often poorly recognized in the regard of a petrological and geochemical standard. Previous geochemical investigations (Holser 1965, Wardlaw & Watson 1966, Holser et al. 1972) establish that rock salts in the Lotsberg Formation differ significantly from other widely recognized salt formations, due to the formation's extremely low bromine content (Fig. 1).

The Lotsberg Formation is the oldest existing salt formation in Alberta. It belongs to the sedimentary rock sequence known as Elk Point Group (Wardlaw & Watson 1966), which is underlined by Basal Red Beds, and is covered by the Ernestina Lake Formation (Fig. 2). The Lotsberg Formation is subdivided into a lower and upper part, separated by a layer of red dolomitic slate.

In both upper and lower parts, salt rocks are coarse-grained with large halite crystals, from which three types of salt rock can be distinguished. Each rock type is discernible by the amount of impurities and developed halite crystals. The first type of salt rock consists of coarse-grained halite, which range in size from ~1cm to a few centimetres, with a small number of impurities (Fig. 4A). The second type is represented by very large halite crystals (Fig. 4B). The crystals are clean and occasionally contain very small amounts of impurities. Within the third type of salt rock, halite crystals are similarly developed to the first type with respect to their size, but the salt rocks contain a larger amount of impurities (Fig. 4C). The impurities are mostly concentrated bordering halite crystals, and to a lesser extent, they are included within halite crystals too.

The first and second type of salt rocks exhibit clean halite crystals, and only sometimes contain a small concentration (~0.X-mm) of irregular impurities (Fig. 4D). Some crystals

also have fluid inclusion assemblages (FIA) of the second type (Fig. 5A). Such inclusions are filled with solutions and gas phases of a much-differentiated ratio. The primary type of FIA is extremely rare (Fig. 5B). Furthermore, in the halite crystals occur individual, large (over 100 μm) fluid inclusions with anhydrite as a daughter mineral. Only in the third type of salt rock are numerous irregular concentrations of impurities contained within halite crystals, which range from tens of micrometers to over few millimeters in size (Fig. 5D).

The concentration of Bromine in the Lotsberg Formation is extremely low in comparison to other recognized salt formations (e.g., Dean 1978; Dean, Anderson 1974; Holsler 1965, 1970 1979; Kühn 1968; Raup, Hite 1978; Stewart 1963; Walaszko 1956). In most samples, the Bromine concentration is below 0.6 ppm (Fig. 6, 7, Tab. 1,2). Within the lowest portion of the profile analysis, two peaks of a higher concentration are visible reaching up to 1,115 ppm and 2,369 ppm (Fig. 7). In the middle portion, the concentration of bromine is constant and varies in a range of 0,2-0,6 ppm. The uppermost portion of profile is characterized by a gradual increase in the concentration of bromine.

To conclude, the salt rocks of the Lotsberg Formation show both petrological and geochemical features, indicative of their non-marine origin. Primarily, having a very low bromine concentration establishes that the precipitation of halite originated from solutions derived from the multiple dissolutions of older formations by fresh waters. These dissolution processes of readily soluble minerals (halite) also led to their mineralogical changes, causing a depletion in sulfates. Ergo, the sedimentation of the Lotsberg Formation caused the lack of sulfate minerals in rock salts.

SPIS LITERATURY

- BORCHERT H., MUIR R. O., 1964. Salt Deposits. The Origin, Metamorphism and Deformation of Evaporites. D. Van Nostrand Company, LTD. Londyn, p. 1-338.
- BRAITSCH O., 1971. Salt Deposits Their Origin and Composition. Springer-Verlag, New York. p. 1-297.
- DEAN W. E., 1978. Trace and Minor Elements in Evaporites. In: Dean W. E. (Ed.), Marine Evaporites. Short Course No. 4, April 8, 1978, p. 86 - 104.
- DEAN W. E., ANDERSON R. Y., 1974. Trace and Minor Elements Variations in the Permian Castile Formation, Delevare Basin, Texas and New Mexico, Revealed by Varve Calibration. In: A. H. COOGAN (Ed.), Fourth Symposium on Salt. Northern Ohio, Geol. Soc., Cleveland. v. 1, p. 275 - 286.
- GROBE M., 2000. Distribution and Thickness of Salt Within the Devonian Elk Point Group, Western Canada Sedimentary Basin. Alberta Energy and Utilities Board, Alberta Geological Survey, Earth Sciences Report 2000-02, pp.35.
- HAMILTON W.N., 1971. Salt in East-Central Alberta. Research Council of Alberta, Bulletin no. 29: 1-63.
- HOLSER W.T., 1965. Bromide Geochemistry of Salt Rocks. Second Salt Symposium Cleveland, Ohio in May 1965, p. 248-275.
- HOLSER W.T., 1970. Bromide geochemistry of some non-marine salt deposits in the Southern Great Basin. Mineral. Soc. Amer. Spec. Pap., vol.3 p. 307-319.
- HOLSER W. T., 1979a. Mineralogy of evaporites. [in] R. G. Burns (Ed.), Marine minerals. Short Course Notes. Mineralogical Society of America. Vol. 6, November 1979, p. 211-294.e
- HOLSER W. T., 1979b. Trace elements and isotopes in evaporites. [in] R. G. Burns (Ed.), Marine minerals. Short Course Notes. Mineralogical Society of America. Vol. 6, November 1979, p. 295-346.
- HOLSER W.T., WARDLAW N.C., WATSON D.W. 1972. Bromide in salt rocks: extraordinarily low content in the Low Elk Point salt, Canada. In: Geology of saline deposits [Ed. G. Richter-Bernburg] Proceedings of the Hanover Symposium organized by UNESCO and Bundesanstalt für Bodenforschung and sponsored by International Union of Geological Science 15-21 May 1968. UNESCO Paris 1968
- KUKIAŁKA P., 2014. Złoża soli kamiennej w prowincji Alberta, Zachodnia Kanada. Przegląd Solny / Salt Review, 2014, 10: 132-138.
- KUKIAŁKA P., 2015. Kawerny solne w prowincji Alberta, Zachodnia Kanada. Przegląd Solny / Salt Review, 2015, 11: 83-90.
- KÜHN R., 1968. Geochemistry of German potash deposits. In: Saline Deposits. The Geological Society of America, INC. Special Papers no. 88, p 427 - 504.
- RAUP O. B., HITE R. J., 1978. Bromine Distribution in Marine Halite Rocks. In: Marine Evaporites. Short Course No. 4, April 8, 1978, p. 105 - 123.
- STEWART F. H., 1963. Marine Evaporites. In: M. Fleischer (Ed.), Data of Geochemistry, Sixth Edition, 52 pp.
- WALASZKO M. G. 1956. Geochemija broma w prociesach galogienyza i ispolzowania soderżania broma w kaczestwie geneticzskowo i poiskowo kriteria. Geiochimija, 6: 33-48.
- WARDLAW N. C., WATSON D. W., 1966. Middle Devonian Salt Formations and Their Bromide Content, Elk Point Area, Alberta. Canadian Journal of Earth Sciences v. 3, No. 3, p. 263-278.
- WARREN J., 1999. Evaporites. Their Evolution and Economics. Blackwell Science Ltd. Oxford: 1-438.



Klasyfikacja litogenetyczna soli potasowych jako rud potasu w potasononośnym basenie Prypeci

Lithogenetic classification of the potash salts as potash ores occurring in the Pripyat Potash-Bearing Basin

Natalia S. PETROVA¹, Natalia Y. DENISOVA², Aliaksei V. KIRYKOVICH¹

¹Belarusian State University, Belarus, Minsk, Nezavisimosti av., 4, e-mail: belnigri@list.ru

²The State Enterprise “SPC Geology”, Belarus, Minsk, Kuprevich str., 7, e-mail: denisova@geology.org.by

¹Belarusian State University, Belarus, Minsk, Nezavisimosti av., 4, e-mail: lexkirik@mail.ru

SUMMARY

In the Pripyat Potash-Bearing Basin the potash salts, considered as potash ores, characterized by lower content of valuable components and increased concentration of harmful impurities as well as the potash rocks with various structural and textural characteristics are involved in new mining projects. Therefore, one of the main research objectives of rock composition is the classification of potash ores, enabling the division of mineral resources for natural types, after to the homogeneity degree of all quality parameters. This paper presents the common types of potash ores that are typical for the potash salts deposits found in the Pripyat Basin.

Key words: potash salts, Pripyat Basin, lithogenetic classification

STRESZCZENIE

W zagłębiu Prypeci rozwój górnictwa spowodował, że rozważa się eksploatację soli potasowych. Sole potasowe w tym rejonie charakteryzują się niższą zawartością cennych składników, zwiększoną koncentracją szkodliwych zanieczyszczeń oraz zróżnicowaną strukturą i teksturą. Z tych względów, jednym z głównych celów badania składu tych skał jest ich klasyfikacja, ze względu na typy naturalne oraz według stopnia jednorodności wszystkich parametrów jakościowych. Artykuł przedstawia najczęściej spotykane rodzaje rud potasowych, które są typowe dla złóż soli potasowych w basenie Prypeci.

Słowa kluczowe: sole potasowe, Basen Prypeci, klasyfikacja litogenetyczna

INTRODUCTION

The sedimentary cover of the Pripyat basin is a complex-built natural system displaying a set of various parameters. Four stages of chloride salt accumulation were distinguished in the history of the Pripyat trough development: Eifelian, Late Frasnian, Early Famennian, and Late Famennian stages. The deposition of potassium salts was connected with the Late Frasnian and the Late Famennian stages.

There are two sub-formations in the Middle-Upper Famennian chloride saliferous formation, distinguished by their characteristics: halite (lower) and potash-bearing (upper) ones (Bogdanov, 1984). The potash-bearing sub-formation, with its geological structure and other features, evidences mechanisms supporting potassium diffusion. During the development of the potash-bearing sub-formation, the areas with potash salt deposition migrated according the change of the structural plane.

The parameters that characterise specific features of various potash occurrences are displayed in the geological structure of potash horizons: repeatability of elements and differentiation and compactness of its location. Repeatability of individual elements (band and bed) determines the structural classes/types: a simple, a complex, and a very complex structure (multi-band and multi-bed structures).

MATERIALS AND METHODS

Sylvite and carnallite are basic potassium salt minerals found in the saliferous formations of chloride type. Sylvite constitutes the core of potash ore and is involved in the composition of mixed carnallite-sylvite-halite salts. It is also present in rock salt as an impurity. The combination of structural and textural features, coloration, and impurities determined appearance of typical rocks in potash horizons of the Pripyat trough, forming red-coloured (the Starobin type) and mottled (the Petrikov type) hypersaline associations (Petrova et al., 1985). The deposit type and the structural and textural characteristics of potash ore have been preserved in the basin area.

Two important limits are applied for sylvinite classification in respect of component composition: a 95% KCl limit that determines the division of rocks into mono- and non-monolithic ones and a 50% KCl limit dividing rocks into idio- and mixtolithic ones (Shvanov, 1998). The geological and commercial description of the chloride-type distinguish the following deposit-ore grades: a high-grade ore, with KCl content over 29% (18% K_2O), an ordinary ore, with 22-29% KCl (14-18% K_2O), and a low-grade ore, with less than 22% KCl (14% K_2O). In the classification of the natural types of sylvinites, the low-grade ore contains 5-15% of KCl, the ordinary ore – 15-25% KCl, and the high-grade – 50-75% of the compound (Yarzhemsky, 1964).

Sylvinite rocks are distinguished also after colour for three varieties: a coloration, a colourless and a colour ones. Coloured sylvinites are either of light colour (pale orange, pale pink, milky white, or sometimes lemon yellow), the red-colour (wax-red, red, orange-red, or orange), or mottled (mainly light-colour, with many grains of blue halite). The potash horizons of the red-colour association are composed of red sylvinites, while the mottled potash deposits are composed of light-colour, white, and mottled sylvinites. Red sylvinites play a minor role in the deposits of the mottled association and they are usually confined to those potash horizons that are enriched with halopelitic laminas and bands. The sylvinites of various colours can be found in any potash horizon.

As to the nature of colour distribution, evenly and unevenly coloured sylvinites are observed. More intense colouring

of fine grains is created by dark and cherry-brown colouring agents, representing dispersed fine flaky substances of ferric oxides and hydroxides. Those substances are distributed either regularly within grains, or concentrated at the grain peripheries forming zones of various widths. Narrow fringes of the colouring agent along the grain edges or its aggregates, spots, or clots inside grains increase colouring of coarse grains.

Sylvinite structures defined by grain sizes reflect the nucleation rates and crystal growth. A grain dimension (Shcherbina, 1959) is used for establishing the structural characteristics of salt rocks and that is different from the classification scale of sedimentary rocks (Table 1).

Equigranular and heterogranular structures of potash ores became distinguished in reference to grain size. The heterogranular structure (or heterocrystal one in the case of clearly idiomorphic grains) is the most common within the potash horizons of the Pripyat Potash-Bearing Basin. The most widespread structures are: micro and very fine granular, micro-medium granular, medium-coarse and giant granular ones.

After the grain shape and type structures of studied rocks are divided into a granular, a crystal-granular, and a zone-granular ones. The bulk of rock is present in the form of grains, with various degrees of crystallographic faceting reflected degrees of idiomorphism: isometric, idiomorphic (well faceted), subhedral (partly faceted), or xenomorphic (without crystallographic outline). Grains do not present multiple-aged reflections of phase grain formations, with various degrees of idiomorphism. Sylvite and halite differ by the idiomorphism degree: sylvite grains are usually xenomorphic and halite grains are rather idiomorphic. Colour grains are characterised by xenomorphic shapes, while especially coarse grains represent odd shapes. Idiomorphic grains show indications of primary zonal structures expressed sometimes by a clear distribution of colour by growth zones, parallel to the cube face.

To define the grain shapes, such terms as tabular, elongated, prismatic, rounded, oval, lenticular, angular, acicular, or fibrous are used. Grain outlines contribute to the characteristics of structures and they reflect crystallisation sequences and stages of post-depositional processes. There are distinct

Tabela 1. Klasyfikacje skal solnych według wielkości ziarna

Table 1. Various salt rocks types by grain sizes

Structure	Shcherbina, 1959	Yarzhemsky, 1964	Zharkova, 1981
Very fine granular	<1 mm	0.001-0.01 mm	<0.5 mm
Fine granular	N/A	N/A	0.5-1 mm
Micro granular	1-3 mm	0.01-0.1 mm	1-2.5 mm
Medium granular	3-5 mm	0.1-0.25 mm	2.5-5 mm
Coarse granular	5-10 mm	0.25-5 mm	5-10 mm
Very coarse granular	N/A	5-10 mm	N/A
Giant granular	>10 mm	>10 mm	N/A

or indistinct (poorly marked), even, rectilinear, and curved grain outlines.

Basing on the criteria discussed above, other main structures of sylvinites were distinguished in the potash ores of the Pripyat Potash-Bearing Basin:

Isometric-granular structure (Fig. 1a), with irregular sylvite grains various dimensions. It displays micro-medium granular appearance, with clear features of zonal structure in red-colour sylvinites and coarse granular, without zonal structure in sylvite grains in light-colour sylvinites.

Subhedral-granular structure (Fig. 1b), in which idiomorphic crystals are dispersed in the heterogranular mass of sylvite grains. It is widespread among sylvinites as porphyroblastic and porphyry types.

Xenomorphous-granular structure (Fig. 1c), with irregular grain shapes and usually uneven curved outlines.

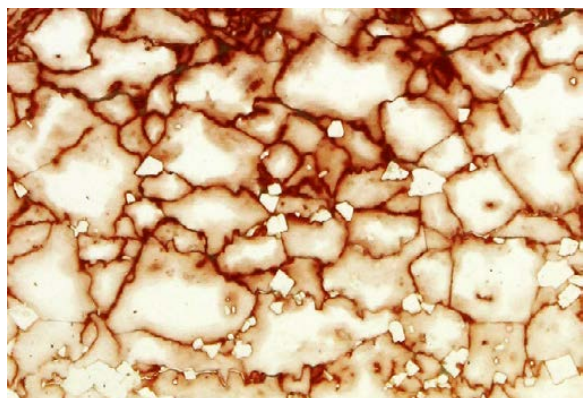
Frame structure, with angular and wedge-shaped sylvite grains and their elongated aggregates that outline the clusters of idiomorphic halite crystals and have shape of false idiomorphic ones in contact zones inbetween.

Directive structure (Fig. 1d), with flat or flattened grain shapes, elongated along the bedding or placed at various angles in respect to bedding (axis ratio: 2-6).

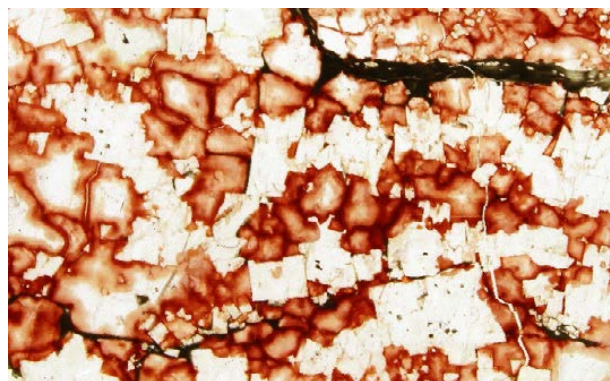
Poikilitic (poikiloblastic) structure (Fig. 2a), with the presence of numerous intergrowths and sylvite inclusions in halite, or halite inclusions in sylvite.

Knitted structure (against isometric granular sylvinite) (Fig. 2b), with a thin aggregate bands/flames of idiomorphic halite microcrystals, placed within the gaps among coarse xenomorphous sylvite grains.

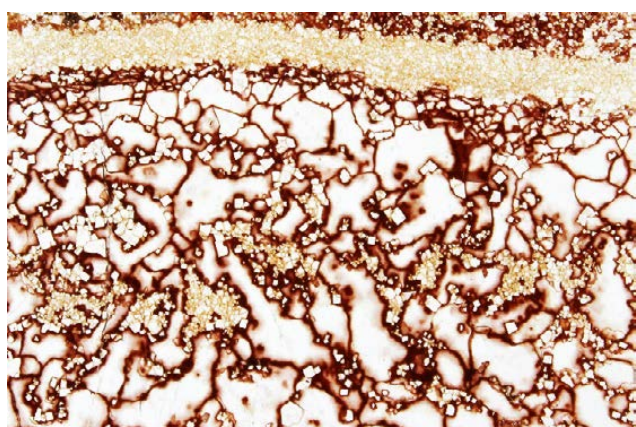
Augen structure (Fig. 2c) with coarse (< 2 cm) sylvite grains of irregular isometric or odd gulf-like shapes, with a clear zonal pattern that is almost colourless and surrounded by mixed aggregates, representing dark brown colour agents, rounded micrograins of sylvites, single inclusions of carnallite, halopelitic material, and halite micrograins. Bands of sylvine acquire disconnected "insular" appearance (augen structure) because of numerous aggregates of microgranular halite (0.05-0.2 mm), with distributed cross-like yellow-brown colouring. Those aggregates surround xenomorphous sylvite gra-



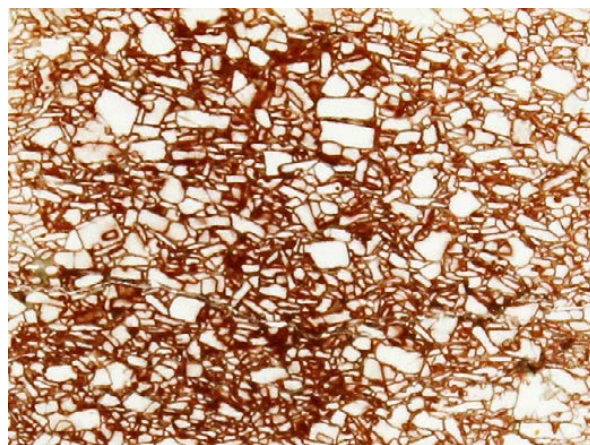
a



b



c

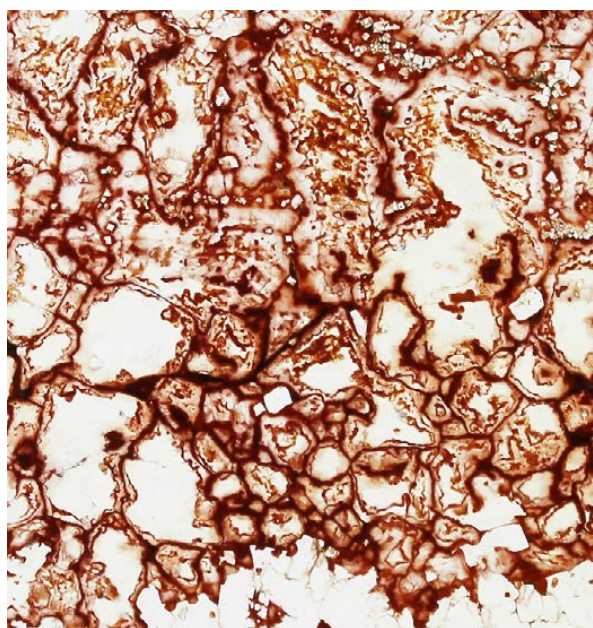


d

Ryc. 1. Główne struktury sylwinatów (rzeczywisty rozmiar w świetle przechodzącym): a – izometryczno-ziarnista; b – podziarnista z miejscami o konstrukcji ramowej; c – ziarna ksenomorficzne o strukturze koronowej; d – ukierunkowana

Fig. 1. Main structures of sylvinites (real size in transmitted light):

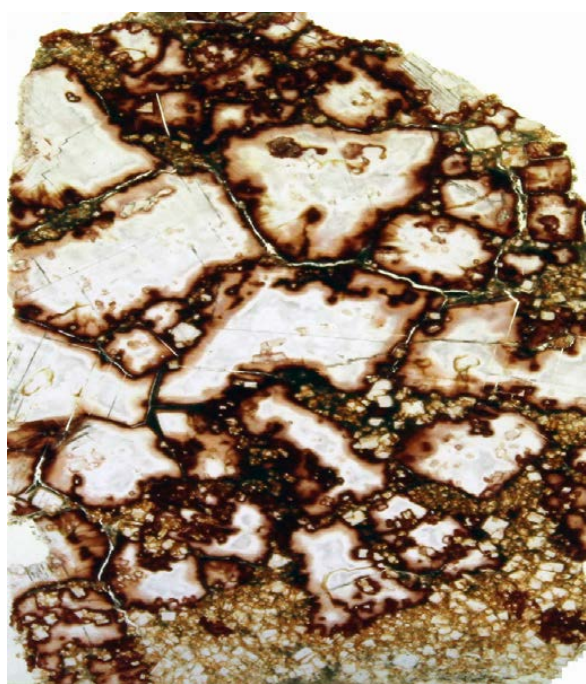
a – isometric-granular; b – subhedral-granular, with some places of frame structure; c – xenomorphous-granular, with crowned structure; d – directive



a



b



c



d

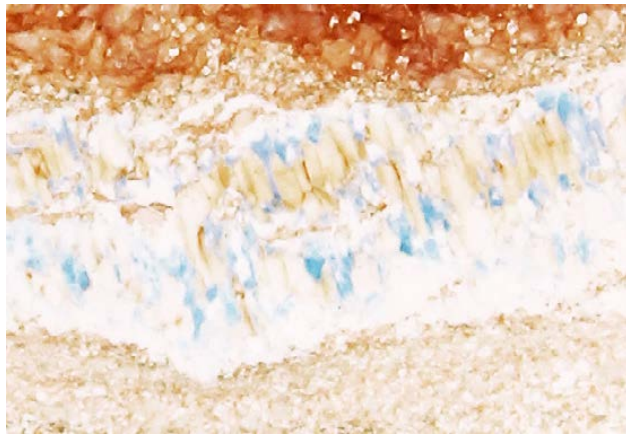
Ryc. 2. Główne struktury sylwinitów (rzeczywisty rozmiar w świetle przechodzącym): a – poikilityczna; b – tkana; c – augen; d – korozyjna
Fig. 2. Main structures of sylvinites (real size in transmitted light): a – poikilitic; b – knitted; c – augen; d – corrosive

ins, registering their corrosion and replacement. The presence of preserved nests of fine-micro granular sylvinites, with intense wax-red colouring, is the evidence of a secondary origin of this structure.

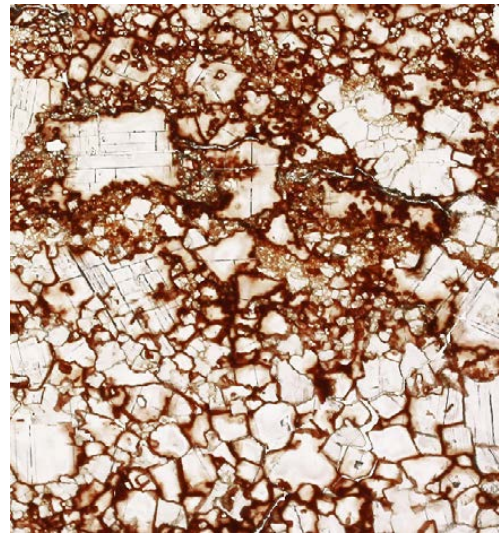
Corrosive structure (Fig. 2d) is characterised by microgranular aggregates of brown halite that surround and corrode sylvite grains.

Residual impregnation structure is distinguished by the inclusions of xenomorphic sylvite grains within the mass of gulf-like microgranular halites, filling the gaps between more idiomorphic and isometric halite grains, sometimes with the traces of zonal structure.

Flame-like fluidal structure (fig. 3a), with irregular parallel-pole sylvite aggregates of elongated shape, often with cla-



a



b



c



d

Ryc. 3. Główne struktury sylwinitów (rzeczywisty rozmiar w świetle przechodzącym): a – płomienista; b – podziarnista z pewnymi cechami deformacji; c – słupowa; d – blokowa

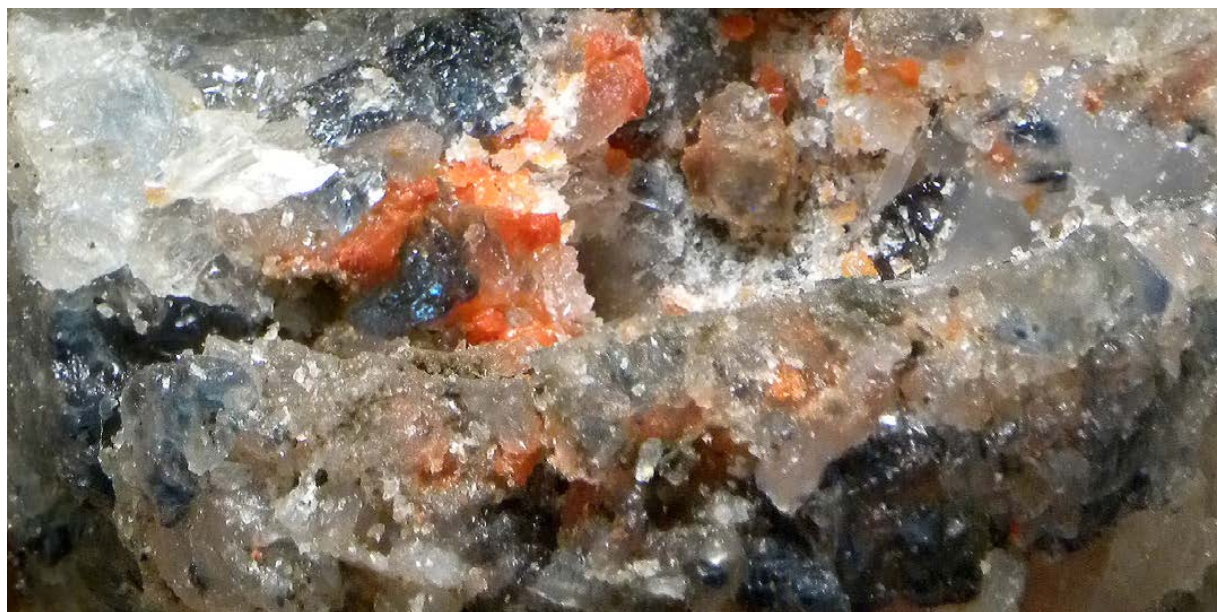
Fig. 3. Main structures of sylvinites (real size in transmitted light): a – flame-like; b – subhedral-granular, with some deformation features; c – spar-like; d – block

rified and discolored features inclined to bedding or to whole orientation of the sylvinite bed.

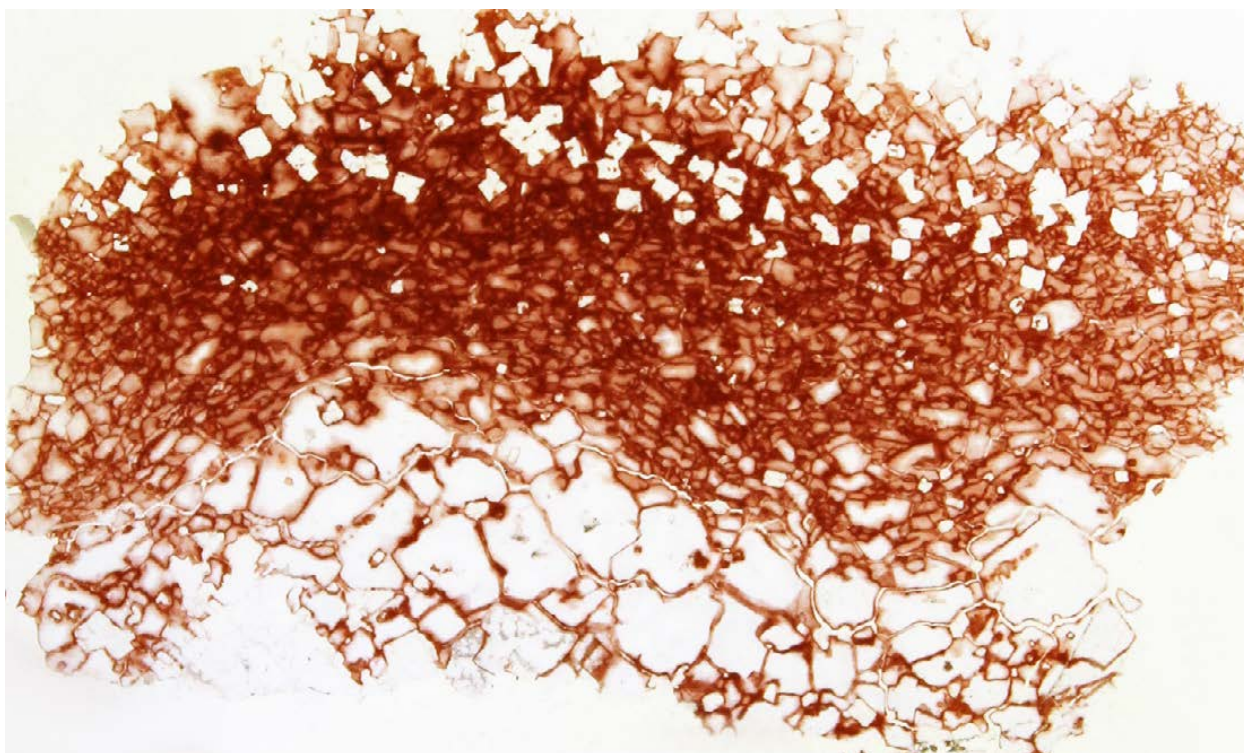
Spar-like structure (Fig. 3c) is characterised by large crystals or compact glassy mass having indistinct outlines between individual crystals of sylvite or distinct cleavage cracks.

Block structure (Fig. 3d), typical for mottled sylvinites.

Subhedral-granular structure (when some minerals are more faceted) is typical for aggregates, with well-marked sequences of deposition (sideronitic or poikilitic). Irregular grain shapes, mutual intergrowths, and curved outlines are observed in xenomorphic granular sylvinites. That type of structure also includes such features as grains and crystals, with



Ryc. 4. Chaotyczna makrotekstura plamistego silwinitu (rzeczywisty rozmiar w świetle przechodzącym)
Fig. 4. Disordely macrotexture of mottled sylvinite (real size in transmitted light)



Ryc. 5. Laminowana mikrotekstura sylwinitu (rzeczywisty rozmiar w świetle przechodzącym)
Fig. 5. Laminated microtexture of sylvinite (real size in transmitted light)

nets of cleavage cracks, deformation attributes (Fig. 3b), and split planes. The nature of the relationships between grains in heterogranular potash rocks allowed us to distinguish other structures: knitted, porphyritic, and corrosive ones.

The textural features of salt rocks underline the nature of mutual locations of grain aggregates in form of laminae, bands, and beds. The macrotexture of the bands of red-colour sylvinites is bedded; the bands of light-colour sylvinites are

characterised by indistinct or impregnated bedded or sometimes bedded microtextures; bands of mottled sylvinites have rather disorderly (Fig. 4).

The common types of microtextures are homogeneous, laminated (Fig. 5), and disorderly (indistinctly laminated). The thinnest laminae (0.5-1.5 cm), located in the bases of potash horizons of the red-colour association, are structurally homogeneous and have disorderly microtextures. Lamina-

ted microtextures of the laminae of red-colour sylvinites are connected with the changes in colouring, grain shape, rock composition, and amounts of non-saliferous impurities. The numbers of laminae of light-colour sylvinites is one or two but it can be even more, creating multi-laminated microtextures. Disorderly and indistinct laminated microtextures are widespread among the bands of light-colour sylvinites.

The primary depositional and postdepositional groups of structures are determined according to the origin of salt rocks. The varieties of structures and textures and their combinations in sylvinites depend on the conditions of salt crystallisation from brine, early deposit lithification and a high capability of dissolution. Sylvinites can be accumulated in the following depositional settings: contemporaneous accumulation in the open system of the evaporate basin at various stages of pegnogenous processes; inflow of waters that are aggressive to all potash rocks, including sylvinites, to the salt deposits. The laminae of red-colour sylvinites, with primary depositional structures, do not lose primary bedding (Fig. 5). Diagenetic and catagenetic processes partially change the primary texture, whereas the secondary multistage processes are widespread among sylvinites of the mottled hypersaline association.

The general features of rock transformation stages include following processes: dissolution or replacement of sylvite by halite, formation of pseudosylvinites, and producing of structures and textures with deformation properties (fracturing, delamination, granulation, dynamoclastic structures, or fluid breccia textures) that occur in any salt rock, regardless of the their occurrence depth and position in local area developments.

The classification of sylvinite is based on two concepts: structure (location, size, and shape of mineral grains or cry-

stals) and texture (features of the spatial arrangement of mineral aggregates of various structures and compositions).

CONCLUSION

The mechanisms of sylvinite formation had a decisive influence on the grain morphology size of sylvite and halite and on structural and texture features. The processing properties of sylvinite ores entirely depend on their origin, since the geological processes created an entire formation environment, expressed through lithology, tectonics, and geological structures. They are closely related to the processing properties of ores and the choice of ore dressing schemes, as the criteria and factors of ore dressing.

REFERENCES

- BOGDANOV N.A., 1984. Proceedings of the 27th International Geological Congress: Moscow, 4-14 August 1984. VNU Science Press, Utrecht, Netherlands.
- PETROVA N.S., SEDUN E.V., LYAHOVICH O.K., 1985. Specific features of potash-bearing zones of the Pripyat trough. *Lithological-facies and geochemical problems of salt accumulation*: 185-194. (in Russian)
- SHCHERBINA V.N., 1959. Types of sylvinite rocks of the Pripyat salt basin. *News of the BSSR's Academy of Science* 3: 129-132. (in Russian)
- SHVANOV Y.N., 1998. Systematics and classification of sedimentary rocks and its analogues. 352. (in Russian)
- YARZHEMSKY Y.Y., 1964. Nomenclature and classification of halogenous rocks of marine types. *Lithology and natural resources*: 65-73. (in Russian)
- ZHARKOVA T.M., 1981. Classification of rocks of saliferous formations. *Common problems of salt accumulation*: 168-186. (in Russian)



Polskie sole kamienne vs sole himalajskie – analiza porównawcza wybranych składników soli spożywczych

Polish rock salts vs Himalayan salts – comparative analysis of selected components of table salts

Joanna JAWORSKA¹, Marcin SIEPAK¹

¹Instytut Geologii UAM, ul. B. Krygowskiego 12, 61-680 Poznań,
e-mail: veronika@amu.edu.pl, Marcin.Siepak@amu.edu.pl

STRESZCZENIE

Badaniom poddano sole spożywcze dostępne w sprzedaży detalicznej na rynku polskim, wykorzystywane w gospodarstwach domowych. Przeanalizowano dwa rodzaje soli powszechnie używanych: pierwszy typ to sole kamienne pozyskiwane w Polsce przez wiodącego producenta; jest to sól kamienna, spożywcza, niejodowana; drugi typ to tzw. sól himalajska pozyskiwana w Pakistanie, biała. W próbkach soli dokonano oznaczeń podstawowych makroelementów oraz szerokiej gamy mikroelementów z wykorzystaniem absorpcyjnej i emisyjnej spektrometrii atomowej z atomizacją płomieniową (F-AAS i F-AES) oraz indukcyjnie sprzężonej plazmy z detekcją mas (ICP-QQQ). Wykonano również oznaczenia części nierozpuszczalnych pod kątem ilościowym i jakościowym. Uzyskane wyniki badań dla obu typów soli porównano ze sobą i odniesiono do danych literaturowych oraz upublicznionych oficjalnych raportów.

Słowa kluczowe: polska sól kamienna, sól himalajska, analiza porównawcza, skład chemiczny, część nierozpuszczalna

ABSTRACT

Table salts available on the Polish market were tested. Two types of commonly salts have been analyzed: the first type is fine-crystalline rock salts from Poland, the second type is so called Himalayan salt obtained in Pakistan. In salt samples, basic macroelements and a wide range of microelements

were determined using absorption and emission atomic spectrometry with flame atomization (F-AAS and F-AES) and inductively coupled plasma with mass detection (ICP-QQQ). Insoluble matter were analysed (qualitative and quantitative) also. The results of chemical analysis both types of salt were compared with data referred in literature and public official reports.

Key words: Polish rock salt, Himalayan salt, comparative analysis, chemical composition, insoluble matter

WSTĘP

Podstawowym składnikiem soli kuchennej (NaCl) jest jon chlorkowy (60,66%) oraz sodowy (około 39,34%; zob. np. Patnaik, 2002; <http://webmineral.com/data/Halite.shtml>), podczas, gdy inne pierwiastki występują w mniejszych ilościach, takie jak potas, wapń, magnez, siarczyn, żelazo, mangan, nikiel, chrom, ołów, kadm, cynk, miedź, lit, kobalt, arsen, selen i wiele innych pierwiastków (Titler, Curry, 2011; Yalçın, Mutlu, 2012; Nafees i in., 2013). Spożycie soli przez człowieka jest zalecane w niewielkich ilościach na poziomie około 5-6 g na dzień (Mancia i in., 2007, 2013; https://nadcisnienietetnicze.pl/ptnt/wytyczne_ptnt). Nadmierna zawartość sodu w diecie powoduje wzrost stężenia tego pierwiastka w osoczu, co przyczynia się do przechodzenia wody z komórek do przestrzeni zewnątrzkomórkowych. W efekcie dochodzi do zatrzymania wody w organizmie, a u niektórych osób może wzrosnąć ryzyko pojawienia się podwyższonego

ciśnienia krwi. W przypadku takich osób należy ograniczyć spożycie sodu do około 1,5-2 g/ dzień (WHO 2003; Mancina i in., 2007, 2013).

Sól kamienna zawiera naturalne domieszki jak siarczan wapnia lub magnezu (CaSO_4 , $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, MgSO_4), chlorek potasu (KCl), magnezu (MgCl_2), wapnia (CaCl_2) (Ladoo, Myers, 1951). Notuje się w niej niewielkie ilości jodku potasu (KI) oraz magnezu (MgI_2). Stosuje się ją przy niedoborach jodu w organizmie człowieka. Ciało ludzkie do prawidłowego funkcjonowania potrzebuje w diecie dziennej zarówno makro jak i mikroelementy, dlatego niezwykle ważna jest analiza chemiczna składu soli spożywczych stosowanych w gospodarstwach domowych, pod kątem poziomu stężeń makro i mikroelementów.

Obecnie na polskim rynku detalicznym – w sklepach, można zakupić szereg odmian soli spożywczych różnie określanych przez ich producentów, w tym: sól kamienną (jodowaną i niejodowaną), kuchenną, sól himalajską, celtycką, hawajską, sól morską, kwiat soli /kwiat soli morskiej – *fleur de sel* i inne. Niektóre z nich są dostępne w kilku odmianach kolorystycznych (np. różowe, czarne). Jednocześnie informacje na ich temat bywają nieprawdziwe, czy też połowiczne, m.in. dotyczy to ich pochodzenia. Niewątpliwie wszystkie wymienione powyżej typy soli powstały w wyniku tych samych procesów i można nazwać solami morskimi. Wytrafiły się jako ewaporaty w zbiornikach o podwyższonym zasoleniu, w warunkach ciepłego, czy też gorącego klimatu. Sole nazywane kamiennymi są niczym innym jak kopalnymi solami morskimi, np. wieku miocenowego, cechsztyńskiego lub prekambryjskiego; liczą sobie odpowiednio dziesiątki albo setki milionów lat. Ich skład chemiczny, szczególnie ciekłych inkluzji uwieczonych w halicie, odzwierciedla skład ówczesnych wód morskich (Warren, 2010; Bąbel, Schreiber, 2014), podobnie jak w tzw. solach morskich wytrącających się współcześnie (ich skład odzwierciedla aktualny chemizm wód).

Producenci często nie podają na opakowaniach informacji dla konsumentów w zakresie składu chemicznego, w szczególności w zakresie szerokiej gamy mikroelementów. W związku z powyższym celowe było przeanalizowanie dwóch popularnych typów soli dostępnych w większości polskich sklepów: soli kamiennych i tzw. soli himalajskiej, na zawartość wybranych makro i mikroelementów oraz części nierozpuszczalnych. Badania te wykonano na pojedynczych próbkach przy losowo wybranym towarze (opakowaniu z kartonu soli) zakupionym w jednym z marketów w Poznaniu.

MATERIAŁ BADAWCZY

Do badań wykorzystano popularne, dostępne w sprzedaży detalicznej dwa wybrane typy soli spożywczej:

1/ jeden typ to sól kamienna biała, drobnokrystaliczna (wielkość ziaren rzadko przekraczała 1 mm, ryc. 1A). Jest ona niejodowana i nie warzona, produkowana i konfekcjonowana

w Polsce. Producent posiada certyfikat systemu zarządzania bezpieczeństwem żywności ISO 22000 : 2005, a laboratorium badań środowiskowych tej kopalni ma certyfikat akredytacji laboratorium badawczego.

Sól ta jest eksploatowana ze złoża Kłodawa od 1949. Kopalnia znajduje się na terenie województwa wielkopolskiego; pod względem geologicznym leży na granicy segmentu kujawskiego, będącego jednostką antyklinorium śródpolskiego, a segmentem mogileńsko-lódzkim, będącym częścią synklinorium szczecińsko-miechowskiego.

Surowiec ten jest wieku cechsztyńskiego (późny perm). Pozyskuje się go metodą tradycyjną, podziemną na sucho. Złoże ma formę jednego z największych i najlepiej rozpoznanych wysadów w Polsce, o długości 25 km, szerokości 1,7 km; zajmuje powierzchnię 37,5 km² (Ślizowski, Saługa, 1996). Stanowi część znacznie większej struktury solnej – Izbica Kujawska-Lęczycza, dłuższej i wąskiej, rozciągającej się w kierunku NW-SE, podobnie jak szereg pozostałych ciał solnych na Niżu Polskim.

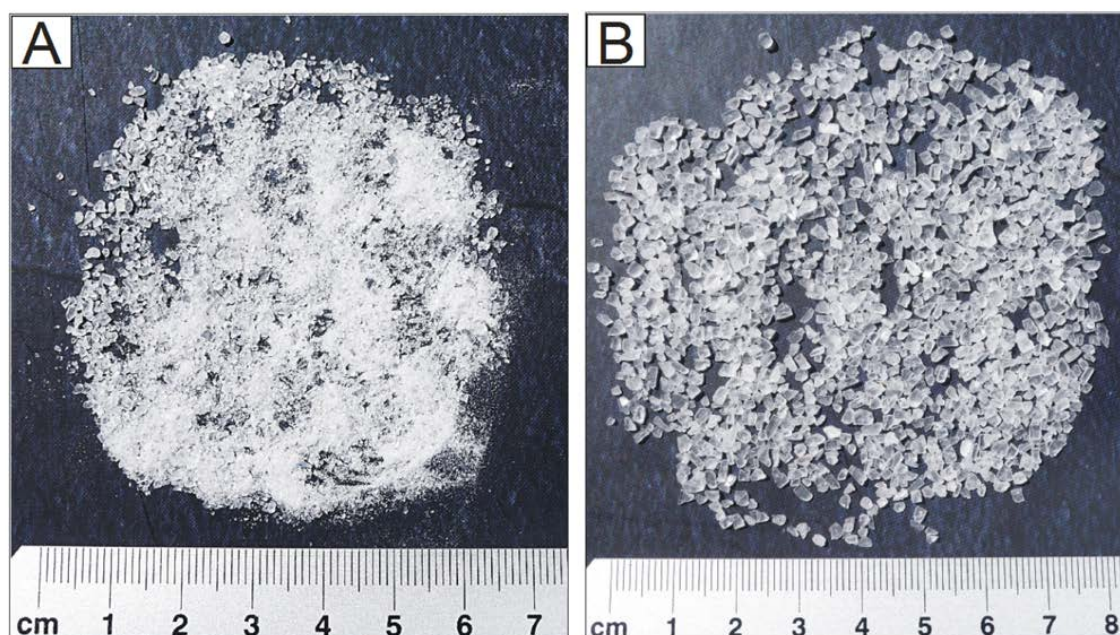
Wewnętrzna budowa wysadu jest skomplikowana - silnie zaburzona (m.in. Poborski, 1957, 1975; Tarka, 1992; Burliga i in., 1995; Burliga, 1997); składa się z dwóch antyklin brzeżnych rozdzielonych w centralnej części synkliną. Złoże tworzą utwory ewaporatowe należące do wszystkich 4 cyklotemów (PZ1-PZ4), których łączną miąższość szacuje się na ok 1400 m. Jądra antyklin i synkliny formują przede wszystkim sole starsze (Na2) drugiego cyklotemu (PZ2); znajdują się one w otoczeniu soli młodszych (Na3, PZ3) lub odpowiednio soli najstarszych (Na1, PZ1) (Poborski, 1957, 1975; Szybist, 2003, 2008; Szybist, Garlicki, 2003). Obok soli kamiennych występują sole potasowo-magnezowe, anhidryty, zubry, i iły. Sole potasowe są również przedmiotem eksploatacji.

Wysad należy do struktur, które na przełomie mezozoiku i kenozoiku przebiły się przez nadkład. Pomijając utwory czwartorzędowe, w jego bezpośrednim otoczeniu rozpoznano silnie wychylone utwory triasu górnego po stronie północno-wschodniej, a po stronie południowo-zachodniej – utwory jury środkowej (Poborski, 1975; Szybist, 2003, 2008; Szybist, Garlicki, 2003). Poza wysadem strop utworów cechsztynu występuje na głębokości ok. 7 km (Poborski, 1971), pod cechsztynem zalegają utwory czerwonego spągowca (dolny perm), a niżej starszego paleozoiku na podłożu prekambryjskim (Dadlez i in., 2000).

Złoże soli kamiennych zostało udokumentowane w kategorii A+B+C1. Jego zasoby oszacowano na 11,865 mld ton; w 2017 roku wydobyto 584 tys. ton tego surowca (raport PIG-PIB, 2018).

2/ drugi typ to tzw. sól himalajska biała, średniokrystaliczna (wielkość ziaren w granicach 1-2 mm, ryc. 1B). Jest ona eksploatowana w Pakistanie, a konfekcjonowana w Polsce.

Na opakowaniu tej soli znajduje się informacja, że surowiec ten jest „wydobywany w Himalajach, ze złóż sprzed 250



Ryc. 1. Polska sól kamienna (A), sól himalajska (B)

Fig. 1. Polish rock salt (A), Himalayan salt (B)

mln lat”. Ponieważ polski sprzedawca nie udzielił informacji z jakiej konkretnie kopalni pochodzi ta sól, można jedynie założyć, że jest ona eksploatowana z jednej z kopalń usytuowanych w paśmie Gór Słonych (ang. *Salt Range*), na południowym skraju płaskowyżu Potwar (ang. *Potwar Plateau*), pomiędzy dolinami rzek Indus i Jhelum w północnej części Pakistanu, w prowincji Punjab. Góry Słone są skrajnie południową częścią dużego nasunięcia, odkutego częściowo od krystalicznego podłoża, i przemieszczonego z południa na północ na równinę Punjab. To nasunięcie jest efektem kolizji płyty Dekanu z płytą euroazjatycką i formowania się orogenu himalajskiego (Góry Słone są najbardziej na południe rozwiniętym pasmem deformacyjnym tego orogenu; Jaumé, Lillie, 1988; Gee, 1989; Pennock i in., 1989; Abir i in., 2015). Na terenie tego pasma działają 3 kopalnie soli: Khewra, Warcha i Kalabagh. Pozostałe 2 kopalnie soli w Pakistanie eksploatują surowiec wieku trzeciorzędowego. Sól kamienna wydobywana w wymienionych trzech kopalniach jest wieku neoproterozoicznego. Najstarszą i największą kopalnią (jedną z największych na świecie) jest Khewra Salt Mines, oficjalnie działająca od 1872 roku. Kopalnie eksploatują sól kamienną należącą do formacji Salt Range (ang. *Salt Range Formation*, Asrarullah, 1967), która ma formę szeregu ciał solnych, kopuł, a miejscami diapirów, rozwiniętych częściowo na uskawkach; generalnie objęta jest intensywną tektoniką solną. Wiek całej formacji ustalono na ediakar- wczesny kambry (Sameeni, 2009; Ghazi i in., 2012). Jej całkowita miąższość jest szacowana na 800-2000 m (Fatmi, 1973; Fatmi i in., 1984; Gee, 1989). Dzieli się na 3 jednostki - ogniwa, przy czym soloński jest najniższy z nich – Billianwala (Sameeni, 2009; Ghazi i in., 2012; Richards i in., 2015). W przypadku kopal-

ni Khewra sól kamienna występuje w obrębie 7 pokładów o sumarycznej miąższości 150 m, eksploatowanych na 18 poziomach, z tego 12 poniżej, a 6 powyżej poziomu terenu (<http://www.pmdc.gov.pk>). Obok soli kamiennych występują sole potasowe które są również przedmiotem eksploatacji.

Powyżej soli kamiennej występują margle ogniwa Sahwal, a jeszcze wyżej gipsy ogniwa Bandarkas. Nad formacją Salt Range zalegają zgodnie utwory kambry, a na nich niezgodnie permu i ponownie niezgodnie paleocenu, eocenu i miocenu. Natomiast w podłożu formacji występują skały krystaliczne płyty dekańskiej; są to należące do proterozoiku kwarcyty, fyllity i metawulkanity (Shah, 1977; Gee, 1989; Bender, Raza, 1995; Grealud i in., 2002; Kazmi, Abbasi, 2008).

Zasoby soli kamiennej Khewra oszacowano na 220 mln ton (Hussain i in., 2017), 600 mln ton (Whitmore, Williams, 1982) natomiast pakistańskie ministerstwo zasobów naturalnych deklaruje ponad miliard ton; w latach 2016-2017 wydobyto w tej kopalni 390 tys. ton tego surowca (<http://www.pmdc.gov.pk>).

METODYKA BADAŃ

W celu oznaczenia makro i mikroelementów w próbkach soli kamiennej rozpuszczono 1 g soli w 100 ml dejonizowanej wody i zakwaszono 65% HNO₃ (Ultrapur, ROMIL-UpA™) do pH<2. W tak przygotowanych roztworach dokonano oznaczeń Fe, Mn, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ z wykorzystaniem absorpcyjnej i emisyjnej spektrometrii atomowej z atomizacją płomieniową (F-AAS i F-AES), model 280FS firmy Varian (Australia) oraz Al, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Cd, Sb, Pb, Sr, Be, Rb, Mo, Y, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb i Lu z wykorzystaniem indukcyjnie sprzężonej plazmy z detekcją mas (ICP-QQQ), model 8800 QQQ, firmy Agilent

Tabela 1. Warunki pracy techniką F-AAS, F-AES i ICP-QQQ**Table 1.** F-AAS, F-AES and ICP-QQQ operating conditions

Spektrometr <i>Spectrometer</i>	Varian 280FS				
Pierwiastek <i>Element</i>	Fe	Mn	Ca	Mg	K
Długość fali (nm) <i>Wavelength (nm)</i>	248.3	279.5	422.7	285.2	766.5
Szerokość szczeliny (nm) <i>Slit (nm)</i>	0.2				
Prąd lampy (mA) <i>Lamp current (mA)</i>	5		F-AES		
Przepływ powietrza (L/min) <i>Air flow (L/min)</i>	13.5				
Przepływ acetyleny (L/min) <i>Acetylene flow (L/min)</i>	2		6.5		
Przepływ podtlenku azotu (L/min) <i>Nitrous oxide flow (L/min)</i>			11		
Przepływ próbki (mL/min) <i>Sample flow (mL/min)</i>	5				
Spektrometr <i>Spectrometer</i>	Agilent 8800 Triple Quad				
Rozpylacz <i>Nebulizer</i>	Micromist				
Interfejs <i>Interface</i>	Stożki Ni <i>Sampler and skimmer cones in Ni</i>				
RF moc generatora <i>RF power</i>	1550 W				
Przepływ gazu plazmowego (argon) <i>Plasma flow rate (argon)</i>	15 (L/min)				
Przepływ gazu ochronnego (argon) <i>Carrier gas flow (argon)</i>	1.08 (L/min)				
Pompa perystaltyczna <i>Nebulizer pump</i>	0.3 (rps)				
S/C temp <i>S/C temp</i>	2 (°C)				
Czas płukania <i>Rinsing time</i>	30.0 (s)				
Ilość powtórzeń <i>Number of repetitions</i>	10				
Przepływ gazu <i>Gas flow rate</i>	He 5.0 (mL/min)				
	O ₂ 0.3 (mL/min) 30 (%)				

Technologies (Japonia). Zoptymalizowane warunki pracy poszczególnych aparatów analitycznych użytych w oznaczeniach zestawiono w tabeli 1.

Sole kamienne zostały przeanalizowane również pod kątem zawartości i składu części nierozpuszczalnych w wodzie. W tym celu rozpuszczono 200 g naważki obu typów soli. Materiał, który nie uległ rozpuszczeniu zebrano na sączku, wysuszono i zważono na wadze analitycznej, co pozwoliło określić udział procentowy części nierozpuszczalnej w badanej próbce. Następnie materiał ten przeanalizowano z użyciem binookularu określając skład petrograficzny dominujących składników.

Podczas oznaczeń techniką absorpcyjnej i emisyjnej spektrometrii atomowej oraz indukcyjnie sprzężonej plazmy z detekcją mas użyto roztworów wzorcowych firmy Merck (Merck, Darmstadt, Niemcy) oraz firmy VHG Labs (Manchester, Anglia). Jako gaz palny podczas analizy F-AAS i F-AES użyto acetyleny analitycznego oraz podtlenek azotu firmy Linde (Linde Gaz Polska Sp. z o.o., Kraków, Polska). Podczas analizy ICP-QQQ jako gaz plazmowy i ochronny użyto argonu, natomiast jako gazy reakcyjne użyto helu i tlenu firmy Linde (Linde Gaz Polska Sp. z o.o., Kraków, Polska).

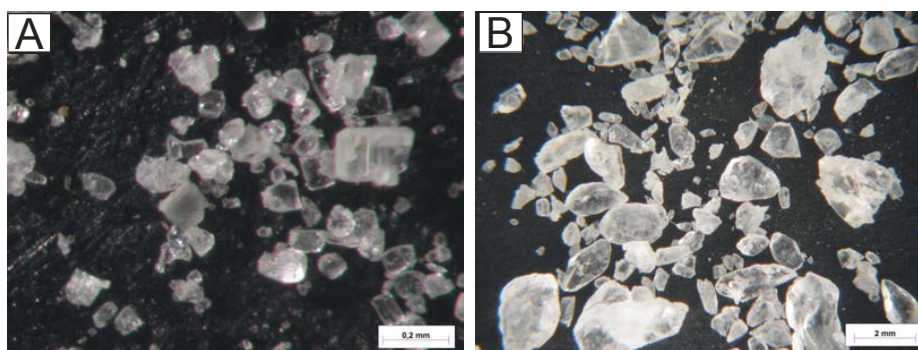
Podczas prac badawczych korzystano z odczynników o odpowiedniej czystości analitycznej oraz wody o oporności $18,2 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$ (w 25°C) oczyszczanej za pomocą urządzenia Direct-Q® UV3 firmy Millipore (Millipore, Francja).

W celu sprawdzenia poprawności wykonywanych analiz wykorzystano następujące certyfikowane materiały odniesienia: SRM 1643e (National Institute of Standards and Technology, USA) oraz SPS-SW2 Batch 125 (Spectrapure Standards as, Oslo, Norwegia).

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Z soli himalajskiej uzyskano 2,4 g części nierozpuszczalnej, a z polskiej soli kamiennej 2,2 g. Oba typy soli charakteryzują się wysoką czystością na poziomie odpowiednio 1,2 % (sól himalajska) i 1,1 % (polska sól kamienna). Dodatkowo obserwacjom poddano materiał, który stanowił nierozpuszczalne rezyduum. W przypadku polskich soli kamiennych głównym składnikiem części nierozpuszczalnej jest anhydryt, którego wielkość ziaren wynosi 0,1-0,2 mm (ryc. 2A). Natomiast dominującym składnikiem rezyduum soli himalajskich są detrytyczne ziarna kwarcu, tylko częściowo lub słabo obtoczone; wielkość większości tych ziaren wynosi 1-2 mm (ryc. 2B).

i $0,26 \text{ mg/kg}$ dla soli himalajskich. W przypadku obu typów soli przy dziennym spożyciu 5 g na dzień nie zostanie przekroczona dopuszczalna dawka manganu wynosząca 5 mg/dzień (WHO, 2003; Nafees i in., 2013). Wyższe stężenia strontu stwierdzono w soli polskiej niż himalajskiej. Podobnie jak w przypadku Al, Co, Ba, Rb (Ryc. 4A). W przypadku metali ciężkich najwyższe stężenia stwierdzono dla cynku. Zarówno dla soli himalajskiej, jak i dla soli polskiej nie zostanie przekroczona dopuszczalna dawka cynku wynosząca 15 mg/dzień (WHO, 2003), przy dziennym spożyciu soli na poziomie 5 g. Podobnie jak w przypadku pozostałych metali ciężkich. Metaloidy (As, Sb i Se) na wyższym poziomie stężeń występują w solach himalajskich, tak samo jak V, Be i Mo (Ryc. 4B). W przypadku metaloidów najwyższe stężenia stwierdzono dla Se, który w odpowiednich dawkach w diecie dziennej może korzystnie wpływać na prawidłowe funkcjonowanie człowieka (Siepak, 2005). Wśród pozostałych analizowanych mikroelementów, zaliczanych do pierwiastków ziem rzadkich (Ryc. 5), dominuje Ce. Na niższym poziomie stężeń występuje Y, Nd i La oraz pozostałe pierwiastki (Ryc. 5). Dla większości pierwiastków ziem rzadkich ich wyższe stężenia występują w soli polskiej (Ryc. 5, Tabela 2).



Ryc. 2. Część nierozpuszczalna, polska sól kamienna (A), sól himalajska (B)
 Fig. 2. Insoluble matter; Polish rock salt (A), Himalayan salt (B)

Uzyskane wyniki badań dla soli kamiennych w zakresie analizowanych makroskładników wskazują, że sól polska charakteryzuje się wyższymi stężeniami wapnia, a niższymi stężeniami magnezu i potasu w stosunku do soli himalajskiej (Ryc. 3, Tabela 2). W przypadku żelaza (Ryc. 4A) wyższymi stężeniami ($28,7 \text{ mg/kg}$) charakteryzuje się sól himalajska niż sól polska ($15,3 \text{ mg/kg}$). Dzienna dawka Fe, obliczona przy założonym spożyciu soli na poziomie dopuszczalnym wynoszącym 5 g na dzień, wynosi $0,144 \text{ mg/dzień}$ i $0,077 \text{ mg/dzień}$ żelaza odpowiednio dla soli himalajskiej oraz soli polskiej i jest niższa niż dopuszczalna wartość wynosząca 15 mg/dzień (WHO 2003; Nafees i in., 2013). W solach kamiennych zawartość manganu wynosiła $0,90 \text{ mg/kg}$ dla soli polskiej

Porównując uzyskane wyniki badań z wynikami zawartymi w raportach producenta soli oraz danymi literaturowymi, można stwierdzić, że skład chemiczny soli kamiennej himalajskiej jest niemal identyczny jak w publikacji Harrier i Ferreira (2003). Natomiast w przypadku polskich soli wyniki badań odbiegają od siebie tylko w zakresie: Sr, Fe i Mo (Tabela 2).

Największe różnice obu typów soli widoczne są przy porównywaniu materiału rezydualnego. W przypadku polskich soli kamiennych dominującym składnikiem części nierozpuszczalnej jest drobnokrystaliczny anhydryt (materiał autochtoniczny) – typowy minerał ewaporatów; jego udział jest deklarowany przez producenta. W solach himalajskich

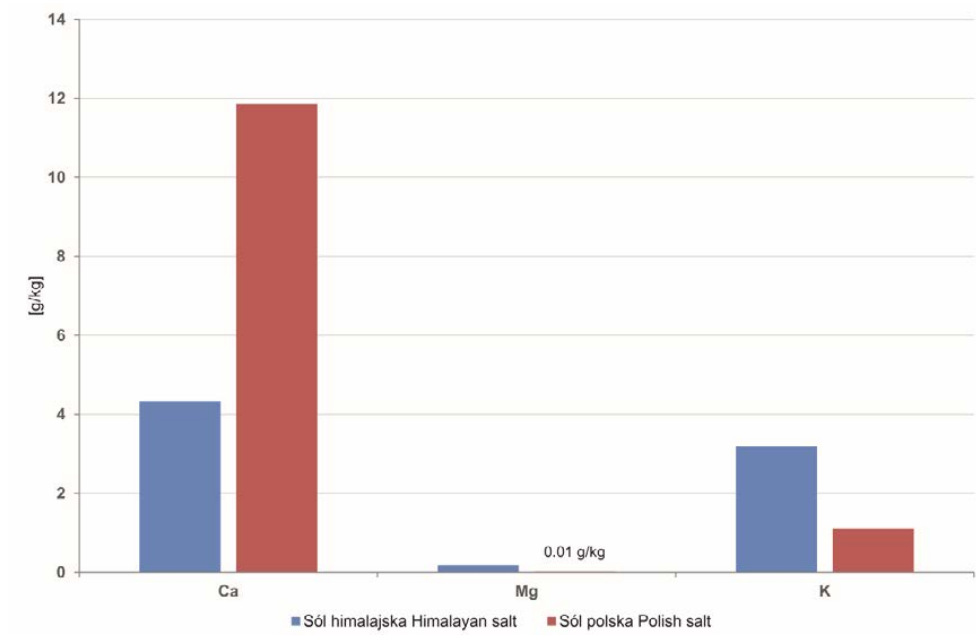
Tabela 2. Stężenia wybranych makro i mikroelementów w polskich solach kamiennych i himalajskich
Table 2. Concentrations of selected macro and microelements in Polish and Himalayan salts

Pierwiastek Element	Ca	Mg	K	Sr	Al	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Pb	Cr	Se	Ba	As	V	Cd	Sb	Źródło Source
	[g/kg]										[mg/kg]									
Sól himalajska Himalayan salt	4.32	0.18	3.18	10.8	0.61	0.26	28.7	0.56	0.14	0.58	1.63	0.18	0.06	0.041	1.21	0.014	0.05	0.001	0.004	Niniejsze badania This paper
Sól polska Polish salt	11.8	0.01	1.09	13.1	0.80	0.90	15.3	1.46	0.18	0.42	1.06	0.05	0.79	0.028	2.05	0.009	0.04	0.001	0.002	
Sól himalajska Himalayan salt	4.05	0.16	3.50	14.0	0.66	0.27	38.9	0.60	0.13	0.56	2.38	0.10	0.05	0.050	1.96	<0.01	0.06	<0.001	<0.01	Hendel, Ferreira 2003
Sól polska Polish salt	12.0	0.01	0.89	4.50	1.47	0.50	2.16	<1.00	b.d.*	<1.00	<1.00	<1.00	0.16	<1.00			b.d.*			Dane z raportu Data from the literature

Pierwiastek Element	Mo	Rb	Be	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Źródło Source
	[mg/kg]																		
Sól himalajska Himalayan salt	0.02	0.07	0.01	0.001	0.001	0.001	0.0002	0.0008	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.00004	0.00005	0.00004	Niniejsze badania This paper
Sól polska Polish salt	0.01	1.06	0.01	0.001	0.000	0.001	0.0002	0.0008	0.0002	0.0002	0.0004	0.0001	0.0002	0.0001	0.0002	0.00005	0.00006	0.00007	
Sól himalajska Himalayan salt	0.01	0.04	<0.01	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<3.00	<0.001	<0.001	<4.00	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	Hendel, Ferreira 2003
Sól polska Polish salt	0.15																		b.d.*

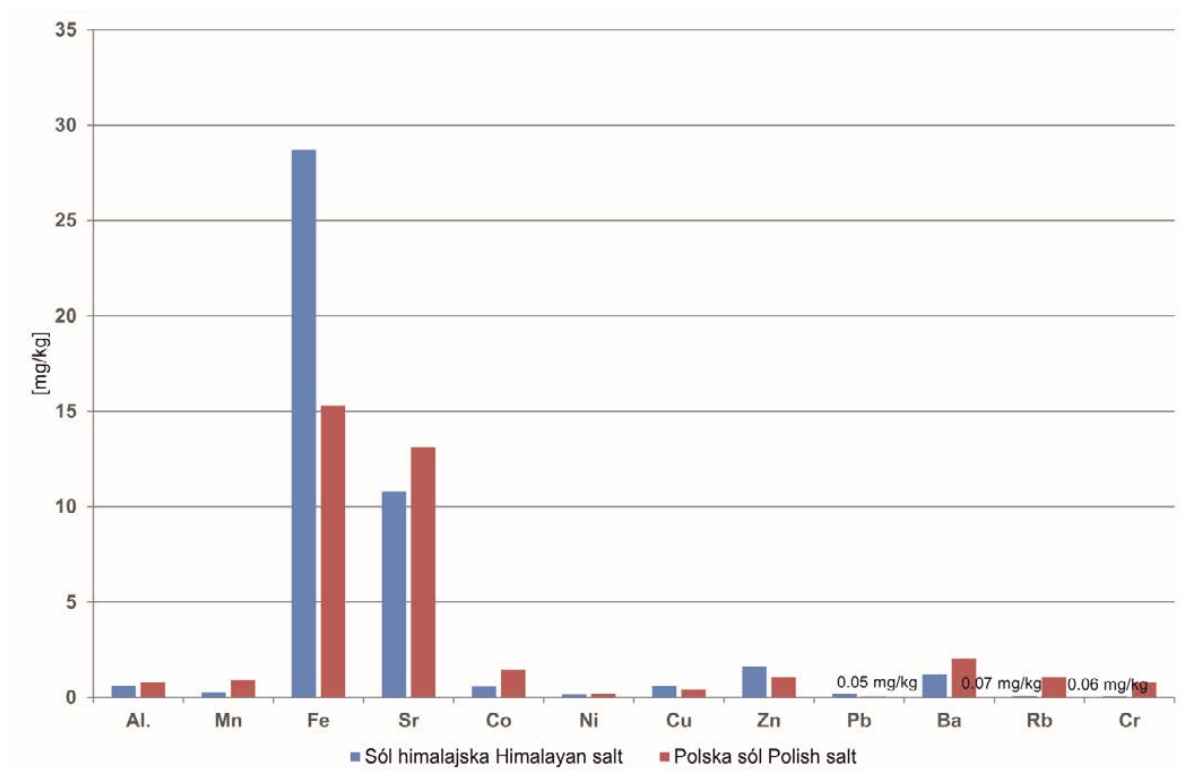
b.d.* - brak danych
no data

Wyniki badań chemicznych zestawiono w tabeli 2., podano je w g/kg oraz mg/kg. Dodatkowo zamieszczono diagramy ilustrujące wyniki analiz (ryc. 3-5).



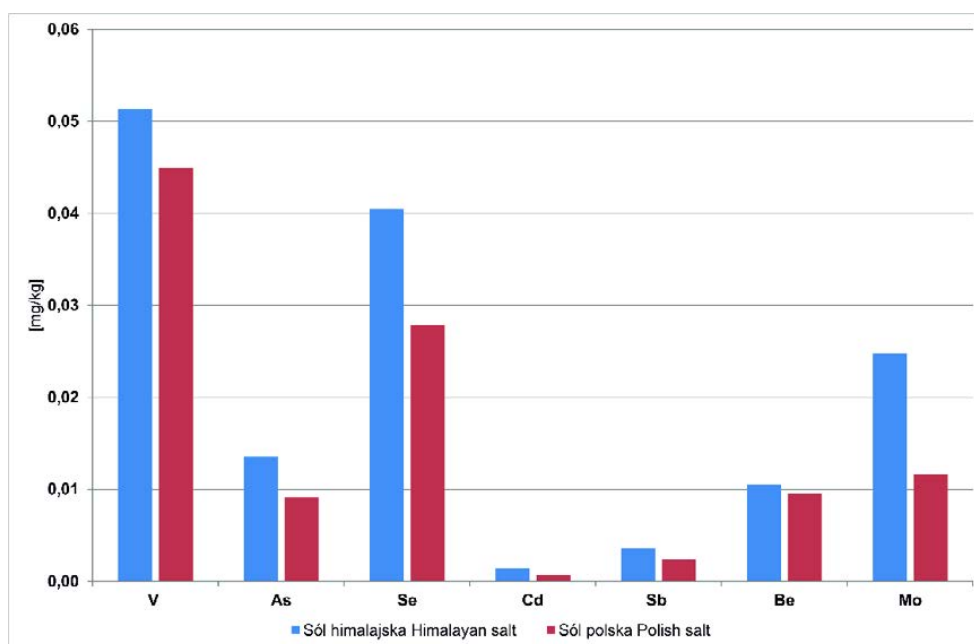
Ryc. 3. Diagram zawartości wybranych makroelementów w polskich solach kamiennych i himalajskich [w g/kg]

Fig. 3. Diagram of the content of selected macroelements in Polish and Himalayan salts [in g/kg]



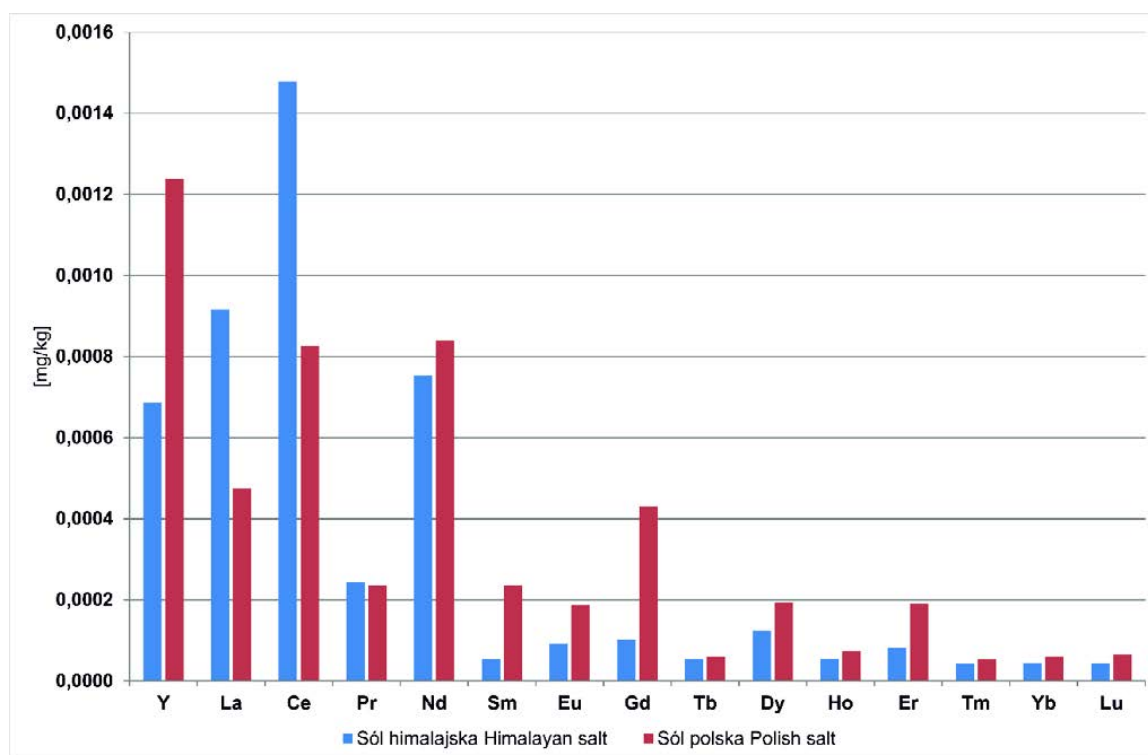
Ryc. 4.A. Diagram zawartości wybranych mikroelementów (cz. 1) w polskich solach kamiennych i himalajskich [w mg/kg]

Fig. 4.A. Diagram of the content of selected microelements (part 1) in Polish and Himalayan salts [in mg/kg]



Ryc. 4.B. Diagram zawartości wybranych mikroelementów (cz. 2) w polskich solach kamiennych i himalajskich [w mg/kg]

Fig. 4.B. Diagram of the content of selected microelements (part 2) in Polish and Himalayan salts [in mg/kg]



Ryc. 5. Diagram zawartości pierwiastków ziem rzadkich w polskich solach kamiennych i himalajskich [w mg/kg]

Fig. 5. Diagram of the content of rare earth elements in Polish and Himalayan salts [in mg/kg]

głównym składnikiem rezydium jest detrytyczny kwarc, zaskakujący wielkością ziaren (1-2 mm). Jest materiałem allochtonicznym, przytransportowanym do zbiornika w którym powstały sole. W podłożu, a więc najbliższym otoczeniu, złóż występują skały krystaliczne, m.in. kwarcyty. Określenie źródła alimentacji tych kwarców mogłoby wskazać kierunki transportu w prekambryjskim zbiorniku: paleopądów lub wiatrów. Niski lub średni stopień obtoczenia kwarców oraz brak łyszczków w obrębie rezydium wskazuje na transport eoliczny tego materiału, a wielkość ziaren może świadczyć o dość dużej sile tych wiatrów.

WNIOSKI

Przeprowadzone badania porównawcze soli kamiennych polskich i himalajskich pozwalają stwierdzić:

1. Sole obu typów mają niemal identyczny udział części nierozpuszczalnej. Wykonane analizy wykazały, że polska sól kamienna charakteryzuje się czystością na poziomie 98,9 % (1,1 % części nierozpuszczalnej) a himalajska – 98,8% (1,2 % części nierozpuszczalnej).
2. Skład mineralny rezydium uzyskanego z rozpuszczenia soli jest odmienny. Polskie sole kamienne zawierają przede wszystkim drobnokrystaliczny anhydryt, który jest składnikiem autochtonicznym, natomiast w solach himalajskich obecny jest średniokrystaliczny, detrytyczny kwarc, będący materiałem allochtonicznym.
3. Sole obu typów mają porównywalny skład chemiczny. Polskie sole kamienne zawierają więcej: Ca, Cr, Mn, Co, Sr, Rb, Ba, natomiast himalajskie: K, Mg, Fe, Cu, Zn, As, Se, Pb. Różnice są jednak nieznaczne biorąc pod uwagę jednostkę w której wyrażono udział poszczególnych pierwiastków.
4. Oba typy soli mają niemal identyczną zawartość pierwiastków ziem rzadkich.
5. Wykonane analizy chemiczne soli w odniesieniu do wyników dostępnych w upublicznionych raportach wskazują bardzo dużą zbieżność w przypadku soli himalajskich, i nieduże różnice w przypadku polskich soli kamiennych.

CONCLUSIONS

The comparative studies of Polish and Himalayan salts (Fig. 1.) have shown that:

1. Salts of both types have an almost identical proportion of the insoluble matter. The analyses showed that Polish rock salt is characterized by purity of 98.9% (1.1% of insoluble part) and Himalayan - 98.8% (1.2% of insoluble part).
2. The mineral composition of residue from the dissolution of salt is different. Polish rock salts contain primarily the fine-crystalline anhydrite, which is an autochthonic component, while in the Himalayan salt is present a medium-crystalline, detrital quartz, which is allochthonous material (Fig. 2.).

3. Salts of both types have a comparable chemical composition. Polish rock salts contain more: Ca, Cr, Mn, Co, Sr, Rb, Ba, while Himalayan: K, Mg, Fe, Cu, Zn, As, Se, Pb. The differences, however, are insignificant (see Tab. 2 and Fig. 3-4).
4. Both types of salt have an almost identical content of rare-earth elements (Fig. 5).
5. Chemical analyses of salts in compare to the results available in the published reports indicate a convergence in the case of Himalayan salt, and small differences in the case of Polish rock salt (see Tab. 2).

PODZIĘKOWANIA

Prace badawcze zostały sfinansowane ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ramach projektu nr 215862/E-336/SPUB/2017/1.

LITERATURA/REFERENCE

- ABIR I.A., KHAN S.D., GHULAM A., TARIQ S., SHAH M.T., 2015. Active tectonics of western Potwar Plateau–Salt Range, northern Pakistan from InSAR observations and seismic imaging. *Remote Sensing of Environment*, 168: 265-275.
- ASRARULLAH P., 1967. Geology of the Khewra Dome.- Proceedings of the 18th and 19th combined session of All Pakistan Science Conference, University of Sind, Hyderabad, Part-III, Abstracts, F3-F4.
- BABEL M., SCHREIBER B.C., 2014. Geochemistry of Evaporites and Evolution of Seawater In: Holland H. D., Turekian K. K. (eds.) *Treatise on Geochemistry*, 2nd ed., v. 9, Sediments, Diagenesis, and Sedimentary Rocks (Mackenzie ed.). Oxford, Elsevier, 483-560.
- BENDER F.K., RAZA H.A. (eds.), 1995. *Geology of Pakistan*, Gerbrüder Borntraeger, Berlin.
- BURLIGA S., 1997. Ewolucja wysadu solnego Kłodawy. *Mat. Konferencji: Tektonika solna regionu kujawskiego*. Wyd. Wind, Wrocław, 66-76.
- BURLIGA S., KOLONKO P., MISIEK G., CZAPOWSKI G., 1995. Kłodawa Salt Mine. Upper Permian (Zechstein) profile from basin center, salt tectonics, mineral transformations, salt mining problems. XIII International Congress on Carboniferous-Permian Guide to Excursion A3., 45-54. Warszawa: Wyd. PIG.
- DADLEZ R., MAREK S., POKORSKI J. (red.), 2000. *Mapa geologiczna Polski bez utworów kenozoiku*. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- FATMI A.N., AKHTAR M., ALAM G.S., HUSSAIN I., 1984. *Guide Book of Geology of the Salt Range: Geological Survey of Pakistan*, First Pakistan Geological Congress, 14 p.
- FATMI A.N., 1973. Lithostratigraphic units of the Kohat-Potwar Province, Indus Basin. *Geological Survey of Pakistan Memoir*, 10, 80 p.
- GEE E.R., 1989. Overview of the geology and structure of the Salt Range, with observations on related areas of northern Pakistan. In: Malinconico L.L., Lillie R.J. (eds) *Tectonics of the western Himalayas*. *Geol. Soc. Am. Spec. Pap.* 232: 95-112.
- GHAZI S., MOUNTNEY N.P., BUTT A.A., SHARIF S., 2012. Stratigraphic and palaeoenvironmental framework of the Early Permian sequence in the Salt Range, Pakistan. *Journal of Earth System Science*, 121 (5): 1239-1255.

- GRELAUD S., SASSI W., LAMOTE D.F., JASWAL T., ROURE F., 2002. Kinematics of eastern Salt Range and South Potwar Basin (Pakistan): a new scenario. *Marine and Petroleum Geology*, 19: 1127–1139.
- HENDEL B., FERREIRA P., 2003. Water & Salt: The Essence Of Life: The Healing Power of Nature. Natural Resources. <https://academic.oup.com/eurheartj/article/28/12/1462/2844990#56889485>
- HUSSAIN W., ABBAS S.Q., HUSSAIN S., 2017. Structure Investigation, Economics and Stratigraphy of the Paleozoic, Mesozoic and Cenozoic Sequence in the Vicinity Eastern and Western side of the Salt Range, Punjab Pakistan. *Journal of Computer Science of Newports Institute of Communications and Economics*, 6: 95-116.
- JAUME S.C., LILLIE R.J., 1988. Mechanics of the Salt Range-Potwar Plateau, Pakistan. A fold-and-thrust belt underlain by evaporites. *Tectonics*, 7: 57-71.
- KAZMI A.H., ABBASI I.A., 2008. Stratigraphy and historical geology of Pakistan. Department and NCE in Geology, University of Peshawar, Peshawar, 524 p.
- LADOO R.B., MYERS W.M., 1951. Non-metallic minerals. Mac Graw-Hill Book Company, New York — Toronto — London, 605 p.
- MANCIA G. i in., 2007. 2007 Guidelines for the management of arterial hypertension: The Task Force for the Management of Arterial Hypertension of the European Society of Hypertension (ESH) and of the European Society of Cardiology (ESC). *European Heart Journal*, 28 (12): 1462–1536.
- MANCIA i in., 2013. Wytyczne ESH/ESC dotyczące postępowania w nadciśnieniu tętniczym w 2013 roku. *Nadciśnienie tętnicze*, 17 (2): 69-168.
- NAFEES M., KHAN N., RUKH S., BASHIR A., 2013. Analysis of rock and sea salts for various essentials and inorganic elements. *J. Sc. & Tech. Univ. Peshawar*, 37 (1): 9-20.
- PATNAIK P., 2002. *Handbook of Inorganic Chemicals*. New York, NY: McGraw-Hill Professional.
- PENNOCK E.S., LILLIE R.J., ZAMAN A.S.H., YOUSAF M., 1989. Structural interpretation of seismic reflection data from eastern Salt Range and Potwar Plateau. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 73: 841-857.
- POBORSKI J., 1957. Cechsztyńska struktura solna Izbica-Łęczycza. *Przegląd Geologiczny*, 1: 31-32.
- POBORSKI J., 1971. Przewrót w poglądach na tektonikę wysadów solnych w Regionie Kujawskim. Materiały z kolokwium. *Prace Inst. Min. i Złóż Sur. Min. AGH w Krakowie*.
- POBORSKI J., 1975. Studium geologiczno-górnictwa krajowych złóż soli. *Kraków*.
- RICHARDS L., KING R.C., COLLINS A.S., SAYAB M., KHAN M.A., HANEEF M., MORLEY C.K., WARREN J., 2015. Macrostructures vs Microstructures in Evaporite Detachments: An Example from the Salt Range, Pakistan. *Journal of Asian Earth Sciences*, 113: 922-934.
- SAMEENI S.J., 2009. The Salt Range: Pakistan's unique field museum of geology and paleontology.- In: Lipps J.H. & Granier B.R.C. (eds.), *PaleoParks - The protection and conservation of fossil sites worldwide*.- Carnets de Géologie / Notebooks on Geology, Brest, Book 2009/03, Chapter 6.
- SHAH S.M.I., 1977. Stratigraphy of Pakistan.- Geological Survey of Pakistan. *Memoirs, Quetta*, 12, 138 p.
- SIEPAK M., 2005. Arsen, antymon i selen w wodach podziemnych doliny rzeki Warty pomiędzy Poznaniem a Śremem. Wydawnictwo Naukowe Bogucki, *Geologos 7, Monographiae 1*, ISBN 83-89290-97-9, Poznań, 172 p.
- ŚLIZOWSKI K., SAŁUGA P., 1996. Surowce mineralne Polski. Surowce chemiczne, sól kamienna. Wydaw. Centrum PPGSMiE PAN, Kraków, 179 p.
- SZYBIST A., 2003. Struktury solne regionu kujawskiego [w]: Bujakowski W. (red.), *Termiczna charakterystyka górotworu w rejonie wysadów solnych*. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków, 15–37.
- SZYBIST A., 2008. Geologiczna charakterystyka wybranych struktur solnych na Niżu Polski [w]: Kortas G. (red.), *Ruch górotworu w rejonie wysadów solnych*. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków, 13–65.
- SZYBIST A., GARLICKI A., 2003. Geologiczna charakterystyka regionu kujawskiego [w]: Bujakowski W. (red.), *Termiczna charakterystyka górotworu w rejonie wysadów solnych*. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków, 7–14.
- TARKA R., 1992. Tektonika wybranych złóż soli w Polsce na podstawie badań mezostrukturalnych. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 147: 1–47.
- TITLER R.V., CURRY P., 2011. Chemical analysis of major constituents and trace contaminants of rock salt. Pennsylvania Department of Environmental Protection.
- WARREN J.K. 2010. Evaporites through time: Tectonic, climatic and eustatic controls in marine and nonmarine deposits. *Earth-Science Reviews*, 98: 217–268.
- WHITMORE F.C., WILLIAMS M.E., 1982. Resources for the twenty-first century. Washington D.C: U.S. Geological Survey, 175 p.
- WHO: Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases. 2003, Report of a Joint FAO/WHO expert consultation., WHO, Geneva.
- YALÇIN S., MUTLU I.H., 2012. Structural Characterization of Some Table Salt Samples by XRD, ICP, FTIR and XRF Techniques. *Acta Physica Polonica*, 121: 50-52.
- raport PIG-PIB, 2018. Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce wg stanu na 31.12.2017. http://geoportal.pgi.gov.pl/css/surowce/images/2017/pdf/bilans_2017.pdf
- <http://webmineral.com/data/Halite.shtml>
- https://nadcisnienietetnicze.pl/ptnt/wytyczne_ptnt
- Zasady postępowania w nadciśnieniu tętniczym — 2015 rok. Wytyczne Polskiego Towarzystwa Nadciśnienia Tętniczego <http://www.pmdc.gov.pk>
- <http://www.sol-klodawa.com.pl/certyfikaty>
- <http://www.tervisekool.ee/tervisekool/failid/File/lugemist/tervislk%20toitumine/Certificate%20of%20the%20Analysis%20of%20the%20Original%20Himalayan%20Crystal%20Salt.pdf>



Analiza porównawcza rurociągów PE i stalowych w aspekcie techniczno-ekonomicznym

Comparative analysis of PE and steel pipelines in technical and economic aspect

Andrzej BŁASZCZYK¹, Grzegorz KOŻBA²

¹P.B.W. „Hydro-Pomp” Sp. z o.o., ul. Wróblewskiego 19, 93-578 Łódź, email: blaszczyk@hydropomp.com.pl

²P.B.W. „Hydro-Pomp” Sp. z o.o., ul. Wróblewskiego 19, 93-578 Łódź, email: grzegorz.kozba@hydropomp.com.pl

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono rezultaty przeprowadzonych badań hydraulicznych oraz badań stanu technicznego rurociągu solanki użytkowanego od ponad 40 lat.

Opisano szereg zagadnień związanych z jego pogarszającym się stanem technicznym i zmniejszającą się przepustowością. Wskazano czynniki wpływające na postępującą korozję oraz scharakteryzowano przyczyny zwiększania się z upływem czasu oporu hydraulicznego rurociągu.

Zgromadzone dane posłużyły do porównania zastosowania w przemyśle chemicznym rurociągów stalowych i polietylenowych do transportu solanki w aspekcie techniczno-ekonomicznym.

Analiza porównawcza rurociągu stalowego i polietylenowego wykazała zalety wykorzystania rurociągów wykonanych z PE.

Słowa kluczowe: korozja rurociągów stalowych; rurociągi polietylenowe; rurociągi solanki

ABSTRACT

The article presents the results of carried out hydraulic tests and technical condition tests for over 40 years old brine pipeline.

A number of issues related to its deteriorating technical condition and decreasing bandwidth have been described. The factors influencing the progressive corrosion and the reasons for increasing the hydraulic resistance of the pipeline over time were identified.

The collected data was used to compare the use of pipelines made of steel and polyethylene for application in brine industry in terms of technical and economic.

Comparative analysis of steel and polyethylene pipeline showed advantages of the use of pipelines made of PE.

Key words: corrosion of steel pipelines; polyethylene pipelines; brine pipelines

Oznaczenia użyte w treści:

- D [m] - średnica wewnętrzna rurociągu,
- Q [m³/h] - wydajność [m³/h],
- c [m/s] - prędkość przepływu solanki przez rurociąg,
- g [m/s²] - przyspieszenie ziemskie,
- Dh [m] - wysokość strat hydraulicznych,
- k_p [m/(m³/h)²] - wyznaczony z pomiarów współczynnik oporu,
- k_r [m] - chropowatość bezwzględna powierzchni wewnętrznej rurociągu,
- k_t [m/(m³/h)²] - teoretyczny współczynnik oporu,
- ν [m²/s] - lepkość kinematyczna,
- ρ [kg/m³] - gęstość medium.

WPROWADZENIE

Z badań i analiz przeprowadzonych na rurociągach użytkowanych w przemyśle chemicznym wynika, że eksploatacja rurociągów solanki wykonanych ze stali stwarza szereg problemów, związanych nie tylko z korozją, ale przede wszystkim ze zwiększającymi się w czasie eksplo-

atacji narostami na ściankach wewnętrznych, co skutkuje wzrostem oporów hydraulicznych i co za tym idzie stratami energii zużywanej na transport medium. Alternatywą dla rurociągów stalowych mogą być rurociągi wykonane z polietylenu (PE), cechujące się małym i niezmiennym w czasie współczynnikiem oporu hydraulicznego.

Badania stanu technicznego rurociągu stalowego

Przedmiotem omówionych niżej badań i analiz jest eksploatowany od ponad 40 lat stalowy rurociąg solanki DN 500 (508x11) o długości około 28 km, transportujący solankę o gęstości 1260 kg/m³ (wartość podana przez użytkownika/inwestora) z kopalni soli do zakładów chemicznych. Obszar badań obejmował dwa główne kierunki prac:

- badania stanu technicznego rurociągu ze szczególnym uwzględnieniem wpływu korozji na dopuszczalne ciśnienia (Krakowiak i in., 2013),
- badania i obliczenia hydrauliczne mające na celu określenie możliwości zwiększenia przepustowości rurociągu (Błaszczuk i in., 2013).

Metodyka badawcza stanu technicznego rurociągu

Zakres badań obejmował wykonanie pomiarów w warunkach terenowych oraz laboratoryjnych. W badaniach wykorzystano następujące techniki badawcze (Krakowiak i in., 2013):

- ocena wizualna,
- pomiar grubości ścianki rurociągu,
- pomiar grubości powłoki izolacyjnej,
- badania oddziaływania prądów błędzących na rurociąg,
- pomiar odczynu gruntu w pobliżu rurociągu,
- pomiar rezystywności gruntu w pobliżu rurociągu,
- badania laboratoryjne i ocena wpływu szybkości korozji oraz prędkości przepływu solanki na trwałość instalacji.

Wyniki badań stanu technicznego rurociągu solanki

Ocena wizualna

W trakcie prac stwierdzono, że w części komór studni spustowych istnieją duże ubytki zarówno materiału izolacyjnego, jak i ubytki ścianki komory. W studniach występuje wyciekanie solanki z zaworów i złączy kołnierzowych. Dostająca się do wnętrza studni woda z opadów atmosferycznych lub woda gruntowa prowadzi do jej rozcieńczenia i tym samym do zwiększenia jej agresywności w stosunku do stali. Jest to przyczyną silnej korozji rurociągu od strony zewnętrznej, która jest widoczna na zamieszczonych zdjęciach (Ryc. 1 i Ryc. 2). Korozji ulegają wszystkie elementy znajdujące się w studni spustowej: zawór odcinający, zawory spustowe oraz kompensatory montażowe.

Pomiar grubości ścianki rurociągu

Na podstawie przeprowadzonych ultradźwiękowych pomiarów grubości ścianek rurociągu solanki w wybranych miejscach (we wszystkich 49 studniach spustowych oraz w 60 wykopach odkrywających odcinki proste i łuki) stwierdzono, że najmniejsze grubości ścianek występują w studniach spustowych. Nie stwierdzono istotnego zmniejszenia grubości ścianek na łukach i odcinkach prostych, poza miejscami zlokalizowanymi w bezpośredniej bliskości studni spustowych.

Spośród wszystkich mierzonych grubości ścianek rurociągu w Tabeli 1 przedstawiono wartości najniższe, zmierzone w komorach spustowych. W Tabeli 1 podano miejsce, grubości ścianki i wartość średnią grubości ścianki dla danej lokalizacji.

Tabela 1 - Najniższe grubości ścianek (Krakowiak i in., 2013)

Table 1 - The lowest wall thicknesses (Krakowiak et al., 2013)

Studnia spustowa	Grubości ścianki, mm			
	nr 1	8,45	8,38	8,27
nr 2	7,77	7,73	7,37	Xśr = 8,13
nr 6	7,20	4,79	4,20	Xśr = 5,42
nr 10	5,56*	7,70	7,79	Xśr = 9,00
nr 13	6,68	5,93	6,40	Xśr = 6,94

*Pogrzbioną czcionką oznaczono wartości mniejsze niż wyliczona minimalna (bez uwzględnienia naddatków na korozję) grubość ścianki 6,79 mm dla ciśnienia 2,5 MPa.

W większości studni zaobserwowano bardzo silną korozję rurociągów od strony zewnętrznej. Związane jest to z obecnością rozcieńczonej wodą solanki, która w dużo bardziej agresywnym stopniu działa na powierzchnię metalu niż stężona solanka wewnątrz rurociągu. Występuje także naturalne pełzanie solanki na połączeniach kołnierzowych znajdujących się w komorach, o czym świadczą wykwity solne na armaturze (Ryc. 1).



Ryc. 1. Wykwity solne w studni spustowej solanki (Krakowiak i in., 2013)

Fig. 1. Salt efflorescence in a brine drain chamber (Krakowiak et al., 2013)



Ryc. 2. Wnętrze studni spustowej solanki (Krakowiak i in., 2013)
Fig. 2. Interior of a brine drain chamber (Krakowiak et al., 2013)

Pomiar grubości powłoki izolacyjnej

Badania izolacji w każdym z wykopów wskazały, że stan izolacji jest ściśle związany z rodzajem gruntu, w którym rurociąg jest posadowiony. Grunty piaszczyste o stosunkowo grubym ziarnie, które są dobrze natlenione stwarzają warunki do utleniania izolacji. Utlenianie masy bitumicznej, która stanowi bazę pokrycia ochronnego nie zachodzi w całej masie izolacji, ale ma charakter powierzchniowy. Izolacja w tych warunkach staje się krucha i bardzo łatwo można ją zdejmować z powierzchni rurociągu. Zupełnie inna sytuacja występuje, gdy rurociąg posadowiony jest w gruncie o charakterze gliniastym. Słaby dostęp tlenu do powierzchni izolacji sprawia, że warstwa chroniąca rurociąg jest praktycznie niezmienną.

W najgorszym stanie izolacja znajduje się w studniach spustowych solanki oraz w ich sąsiedztwie.

Na odcinkach rurociągu, w wykopach usytuowanych bezpośrednio przy studni, obserwuje się obniżoną przyczepność izolacji (lub nawet jej całkowity brak) na skutek korozji powodowanej solanką ze studni (Ryc. 3). Problem dotyczy wszystkich bez wyjątku studni, które badano.



Ryc. 3. Korozja podpowłokowa z utratą przyczepności (Krakowiak i in., 2013)

Fig. 3. Sub-coating corrosion with loss of adhesion (Krakowiak et al., 2013)



Ryc. 4. Brak powłoki oraz widoczna utrata przyczepności izolacji do podłoża (Krakowiak i in., 2013)

Fig. 4. No coating and visible loss of adhesion of the insulation to the substrate (Krakowiak et al., 2013)

Ryc. 4 obrazuje stan przy wyjściu rurociągu z ziemi, na granicy ośrodków ziemia – powietrze. Powłoka uległa praktycznie całkowitej degradacji. Może być to związane z wyciekami solanki i nasycaniem terenu wodą z solą co prowadzi do przyspieszonej degradacji powłoki malarskiej.

Na degradację izolacji rurociągu należy zwrócić szczególną uwagę w okolicy zbiorników wodnych, gdzie awaria rurociągu może znacząco oddziaływać na środowisko.

Badania oddziaływania prądów błędnych na rurociąg

Badania oddziaływania prądów błędnych (tzw. interferencji) wykonano na odcinku rurociągu znajdującym się w pobliżu zelektryfikowanej trakcji kolejowej. Miejsca pomiarów wybrano na podstawie analizy sytuacji terenowej, dokonanej pod kątem usytuowania źródła prądów błędnych i badanego obiektu.

Analiza sytuacji terenowej oraz uzyskane wyniki pomiarów wskazują, iż w kilku rejonach, prądy błędne wpływające do rurociągu w pobliżu trakcji kolejowej mogą z niego wypływać do ziemi w miejscach defektów izolacji zewnętrznej i prowadzić do korozji elektrolitycznej.

Pomiar odczynu gruntu w pobliżu rurociągu

Odczyn gruntu w okolicy rurociągu jest parametrem niezbędnym do oceny jego korozyjności. Wykonano go pehametrem używanym do polowej, szybkiej oceny odczynu gleby. Zmierzone odczyny pH przyjmują wartości z zakresu 6,5÷7. Wyjątek stanowi miejsce o pH 4÷5.

Pomiar rezystywności gruntu w pobliżu rurociągu

Pomiar rezystywności gruntu pozwala powiązać wilgotność gleby, zawartość soli z przypuszczalną szybkością korozji stali w tym środowisku. W Tabeli 2 zestawiono wartości rezystywności gruntu z potencjalną szybkością korozji materiału.

Tabela 2. Rezystywność gleby a korozja stali konstrukcyjnej
(Krakowiak i in., 2013)

Table 2. Soil resistivity and corrosion of structural steel
(Krakowiak et al., 2013)

Odporność korozyjna	Rezystywność gleby / $\Omega \times \text{cm}$	Potencjalna szybkość korozji
Niska	0 - 2000	wysoka
Średnia	2000 - 10000	średnia
Wysoka	10000 - 30000	niska
Bardzo wysoka	Ponad 30000	mało prawdopodobna korozja

Badania laboratoryjne i ocena wpływu szybkości korozji oraz prędkości przepływu solanki na trwałość instalacji

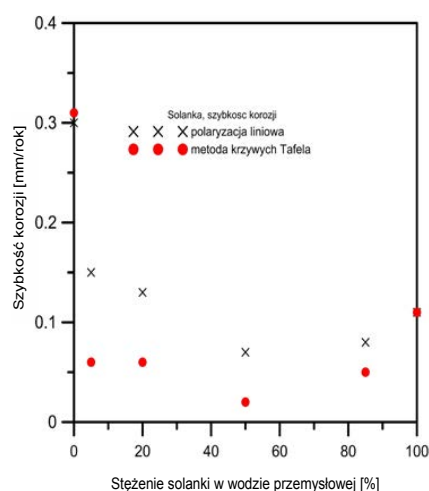
Sama stężona solanka, biorąc pod uwagę szybkość korozji materiału rurociągu w tym medium, nie stwarza poważnych problemów korozyjnych. Świadczą o tym grubości ścianki, które zostały zmierzone na prostych odcinkach rurociągu. Ubytki grubości po wieloletniej działalności rurociągu są znikome. Problemem jest korozja od strony zewnętrznej, która jest obserwowana przede wszystkim w studniach. Dzieje się tak w wyniku wyciekania solanki oraz jej naturalnego „pełzania” oraz dostawania się wody z zewnątrz (woda gruntowa oraz opady atmosferyczne), co powoduje rozcieńczanie solanki.

Wzrost stężenia soli w wodzie prowadzi do gwałtownego zmniejszenia się ilości rozpuszczonego tlenu. Porównanie szybkości korozji stali w wodzie przemysłowej (zawierającej chlorki w ilości charakterystycznej dla danego rejonu kraju) oraz solanki wskazują na ponad trzykrotnie wyższą wartość szybkości korozji w wodzie naturalnej. Roztwory zostały sporządzone przy użyciu wody przemysłowej oraz solanki o zawartości 166g NaCl na 1 litr solanki. W przypadku roztworu o zerowym stężeniu solanki użyto do badania wody przemysłowej.

Na podstawie uzyskanych danych laboratoryjnych przedstawiono wykresy zależności szybkości korozji stali od stężenia solanki w wodzie przemysłowej (Ryc. 5).

Najwyższe szybkości korozji uzyskuje się dla czystej wody przemysłowej. Wraz ze zwiększaniem stężenia solanki szybkości korozji zmniejsza się. Dla solanek o najwyższych stężeniach uzyskane szybkości korozji są równe lub niższe od akceptowalnych. Można zatem spodziewać się szybkości korozji rzędu 0,1 - 0,12 mm/rok.

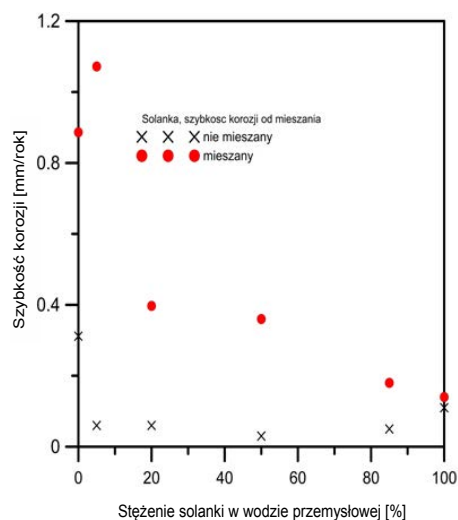
Biorąc pod uwagę obliczoną minimalną grubość ścianki dla ciśnienia roboczego 2,5 MPa równą 6,79 mm. Stwierdzono, iż mniejsza od niej grubość ścianki występuje jedynie w jednej studni spustowej. W pozostałych miejscach w których przeprowadzono pomiary nie stwierdzono grubości niższej niż progowa.



Ryc. 5. Szybkości korozji stali w zależności od stężenia solanki
(Krakowiak i in., 2013)

Fig. 5. Corrosion rates of steel depending on the concentration of the brine (Krakowiak et al., 2013)

W celu określenia przewidywanego bezpiecznego czasu eksploatacji rurociągu dla zakładanego maksymalnego przepływu 900 m³/h przeprowadzono w laboratorium badania szybkości korozji w solance, wykorzystując w tym celu metodę krzywych Tafela, przy mieszanym roztworze symulującym przepływ (Ryc. 6).



Ryc. 6. Szybkości korozji stali w zależności od stężenia solanki i intensywności mieszania (Krakowiak i in., 2013)

Fig. 6. Speed of corrosion of steel depending on concentration of brine and mixing intensity (Krakowiak et al., 2013)

Na podstawie uzyskanych wyników oszacowano szybkość utraty grubości ścianek na 0,26 mm/rok. Należy przy tym pamiętać, że są to najwyższe możliwe wartości, które charakteryzują powierzchnię pozbawioną produktów korozji, ulegających niszczeniu z najwyższą możliwą szybkością. Z czasem powstające produkty korozji ograniczają szybkość korozji stabilizując ją na dużo niższym poziomie.

BADANIA HYDRAULICZNE RUROCIĄGU STALOWEGO SOLANKI

Metodyka badań hydraulicznych (Błaszczyk i in., 2013)

Pomiary wykonywano w trakcie normalnej pracy instalacji, gdy solankę tłoczono z kopalni soli do zakładów chemicznych.

Podstawowe parametry rurociągu:

Średnica rurociągu DN500 (508x11)

Długość rurociągu ~ 27800 m

Rzędna początku (kolektor pompowni) 131,14 m

Rzędna końca (króciec ssawny pompy P-0) 93,34 m

Podane przez użytkownika/inwestora parametry solanki:

- gęstość $\rho = 1260 \text{ kg/m}^3$,

- lepkość kinematyczna $\nu = 1,8 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

W trakcie dokonywania pomiarów rejestrowano następujące wielkości:

- $Q \text{ [m}^3/\text{h]}$ - przepływ odczytany z przepływomierza pompowni solanki,
- $p_{is} \text{ [bar]}$ - ciśnienie w rurociągu przesyłowym w miejscach studni odpowietrzających,
- $p_{kk} \text{ [bar]}$ - ciśnienie w kolektorze tłocznym pompowni,
- $P_{s-p-0} \text{ [bar]}$ - ciśnienie na ssaniu pompy podporowej.

Przeprowadzono pomiary różnic ciśnień pomiędzy następującymi kolejnymi odcinkami rurociągu przesyłowego: KK-S1, S1-S2, S2-S3, S3-S4, S4-S13, S13-S17, S17-S21, S21-S37, S37-S45, S45-P-0, gdzie:

- KK - przetwornik ciśnienia na kolektorze tłocznym pompowni,
- P-0 - króciec ssawny pompy P-0.

Zgodnie z zależnościami podanymi poniżej na podstawie wyników pomiarów różnic ciśnień, wartości prze-

pływów Q oraz pomierzonych rzędnych miejsc pomiarów „z”, wyliczono straty wysokości ciśnienia Δh_{0-1} na badanych odcinkach oraz współczynniki oporu przepływu z pomiarów k_p stanowiące niezależną od przepływu miarę oporu hydraulicznego badanych odcinków.

$$\Delta h_{0-1} = \left(\frac{p_0 - p_1}{\rho g} \right) + (z_0 - z_1) + \left(\frac{c_0^2 - c_1^2}{2g} \right) \quad (1)$$

$$\text{gdzie: } c = \left(\frac{4Q}{\pi D^2} \right) \quad (2)$$

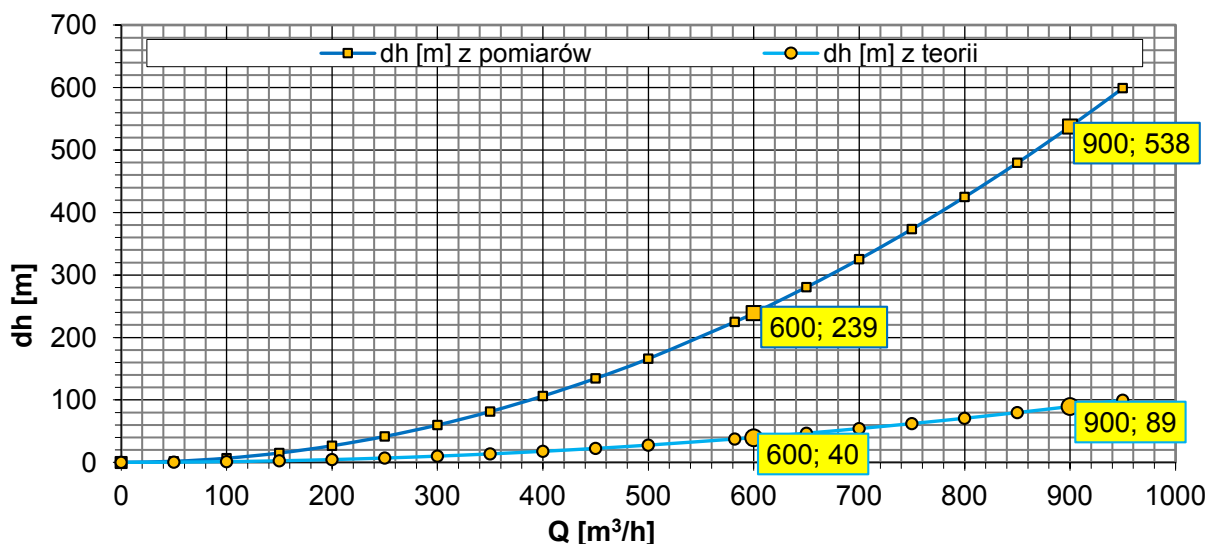
$$k_p = \frac{\Delta h_{0-1}}{Q^2} \text{ [m/(m}^3/\text{h)}^2] \quad (3)$$

W celu interpretacji wyników doświadczalnych dla wszystkich badanych odcinków, jak również dla całej długości rurociągu przesyłowego, dla których wyznaczono na podstawie pomiarów współczynniki oporu k_p , przeprowadzono obliczenia teoretycznych współczynników oporu k_t . Obliczenia wykonano dla wartości chropowatości bezwzględnej $k = 0.1 \text{ mm}$ odpowiadającej nowemu rurociągowi.

Wyniki badań i obliczeń hydraulicznych rurociągu solanki

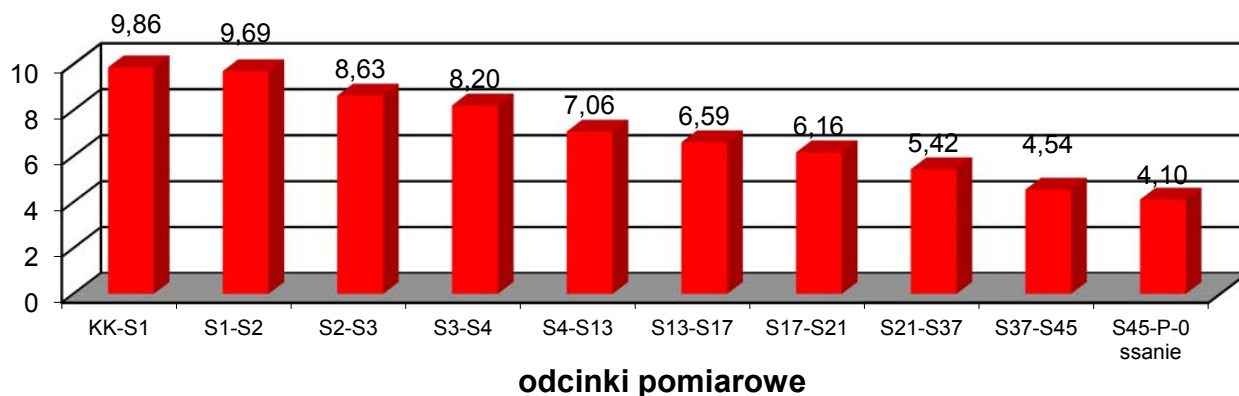
Przeprowadzono porównanie wyników badań hydraulicznych i obliczeń teoretycznych. Wyznaczony na podstawie pomiarów współczynnik oporu $k_p = 6,55 \cdot 10^{-4} \text{ [m/(m}^3/\text{h)}^2]$ całego rurociągu (od KK do P-0) porównano ze współczynnikiem oporu $k_t = 1,05 \cdot 10^{-4} \text{ [m/(m}^3/\text{h)}^2]$ wyliczonym teoretycznie.

Iloraz współczynników oporu całego rurociągu: $k_p/k_t = 6,23$ określa krotność wzrostu strat wysokości na badanym rurociągu w stosunku do analogicznego rurociągu o tej samej średnicy i długości, lecz o chropowatości bezwzględnej ścianek $k=0,1 \text{ mm}$.



Ryc. 7. Porównanie dynamicznych charakterystyk oporu hydraulicznego $dh=f(Q)$ rurociągu solanki od kopalni soli do zakładów chemicznych, z pomiarów oraz dla obliczeń teoretycznych dla analogicznego nowego rurociągu o chropowatości względnej $k=0,1 \text{ mm}$ (Błaszczyk i in., 2013)

Fig. 7. Comparison of dynamic characteristics of hydraulic resistance $dh=f(Q)$ brine pipeline from salt mine to chemical plants, from measurements and for theoretical calculations for analogous new pipeline with relative roughness $k=0.1 \text{ mm}$ (Błaszczyk et al., 2013)



Ryc. 8. Iloraz współczynnika strat dla mierzonych odcinków rurociągu z pomiarów (k_p)

i teoretycznego współczynnika strat (k_t) dla nowego rurociągu o chropowatości względnej $k_r=0,1m$ (Błaszczyk i in., 2013)

Fig. 8. Quotient of loss coefficient for measured pipeline sections from measurements (k_p) and theoretical loss coefficient (k_t) for a new pipeline with relative roughness $k_r=0,1m$ (Błaszczyk et al., 2013)

Na Ryc. 7 przedstawiono porównanie wykresów strat wysokości w funkcji przepływu dla rurociągu badanego i dla analogicznego nowego rurociągu o tej samej średnicy oraz długości, lecz o chropowatości bezwzględnej ścianek $k=0,1mm$.

Z wykresu wynika znaczny wzrost oporów hydraulicznych w stosunku do analogicznego nowego rurociągu.

Przeprowadzono analizę oporów hydraulicznych obecnie eksploatowanego rurociągu DN500 i analogicznego nowego rurociągu o $k=0,1mm$ dla wydajności $900 m^3/h$.

Wykres z Ryc. 8 ilustruje rozkład wzrostu współczynnika oporów hydraulicznych dla poszczególnych odcinków wzdłuż badanego rurociągu przesyłowego solanki. Największe wzrosty współczynników oporu hydraulicznego występują na początku rurociągu, zmniejszając się stopniowo wraz

z odległością od kopalni osiągając najmniejsze wartości na końcu rurociągu przed zakładami chemicznymi. Powyższe wnioski z badań potwierdzone zostały podczas oględzin fragmentów wyciętych z rurociągu w trakcie likwidacji armatury odcinającej kilku studni spustowych.

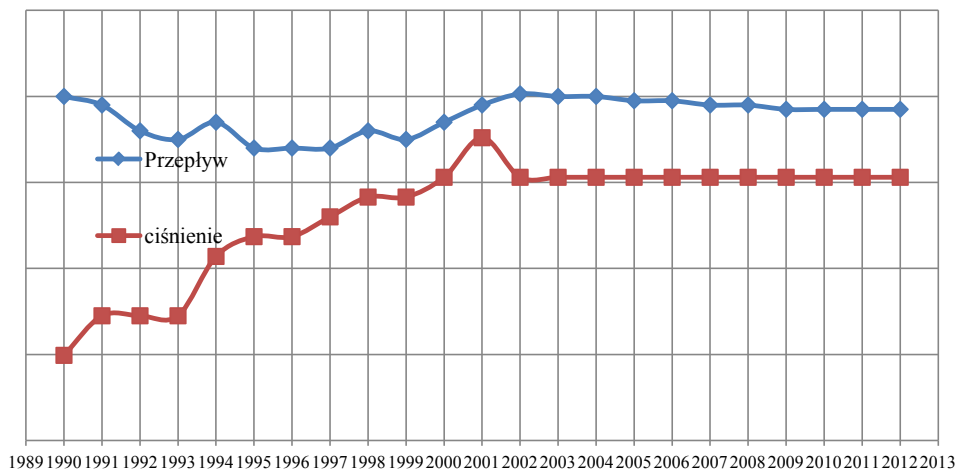
Wzrost współczynnika strat ciśnienia k_p , będącego miarą oporów rurociągu w stosunku do założeń obliczeniowych powoduje ograniczenie przepustowości uniemożliwiające oczekiwane przez użytkownika zwiększenie strumienia objętości przesyłanej solanki do $900 m^3/h$ bez budowy pompowni pośrednich, oraz generuje wysokie straty energii potrzebnej do przetransportowania medium.

Powodem wzrostów oporu w badanym stalowym rurociągu są narosty na jego wewnętrznych ściankach o znacznych rozmiarach, które przyjmują formy spłaszczonych piramidki



Ryc. 9. Narosty na ściankach wewnętrznych rurociągu solanki DN500

Fig. 9. Accretions on the inside walls of the brine pipeline DN500



Ryc. 10 - Przebiegi wydajności i ciśnienia wybranej instalacji solanki notowanych w latach 1990-2012 (ze względu na tajemnicę firmy użytkownika/inwestora dokładnych wartości liczbowych nie podano)

Fig. 10 - Graph of efficiency and pressure of the selected brine installation, recorded in the years 1990-2012 (due to the secret of the user/investor company, exact numerical values are not given)

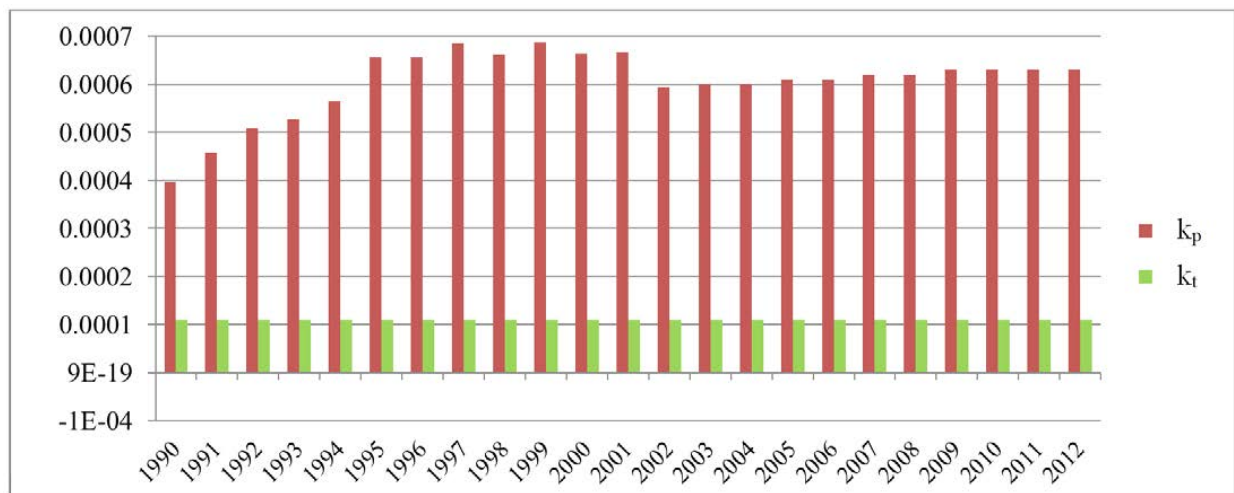
zwróconych ostrzami przeciwnie do kierunku przepływu, albo formy zafalowań o ostrych grzbietach poprzecznych do osi rurociągu. Narosty nabudowują się w obecności związków żelaza (Ryc. 9).

Bazując na notowanych w latach 1990-2012 hydraulicznych parametrach pracy rurociągu (Ryc. 10) oraz znając dane geometryczne rurociągu i parametry solanki wyliczono współczynniki oporu k_p , będące miarą oporu hydraulicznego dla lat 1990-2012 oraz dla porównania wyliczono odpowiednie teoretyczne współczynniki oporu k_t (dla chropowatości bezwzględnej $k=0.1\text{mm}$) i przedstawiono na wykresie (Ryc. 11). Wykres obrazuje charakter zmian w czasie oporów hydraulicznych, które w porównaniu z nowym rurociągiem osiągają bardzo znaczne wartości. Opory spowodowane są osadzeniem się na ściankach specyficznymi ukształtowanymi narostów widocznych na Ryc. 9.

Wnioski z badań rurociągu solanki

Jak wynika z przeprowadzonych badań stanu technicznego stalowego rurociągu przetłaczającego solankę, korozja nie musi stanowić problemu. Należy monitorować i utrzymywać właściwy stan zabezpieczenia antykorozyjnego, zwłaszcza w studniach spustowych i odpowietrzających oraz na wejściach w grunt i wyjściach z gruntu. Konieczne jest też zabezpieczenie szczelności komór studni spustowych i odpowietrzających tak, by nie narażała znajdujących się tam fragmentów rurociągu i armatury na kontakt z wodą lub agresywnym roztworem solanki o niskich stężeniach (Krakowiak i in., 2013).

Krytycznym problemem jest narastanie na wewnętrznych ścianach stalowego rurociągu struktur zawierających związki żelaza, które bardzo dławią przepływ. Uniemożliwia to oczekiwane przez użytkownika zwiększenie strumienia objętości



Ryc. 11 - Porównanie współczynników oporu rurociągu k_p i k_t dla parametrów hydraulicznych notowanych w latach 1990 ÷ 2012

Fig. 11 - Comparison of pipeline resistance coefficients k_p and k_t for hydraulic parameters, recorded in the years 1990-2012

przesyłanej solanki do 900 m³/h bez budowy pompowni pośrednich i znacznie zwiększa koszty energii przetwarzania solanki (Błaszczuk i in., 2013).

Wydaje się celowe rozważenie budowy rurociągów do transportu solanki z innych materiałów niż stal. Powinny to być materiały, które cechują się małym i niezmiennym w czasie współczynnikiem oporu hydraulicznego oraz odporne na zarastanie ścianek wewnętrznych. Materiałem który spełnia te kryteria jest polietylen (PE).

Przykładem potwierdzającym powyższe cechy jest polietylenowy rurociąg zrzutowy solanki do Zatoki Puckiej w Kosakowie. Podczas ponad 8 lat eksploatacji rurociąg PE100 SDR11 PN 16 DN355 wykazuje stałe parametry przepływowe, co świadczy o braku zjawiska zarastania i potwierdza niezmiennosc w czasie współczynnika chropowatości bezwzględnej.

Rurociągi PE charakteryzują się całkowitą odpornością na korozję, w tym na oddziaływanie solanki i agresywnego środowiska gruntowego występującego na przykład w obrębie równin torfowych i bagiennych. Nie wymagają żadnych dodatkowych zabezpieczeń ani od wewnątrz, ani od zewnątrz. Charakteryzują się całkowitą odpornością na korozję wżerową, powodowaną działaniem tzw. prądów błędzących (Rządkowski, 2004).

Wysoka odporność na działanie chemikaliów potwierdzona została w ISO/TR 10358.

Dla stalowych rurociągów solankowych ze względu na znaczne pogarszanie się w czasie parametrów hydraulicznych istnieje konieczność podnoszenia ciśnienia dyspozycyjnego lub budowy pompowni pośrednich.

PORÓWNANIE KOSZTÓW CYKLU ŻYCIA RUROCIĄGU STALOWEGO I POLIETYLENOWEGO (KOŹBA, MAKSYMOWICZ, 2015)

1. Koszty inwestycyjne

Porównanie przeprowadzono dla rurociągu solankowego, który był przedmiotem badań opisanych w poprzednich roz-

działach, na odcinku z kopalni soli do zakładów chemicznych. Wykorzystując dane z badania stanu technicznego istniejącego rurociągu stalowego oraz przeprowadzone analizy hydrauliczne dla analogicznych warunków, dobrano parametry rurociągu PE.

Do porównania przyjęto rury stalowe DN 508x11 oraz rury PE100 SDR 9 PN20 560x62,5. Ceny rur stalowych 682,1 zł/mb i cenę rur z PE 935,7 zł/mb przyjęto na podstawie cen podanych przez producentów.

Na Ryc. 12 przedstawiono porównanie kosztów inwestycyjnych dla rurociągu solankowego o długości 28 km w wykonaniu stalowym i PE (Kozba, Maksymowicz, 2015).

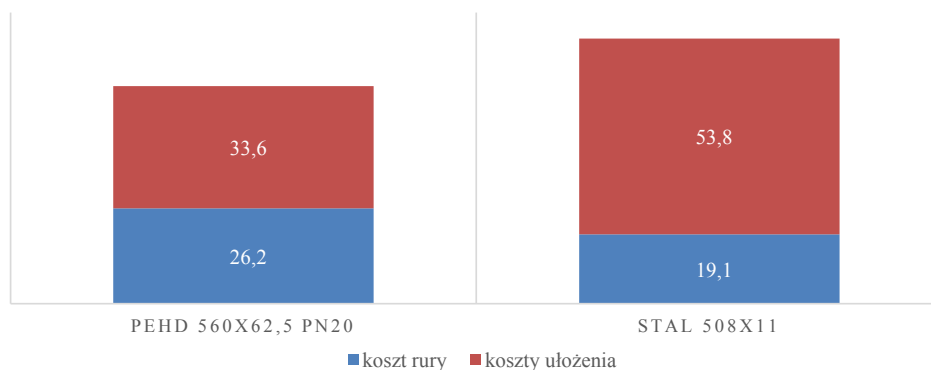
2. Projektowanie i układanie

W procesie projektowania rurociągów stalowych należy uwzględnić naddatek ścianki na ewentualną korozję zewnętrzną i wewnętrzną, zaprojektować ochronę anodową lub katodową. Biorąc pod uwagę tendencje rurociągów stalowych do znacznego zmniejszenia przepustowości należy przewidzieć konieczność podnoszenia ciśnień dyspozycyjnych. Są to dodatkowe koszty, które nie wystąpią w przypadku zastosowania rurociągów polietylenowych.

Ze względu na znacznie większe wartości przyrostów i spadków ciśnienia dla rurociągów stalowych niż polietylenowych na skutek występowania zjawiska uderzenia hydraulicznego (Kodura, 2018) koszt elementów zabezpieczających będzie większy dla rurociągów stalowych niż dla rurociągów PE.

Zarówno dla rurociągów stalowych jak i PE istnieje możliwość uzyskania zmian kierunku poprzez łagodne wyginanie w trakcie układania. Dla rurociągów PE minimalne promienie gięcia $R=20÷30$ DN będą znacznie mniejsze niż dla rurociągów stalowych.

Rurociągi stalowe dostarczane są w odcinkach 11 m, a PE mogą być dostarczane w odcinkach 15 m, co przyspiesza realizację, poprzez minimalizację liczby połączeń.



Ryc. 12. Graficzne porównanie kosztów inwestycyjnych dla rurociągu solankowego o długości 28 km w wykonaniu stalowym i PE (Kozba, Maksymowicz, 2015)

Fig. 12. Graphic comparison of investment costs for a brain pipeline with a length of 28 km in steel and PE versions (Kozba, Maksymowicz, 2015)



Ryc. 13. Zapotrzebowanie na energię konieczną do przesyłu solanki rurociągiem stalowym w poszczególnych latach okresu 1990÷2012.

Fig. 13. Demand for energy necessary to transfer brine through a steel pipeline in individual years of the period 1990÷2012.

Rurociągi stalowe łączone są poprzez spawanie. Miejsca połączeń wymagają specjalistycznych badań (radiograficznych lub ultradźwiękowych) i zabezpieczeń powierzchniowych. Zgrzewanie doczołowe rurociągów PE gwarantuje jednorodność materiałową, ciągłość i wytrzymałość rurociągu. Strefa zgrzewu rurociągów PE nie wymaga żadnych dodatkowych operacji (malowanie, izolowanie itp.).

W przypadku układania rurociągów w trudnych warunkach gruntowych (np. szkody górnicze, grunty niestabilne) rurociągi stalowe wymagają zastosowania kompensatorów. Dla rurociągów PE nie ma takiej potrzeby.

Możliwość pokonywania przeszkód terenowych z wykorzystaniem przewiertów, czy techniki zatapiania rurą stalową lub polietylenową znacznie ułatwia i przyspiesza prowadzenie prac. Do realizacji tego typu przekroczeń wybierany jest przede wszystkim polietylen.

3. Koszty eksploatacyjne

a) Koszty remontów i awarii

W analizie kosztów cyklu życia nie uwzględniono kosztów remontów i awarii, należy jednak wspomnieć iż tu istnieje wyraźna przewaga rurociągów wykonanych z PE w porównaniu do stalowych, bowiem nie ulegają one korozji, są bardziej odporne na uderzenia hydrauliczne (Kodura, 2018) i zachowują szczelność również w trudnych warunkach gruntowo wodnych.

b) Koszty energii

Na podstawie notowanych w latach 1990÷2012 hydraulicznych parametrach pracy rurociągu solanki, dokonano analizy zapotrzebowania na energię dla rurociągu stalowego. Dla tych samych wymaganych przepływów określono ciśnienia tłoczenia w przypadku gdyby rurociąg wykonany został z polietylenu i określono zapotrzebowanie na energię.

Oszacowanie kosztów eksploatacyjnych transportu solanki rurociągiem stalowym

Korzystając z wykresu (Ryc. 10) parametrów hydraulicznych notowanych w latach 1990 ÷2012 określono zapotrzebowanie na energię w poszczególnych latach.

Do obliczeń przyjęto:

- gęstość $\rho = 1260 \text{ kg/m}^3$,
- sprawność całkowita zespołu pompowego $\eta = 0,8$.

Wynik przedstawiono na wykresie (Ryc. 13).

Sumaryczne zużycie energii dla rurociągu oszacowano na 80 020 MWh.

Oszacowanie kosztów eksploatacyjnych transportu solanki dla tych samych strumieni przepływu jak w latach 1990÷2012 dla rurociągu polietylenowego.

Korzystając z wymaganego przepływu dla poszczególnych lat, określono wymagane ciśnienie dyspozycyjne dla rurociągu polietylenowego PE100 SDR 9 PN20 560x62,5 i na tej podstawie oszacowano zapotrzebowanie na energię dla poszczególnych lat.

Dla rurociągów PE współczynnik chropowatości bezwzględnej wynosi $k=0,01\text{mm}$ jest niezmienny w czasie.

Nie występuje kumulacja osadów co potwierdzają doświadczenia na KPMG Kosakowo i PGWIR.

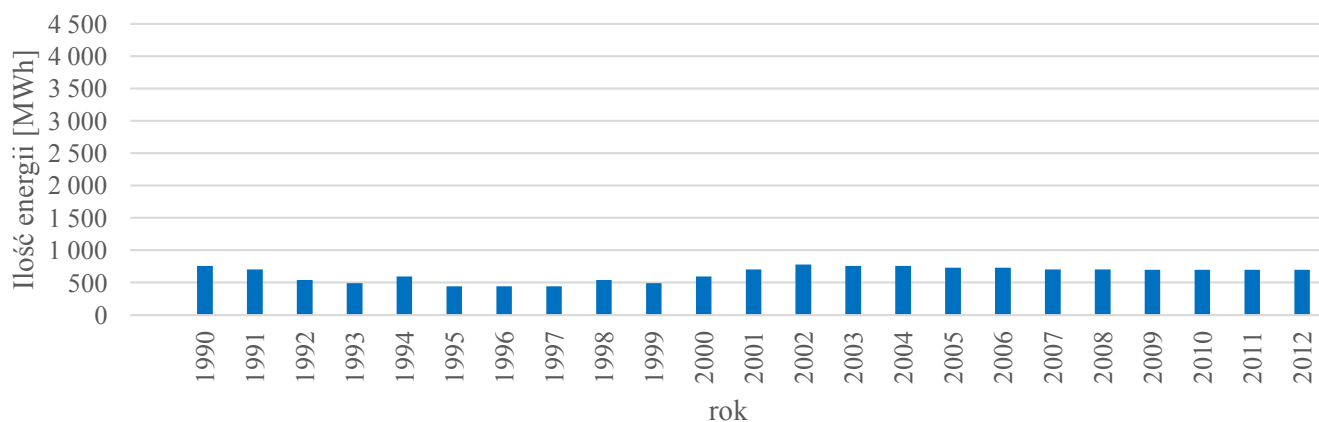
Do obliczeń przyjęto takie same wartości gęstości medium i sprawności całkowitej zespołu pompowego.

Wynik przedstawiono na wykresie poniżej na Ryc. 14.

Sumaryczne zużycie energii dla rurociągu PE oszacowano na 14 689 MWh.

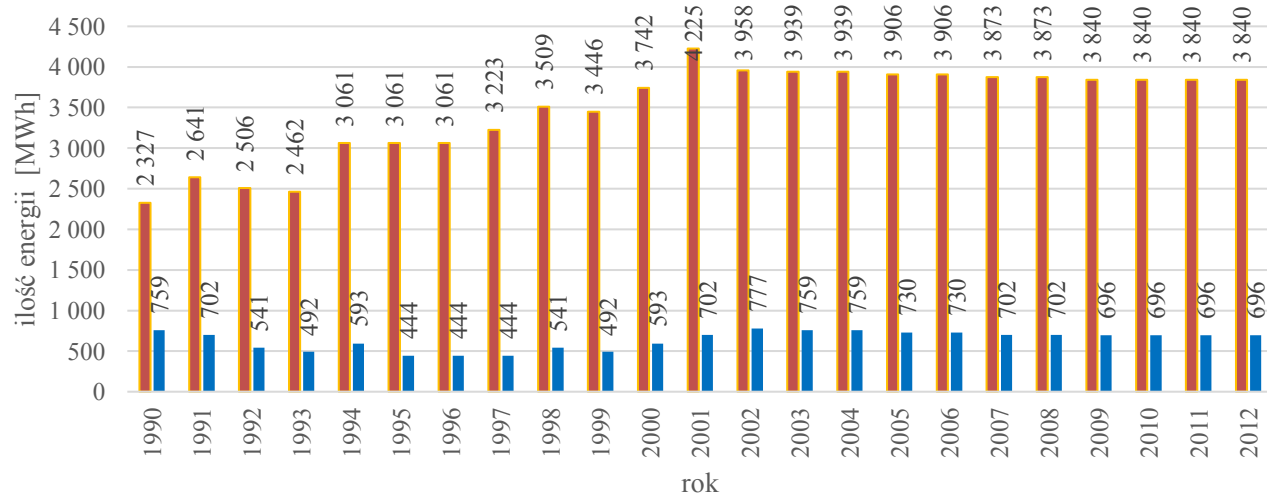
Aby uzyskać takie same wartości przepływów jak dla rury stalowej potrzebne jest znacznie niższe ciśnienie dyspozycyjne nieprzekraczające 4,2 bar.

W tej sytuacji można zastosować rurociąg PN16 SDR11 lub nawet PN10 SDR17 zamiast przyjętego PE100 SDR9 PN20, co doprowadziłoby do obniżenia kosztów inwestycyjnych.



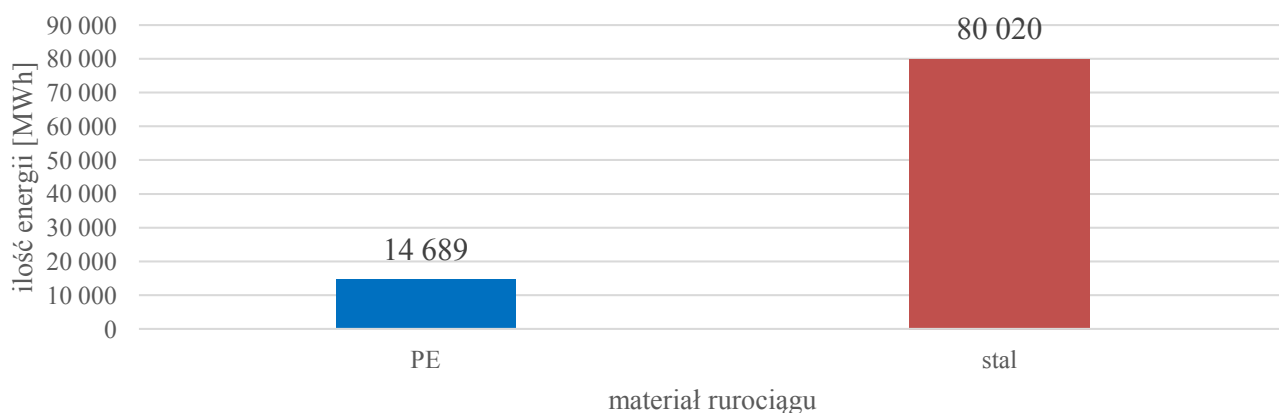
Ryc. 14. Zapotrzebowanie na energię konieczną do przesyłu solanki rurociągiem polietylenowym dla poszczególnych lat okresu 1990÷2012.

Fig. 14. Demand for energy necessary to transfer brine through the polyethylene pipeline in individual years of the period 1990÷2012.



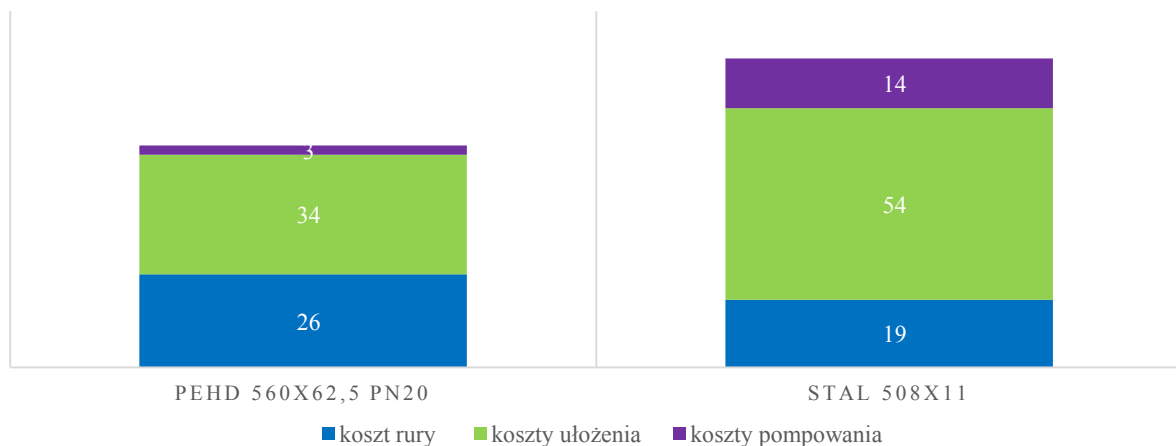
Ryc. 15. Porównanie zapotrzebowania na energię konieczną do przesyłu solanki rurociągiem stalowym i polietylenowym w poszczególnych latach okresu 1990÷2012.

Fig. 15. Comparison of energy demand necessary to transfer brine through the steel pipeline and the polyethylene pipeline in individual years of the period 1990÷2012.



Ryc. 16. Porównanie sumarycznego zapotrzebowania na energię dla rurociągu stalowego i polietylenowego w okresie 1990÷2012.

Fig. 16. Comparison of energy demand for steel and polyethylene pipelines in the period 1990÷2012.



Ryc. 17. Koszt cyklu życia w okresie 12 lat (mln zł)

Fig. 17. Life cycle cost for period of 12 years (mln zł)

Porównanie kosztów eksploatacyjnych pracy rurociągu stalowego i polietylenowego

Na Ryc. 15 przedstawiono porównanie zapotrzebowania na energię dla rurociągu stalowego i polietylenowego w latach 1990÷2012, a na Ryc. 16 porównanie sumarycznego zapotrzebowania na energię dla obydwu rodzajów rurociągów w tym okresie.

Zastosowanie rurociągu PE zamiast rurociągu stalowego zmniejszyłoby zapotrzebowanie na moc o około 82 %.

Podsumowanie kosztów cyklu życia

Na Ryc. 17 przedstawiono koszty cyklu życia dla okresu 12 lat. Przyjęto taki okres ponieważ autorzy dysponowali danymi parametrów pracy rurociągu w latach 1990÷2012.

Do obliczenia kosztów pompowania przyjęto cenę 174,95 zł/MWh (średnia cena sprzedaży energii elektrycznej na rynku konkurencyjnym w I kwartale 2018 r.).

WNIOSKI

1. Na podstawie przeprowadzonych analiz stalowego użytkowanego przez ponad 40 lat rurociągu solanki, stwierdzono szereg zagadnień związanych z jego pogarszającym się stanem technicznym i zmniejszającą się przepustowością.
2. Ultradźwiękowe pomiary grubości ścianek rurociągu solanki pozwoliły stwierdzić, że najmniejsze grubości ścianek występują w studniach spustowych i w ich bezpośredniej bliskości.
3. Porównanie szybkości korozji stali w wodzie przemysłowej oraz solanki wskazują na ponad trzykrotnie wyższą wartość szybkości korozji w wodzie naturalnej.
4. Współczynnik oporu rurociągu stalowego użytkowanego przez ponad 40 lat wzrósł ponad sześciokrotnie w stosunku do analogicznego nowego rurociągu.

5. Powodem wzrostów oporu hydraulicznego w badanym stalowym rurociągu są narosty na jego wewnętrznych ściankach o znacznych rozmiarach, które przyjmują formy spłaszczonej piramidy zwróconych ostrzami przeciwnie do kierunku przepływu albo formy zafalowań o ostrych grzbietach poprzecznych do osi rurociągu.
6. Dla stalowych rurociągów solankowych ze względu na znaczne pogarszanie się w czasie parametrów hydraulicznych istnieje konieczność podnoszenia ciśnienia dyspozycyjnego lub budowy pompowni pośrednich.
7. Analiza porównawcza rurociągu stalowego i polietylenowego wykazała zdecydowaną przewagę korzyści zastosowania rurociągów wykonanych z PE: cechuje się on m.in. małym i niezmiennym w czasie współczynnikiem oporu hydraulicznego oraz odpornością na zarastanie ścianek wewnętrznych i całkowitą odpornością na korozję, w tym na oddziaływanie solanki i agresywnego środowiska. Nie wymagają żadnych dodatkowych zabezpieczeń ani od wewnątrz ani od zewnątrz.
8. Przeprowadzona analiza pokazuje, że zastosowanie rurociągów polietylenowych do hydrotransportu solanki stanowi lepszą technicznie i ekonomicznie alternatywę w stosunku do rurociągów stalowych. Koszt rur jest wprawdzie większy w przypadku rur z polietylenu, ale koszt ułożenia jest wyraźnie niższy. W rozważanym przypadku różnica kosztów inwestycyjnych wyniosła około 13 mln zł, na korzyść rurociągu z PE. Zastosowanie rurociągu PE zamiast rurociągu stalowego zmniejszyłoby również zapotrzebowanie na moc o około 82 %.

SUMMARY

Based on the results of carried out tests for over 40 years old brine pipeline, a number of issues related to its deteriorating technical condition and decreasing bandwidth have been described.

Ultrasonic measurements of the wall thickness of the steel brine pipeline made it possible to state that the smallest wall thicknesses occur in the drain wells and in their immediate vicinity.

Comparison of corrosion rate of steel in industrial water and brine indicates over three times higher value of corrosion rate in natural water.

The coefficient of resistance of the steel pipeline used for over 40 years has increased more than six times in relation to the analogous new pipeline.

For steel brine pipelines due to the significant deterioration in time of hydraulic parameters, there is a need to raise the available pressure or to build intermediate pumping stations.

Comparative analysis of steel and polyethylene pipeline showed a clear advantage of the use of pipelines made of PE: it is characterized by small and unchanged in time coefficient of hydraulic resistance and resistance to overgrowth of internal walls and total corrosion resistance, including the influence of brine and aggressive environment. They do not require any additional security neither from the inside nor from the outside.

The analysis carried out shows that the use of polyethylene pipelines for brine hydrotransport is a better technical and economical alternative in relation for steel pipelines.

LITERATURA / REFERENCES

- BŁASZCZYK A., KOWALEWSKI D., NAWROCKI M., WOŹNIAK D., 2013. Analiza stanu technicznego rurociągu solanki DN500. Praca niepublikowana P.B.W. „Hydro-Pomp” Łódź Sp. z o.o.
- KODURA A., 2018. Wstępna analiza porównawcza zjawiska uderzenia hydraulicznego rurociągu stalowego i polietylenowego dla układu transportującego solankę. Praca niepublikowana.
- KOŻBA G., MAKSYMOWICZ W., 2015. Porównanie kosztów cyklu życia rurociągu stalowego i polietylenowego. Opracowanie wewnętrzne P.B.W. „Hydro-Pomp” Łódź Sp. z o.o. Praca niepublikowana.
- KRAKOWIAK S., ORLIKOWSKI J., ŻAKOWSKI K., ŚLEPSKI P., 2013. Sprawozdanie z badania i analizy stanu technicznego rurociągów wody przemysłowej i solanki. Katedra Elektrochemii, Korozji i Inżynierii Materiałowej Wydziału Chemicznego Politechniki Gdańskiej. Praca niepublikowana. Gdańsk
- RZĄDKOWSKI J., 2004. Uszkodzenia korozyjne rurociągów. *RUROCIĄGI* Nr 1/34/2004



Katastrofa wodna Kloski – Colloredo 2 w kopalni soli „Wieliczka”. Geologiczne i historyczne tło wydarzeń sprzed 150 lat

*Flood disaster in the Kloski-Colloredo 2 cross-corridors of the “Wieliczka” salt mine.
Geological and historical background of the events of 150 years ago*

Jerzy PRZYBYŁO¹, Elżbieta WŁODARCZYK-ŻUREK²

¹ Kopalnia Soli „Wieliczka” S.A. Wieliczka, Park Kingi 1, 32-020 Wieliczka, e-mail: jerzy.przybylo@kopalnia.pl

² Kopalnia Soli „Wieliczka” S.A. Wieliczka, Park Kingi 1, 32-020 Wieliczka, e-mail: elzbieta.wlodarczyk@kopalnia.pl

STRESZCZENIE

Poprzecznia Kloski była chodnikiem poszukiwawczym zlokalizowanym na poziomie V, a poprzecznia Colloredo chodnikiem ratunkowym na poziomie IV.

Walka z katastrofą wodną w poprzeczni Kloski, a później także w poprzeczni Colloredo trwała 11 lat i polegała przede wszystkim na wykonywaniu wyrobisk chodnikowych i szybików prowadzonych za wodą. Wyrobiskami tymi odkrywano liczne kawerny i pustki powstałe w wyniku wnoszenia materiały skalnego z górotworu. W wyniku gwałtownych wpływów wód połączonych z transportem materiału skalnego doszło w 1879 do deformacji powierzchni terenu. Ostatecznie wypływ został zatamowany w rezultacie samoczynnego zaciśnięcia się odkrytych wcześniej kawern.

W budowie geologicznej rejonu wypływu występują skały złoże bryłowego, głównie iłowce margliste i zubry. Dopływy wód należy wiązać z przekroczeniem utworów otuliny iłowogipsowej złoże i wejściem chodnikiem Kloski w zawodnione piaskowce chodenickie formacji z Machowa.

Obecnie przecieki z rejonu Kloski stanowi zarejestrowany na poziomie VI wyciek WVI-20, a Rejon Kloski Colloredo podlega wodoszczelnej likwidacji.

Analiza przyczyn i przebiegu katastrofy wodnej Kloski Colloredo oraz katastrofy w poprzeczni Mina w 1992 roku pozwala dostrzec analogie łączące oba wydarzenia.

Słowa kluczowe: Kopalnia Soli „Wieliczka”, poprzecznia Kloski, poprzecznia Colloredo, zagrożenie wodne, warstwy chodenickie.

ABSTRACT

The Kloski cross-corridor was an exploration corridor, located at Level V, while the Colloredo cross-corridor was an emergency corridor at Level IV.

The emergency operations conducted first in the Kloski cross-corridor and followed by those in the Colloredo cross-corridor continued for eleven years and primarily consisted in the cutting of corridor workings and level-connecting shafts, along the water courses. Such workings uncovered a number of caverns and voids that had occurred as a result of rock material removal from the rock mass. Upon rapid outflows of water transporting rock material, surface deformations appeared in 1879. Finally the outflow was dammed by natural convergence of previously discovered caverns (fig. 1,2,3,4,5,6,7,8,12,13,14,15).

The geological structure of the water outflow area shows boulder rocks, mainly marl siltstone and zubers. Water inflows were associated with the penetration of the protective layers of siltstone and gypsum formations above the salt deposits, through the Kloski corridor, and into the soaked Chodenice sand deposits of the Machów formation (fig.9,10,11).

Recently, Leak WVI-20 from the Kloski corridor has been recorded at Level VI, and the Kloski-Colloredo Area has been subjected to water-tight liquidation (fig.16).

Our analysis of the cause and course of the water disaster in the Kloski-Collaredo Area, as well as of that in the Mina cross-corridor of 1992, allows us to identify certain analogies of both occurrences.

Key Words: “Wieliczka” Salt Mine, Kloski cross-corridor, Collaredo cross-corridor, water hazard, Chodenice beds

I. WSTĘP

Późną jesienią w 1868 roku w Kopalni Soli „Wieliczka” doszło do uruchomienia gwałtownych dopływów do wyrobiska kopalni. Zdarzenie to było dla ówczesnych szokiem, bowiem kopalnia uchodziła za bezpieczną od wody (Ryc. 1). W kopalni rejestrowano zjawiska wodne, istniał nawet specjalny szyb, służący do odwadniania wyrobisk – Wodna Góra, którym w skórzanym worach wydobywano solanki na powierzchnię. Niewielkie dopływy słodkich wód uważano nawet za pożyteczne, bowiem służyły one do pojenia koni. Korzystali z nich także górnicy.

Rozpoznanie złoża było niepełne. Wprawdzie w połowie XIX wieku na podstawie wcześniejszych doświadczeń wiadano, że zanik w łożach żył soli i pojawienie się w nich gipsu są sygnałem obecności wody, ale nie zdawano sobie sprawy ze skali zagrożenia.

W 1852 roku w Strassfurcie rozpoczęto po raz pierwszy na świecie eksploatację złóż soli potasowej. W XIX wieku gwałtownie rozwijał się przemysł, a potas znalazł zastosowanie w wielu gałęziach gospodarki. Wykorzystywano go także w rolnictwie przy produkcji nawozów, a saletra potasowa była też jednym ze składników prochu czarnego. Grupa przemysłowców skupiona w Dolno-Austriackim Związku Przemysłowym wystosowała memorandum dotyczące poszukiwania tych soli w salinach karpaccich. Wielicka kopalnia została zobligowana do podjęcia stosownych prac. Soli potasowych, zwanych potocznie „kali”, szukano poprzeczną Kloski.

„W miesiącu listopadzie 1868 roku rozpoczęto robotę w ścianie północnej. Posuwającym się naprzód ukazywały się różne pokłady, i tak na przemian hałda solna, szpat, kamień ze strzałkami gipsu i tym podobne”.

W drugiej dekadzie listopada poprzeczną natrafiono na wodę :

„We czwartek dnia 19. listopada ukazała się woda w północnej Sali pieca „Wolskie” (Kloski). Mały promień wody słodkiej, zimnej, sączył się otworem w ścianie wywierconym...woda...sączyła się wolno i małym promieniem, rynkami przystawionymi ściekała do rezerwoaru nie wzmagając się...”

Po trzech dniach wypływ się wzmógł:

„W niedzielę o godzinie pół do czwartej rano zwiększył się otwór; woda zaczęła iść silniej i wylewała się przez wierzch rynien; w kilka godzin później płynęła całym piecem, sążeń szerokim, na wysokości jednej stopy (ok. 1,9 m na 30 cm)...Wszel-

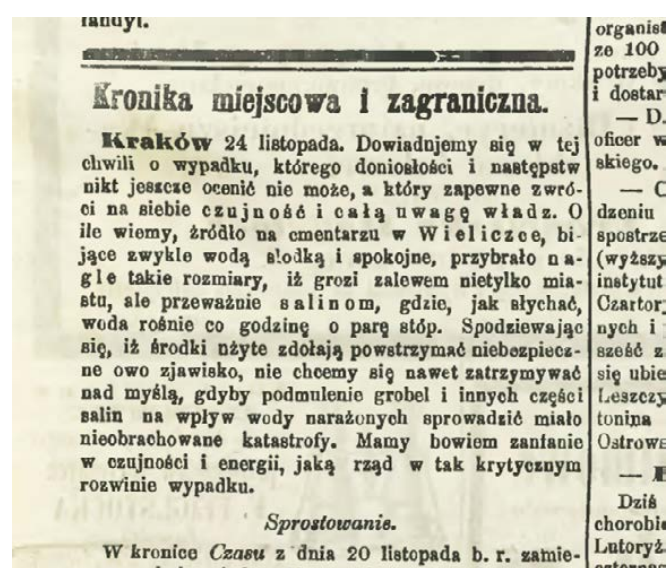
kiemi możliwymi środkami próbowano wodę zatrzymać...użyto pisaku. Piasek ten sypany w worki rzucono w piec...Środek ten okazał się niestety niepraktycznym, gdyż woda płynąc szybko, porwała całe przeszło pół centnarowe (ok. 25 kg) worki i prowadziła ze sobą; taki sam los spotkał worki glina i ilem napelniane...woda już nad 3 stopy się wzniosła, oprócz tego dużo piasku ze sobą prowadziła, który osiadając na spodzie wszelkie stawianie zapór uniemożliwiało...”

Podjęto próbę zatamowania wypływu:

„(W) szerokie z desek zbite lutnie ujęto wodę i sprowadzono w jeden punkt, usuwając ją tym sposobem z całego pieca; namul wyrzucono, i w tak po części wysuszonym piecu miał stanąć mur...Mur nie mógł bliżej stanąć, jak u wyjścia z pieca do komory „Kloski”...ściany pieca są w tem miejscu wprawdzie nie solne, ale holda...jest mocno żyłami soli poprzecinana...Aby...mur odpowiedział celowi...wykuto po bokach, jako też u powały i spodu pieca, 4 stopy (ok. 1,2 m) głębokie szramy...Lutnię, którą woda wypływała, wypuszczono po za mur, a urządzona kłapa miała zatkać takową...We wtorek 1. Grudnia o godzinie 7. rano mur ukończono i kłapę zamknięto.”

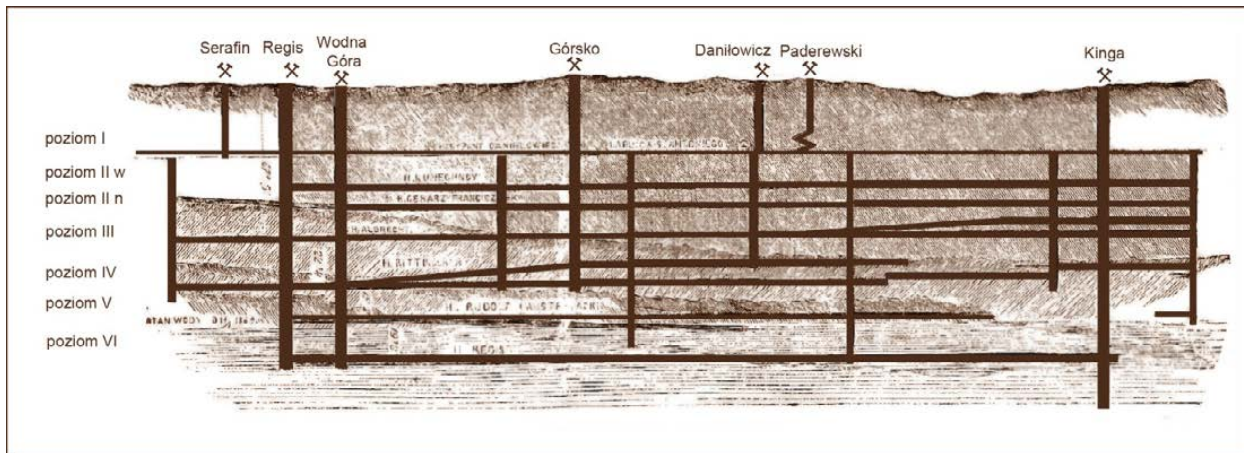
Nie był to jednak koniec awarii, ale dopiero jej początek:

„Niedługo jednak trwała radość górników, o godzinie bowiem 11, w cztery godzin więc po zamknięciu kłapy, ukazał się promień wody tuż koło muru, szczelina w ścianie pieca powiększała się z każdą chwilą, a woda stosownie do rozszerzenia otworu wzmagala się i rozpywała na wszystkie strony...Cała nadzieja, jaką w tej tamie pokładano, tylo dniowa mozolna i bezustanna praca w niwecz obrócona, niebezpieczeństwo nieusunęte, i o jeden środek uboższa nadzieja zatrzymania rozhukanego żywiołu...” (Anonim, 1869).



Ryc. 1. Informacja o katastrofie wodnej w kopalni Wieliczka zamieszczona w „Czasie” nr 272 z dnia 25.11.1868 roku.

Fig. 1. Note on the water disaster in the “Wieliczka” Salt Mine, published in the *Czas*, No. 272 of 25.11.1868.



Ryc. 2. „Przecięcie podłużne salin wielickich” – grafika z pisma „Kłosy” nr 186 z 9(21) stycznia 1869 roku, uwspółcześiona.
 Fig. 2. “A cross-section of the Wieliczka salt deposits.” A sketch from the Kłosy, No. 186 of 9(21).01.1869, updated.

II. PRZEBIEG WYDARZEŃ ZWIĄZANYCH Z KATASTROFĄ WODNĄ W POPRZECZNIACH KŁOSKI-COLLOREDO 2.

Poniżej autorzy zestawili w formie kalendarium wydarzenia związane z katastrofą. Oparto je na opracowaniu Janusza Wójcika, który przewertował zbiór dokumentów archiwalnych, w tym pracę Antoniego Müllera „Historia Saliny wielickiej” z 1934 roku. Zapoznano się także z dostępnymi w bibliotekach cyfrowych gazetami z rozpatrywanego okresu i zweryfikowano pewne podane w opracowaniu dane. Ujednolicono podawane wielkości dopływów do dm^3/min , a także wprowadzono wspólnie stosowane nazewnictwo. Poprzecznę Coloredo wymienianą w dawnych dokumentach nazwano widniejącą na obecnych mapach nazwą „poprzecznia Colloredo 2”. Nazwa „poprzecznia Kłoski” dotyczy dwóch równoległych do siebie chodników, które rozrózniono na „starą” poprzecznę i „nową”.

Należy zaznaczyć, że przebieg prac w dostępnych autorom dokumentach jest przedstawiany dość chaotycznie, a podawane wielkości dopływów w pewnych przypadkach budzą wątpliwości. Niewykluczone jest zatem, że w kalendarium może nie uwzględnić wszystkich zdarzeń związanych z katastrofą, a niektóre podane dane obarczone są błędem.

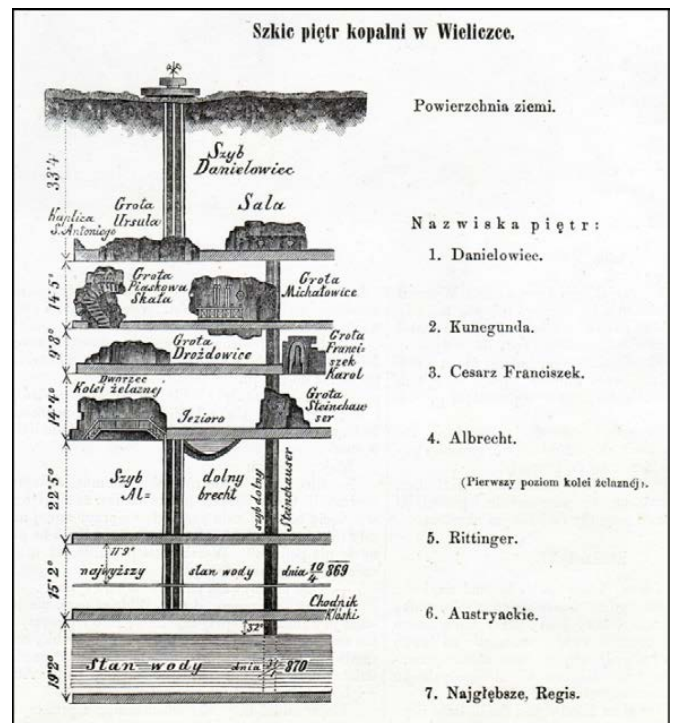
Kopalnia Soli „Wieliczka” w chwili zaistnienia katastrofy była dużym i ważnym zakładem przemysłowym. Zatrudniała około 800 robotników dołowych. Jej wydobyte stanowiło znaczący procent wydobycia soli w monarchii. Od lat 30. XIX wieku odbywał się w niej zorganizowany już ruch turystyczny, a w świadomości polskiego społeczeństwa funkcjonowała jako pomnik pamięci narodowej.

Swymi wyrobiskami dotarła już do głębokości około 230 m ppt, na której założono poziom VI. Wyrobiska tego poziomu były jednak jeszcze niezbyt liczne (Ryc. 2).

Poziom VI Kopalni był ówczesnie nazywany 7 (Ryc. 3). Obecnie dawne poziomy 2 i 3 nazywane są poziomami IIw i II_n, stąd wynikają rozbieżności we współczesnych i XIX wiecznych opisach katastrofy.

W chwili zaistnienia awarii głębokie wiertnictwo stawiło pierwsze kroki. Na początku lat 60. XIX wieku skonstruowano diamentową koronkę wiertniczą, zaczęto prowadzić też pierwsze wiercenia metodą udarową do głębokości niewiele przekraczających 20 m. Głębokie wiercenia zaczęto stosować dopiero w latach 80. Jedyną realną metodą uporania się z wodą w kopalni były podziemne prace górnicze.

Pierwsze maszyny parowe służące do odwadniania kopalni skonstruowano już w 1698 roku. W latach 60. XIX wieku maszyny takie były już powszechnie używane w przemyśle i transporcie szynowym. Kopalnia była sobie w stanie pora-



Ryc. 3. „Szkic piętér kopalni w Wieliczce” – grafika z pisma „Kłosy” nr 243 z 24 lutego 1870 roku.

Fig. 3. “A sketch of the Levels of the “Wieliczka” Salt Mine,” published in the Kłosy, No. 243 of 24.02.1870.

dzić z usuwaniem wody z wyrobisk poziomów V i VI (Ło-
tysz, 2018).

Kalendarium wydarzeń (Müller, 1934, Wójcik, 1992)

1866

Memorandum skierowane przez Dolno-Austriacki Związek Przemysłowy do Ministerstwa Skarbu w sprawie poszukiwań soli potasowo-magnezowych. Ministerstwo zareagowało poleceniem poszukiwania w kopalniach takich soli. Dyrekcja Górnicza i Salinarna w Wieliczce przedstawiła Ministerstwu projekt rozpoznania złoża poprzeczną Kłoski na V poziomie kopalni. Założeniem prac był błędny pogląd na budowę geologiczną złoża. Zakładano, że złożo buduje antyklinę, a dotychczasowa eksploatacja prowadzona jest w południowym jej skrzydle. W jądrze antykliny spodziewano się soli potasowo-magnezowych.

1 listopada, przed formalną akceptacją projektu, rozpoczęto prace poszukiwawcze. Poprzecznią miała wówczas 113 m długości.

1867

Akceptacja przez Ministerstwo projektu (marzec). Rozwiązanie Dyrekcji Górnicznej i Salinarnej i powołanie na jej miejsce Zarządu Salinarnego. Objęcie stanowiska naczelnika Zarządu przez Juliusza Leo.

1868

Do 19 listopada wykonano 124 m poprzeczni. 19 listopada w przodku ujawnił się wyciek wody słodkiej o wydatku 33 dm³/min. Wyływ sukcesywnie się zwiększał, 21 listopada przekraczał 500 dm³/min (wydajność pompy zainstalowanej w szybie Regis).

W nocy 22/23 listopada gwałtowne wdarła się mieszanina wody z piaskiem i iłem o szacunkowym wydatku w granicach 5000 dm³/min. z uderzeniami szacowanymi na kilkadziesiąt tysięcy dm³/min.

Zbudowano koryta i rurociągi dla odprowadzania wody i systemu trzech tam wodnych u wylotu poprzeczni z komory Kłoski (Ryc. 4, 5). Na początku grudnia zamknięto tamy, które okazały się być nieskuteczne – woda przedarła się przez górotwór po kilku godzinach.

1869

Wypożyczono od kolei maszynę parową. W szybach Regis i Kinga rozpoczęto wydobywanie wody przy użyciu dużych skrzyni opuszczanych z powierzchni pod ziemię. W ten sposób wyciągano z kopalni około 550 dm³/min wody. Dopływ wynosił około 1000 dm³/min.

Prowadzono remont poprzeczni przy ciągłym odprowadzaniu wody. 22 stycznia przerwano prace z uwagi na dopływ o wielkości około 1600 dm³/min. Poziom VI kopalni został całkowicie zalany. Woda zaczęła zatapiać wyrobiska poziomu V.

5 kwietnia uruchomiono pompę, do połowy czerwca odwodniono wyrobiska poziomu V.

Powstała koncepcja dotarcia do miejsca dopływu w celu jego zatamowania lub ujęcia. Postanowiono wykonać nową, równoległą poprzecznie Kłoski. Prace prowadzono na zbiegu z dwóch stron – od szybu Regis i z pogłębionego do poziomu V szybika Albrecht.

1870

Po wdarciu się wód do nowo budowanej poprzeczni wykonano z szybika Albrecht międzypoziomowe wyrobisko chodnikowe skierowane na zachód. Wyrobiskiem tym osiągnięto strefę wysokich obwałów i dopływu wód. Prace prowadzono do 01.10.

Średni wydatek wycieku wynosił około 730 dm³/min.

Otamowanie rozległej strefy rozługowań i kawern uznano za niemożliwe (Ryc. 6.) Postanowiono, w celu ujęcia lub zatamowania wypływu, przedłużyć zlokalizowaną nad poprzecznia Kłoski poprzecznia Colloredo 2 na poziomie IV (Ryc.7)

1871

23.11.1871 roku poprzecznia Colloredo 2 osiągnięto wyciek.

Wykonano tzw. „piec luzunkowy” – chodnik prowadzony z poprzeczni Colloredo 2 za wodą. Chodnikiem tym natrafiono na rozmyty górotwór i system kawern z największą długą na 27 m, wysoką na 9,5 m, z kominem na 4 m.

Średni wydatek wycieku wynosił około 825 dm³/min.

1872 - 1877

16.02.1872 na skutek obwałowania stropu wyciek przemieścił się z poprzeczni Colloredo 2 do „pieca luzunkowego”, a 24.03 ustał dopływ do rejonu tej poprzeczni.

W latach 1872-1877 obserwowano dopływy do rejonu Kłoski – Colloredo w co najmniej 5 miejscach oraz stabilizację dopływu na średniej wysokości około 7,5 dm³/min. W sierpniu i wrześniu 1877 roku zaobserwowano chwilowe zwiększenia się wielkości dopływu w „nowej” poprzeczni Kłoski. Podjęto wtedy prace remontowe „starej” poprzeczni Kłoski.

1878

Zakończono remont fragmentu „starej” poprzeczni Kłoski oraz wykonano 9. metrowy chodnik podłużny, który połączono szybikiem z wykonanym w 1870 roku wyrobiskiem międzypoziomowym. Chodnikiem odkryto kolejną kawernę długą na 25 m, szeroką na 10 m i wysoką na 2 m.

Wydatek wycieku był ustabilizowany i wynosił około 33 dm³/min.

1879

17.02. w „nowej” poprzeczni Kłoski doszło do nowego wdarcia się wody. Wydatek wynosił 2500 dm³/min, a następnie wzrósł do 6300 dm³/min. Woda była silnie zanieczyszczona piaskiem i iłem. Po ustaniu pracy pomp wyrobiska poziomu VI zostały zatopione.

W wyniku obwałów skał w „nowej” poprzeczni Kłoski dopływy przemieściły się do „starej” poprzeczni Kłoski, jego wydatek oceniono na około 5200 dm³/min. Sumaryczny wydatek wycieku wynosił około 5390 dm³/min. Obserwowano tendencję zmniejszania się wielkości wypływu wraz z okresowymi zanikami.

12.08. w poprzeczni Colloredo 2 nastąpiło gwałtowne wdarcie się wody z pewną ilością piasku i ilu. Wielkości wydatku nie pomierzono, był on tak gwałtowny i intensywny, że nurt wody wyniósł dwóch górników pracujących w chodniku aż do komory Kłoski. Wydatek ustabilizował się na wielkości około 400 – 1000 dm³/min.

Równolegle z wypływem na powierzchni terenu stwierdzono zapadlisko o średnicy w granicach 60-100 m oraz deformacje nieciągłe. Popękało kilka budynków. Zapadlisko miało charakter jednostkowy, nie obserwowano jego pogłębiania się.

Rozpoczęto wypompowywanie wody z zatopionych wyrobisk. Podjęto remont „nowej” poprzeczni Kłoski i do dnia 12.10. dotarto do szybika Albrecht (Ryc. 8)

Dopływ wód ustabilizował się i nie przekraczał 1000 dm³/min.

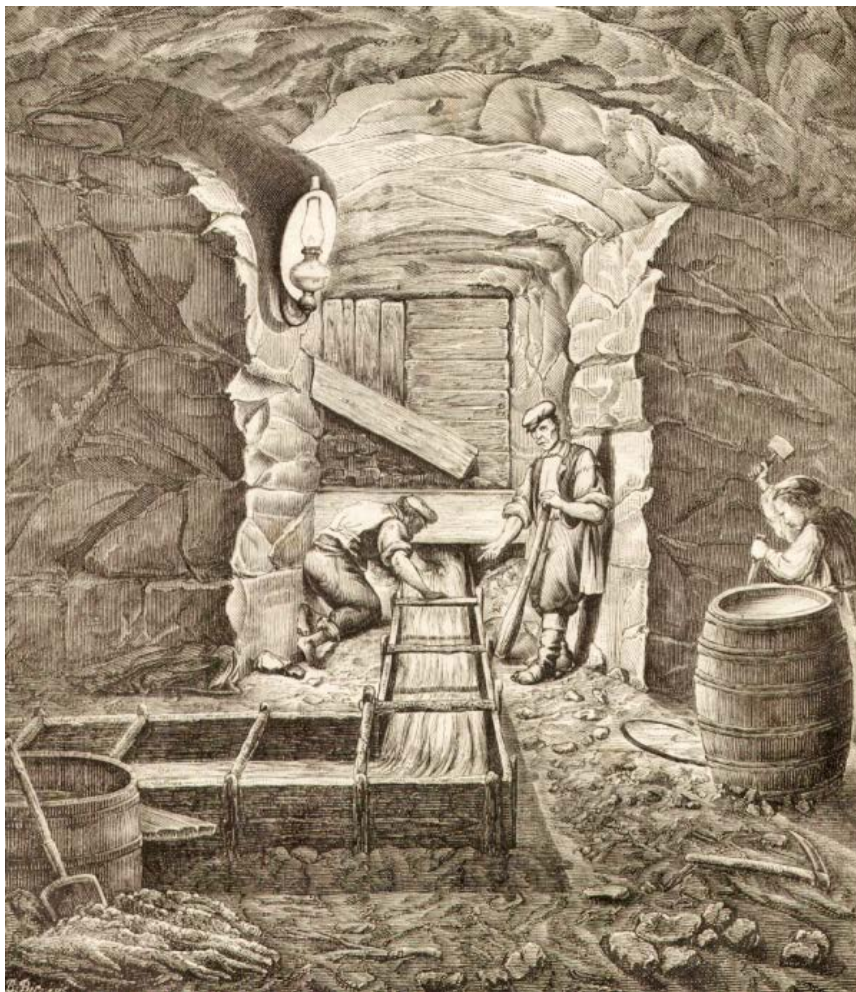
12.10. w rejonie Kłoski-Colloredo zawały się odkryte wcześniej kawerny. Dopływ wód został na stałe zredukowany do około 4 dm³/min.

W sierpniu Okręgowy Urząd Górniczy w Krakowie powołał komisję biegłych w osobach W. Jucińskiego i W. Grun-diga. Komisja oceniła stopień bezpieczeństwa powierzchni oraz poprawność prowadzenia prac ratunkowych. Biegli nie stwierdzili zagrożenia dla terenu i pozytywnie zaopiniowali prowadzone pod ziemią przez kopalnię prace. Komisja zaleciła odwiercenie na przedpolu kopalni głębokiego otworu w celu wyjaśnienia genezy wycieku.

Po 1879

Do 1881 roku odwadniano wyrobiska poziomu VI.

W 1881 roku rozpoczęto wiercenie otworu zgodnie z zaleceniami komisji z 1879 roku. Wiercenie przerwała awaria w 1890 roku. W otworze zaobserwowano dopływ wody w ilości około 77 dm³/min. Zwierciadło utrzymywało się na głębokości około 9,2 m ppt. stwierdzano spadek oraz odbudowywanie się poziomu zwierciadła. W otworze prowadzono około lat 1904-1911 pompowanie (brak dokładnych danych).



Ryc. 4. „Szyb Franciszka Józefa, piętro czwarte od góry. (Rysunek umyślnie dla Kłosów wykonany na miejscu przez Gryglewskiego)”.

Odprowadzanie wód z poprzeczni Kłoski. „Kłosy” nr 184 z 26 grudnia/7 stycznia 1868/1869 roku.

Fig. 4. “Franciszek Józef Shaft, Level Four from Top. (A sketch drawn on the spot, especially for the Kłosy by Gryglewski).” Removal of waters from the Kłoski cross-corridor. Kłosy, No. 184 of 26.12.1868/7.01.1869.



Ryc. 5. Fragment komory Kloski na poziomie V. Widoczne pozostałości danych ciągów solankowych. Stan na luty 2017. Komora jest obecnie zlikwidowana zaczynami uszczelniającymi. Fot. J. Przybyło.

Fig. 5. A fragment of the Kloski chamber at Level V. One can see the remains of the brine streams. Status of February 2017. The chamber has been plugged by sealing mixes. Photograph by J. Przybyło.



Ryc. 6. Fragment komory Kloski na poziomie V. W ociosie widoczne wylugowania w wyniku działania nienasyconych wód w czasie katastrofy wodnej z lat 1868-1879. Stan na luty 2017. Komora jest obecnie zlikwidowana zaczynami uszczelniającymi. Fot. J. Przybyło.

Fig. 6. A fragment of the Kloski chamber at Level V. One can see the remains of the brine streams. Status of February 2017. The chamber has been plugged by sealing mixes. Photograph by J. Przybyło.



Ryc. 7. Północny odcinek poprzeczni Colloredo 2. Stan na listopad 2014.
Wyrobisko jest obecnie zlikwidowane zaczynami uszczelniającymi. Fot. J. Przybyło.
Fig. 7. The northern section of the Colloredo 2 cross-corridor. Status of November 2014.
The working has been plugged by sealing mixes. Photograph by J. Przybyło.



Ryc. 8. Chodnik podłużny poprowadzony z poprzeczni Kłoski do szybika Albrecht. Stan na luty 2017.
Chodnik jest obecnie zlikwidowany zaczynami uszczelniającymi. Fot. J. Przybyło.
Fig. 8. Level corridor conducted from the Kłoski cross-corridor to the Albrecht level-connecting shaft.
Status of February 2017. The corridor has been plugged by sealing mixes. Photograph by J. Przybyło.

III. BUDOWA GEOLOGICZNA GÓROTWORU W NAJBLIŻSZYM OTOCZENIU POPRZECZNI COLLOREDO 2 ORAZ KŁOSKI.

Złoże soli kamiennej „Wieliczka” zbudowane jest z dwóch kontrastowo różniących się partii – złoża bryłowego oraz złoża pokładowego.

Złoże bryłowe budują bryły soli zielonej o zróżnicowanej wielkości, rozmieszczone w skałach ilasto solnych zwanych zubrami. Złoże pokładowe uformowane jest w postaci warstw soli kamiennej poprzedzielanych iłowcami z anhydrytem. Od warstw wodonośnych złoża oddziela wtórnie wykształcona otulina iłowo gipsowa o grubości około 20 m. (Wiewiórka, 1988).

Tektonika złoża pokładowego w analizowanym rejonie jest bardzo urozmaicona. Ogólnie znany jej obraz z rejonu najstarszej eksploatacji złoża, czyli trzech łusek tektonicznych zapadających na południe, ulega zmianie. Partia złoża rozcięta poprzecznymi Colloredo 2 oraz Kłoski leży blisko struktury kopuły Grot Krysztalowych, kształtującej się na wschód od szybu Regis. Zasadniczy kompleks utworów złoża pokładowego zapada w jej obrębie kierunku na północ i północny zachód. Od niego odchodzą dwie lokalne łuski tego złoża zbudowane z soli spizowych. Zapadają one na południe (czyli zgodnie z ogólnym kierunkiem zapadania utworów złoża) pod kątem około 45° – 50°. Utwory te odsłaniają się dwoma wąskimi pasami – jednym bezpośrednio przy bryle soli zielonej komory Kłoski (na południe od niej), drugim około 80 – 100 m na północ od tej bryły. Rozciągają się na kierunku NWW-SEE.

Obie lokalne łuski tworzą rodzaj synkliny wypełnionej utworami złoża bryłowego. Wśród brył soli zielonych wyróżnia się bryła, w której wyeksploatowano komorę, a raczej zespół komór Kłoski. Jest to jedna z największych brył soli zielonej typowej rozpoznanej w wielickim złożu. Jest ona posadowiona niemal pionowo, z lekkim pochyleniem jej osi w kierunku północnym. W cięciu poziomym ma kształt wydłużonej soczewki, leżącej zgodnie z rozciągłością obu łusek. W innej większej bryle soli zielonej typowej w rejonie poprzeczni Kłoski wyeksploatowano komorę Wolski (Ryc. 9,10).

Na północ od soli spizowych do granicy złoża rozciąga się fragment złoża bryłowego, wykształcony w postaci skał płonnych z niewielkimi bryłami soli zielonej. Ten fragment jest kluczowy dla zrozumienia procesów zachodzących w trakcie katastrofy wodnej z lat 1868-1879.

Skały płonne rozcięte północnymi fragmentami obu poprzeczni i powiązane z nimi wyrobiskami są bardzo zróżnicowane. Są to zubry, czyli iłowce margliste z rozproszonymi w nich kryształami halitu. W zubrach spotykane są bloki rozsypliwych, zlustrowanych iłowców marglistych oraz nietypowo duże, jak na wielickie złożo, bloki porwaków fliszu

karpackiego. Porwaki te budują także zlustrowane i gęsto spękane margle pstre (Ryc. 11).

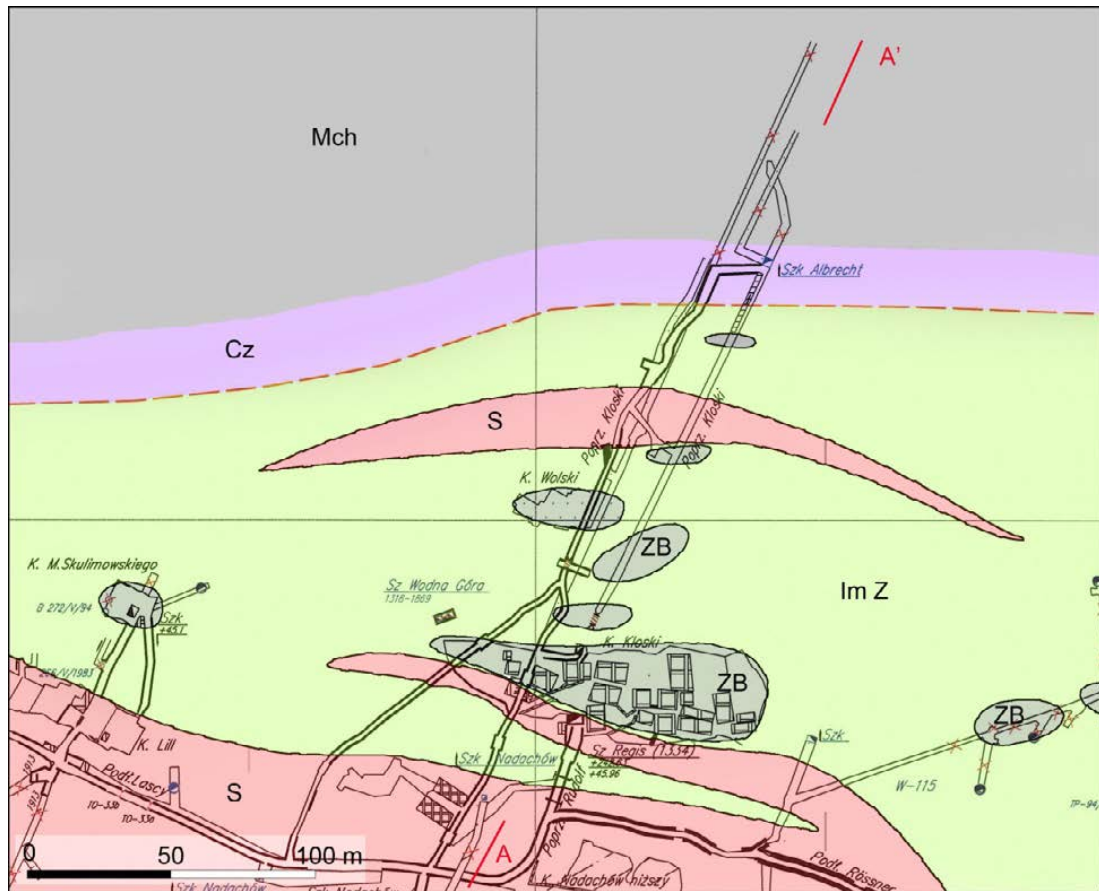
Taki konglomerat skał charakteryzuje się bardzo niskimi, a w pewnych partiach wręcz dramatycznie niskimi parametrami wytrzymałościowymi. Przy naporze wód na poprzecznym Kłoski wynoszącym około 18-19 Mpa nie było mowy, aby te skały wytrzymały tak wysokie ciśnienia.

Spękania w złożu zasklepienie są siecią soli włóknistej. W analizowanym rejonie rozpoznano też obecność mniejszych brył soli zielonych. W rezultacie przepływu przez górotwór wody o minimalnym nasyceniu NaCl sole te były intensywnie ługowane, co obok procesów sufozji powodowało powstawanie systemu pustek. O skali tego zjawiska mogą świadczyć podługowania obserwowane w ociosach komory Kłoski na V poziomie (Ryc. 12), duża kawerna wylugowana we fragmencie złoża pokładowego, a także rozługowania poniżej poziomu IV wokół szybu Regis (Ryc. 13).

Otulina iłowo gipsowa, oddzielająca złożo solne od zawodnionych utworów chodenickich wykształcona jest w postaci iłowców pylastych z gipsem. Gips ten ma postać gipsu włóknistego, alabastrowego oraz też selenitowego. Ten ostatni wypełnia niewielkie kawerny, których obecność świadczy o tym, że otulina nie jest w pełni szczelna.

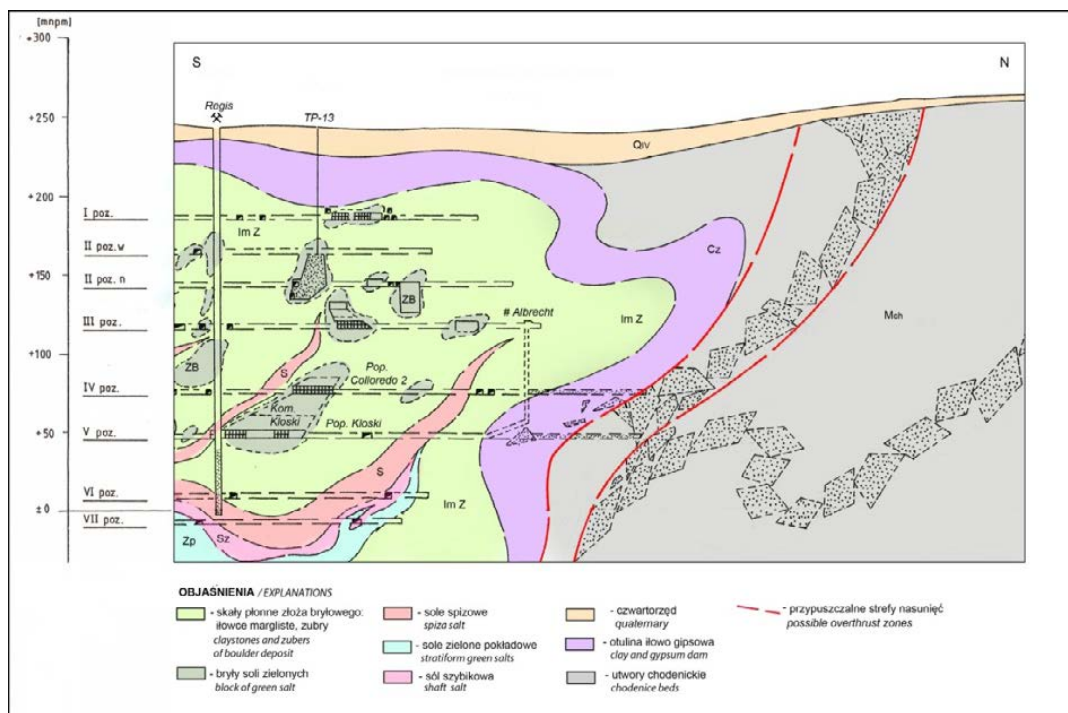
Niskie parametry wytrzymałościowe skał, rozługowania i wymycia górotworu, a także jego rozcięcie chodnikami i szybikami sprawiło, że ujęcie lub zatamowanie robotami górniczymi dopływu wód do rejonu poprzeczni Kłoski i Colloredo 2 było zadaniem wręcz niemożliwym do realizacji. Paradoksalnie do zniwelowania zagrożenia wodnego w tej partii kopalni przyczynił się zły stan górotworu. Po gwałtownym uderzeniu wody w 1879 roku doszło do obwałowania istniejących w skałach kawern i powstania naturalnego korka, tamującego przepływ wód. Korek okazał się skuteczny przez kolejne 150 lat.

W latach 1992-2011 w ramach rozpoznania górotworu po katastrofie wodnej w poprzeczni Mina zespół prof. Zbigniewa Fajkiewicza wykonał 13 cykli pomiarowych grawimetrii w rejonie północnego przedpola tej poprzeczni. Pomiarami określano stan i zmiany górotworu związane z przemieszczeniem wody i drobnego materiału skalnego w kierunku złoża. W rejonie nad poprzecznymi Kłoski i Colloredo 2 stwierdzono obecność ujemnej anomalii, rezydualnej, którą nazwano anomalią N. Obejmuje ona strefę zapadliska z 1879 roku. Anomalia ta jest rozbudowana, co świadczy o intensywności procesów sufozji i dużych ubytkach mas skalnych z górotworu nad poprzecznymi. Jest ona dynamiczna, obecnie rozwija się w kierunku na północny zachód i południowy wschód. Proces ten można wiązać z migracją wód w górotworze (Fajkiewicz, 2011).



Ryc. 9. Mapa geologiczna górotworu w najbliższym otoczeniu poprzeczni Kłoski – poziom V. Wyk. J. Stecka, J. Przybyło 1996. Objasnienia jak na Ryc. 10.

Fig. 9. A geological map of the rock mass surrounding the Kloski cross-corridor at Level V. Authors: J. Stecka and J. Przybyło, 1996. Explanations are the same as those at Fig.10.



Ryc. 10. Przekrój geologiczny A-A' przez górotwór w najbliższym otoczeniu poprzeczni Kłoski – Colloredo 2. Wyk. Andrzej Szybist 2011 r., uproszczone.

Fig. 10. Geological cross-section A-A' through the rock mass surrounding the Kloski-Colloredo 2 cross-corridors. Author: A. Szybist, 2011, simplified.



Ryc. 11. Skały odsłaniające się w kawernie wyługowanej wodami z wycieku w poprzeczni Kloski – zapiaszczone sole spizowe, zubry z siecią spękań wypełnionych solą włóknistą, flisz karpacki. Stan na luty 2017.

Kawerna jest obecnie zlikwidowana zaczynami uszczelniającymi. Fot. J. Przybyło.

Fig. 11. The rocks uncovered in the cavern leached by water leaks in the Kloski cross-corridor: small-grain, sandy, laminated salts, zubers, with a network of fractures filled with fibre salts, and the Carpathian Flysch. Status of February 2017.

The cavern has been plugged by sealing mixes. Photograph by J. Przybyło.



Ryc. 12. Wyrobisko zlokalizowane przy poprzeczni Colloredo 2. Widoczne podługowania ociosu w wyniku działania nienasyconych wód w czasie katastrofy wodnej z lat 1868-1879 Stan na listopad 2014.

Wyrobisko jest obecnie zlikwidowane zaczynami uszczelniającymi. Fot. J. Przybyło.

Fig. 12. A working located in the Colloredo 2 cross-corridor. One can notice wall leaching by unsaturated waters during the 1868-1879 disasters. Status of November 2014. The working has been plugged by sealing mixes. Photograph by J. Przybyło.



Ryc. 13. Fragment szybu Regis na odcinku poniżej IV poziomu. Rozługowania górotworu powstałe w wyniku działania nienasyconych wód w czasie katastrofy wodnej z lat 1868-1879. Stan na lipiec 2004. Fot. J. Przybyło.

Fig. 13. A fragment of the Regis Shaft, a section below Level IV. Rock-mass leaching by unsaturated waters during the 1868-1879 disasters. Status of July 2004. Photograph by J. Przybyło.

IV. WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE GÓROTWORU W OTOCZENIU POPRZECZNI KŁOSKI

Decydujący wpływ dla warunki hydrogeologiczne poprzeczni Kłoski i Colloredo 2 wywiera lokalizacja jej końcowych fragmentów poza północną granicą złoża, w rejonie przylegających poprzez zmiennej miąższości strefę siarczanową do północnej granicy złoża solnego - warstw chodenickich (Bukowski, 2011).

W warstwach tych dominują utwory izolujące - szare ility margliste, w których obrębie występują także serie piaszczyste, mogące zawierać i przewodzić wodę wolną. Seria ta reprezentowana jest przez piaskowce drobnoziarniste lub średnioziarniste, słabozwięzłe, zailone oraz piaskowce pylaste o spoiwie siarczanowym. Piaskowce te występujące w obrębie warstw chodenickich jako ławice i przewarstwienia o miąższości od kilku do 73 m. Przepuszczalność ławic piaskowców jest zróżnicowana i waha się od do $5,88 \times 10^{-9}$ m/s. do $6,42 \times 10^{-6}$ m/s. Z powodu silnego zaangażowania tektonicznego piaskowce te, jako sztywniejsze od otaczających je utworów ilastych, mogą być silnie spękane, porozrywane na bloki i wewnątrznie przemieszczane. W warstwach cho-

denickich piaskowce nie tworzą ciągłego poziomu wodonośnego tylko strefy wodonośne o charakterze szczelinowo-porowym, w którym połączenia hydrauliczne są skomplikowane i trudne do rozpoznania.

Połączenia hydrauliczne, drogi krążenia oraz warunki zasilania poziomów wodonośnych warstw chodenickich na północnym przedpolu w omawianym rejonie zastały częściowo rozpoznane w trakcie prowadzonych obserwacji i prac związanych z likwidacją zagrożenia wodnego w poprzeczni Mina, gdzie w 1992 roku doszło do nagłego wdarcia się wody z luźnym materiałem piaszczysto-ilastym (Przybyło, 2017).

Poza poziomem wodonośnym związanym z warstwami chodenickimi wpływ na warunki hydrogeologiczne poprzeczni odgrywa czwartorzędowy poziom wodonośny, który budują gliny pylaste i pyły o współczynnikach filtracji rzędu 10^{-6} m/s. W znacznie mniejszej ilości występują w obrębie czwartorzędu utwory przepuszczalne o współczynniku filtracji rzędu 10^{-5} m/s i 10^{-4} m/s. Są to utwory piaszczyste, żwiry i rumosze, które nie tworzące warstw o ciągłym i rozległym rozprzestrzenieniu i nie gromadzą znacznych zasobów wód. Wody czwartorzędowe to wody wodorowęglanowo-wapniowe o mineralizacji ok. $0,5 \text{ g/dm}^3$ oraz wody chlorkowo-sodowe o mineralizacji do $2,5 \text{ g/dm}^3$.

W oparciu o wyniki „Kontroli czwartorzędowego poziomu wodonośnego na byłym terenie górniczym Barycz-Wieliczka” przeprowadzonej w roku 2017 można stwierdzić, że średnia głębokość zalegania zwierciadła wody czwartorzędowego piętra wodonośnego wynosi 3,08 m. W porównaniu z rokiem 2016, kiedy średnia głębokość do zwierciadła wód podziemnych wynosiła 2,84 m, obserwuje się nieznaczne obniżenie poziomu zalegania zwierciadła wody w czwartorzędowej warstwie wodonośnej – o 0,24 m. Zasilanie czwartorzędowego piętra wodonośnego związane jest z infiltracją opadów atmosferycznych, a spływ wód podziemnych w obrębie czwartorzędowego poziomu wodonośnego odbywa się generalnie w kierunku północnym zgodnie z nachyleniem terenu oraz przebiegiem cieków powierzchniowych. Drenaż wód podziemnych dawnego obszaru górniczego Wieliczka odbywa się przez Serafę i jej dopływy (Leśniak, Orłak, 2017)

Dopływ wód czwartorzędowych do wyrobisk kopalni związany jest często z zapadaniem się komór, co miało miejsce w przeszłości. Bezpośrednio nad omawianymi wyrobiskami w 1879 roku miało miejsce zapadlisko związane bezpośrednio z awarią wodną Kłoski-Colloredo. Zapadlisko miało średnicę około 60-100 m. W jego rezultacie na powierzchni powstały deformacje nieciągłe, spękaniu uległo także kilka budynków (Kolasa, Kubik, 1983).

W stosunkowo niewielkiej odległości od omawianego rejonu wystąpiły w minionych czasach jeszcze dwa zapadliska: – nad komorą Opatkowice (XVIIw.), w rezultacie którego do kopalni przedostawały się wody słodkie, nawet do wyrobisk poziomu II, skutkiem czego w latach późniejszych

zapadlisko nad Opatkowicami odnawiało się wielokrotnie,

- zapadlisko związane z zawaleniem się w XVII w. Szybu Świętosławski i sąsiadujących z nim komór zwanych Za Soltysim Kołem (Kolasa, Kubik, 1983).

Wyciek w poprzeczni Kłoski ujawnił się 19.11.1868 roku. Współcześnie zarejestrowano go pod numerem WV-26. Do roku 1982 wyciek ten był systematycznie kontrolowany. Po ustąpieniu katastrofalnych dopływów, zawału kawern w roku 1879, wielkość dopływu wahała się od 0,09 do 9,19 dm³/min, przy zawartości NaCl od 4,96 g/dm³ do 315,69 g/dm³ (Dzikie dopływy w kopalni w Wieliczce -1943-1944, 1948-1957). Po roku 1982 wyciek ze względu na brak dostępu do poprzeczni Kłoski nie był systematycznie kontrolowany.

W latach 80. i 90. XX wieku przeprowadzono penetracje obu chodników. Stwierdzono, że poprzecznia Coloredo 2 na poz. IV jest sucha, jedynie jej końcówka na północ od szybiku Albrecht jest mocno błotnista, a na spągu zalega solanka. W poprzeczni Kłoski na poz. V na odcinku od komory Wolski do czoła, gdzie znajduje się tama – na spągu zalegała solanka o zawartości NaCl < 30 g/dm³. W miejscach nagromadzeń solanki występowały liczne i rozległe podługowania spągu (fot.8). Również w czole poprzeczni Kłoski, obok tamy po wschodniej jej stronie znajdowały się nagromadzenie solanki o zawartości NaCl ok. 220 g/dm³ (Stecka, Przybyło, 1996).

Obecnie rejon wycieku WV-26 jest wodoszczelnie likwidowany. Jednak dopływy z poprzeczni Kłoski obserwowane są nadal na poziomie VI jako wyciek WVI-20 zarejestrowany w 1935 roku w podłużni Regis oraz chodniku poprzecznym i pochylni do poziomu V. W miejscu dopływu w pochylni zabudowany jest próg wodny. Dopływ z pochylni odprowadzono grawitacyjnie do rząpia nr WVI-20/2. W rząpiu WVI-20/1 zbierają się ewentualne przecieki poza ujęcie w pochylni. Według opisu zawartego w opracowaniu „Zagrożenie wodne kopalni Wieliczka” 1961 w rejonie obecnego progu zabudowano w połowie XIX w. drewnianą tamę kłocową. Było to wynikiem pojawienia się wypływu w poprzeczni Kłoski. Do miejsca tego możliwy jest również dopływ z szybów Wodna Góra i Regis oraz z chodnika wodnego Regis i chodnika Leitner.

W trakcie całego okresu obserwacji wycieku jego wielkość dopływu wahała się od 0,08 do 11,88 dm³/min. przy zawartości NaCl > 300 g/dm³. W ciągu ostatnich pięciu lat waha się ona od 2,16 do 9,23 dm³/min. Okresowy wzrost wydajności wycieku związany jest z dopływem wód technologicznych. W spągu chodnika obserwuje się wtórną szatę naciekową (Rejestr wycieków kopalnianych- Książka kontroli wycieków na poz. VI).

V. ANALOGIE W PRZEBIEGU KATASTROF WODNYCH W POPRZECZNIACH KŁOSKI I MINA.

Katastrofa wodna w poprzeczni Kłoski była jednym z dwóch tego typu zdarzeń, które wydarzyły się w kopalni Wieliczka w okresie ostatnich 150 lat (pozostałe awarie wodne w kopalni miały inne genezy i przebieg). Drugie zdarzenie miało miejsce w poprzeczni Mina zlokalizowanej na IV poziomie kopalni, doszło do niego w kwietniu 1992 roku. Obie katastrofy dzieli 124 lata. Analiza przyczyn i przebiegu pozwala dostrzec bardzo duże ich podobieństwo.

Obie poprzecznie umiejscowione są w podobnych warunkach geologicznych. Chodniki te na swych ostatnich odcinkach przechodzą przez utwory złoża bryłowego, następnie otuliny iłowo gipsowej. Poprzeczną Kłoski rozcięto utwory chodenickie, poprzeczną Mina je naruszono.

W obu przypadkach kopalnia podjęła prace w wyniku odgórnie narzuconych jej zadań. W przypadku katastrofy w poprzeczni Kłoski Ministerstwo Skarbu wydało polecenie poszukiwania przez Kopalnię soli potasowo magnezowych. Poprzeczną Mina przebudowywano zaś realizując wytyczne wynikające z „Instrukcji określająca zasady prowadzenia robót górniczych w warunkach zagrożenia wodnego w podziemnych kopalniach soli” z dnia 30 grudnia 1981 roku, opracowanej przez Zjednoczenie Kopalnictwa Surowców Chemicznych. Instrukcja ta obligatoryjnie nakazywała ujmowanie wycieków w miejscu ich dopływu, co w przypadku poprzeczni Mina oznaczało ujęcie wycieku na granicy złoża.

Na realizację feralnego dla kopalni przedsięwzięcia w 1868 roku mogły też wpłynąć przekształcenia organizacyjne. W 1867 roku doszło do zmian zarządu i jego organizacji. 1 grudnia 1867 roku rozwiązano Dyрекcję Górniczą i Salinarną w Wieliczce i powołano Zarząd Salinarny podporządkowany Krajowej Dyрекcji Skarbu we Lwowie. Naczelnikiem Zarządu został Juliusz Leo.

Okres lat 1991-1992 poprzedzający katastrofę wodną w poprzeczni Mina był dla kopalni trudny. W kraju dopiero co doszło do zmian politycznych i ekonomicznych, likwidujących dotychczasowy system. W kopalni panowała atmosfera niepewności co do jej przyszłego losu.

Obie awarie rozpoczynały się dość niepozornie. W czole poprzeczni Kłoski pojawił się wyciek o wydajności około 30 dm³/min zaś w poprzeczni Mina ujęty już dopływ uległ zwiększeniu z około 5 dm³/min do około 25 dm³/min. Nie były to jednak dopływy katastrofalne. Późniejsze gwałtowne uderzenia wody były w obu przypadkach zaskoczeniem.

Tego typu zdarzeń nie spodziewano się. Kopalnia w 1868 roku nie była wyposażona w odpowiednie pompy, musiano dopiero je sprowadzać. Podobnie było w 1992 roku, ze Śląska ściągano pompy szlamowe.

Pierwsze dni w przebiegu działań ratowniczych charakteryzowały się sporym zamieszaniem i niepewnością. Początkowo

kowo dążono do ujęcia wypływów, następnie próbowano je tamować. W obu przypadkach woda obesza wybudowane tamy, co skutkowało zapanowaniem w kopalni i w mieści atmosfery paniki.

Ścierały się różne koncepcje prowadzenia prac ratunkowych, od rozsądnych do całkowicie absurdalnych. W przypadku poprzeczni Kłoski sugerowano np. „zatkanie otworu źródła, będącego przyczyną zalewu kopalni, trąbą żelazną wpuszczoną w otwór świdrowy” (Jaworski F. 1868).

W 1992 roku jeden z samorządnych doradców przedstawił koncepcję ratowania kopalni poprzez likwidowanie zbędnych jej wyrobisk gąsienicami czołgowymi łączonymi pianką poliuretanową (Studio Sozologiczne „Polutant”. 1992)

Atmosferę niepewności i wręcz paniki podgrzewały media. Doniesienia prasowe często oparte były o plotki. W obu przypadkach często stosowano dwubiegunowy schemat, w którym mądrych dawnych górników przeciwstawiano ich rzekomo niedouczonego następcom. Doskonale obrazuje to długi wiersz zamieszczony we lwowskiej Gazecie Narodowej autorstwa J. Zakrzewskiego (...) *O wy wielcy żup strażnicy! Bohaterscy przewodnicy Nie dzisiejszej karłów miary: Kościeleccy i Bonary! Przebendowcy i Morsztyny! I pokrewne wam imiona Dostojników polskich grona! Zaginęły wasze czyny, zatracone wasze ślady, że od klęsk dziś i zagłady rozszalałej znowu fali Nikt dzieł waszych nie ocali? (...) Niedowiarki, niedołęgi, Mistrze zwłoki i mitręgi, Nie pojmują nawet zrazu Calej groźby wód wyrazu (...) Calej doby marnotrawią, potem się jak dzieci bawią, to rynienkę, tamkę stawią, To chcę murem na cemencie Złamać siłę w elemencie, Aż w rosnącym wciąż odmiecie Nad daremną swoją pracą Nieporadne głowy tracą (...)*, (Zakrzewski J. 1868). W przypadku awarii z 1992 roku także uwypuklano mądrość dawnych górniczych pokoleń strzegących solnego skarbu, co nie do końca odpowiadało prawdzie. To błędy popełnione podczas wykonywania ostatniego odcinka tej poprzeczni w okresie 1914-1917 uruchomiły do niej dopływ, a rabunkowa eksploatacja złoża z okresu lat 50, 60. i 70. XX wieku doprowadziła do zaistnienia najgroźniejszych, czynnych do dziś w kopalni wycieków wód.

Przebieg obu katastrof był podobny. Dopływy wód charakteryzowały się zmiennym wydatkiem, od niewielkiego rzędu kilku, kilkunastu dm³/min do katastrofalnych chwilowych uderzeń rzędu kilku, kilkunastu tysięcy dm³/min. Zmora był wynoszony z górotworu materiał piaszczysto-ilasty (fot.6). W obu przypadkach wystąpiła deformacja powierzchni terenu. Po kilku miesiącach następowała coraz to większa stabilizacja dopływów, a gwałtowne uderzenia wody były rzadsze i charakteryzowały się mniejszymi wielkościami wydatku. Kopalnia dość szybko powracała do swego normalnego rytmu, osuwając się zagrożeniem.

Dopływy wód do poprzeczni Kłoski i Colloredo 2 trwały 11 lat. Z katastrofą w poprzeczni Mina walczono lat 15. W pierwszym przypadku dopływy uległy samoczynnemu za-

tamowaniu w wyniku zawału pustek w górotworze. W przypadku poprzeczni Mina, po odbudowie górotworu iniekcjami zaczynów iłowo-cementowych, zamknięto dopływ zamykając zawory otworów drenażowych biegnących przez tamę wodną i wodoszczelnie zlikwidowano kilkadziesiąt końcowych metrów chodnika.

Obok rzucających się w oczy podobieństw w przebiegu obu katastrof widoczne są także pewne różnice. Dopływy do poprzeczni Kłoski, a następnie Colloredo 2 charakteryzowały się bardziej burzliwym przebiegiem, a także większymi wydatkami, w porównaniu z dopływami do poprzeczni Mina. Poprzecznie Kłoski, „stara” i „nowa”, umiejscowione są na V poziomie kopalni, około 30 m niżej, zatem wody napierały na nie pod większym ciśnieniem.

Drugą zasadniczą różnicą było prowadzenie akcji ratowniczej. W przypadku katastrofy Kłoski-Colloredo przyjęto rozwiązanie szukania wody wyrobiskami. Początkowo dopływy wód występowały w jednej odosobnionej poprzeczni. W wyniku działań ratunkowych wykonano drugą poprzeczną Kłoski, przedłużono do strefy wypływu poprzeczną Colloredo 2, wykonano międzypoziomowe wyrobiska chodnikowe, „piec luzunkowy” (czyli chodnik prowadzony za wodą) oraz szybik. Taka ilość wyrobisk, w których rejestrowano wypływy, na pewno wpłynęła na osłabienie górotworu (Müller A. 1934, Wójcik J. 1992).

W przypadku katastrofy w poprzeczni Mina bardzo szybko przyjęto odmienną taktykę. Wyrobiska zlokalizowane w pobliżu poprzeczni zostały wodoszczelnie zlikwidowane. Górotwór odbudowano i wzmocniono iniekcjami zaczynów iłowo cementowych, a szeroki rejon poprzeczni podsadzono (Goneta A., Brudnik K., Przybyło J., Stryczek S., Wolańska A. 2017).

V. POPRZECZNI KŁOSKI I COLLOREDO 2 DZIŚ – REALIZOWANE PRACE GÓRNICZE.

W celu ograniczenia zagrożenia wodnego w rejonie Kłoski Colloredo w maju 2014 roku opracowano „Koncepcję zabezpieczenia zabytkowej Kopalni Soli Wieliczka w zakresie likwidacji zagrożenia wodnego w rejonie poprzeczni Kłoski i Colloredo”. Planowane w koncepcji prace mają na celu likwidację pustek poeksploatacyjnych przy północnej granicy złoża na poziomach III, IV, V i VI w rejonie Kłoski i Colloredo. Do przestrzeni likwidowanych wyrobisk dostarczana jest specjalnie dobrana, płynna mieszanina mineralna, która wypełnia pustki w górotworze i po pewnym czasie twardnieje. Skład mieszaniny został dobrany w zależności od pożądaných parametrów (w zakresie przetłaczalności, właściwości penetracyjnych, docelowej wytrzymałości itp.).

Roboty przygotowawcze do likwidacji wyrobisk w rejonie Kłoski - Colloredo rozpoczęto w roku 2016 i kontynuowano w roku 2017 (Ryc. 14, 15). W tym też roku rozpoczęto wykonywanie szczelnej likwidacji wyrobisk przy wykorzystaniu

technologii iniekcji rurociągowej. Łącznie w 2017 r. w celu szczelnej likwidacji rejonu Kloski - Colloredo zatłoczono około 1509 m³ zaczynu uszczelniającego (Ryc.16). Prace likwidacyjne kontynuowane są w 2018 roku.

Roboty związane z likwidacją rejonu Kloski-Colloredo planowane są na 6 lat, mają zostać, według harmonogramu prac, zakończone w 2022 roku (Gonet A., Biel A., Garlicki A. Stryczek S., Szybist A. 2014.



Ryc. 14. Południowy odcinek poprzeczni Colloredo 2. Stan na listopad 2014.

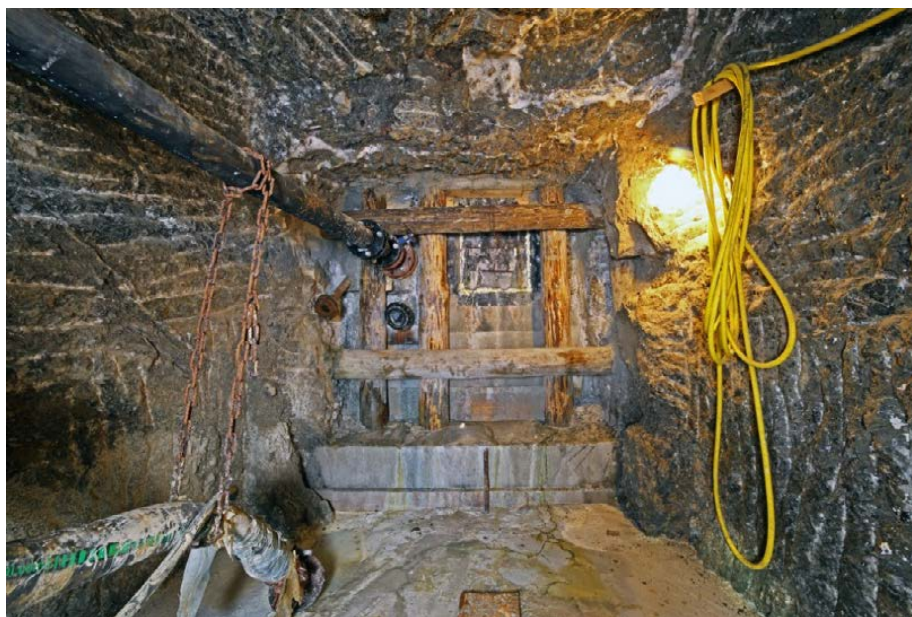
Wyrobisko jest obecnie zlikwidowane zaczynami uszczelniającymi. Fot. J. Przybyło.

Fig. 14. The southern section of the Colloredo 2 cross-corridor. Status of November 2014. The working has been plugged by sealing mixes. Photograph by J. Przybyło.



Ryc. 15. Poprzecznia Kloski w trakcie przebudowy. Widoczne namuły naniesione wodami wypływu w poprzeczni w latach 1868-1879. Stan na listopad 2016. Wyrobisko jest obecnie zlikwidowane zaczynami uszczelniającymi. Fot. J. Przybyło.

Fig. 15. The Kloski cross-corridor during alteration works. One can see mud transported by water outflows of 1868-1869. Status of November 2016. The working has been plugged by sealing mixes. Photograph by J. Przybyło.



Ryc. 16. Korek iniekcyjny zamykający poprzecznie Coloredo 2. Stan na luty 2017. Fot. J. Przybyło.

Fig. 16. An injection plug closing the Coloredo 2 cross-corridor. Status of February 2017. Photograph by J. Przybyło.

LITERATURA/REFERENCES

- ANONIM, 1869. Zalew Kopalni Wielickiej w r. 1868. Skreślił świadek naoczny. We Lwowie, nakładem F. H. Richtera.
- BUKOWSKI K., 2011. „Badeńska sedimentacja salinarna na obszarze między Rybnikiem a Dębicą w świetle badań geochemicznych, izotopowych i radiometrycznych”. *Rozprawy Monograficzne* nr 236, Wydawnictwa AGH, Kraków.
- Dzikie dopływy w kopalni w Wieliczce – 1943-1944, 1948-1957. Archiwum Działu Mierniczo Geologicznego Kopalni Soli „Wieliczka” S.A.
- FAJKLEWICZ Z., 2011. Dokumentacja badań grawimetrycznych stref zasilania i krążenia wody na północnym przedpolu poprzeczni „Mina” dla określenia zagrożeń powierzchni terenu i wyrobisk kopalni w rejonie badań. Maszynopis, archiwum Działu Mierniczo Geologicznego Kopalni Soli „Wieliczka” S.A.
- GONET A., BIEL A., GARLICKI A. STRYCZEK S., SZYBIST A., 2014. Koncepcja zabezpieczenia zabytkowej Kopalni Soli Wieliczka w zakresie likwidacji zagrożenia wodnego w rejonie poprzeczni Kłoski i Coloredo, maszynopis, archiwum Działu Mierniczo Geologicznego Kopalni Soli „Wieliczka” S.A.
- GONET A., BRUDNIK K., PRZYBYŁO J., STRYCZEK S., WOLAŃSKA A., 2017. Wieliczka. Nauka i technika. Ratowanie zabytku. Kopalnia Soli „Wieliczka” Trasa Turystyczna Sp. z o.o. Wieliczka
- JAWORSKI F., 1868. Kilka uwag z powodu zalewu Wieliczki. *Drukarnia Gazety Polskiej*. http://www.bg.agh.edu.pl/Klosy_Czasopismo_ilustrowane_tygodniowo_nr_184_1869. <https://polona.pl/item/klosy-czasopismo-illustrowane-tygodniowe-1869-t8-nr-184-7-stycznia-wkl,Nzk0MTg2Mg/0/#info:metadata>
- Kłosy. *Czasopismo ilustrowane tygodniowo* nr 186. 1869. <https://polona.pl/item/klosy-czasopismo-illustrowane-tygodniowe-1869-t8-nr-186-21-stycznia,Nzk0MTg2NA/0/#info:metadata>
- Kłosy. *Czasopismo ilustrowane tygodniowo* nr 243. 1870. <https://polona.pl/item/klosy-czasopismo-illustrowane-tygodniowe-1870-t10-nr-243-24-lutego,Nzk0MTkyMw/0/#info:metadata>
- KOLASA K. KUBIK K., 1983. Poeksploatacyjne zapadliska wielickie. *Studia i Materiały do Dziejów Żup Solnych w Polsce*, t. XII. Wieliczka.
- LEŚNIAK J., ORLAK M., 2017. Kontrola czwartorzędowego poziomu wodonośnego na byłym terenie górniczym Barycz-Wieliczka. Archiwum Działu Mierniczo Geologicznego Kopalni Soli „Wieliczka” S.A.
- ŁOTYSZ S., 2018. Księga wynalazków. Wydawnictwo Dragon. Bielsko Biała.
- MÜLLER A., 1934. Historia Saliny Wielickiej. Maszynopis, archiwum Działu Mierniczo Geologicznego Kopalni Soli „Wieliczka” S.A.
- PRZYBYŁO J., 2017. Geologiczne i historyczne przyczyny awarii wodnej w poprzeczni Mina w Kopalni Soli „Wieliczka”. *Przeгляд Solny* nr 13.
- Rejestr wycieków kopalnianych. Książka kontroli wycieków na poz. V, VI. Archiwum Działu Mierniczo Geologicznego Kopalni Soli „Wieliczka” S.A.
- STECKA J. PRZYBYŁO J., 1996. Budowa geologiczna i warunki hydrogeologiczne najbliższego otoczenia szybu Regis. Maszynopis, archiwum Działu Mierniczo Geologicznego Kopalni Soli „Wieliczka” S.A.
- STUDIO SOZOLOGICZNE POLUTANT, 1992. Sposób ochrony Kopalni Soli „Wieliczka” przed zatopieniem, a tym samym przed zapadnięciem się górnych warstw geologicznych. Kopia z rękopisu, archiwum Działu Mierniczo Geologicznego Kopalni Soli „Wieliczka” S.A.
- WIEWIÓRKA J., 1988. Warunki geologiczne eksploatacji soli w żupach krakowskich. *Dzieje Żup Krakowskich*. Wieliczka.
- WÓJCIK J., 1992. Opis katastrofalnego wycieku Kłoski-Coloredo w Kopalni Soli Wieliczka (1868r. – 1879 r.) Maszynopis, archiwum Działu Mierniczo Geologicznego Kopalni Soli „Wieliczka” S.A.
- ZAKRZEWSKI J., Wieliczka. *Gazeta Narodowa* nr 292. 19 grudnia 1868.
- „Zagrożenie wodne kopalni Wieliczka” 1961. Archiwum Działu Mierniczo Geologicznego Kopalni Soli „Wieliczka” S.A.



Rzeźbiarstwo w soli

Sculpture in salt

Agnieszka WOLAŃSKA

Kopalnia Soli „Wieliczka” Trasa Turystyczna Sp. z o. o., Park Kingi 10, 32-020 Wieliczka, agnieszka.wolanska@kopalnia.pl

STRESZCZENIE

Historyczny rozwój solnego rzeźbiarstwa związany jest z tradycją górniczą. Ten rodzaj twórczości uzależniony był od rozwoju technik eksploatacji soli kamiennej. Możliwy był tylko w przypadku kopalń podziemnych, z których sól eksploatowano metodami tradycyjnymi „na sucho”. Pierwsze prace rzeźbiarskie wykonywali górnicy - uzdolnieni artystycznie samoucy. Początkowo ich rzeźby służyły kreowaniu i przyozdabianiu podziemnych kaplic, które powstawały już w XVII wieku w kopalni soli w Wieliczce, a w następnych stuleciach również w Bochni. Początki XX wieku to okres przenoszenia tradycji rzeźbiarskich do kopalni soli w Kaczyce (Cacica). W XX wieku solne rzeźbiarstwo zaczęło rozwijać się również w kopalni soli w Kłodawie. Solne rzeźby są też ozdobą podziemnej katedry w kopalni Realmonte na Sycylii. Poza Europą miejscem, w którym były tworzone solne rzeźby, jest kolumbijska kopalnia soli w Zipaquira, oraz kopalnia Khwera w Pakistanie. Tradycja rzeźbienia w soli przez górników jest wciąż kontynuowana. Powstały nie tylko dzieła o treści religijnej, ale również pomniki ku czci zasłużonych ludzi polityki, nauki i sztuki. Analizując rzeźby solne, można wskazać przykłady kwalifikujące się do sztuki zarówno profesjonalnej, jak i nieprofesjonalnej. Odpowiedź na pytanie, gdzie w przypadku rzeźbiarstwa w soli, biegnie granica między sztuką wysoką a ludową nie jest prosta.

Specyfika surowca, jakim jest sól, warunkuje formę i technikę rzeźbiarską. O wyborze gatunku soli decyduje temat i wielkość mającej powstać rzeźby. Sól jako materiał rzeźbiarski jest nietrwała i determinuje nierozwiązywalne częstokroć problemy konserwatorskie.

Odrębnym zagadnieniem jest wykorzystanie soli jako materiału rzeźbiarskiego przez współczesnych artystów pro-

fesjonalnych niemających związków z górnictwem. Jedno z takich dzieł znajduje się w kolekcji Muzeum Sztuki Współczesnej w Krakowie. Generalnie jednak sól nie jest popularnym surowcem dla współczesnych artystów, wykorzystują ją jedynie nieliczni.

Warto podjąć dalsze badania nad rzeźbiarstwem solnym, które jako część dziedzictwa górnictwa solnego wymaga kompleksowych studiów. Przeprowadzenie interdyscyplinarnych badań powinno przyczynić się do jego popularyzacji oraz objęcia jeszcze lepszą ochroną. Celem nadrzędnym mogłoby być wpisanie rzeźbiarstwa w soli na Światową Listę Dziedzictwa UNESCO.

Słowa kluczowe: sól, rzeźbiarstwo, górnik-rzeźbiarz, kopalnia, dziedzictwo, sztuka.

ABSTRACT

The historical development of salt sculpture is associated with the mining tradition. This type of work depended on the development of rock salt mining techniques. It was only possible in the case of underground mines, from which the salt was excavated using traditional “dry” methods. The first sculptural works were made by miners – artistically talented self-taught men. Initially, their sculptures were used to create and ornament underground chapels, which were founded as early as in the seventeenth century in the salt mine in Wieliczka, and subsequently in Bochnia. The beginning of the 20th century is the period of transferring sculptural traditions to the Kaczyce salt mine (Cacica). In the 20th century, salt sculpture also began to develop in the salt mine in Kłodawa. Salt sculptures decorate the underground cathedral in the Realmonte mine in Sicily. Outside Europe, the art of salt sculptures also

emerged in the Colombian salt mine in Zipaquirá, and the Khwer mine in Pakistan. The tradition of salt carving is still alive. Not only did the miners create work of religious content, but also monuments in honor of famous people from the field of politics, science and art. While analyzing salt sculptures, one can point to the examples that could be classified as both professional and unprofessional art. When it comes to sculpture in salt, the boundary between high and folk art is not easy to be defined.

Special features of salt as a material determines the form and technique of sculpturing. The choice of salt type depends on the theme and size of the sculpture. Salt as a sculptural material is not lasting and often causes problems with conservation work that are difficult to be solved.

A separate issue is the use of salt as a sculptural material by contemporary professional artists who have no connection with mining. One of such works is a part of the collection of the Museum of Contemporary Art in Krakow (MOCAK). Generally, however, salt is not a popular material for contemporary artists, used only by a few.

It is worth undertaking further research on salt carving, which, as a part of the salt mining heritage, requires comprehensive studies. Interdisciplinary research should contribute to its popularization and even better preservation. The main objective could be the inclusion of salt sculpture in the UNESCO World Heritage List.

Key words: salt, sculpture, miner-sculptor, mine, heritage, art

WSTĘP

Temat rzeźbiarstwa w soli jest bardzo interesujący i ciekawy. Tym bardziej frapujący, że dotychczas podejmowany jedynie w kontekście podziemnych kaplic kopalnianych. Powstały liczne artykuły omawiające poszczególne górnicze miejsca kultu i ich wyposażenie, jednak ani jedno wydawnictwo nie ujęło całościowo wszystkich aspektów tego tematu. Analizując rzeźbiarstwo w soli konieczne jest prowadzenie interdyscyplinarnych badań z pogranicza geologii, górnictwa, historii sztuki, etnografii. Mam nadzieję, że niniejszy artykuł przybliży zagadnienie wykorzystania soli w twórczości rzeźbiarskiej. Materiał badawczy, który wykorzystalam w artykule to zarówno publikowane wyniki badań, jak również materiały niepublikowane. Artykuł omawia kilka aspektów związanych z górnictwem solnym dlatego dla lepszej przejrzystości został podzielony na rozdziały.

RZEŹBIARSTWO W SOLI W POLSCE I NA ŚWIECIE, STAN BADAŃ I LITERATURA PRZEDMIOTU

Temat rzeźbiarstwa solnego i metodologia pracy nad nim wymusza sięgnięcie do wyników badań prowadzonych

przez geologów, górników, historyków, etnografów i historyków sztuki. Nie powstało jak dotąd opracowanie dotyczące rzeźbiarstwa w soli. Literatura przedmiotu dotyczy głównie tworzonych przez górników miejsc kultu i w tym aspekcie poruszane były kwestie rzeźb solnych. Wśród badaczy należy wymienić: Krystynę Paluch-Staszkiel, Dariusza Śladczyckiego, Elżbietę Kalwajtys, Marka Skubisza, Barbarę Konwerską, którzy podjęli tematykę solnych kaplic w żupach krakowskich, czyli kopalniach soli w Wieliczce i Bochni. Jako historycy sztuki opisywali, analizowali i próbowali interpretować cechy stylu poszczególnych solnych rzeźb w konkretnych kaplicach. Z uwagi na specyfikę soli i niejednokrotnie jedynie fragmentarycznie zachowane *in situ* solne artefakty, wyniki tych badań nie były jednoznaczne, gdyż opierały się często na domysłach i hipotezach. Również historycy, wykorzystując swoje metody badawcze, poprzez analizę źródeł pisanych, kartograficznych czy też ikonograficznych publikowali artykuły dotyczące szeroko rozumianej historii żup solnych, głównie w rocznikach wydawanych przez Muzeum Żup Krakowskich w Wieliczce. Wymienić w tym miejscu należy szczególnie cenne prace Józefa Charkota dotyczące problematyki zabezpieczania zabytkowych wyrobisk kopalń soli w Wieliczce i Bochni, czy też studia konserwatorskie dla poszczególnych komór. W niniejszym artykule poddano również analizie i interpretacji literaturę geologiczną i górniczą, w zakresie niezbędnym dla zrozumienia, czym jest sól, jakie jej rodzaje najchętniej wykorzystywane są w rzeźbiarstwie, jak się ją eksploatuje itd. Prace profesorów-geologów Aleksandra Garlickiego, Grzegorza Czapowskiego i wielu innych były niezmiernie pomocne. Różne rodzaje soli, podobnie jak w przypadku kamienia, wymuszają zastosowania różnych technik rzeźbiarskich. Wpływa to na sposób obrobienia materiału, uformowania poszczególnych partii dzieła, a wreszcie na całą kompozycję. Temat i sposób jego ujęcia jest wypadkową faktu, iż solne rzeźby powstawały na zamówienie. Mecenate zarządców kopalń oraz funkcja jaką dzieło miało spełniać decydowały o sposobie ujęcia tematu. Terminologia związana z rzeźbiarstwem w soli związana jest również z czysto górniczym nazewnictwem, bowiem solne rzeźby w większości prezentowane są w miejscach, gdzie powstały, czyli w kopalniach. Ustawione są na spągu (podłodze), w komorach poeksploatacyjnych tj. górniczych wyrobiskach, lub wkomponowane w solne ściany (ociosy). Rzeźby wykonane z soli są nietrwałe głównie dlatego, że ulegają wylugowaniu (rozpuszczeniu) przez wilgoć znajdującą się w powietrzu. W dobrym stanie przetrwały tylko te rzeźby, które znajdowały się w komorach zabezpieczonych i udostępnionych. Zawały oraz inne górnicze zagrożenia, które spowodowały zaciskanie się wielu komór poeksploatacyjnych, były przyczyną degradacji solnych artefaktów.

HISTORYCZNY ROZWÓJ RZEŹBIARSTWA W SOLI I JEGO NAJWAŻNIEJSZE OŚRODKI

Rozwój solnego rzeźbiarstwa związany jest z tradycją górniczą. Ten rodzaj działalności artystycznej warunkowany był rozwojem kopalń i sposobami eksploatacji soli. Możliwy był tylko w przypadku kopalń podziemnych, z których sól eksploatowano metodami tradycyjnymi „na sucho”. Natomiast podziemna eksploatacja soli systemem mokrym (natryski i komory ługownicze) w sposób oczywisty wykluczała użycie soli jako materiału rzeźbiarskiego.

Głównymi ośrodkami, na przykładzie których można przedstawić chronologię procesów rzeźbiarstwa w soli, są kopalnie soli w Wieliczce, Bochni i częściowo w Kaczyce.

W Polsce najlepiej udokumentowane jest rzeźbiarstwo w wielickiej kopalni soli. Kopalnia Soli „Wieliczka” w 1978 roku została wpisana na I Światową Listę UNESCO. W 2013 roku, po rozszerzeniu wpisu pod tytułem „Królewskie kopalnie w Wieliczce i Bochni” umieszczono na Liście Światowego Dziedzictwa również Kopalnię Soli „Bochnia” (CHARKOT J., 2003, 2016). Pierwsze prace rzeźbiarskie wykonywali pracujący w Wieliczce górnicy - uzdolnieni artystycznie samoucy. Od wieku XVII datuje się powstanie pierwszych podziemnych miejsc modlitw, które stały się tak charakterystyczne dla spuścizny kopalni wielickiej i bocheńskiej. W późniejszych wiekach tradycja budowania podziemnych kaplic rozprzestrzeniła się poza żupy krakowskie, do innych kopalń

soli. Część wyposażenia kopalnianych świątyń tj. obrazy, drewniane krzyżki górniczy przywozili z powierzchni, natomiast rzeźby solne wykuwali zazwyczaj pod ziemią.

Pierwsi wykonawcy prac rzeźbiarskich w wielickiej kopalni pozostają nieznanymi. Najstarsze dzieła zrealizowane przez anonimowych górników-rzeźbiarzy, które zachowały się do naszych czasów datuje się na wiek XVII. Nieznane pozostają nazwiska twórców późnobarokowej kaplicy św. Antoniego (lata 1698 – 1710). Czy byli to górnicy-rzeźbiarze-samoucy, czy raczej dobrze wykształceni w plastycznym kunszcie mistrzowie? Na to pytanie na razie nie udało się znaleźć odpowiedzi. Jednak biorąc pod uwagę wysokie walory architektoniczno-rzeźbiarskiego założenia zrealizowanego w kaplicy św. Antoniego, można postawić hipotezę, że nie byli to prości górnicy-samoucy, a mistrzowie w swoim fachu. Anonimowe pozostają również postacie rzeźbiarzy, którzy pracowali w kaplicy św. Krzyża w komorze Lizak (lata 1710-1730). Przyjmuje się, że byli to ci sami, którzy ukończyli najpierw prace w kaplicy św. Antoniego. Wiemy, że przeprowadził im ten sam majster (mistrz), który zginął podczas prac rzeźbiarskich w komorze Lizak. Ten fakt odnotowano w protokołach komisji królewskich, jednak nie zapisano jego nazwiska, a jedynie funkcję (KALWAJTYS E., 2011). Pierwsze nazwiska rzeźbiarzy, jakie znamy pochodzą z lat 50. XIX wieku, kiedy to przeprowadzono renowację kaplicy św. Antoniego. Byli to: sztygar Alojzy Nürenberg (Nürenberger), stojak Peller oraz stolarz Lepiarski (KALWAJTYS E., 1996).



Ryc. 1. Kaplica Św. Antoniego (Św. Dominik, Św. Franciszek). Fot. B. Krużel
Fig. 1. Chapel of St. Anthony (St. Dominic, St. Francis). Photo: B. Krużel

W kaplicy św. Antoniego w wielickiej kopalni znajdują się powstałe w XVII wieku figury: św. Antoniego, św. Stanisława, św. Klemensa, Matki Boskiej, św. Marii Magdaleny, św. Jana, św. Piotra z Alkantary, św. Kazimierza Królewicza, św. Dominika, św. Franciszka, św. Piotra i św. Pawła (KALWAJTYS E., 1996). Również z końca XVII wieku pochodzą rzeźby wykonane dla kaplicy św. Kunegundy (komora Boczaniec): dwie postacie klęczących mnichów oraz figury św. Klemensa i św. Stanisława (KALWAJTYS E., 2003).

Na lata 20. XIX wieku datowany jest solny pomnik przedstawiający św. Jana Nepomucena, dzisiaj znajdujący się nad brzegiem solankowego jeziora w komorze im. Józefa Piłsudskiego. Z tego samego okresu pochodzi kapliczka Ukrzyżowania zlokalizowana w poprzeczni Lipowiec I, z solną płaskorzeźbą przedstawiającą Chrystusa Ukrzyżowanego i figurką prawdopodobnie św. Franciszka (WOLANSKA A., SKUBISZ M., 2016).

W latach 90. XIX wieku powstała w wielickiej kopalni najokazalsza kaplica pod wezwaniem św. Kingi, gdzie prezentowane są sceny z Nowego Testamentu – od Szopki Betlejemskiej po Zmartwychwstanie (PALUCH-STASZKIEL K., 1981). Wykonawcą głównych prac (do 1920 roku) był górnik-rzeźbiarz samouk Józef Markowski. Najważniejszymi pracami jakie wykonał są: ołtarz główny z figurą św. Kingi oraz św. Klemensa i św. Józefa, ołtarze boczne *Serca Pana Jezusa* i *Serca Matki Bożej*, kaplice boczne: *Zmartwychwstania Pańskiego*, *Matki Bożej z Dzieciątkiem*. Wyrzeźbił solną ambonę, płaskorzeźbę *III Upadek Chrystusa pod krzyżem* oraz statuetkę *Górnika z kagankiem*. Jego autorstwa są również rzeźby: św. Barbary, Matki Bożej z Lourdes, grupa rzeźb *Adoracja Krzyża* i kropielnica.

Na przełom XIX/XX wieku datowane są rzeźby św. Barbary i św. Kingi, przypisywane Józefowi Markowskiemu. Naturalnej wielkości solne figury zdobiły niegdyś kaplicę św. Krzyża znajdującą się na podszymbiu szybu Daniłowicza na III poziomie. Obecnie prezentowane są na podziemnej ekspozycji Muzeum Żup Krakowskich, przy wyjściu z komory Russegger II.

Przez cały XIX wiek rozwój rzeźbiarstwa w soli związany był z urządzeniem trasy dla zwiedzających wielickie podziemia. Powstawały wtedy nie tylko rzeźby o tematyce religijnej, ale też solne monumenty mające upamiętniać członków rodziny panującej z dynastii Habsburgów. Do naszych czasów zachował się jedynie obelisk poświęcony ojcu cesarza Franciszka Józefa I – Franciszkowi Karolowi (połowa XIX wieku). W dawnych przewodnikach zachowały się opisy nieistniejących już solnych „piramid” wzniesionych ku czci i na pamiątkę odwiedzin cesarza Franciszka i cesarzowej Karoliny Augusty (BOCZKOWSKI F., 1843). Solne rzeźby, które niestety nie przetrwały do naszych czasów nawiązywały również do mitologii rzymskiej. Postacie Neptuna (boga mórz) i Wulkana (boga ognia) zdobiły podziemną salę balową Łętów, dzisiaj już niedostępną. Miały zapewne, podobnie jak figury świętych chrześcijańskich, chronić przed niebezpieczeństwem wody i pożarami.

W tym samym czasie powstały, wykuwane na solnych ociosach (lub osadzone w nich), ozdobne tablice solne informujące o nazwie danego wyrobiska, związanej z zasłużonym patronem jak np. „HAUPTLAGENSCHLAG GERAMB OR”, „KAMMER PLENER 1862” itp.

W okresie międzywojennym (lata 1918-1939) prace rzeźbiarskie w wielickiej kopalni, przeprowadzano głównie



Ryc. 2. Kaplica Św. Kingi – widok ogólny. Fot. M. Gardulski
Fig. 2. Chapel of St. Anthony, the main altar. Photo: M. Gardulski



Ryc. 3. Władysław Hapek, *Mikołaj Kopernik*. Fot. B. Krużel
 Fig. 3. Władysław Hapek, *Nicolaus Copernicus*. Photo: B. Krużel

w kaplicy św. Kingi, wzbogacając jej wystrój. Kontynuował je młodszy brat Józefa Markowskiego – Tomasz (do 1927 roku), który jest autorem dwóch płaskorzeźb w kaplicy św. Kingi: *Wyrok Heroda* i *Rzeź Niewiniątek* oraz postaci trzech Marii w kaplicy bocznej *Zmartwychwstania Pańskiego*. Od 1927 roku, głównym rzeźbiarzem w wielickiej kopalni został Antoni Wyrodek, który wykonał w kaplicy św. Kingi płaskorzeźby: *Ucieczka Świętej Rodziny do Egiptu*, *Dwunastoletni Jezus nauczający w Świątyni*, *Święta Rodzina w drodze do Betlejem*, *Cud w Kanie Galilejskiej*. Od 1935 roku po ukończeniu Szkoły Przemysłu Artystycznego (do której uczęszczał jako stypendysta kopalni) jako rzeźbiarz – profesjonalista wykonał jeszcze w kaplicy św. Kingi płaskorzeźby pt.: *Ostatnia Wieczerza* (wzorowaną na fresku Leonarda da Vinci), *Niewierny Tomasz ze Zmartwychwstałym Chrystusem*, oraz solną posadzkę (GAWROŃSKI W., 2013).

Podczas okupacji niemieckiej nie przerwano prac rzeźbiarskich. Kopalnia w latach 1939-1945 nadal funkcjonowała, a Antoni Wyrodek wykonał m.in. prezent dyrekcji dla Benito Mussoliniego¹, dużych rozmiarów różgi liktorskie z toporem; rzeźby przedstawiające Adolfa Hitlera itp. Jak podkreślała córka rzeźbiarza *Ojciec rzeźbił co mu kazano a nie tylko co sam by chciał*. Antoni Wyrodek pracował bowiem w trzech różnych epokach: II Rzeczypospolitej, okupacji niemieckiej i Polskiej Rzeczypospolitej Ludowej.

W okresie powojennym niektóre solne rzeźby, które powstawały w Wieliczce związane były z ideologią socjalistyczną. Zlecono wykucie m.in. popiersia Karola Świerczewskiego

¹ Z relacji córki Antoniego Wyrodka, Pani Cecylii Kosteckiej przekazanej podczas spotkania pt. *Wieliczka-Wieliczanie*, poświęconego górnikom-rzeźbiarzom w 2001 roku w sali wielickiego Magistratu.

i płaskorzeźby przedstawiającej „braterstwo broni” żołnierza Ludowego Wojska Polskiego i Armii Czerwonej. Powstawały też jednak rzeźby o neutralnej tematyce jak np.: pomnik cieśli górniczych w komorze Drozdowice, popiersie Stanisława Staszica – wszystkie autorstwa Antoniego Wyrodka. Koniec lat 60. i pierwsza połowa lat 70. XX wieku to czas organizacji współczesnej trasy turystycznej w wielickiej kopalni. Zatrudniono wówczas jako rzeźbiarza Władysława Hapka, artystę z dyplomem Akademii Sztuk Pięknych, który był autorem licznych prac malarskich, graficznych, rzeźbiarskich oraz pomników: Kazimierza Wielkiego (1968 rok) i Mikołaja Kopernika (1973 rok). Jego płaskorzeźby solne w dawnej komorze Braterstwa Broni (1970 rok) i w dawnej komorze Ruchu Młodzieżowego (lata 1973 – 1974), potraktowano jako „dziedzictwo niechciane” i nie zachowano do dnia dzisiejszego. Zmieniono również nazwy tych wyrobisk. W latach 1956-1981 zatrudniony w wielickiej kopalni w charakterze górnika-rzeźbiarza był Mieczysław Kluzek. W 1961 roku pracował przy renowacji kaplicy św. Antoniego, gdzie m. in. wyrzeźbił gołębicę nad amboną w przedsionku oraz ozdobne wejście od komory Janowice. Wykonał monumentalne rzeźby na trasie turystycznej: *Wielką Legendę* (1967 rok), *Skarbnika* (w 1968 roku w poprzeczni Poniatowski) oraz wypalaczy metanu - *Pokutników* w komorze Spalone (1972 rok). Jego prace możemy również znaleźć w kaplicy św. Kingi. W tym okresie pracowali również przy rzeźbieniu w soli: Stefan Kozik, Piotr Cholewa, Władysław Janowski. Praca w kopalni zawsze była pracą zespołową, podobnie było również w przypadku realizacji dużych kompozycji rzeźbiarskich (WOLAŃSKA A., 2016).



Ryc. 4. Mieczysław Kluzek, *Wielka Legenda*. Fot. B. Krużel
 Fig. 4. Mieczysław Kluzek, *Great Legend*. Photo: B. Krużel

Wraz ze zmianami ustrojowymi, w latach 90 XX wieku i na początku XXI wieku, solnymi pomnikami uczczono Marszałka Józefa Piłsudskiego, Generała Józefa Hallera, Jana Pawła II. Upamiętniono też Johanna W. Goethego oraz Juliusza Słowackiego. Dwóch największych górników-rzeźbiarzy przełomu XX/XXI wieku to Stanisław Anioł i Józef Kowalczyk. W 2004 roku w komorach Wisła i Warszawa powstały dwa reliefy solne. Projektantami tych dzieł byli architekci: Krzysztof Kiendra i Wiesław Cała, natomiast wykonawcami górniczy-rzeźbiarze: Marek Stachura, Marek Janowski, Paweł Janowski, Juliusz Chimiak. Kontynuowano również tradycję upamiętniania zasłużonych osób i wydarzeń historycznych solnymi tablicami. Za przykład może posłużyć tablica poświęcona Antoniemu Wyrodkowi, wykuta w latach 90. XX wieku przez Stanisława Anioła i Józefa Kowalczyka. Stanisław Anioł był również projektantem i wykonawcą dwóch ozdobnych płaskorzeźb poświęconych 25-tej rocznicy powstania NSZZ Solidarność oraz 30-stej rocznicy wpisania Kopalni Soli „Wieliczka” na I Listę UNESCO. W 2016 roku w podłuzni Hauer na III poziomie kopalni powstała solna płaskorzeźba z wizerunkiem cesarza Franciszka Józefa I. Wykonawcami byli artyści profesjonalni Jacek Pilch, Małgorzata Pilch i Aleksander Janicki, który był również autorem projektu.

Z upływem kolejnych dekad inspiracją dla obecnie pracujących górników-rzeźbiarzy stały się rzeźby ich poprzedników. Najokazalszym tego przykładem jest kaplica św. Kingi w Centrum Jana Pawła II w krakowskich Łagiewnikach. Powstała w 2013 roku, a jej wystrój wzorowano na wielickiej kaplicy św. Kingi (WOLAŃSKA A., SKUBISZ M., 2016)



Ryc. 5. Stanisław Anioł, *Józef Piłsudski*. Fot. M. Gardulski
 Fig. 5. Stanisław Anioł, *Józef Piłsudski*, archive of the “Wieliczka”
 Salt Mine

Projekt kaplicy św. Kingi zakładał wykorzystanie soli jako materiału, w którym zostały wykonane najcenniejsze elementy wystroju wnętrza. Centralne miejsce w ołtarzu głównym zajmuje figura św. Kingi, zaprojektowana i wykonana przez górnika-rzeźbiarza Piotra Starowicza. Górnicy wykonali kopie sześciu płaskorzeźb (oryginały znajdują się 101 metrów pod ziemią, w kaplicy św. Kingi w wielickiej kopalni): *Rzeź Niewiniątek*, *Ucieczka do Egiptu* – to dzieła Jana Banasia oraz Jacka Talapki; *Dwunastoletni Chrystus nauczający w świątyni* oraz *Wesele w Kanie Galilejskiej* – wyrzeźbił Marek Stachura wraz z Michałem Aniołem; natomiast *Ostatnia Wieczerza* i *Niewierny Tomasz* wyszły spod dłuta Piotra Starowicza i Marka Janowskiego. Pozostali górnicy, którzy pracowali przy montażu wystroju kaplicy to: Karol Kobyłko, Mirosław Sikora, Marcin Piątek.

Równoległe z realizacją dużych przedsięwzięć rzeźbiarskich powstają dzieła mniej spektakularne. Niejednokrotnie górnicy-rzeźbiarze, przekształcając się z twórców w wytwórców galanterii solnej produkowanej „seryjnie” jako pamiątki z kopalni. Ztraca się u nich wtedy oryginalność na rzecz wytwarzania form, które łatwo się sprzedadzą mało wymagającemu masowemu turyście. Fałsz solnych pamiątek „hand made” pogłębiany jest również przez porzucenie tradycyjnych technik rzeźbiarskich na rzecz mechanicznej obróbki soli przy wykorzystaniu elektrycznych narzędzi. Technika rzeźbienia w soli wymusiła jednak wyjście ze schematu a trudności w obróbce brył solnych, wynikające z budowy materiału, przyniosły również pozytywny aspekt, zmusiły bowiem górników-rzeźbiarzy do poszukiwania autorskich rozwiązań formalnych. Należy również zauważyć, że wytwarzanie solnych pamiątek jak i solnych upominków dla znakomitych gości ma swoje korzenie w tradycji rzeźbiarstwa wielickiego i występowało już w minionych wiekach. W zbiorach Muzeum Żup Krakowskich zachował się Gnom w mundurze górnika wykonany w latach 30. XX wieku przez Antoniego Wyrodka (SKUBISZ M., 2014). Solne krasnoludki rzeźbił już wcześniej (koniec XIX wieku) Józef Markowski, a temat ten kontynuował Stefan Kozik w latach 60. XX wieku.

Rzeźbiarstwo w soli występuje również w Kopalni Soli w Bochni i związane jest z tradycją chrześcijańską. Do obecnych czasów w bocheńskiej żupie zachowały się cztery miejsca kultu religijnego: kaplica św. Kingi (na poziomie I August), kaplica Passionis (przy schodach Regis), kaplica Crucifix (przy schodach Regis) oraz pozostałości po kaplicy św. Józefa (MIGDAS T., 2006). Z wyżej wymienionych jedynie w kaplicy św. Kingi zachowały się rzeźby solne. Historia kaplicy św. Kingi jako miejsca kultu sięga 1747 roku. W latach 20. XX wieku kaplicę poddano remontowi i wtedy to w zachodnim ociosie wykuto ambonę i zakrystię. Ambona składa się z mównicy wspartej na podstawie przypominającej kształtem chrzcielnicę kielichową. Jest to typ kazalnicy przyściennej z baldachimem. W tym samym ociosie (ścianie

bocznej), w specjalnie przygotowanych niszach, umieszczono cztery solne figury przedstawiające Świętych: Kingę, Wojciecha, Jana Nepomucena i Tomasza z Akwinu. Autora tych rzeźb nie udało się ustalić (ŚLADECKI D., 1989).

Współcześni rzeźbiarze bocheńscy, dla których sól jest artystycznym tworzywem to: Zygmunt Ból i Mirosław Malaca. Najnowszą pracą Mirosława Malacy jest pomnik Jana Pawła II, wykonany w 2017 roku. Rzeźba powstała na dole w kopalni bocheńskiej (212 metrów pod ziemią) z bloków solnych pozyskanych z kopalni w Kłodawie. Jest on również autorem postaci dwóch górników. Z uwagi na zanieczyszczenie soli iłem, musiał w trakcie pacy zmodyfikować układ kompozycji (zmniejszyć jedną z figur, ze stojącej zrobić klęczącą). Uczył się techniki rzeźbienia w soli, pomagając doświadczonemu rzeźbiarzowi amatorowi Zygmuntowi Bólowi, który w 1998 roku wyrzeźbił trzy figury, prezentowane turystom zwiedzającym zabytkową kopalnię w Bochni. Nazwy tych rzeźb to: *Skarbnik*, *Nosicz* oraz *Taczkowanie*².

W Polsce jedynym podziemnym zakładem górniczym, wydobywającym sól metodą suchą jest Kopalnia Soli „Kłodawa”. Pierwsze partie soli kamiennej wydobyto w Kłodawie w 1956 roku. Sól eksploatuje się tutaj metodami górniczymi (w latach 70. XX w. największe wydobycie osiągało ponad milion ton rocznie). Z racji swych fizyko-chemicznych właściwości kłodawska sól kamienna znajduje zastosowanie w wielu dziedzinach gospodarki, m.in.: jako sól spożywcza do bezpośredniego spożycia, jako sól lecznicza, w przetwórstwie spożywczym, rolnictwie i hodowli, a także w zimowym utrzymaniu dróg. Wykorzystuje się ją również jako materiał rzeźbiarski, głównie do produkcji pamiątek i okolicznościowych upominków. W kłodawskiej kopalni, w obszarze udostępnionym turystom, prezentowane są rzeźby solne. Przedstawiają św. Kingę, Skarbnika – dobrego ducha kopalni, siedzącego gwarka oraz górnika stojącego przy stanowisku pracy. Postać św. Kingi (wys. 1,70 m, waga ponad 1,5 tony) wykonał Włodzimierz Chęciński, w latach 90. XX wieku. Rzeźba powstawała na powierzchni przez dwa miesiące, następnie została przetransportowana 600 m pod ziemię i osadzona w kaplicy św. Kingi. Włodzimierz Chęciński jest również autorem płaskorzeźbionych w ociosie herbów miast solnych: Kłodawy, Inowrocławia, Wieliczki i Bochni. Pozostałe rzeźby wykonywał nieżyjący już Andrzej Lipiński³. Występują również płaskorzeźby, które zdobiją solne ociosy ich autorem jest górnik Konrad Łojewski. Kopalnia Soli „Kłodawa” jest miejscem, z którego pozyskuje się sól wykorzystywaną później jako tworzywo rzeźbiarskie nie tylko na miejscu, ale również jest wysyłana w inne rejony kraju. Łatwo ją poznać po charakterystycznym różowym zabarwieniu. W kłodaw-

² Informacje uzyskane przez autorkę od Mirosława Malacy podczas wizyty w kopalni bocheńskiej w maju 2018 roku.

³ Informacje uzyskane od Panów Janusza Kołodziejkiego (Dyrektora ds. handlowych Kopalni Soli „Kłodawa” oraz Włodzimierza Chęcińskiego w lipcu 2018 roku.

skiej kopalni funkcjonuje zakład galanterii solnej, w którym zatrudniona jest Małgorzata Borzenda i Janusz Michliński. Pani Małgorzata (absolwentka liceum plastycznego w Kole, obecnie w Kościelcu) jest autorką licznych rzeźb solnych, które zdobią wnętrza budynków w Uniejowie i pokoi biurowych kopalni w Kłodawie. Pomimo, że do obróbki używa obok tradycyjnych narzędzi również elektronarzędzi, uważa że każda jej praca z uwagi na to, że jest wykonywana ręcznie i ma niepowtarzalny kształt i jest dziełem artystycznym⁴.

W ograniczonym zakresie sól kamienną eksploatuje się również w dolnośląskim zagłębiu miedziowym w kopalniach Polkowice i Sieroszowice (GARLICKI A., 2013). Sól kamienną z tych rejonów eksploatacji wykorzystują również górnicy-rzeźbiarze z Wieliczki, np. do wyrobu kryształowych ozdób.

Początki XX wieku to okres przenoszenia tradycji rzeźbiarskich do kopalni soli w Kaczyce (obecnie Cacica, Rumunia), która wtedy należała podobnie jak kopalnie soli w Wieliczce i Bochni do monarchii Habsburgów. Już w 1791 roku uruchomiono tutaj kopalnię oraz sprowadzono do pracy 20 rodzin górniczych z Bochni, nadając im wolne od czynszu grunty pod osadnictwo (ZUP. C., 1981). Na głębokości 29 metrów znajduje się rzymsko-katolicka kaplica św. Barbary. Zachował się jej oryginalny wystrój z początku XX wieku - solny ołtarz, krzyż oraz ambona. Górnicy codziennie, nim przystąpili do pracy, uczestniczyli w mszy świętej odprawianej w podziemnej, solnej kaplicy. Współcześnie, ekumeniczne msze odprawiane są 4 grudnia z okazji święta patronki. W kopalni soli w Kaczyce wzniesiona została również prawosławna kaplica św. Warwary (lata 70. XX wieku). W środku umieszczono solny krzyż, który górnicy odnaleźli podczas prac zabezpieczających. Określili, że powstał on ok 150 lat temu. Przed wejściem do tej prawosławnej kaplicy, na solnych ociosach znajdują się płaskorzeźby, które wykonał w czasach już współczesnych (1999 rok) Bolek Majerik z Pleszy, artysta ludowy o polskich korzeniach. Są to postacie Adama i Ewy oraz wyobrażenie Boga Ojca w koronie⁵.

Na Sycylii oprócz soli kamiennej eksploatuje się również sole potasowo-magnezowe, złożone głównie z kainitu. (GARLICKI A., 2013). W kopalni Realmonte, położonej w sycylijskiej prowincji Agrigento, można zaobserwować ciekawe zjawisko jakim są litologicznie zróżnicowane sole, czego efektem są malownicze odsłonięcia geologiczne soli kaititowych. Miejsce to jest również ciekawe ze względu na prezentowane, w jednym z poeksploatacyjnych wyrobisk zaadaptowanym do celów sakralnych, rzeźby. Solna katedra (Cattedrale di Sale di Realmonte), usytuowana jest ok 100 metrów pod ziemią, ma 20 metrów szerokości, 8 metrów wy-

sokości i około 100 metrów długości. Jej obszerna przestrzeń, o bardzo dobrej akustyce, może pomieścić nawet 800 osób. Ozdobą tego miejsca są wykute w solnych ociosach płaskorzeźby przedstawiające Świętą Barbarę (w apsydzie), Świętą Rodzinę i Chrystusa na krzyżu. Oprócz tego w solnych blokach wyrzeźbiono tron biskupi, ambonę i krzyż. Każdego roku 4 grudnia odprawiana jest tutaj mszą świętą za górników (www.itinari.com).

Poza Europą miejscem, w którym były tworzone solne rzeźby jest kolumbijska kopalnia soli w Zipaquira, znajdująca się w odległości ok. 50 km od Bogoty. Największą jej atrakcją jest wykuta w soli trzynawowa kaplica zwana katedrą. W aktualnym kształcie powstała w latach 90. XX wieku, w miejscu pierwotnych, przedchrześcijańskich komór modlitewnych. Kopalnie soli kamiennej w Zipaquirze funkcjonowały już w V wieku p.n.e. i szybko stały się dla ludu Muisca głównym źródłem dochodu. Z czasem, w komorach, z których wydobyto już sól, zaczęto tworzyć miejsca kultu. Znalaziono liczne przedmioty, które potwierdzają tę teorię, a tym samym uznają to miejsce za jedno z najstarszych miejsc kultu na świecie, czynnych do dnia dzisiejszego. W trakcie prowadzonej przez Hiszpanów chrystianizacji, małe kaplice poświęcone indiańskim bóstwom sukcesywnie były zamieniane na chrześcijańskie. W roku 1932 utworzono podziemny kościół, który określono jako solną katedrę i ozdobiono ją licznymi solnymi rzeźbami i płaskorzeźbami wykutymi w solnych ścianach. W 1950 roku rozpoczęto realizację nowej, większej kaplicy, którą konsekrowano cztery lata później i nadano jej wezwanie Matki Bożej Różańcowej. Nową świątynię tworzyły trzy nawy, sześć kolumn i podświetlany krzyż - wszystko wykonane z soli. W prawej nawie umiejscowiono kaplicę Matki Boskiej Różańcowej dłuta Daniela Moreno Rodrigueza, solne rzeźby Drogi Krzyżowej oraz serie płaskorzeźb. W lewej nawie znalazły się rzeźby przedstawiające narodziny i chrzest Jezusa. Niestety z uwagi na zagrożenie górnicze, katedrę zamknięto w 1990 roku, równocześnie przystępując do budowy kolejnej, trzeciej już katedry wg projektu Roswell Garavito Pearl. Uroczyste poświęcenie tego największego na świecie solnego, sakralnego kompleksu świątynnego (wysokość nawy głównej wynosi 18 metrów przy długości 75 metrów, liczba zgromadzonych wiernych - 8500) nastąpiło w 1995 roku. Wewnątrz kościoła znajduje się 14 kaplic, będących stacjami Drogi Krzyżowej. W każdej z nich znajduje się wykuty w skale solnej krzyż oraz solne klęczniki. W nawie głównej wzniesiono cztery gigantyczne kolumny solne, symbolizujące czterech ewangelistów. Wiele rzeźb i płaskorzeźb przeniesiono z dwóch poprzednich kościołów, które dzisiaj nie są już dostępne dla pielgrzymów. W nawach bocznych wyrzeźbiono solny cykl rzeźb przedstawiających narodziny oraz śmierć Jezusa, stworzenie Adama oraz kopię watykańskiej Piety (KOŻUSZEK R., 2016).

Drugą co do wielkości kopalnią soli na świecie jest kopalnia Khwera w Pakistanie. Jej odkrycie przypisywane jest

⁴ Na podstawie rozmowy z Panią Małgorzatą Borzendą w lipcu 2018 roku.

⁵ Moim przewodnikiem po kopalni w Kaczyce w 2011 roku był Pan Michał Cehaniuk (zm. w 2016 roku), potomek polskich osadników na tych terenach.

Aleksandrowi Wielkiemu, który w 327 roku p. n. e. podczas jednej z najcięższych kampanii wojskowych mających doprowadzić do podbicia Indii, odkrył to miejsce. Oprócz tego, że jest obiektem górniczym, w którym eksploatuje się charakterystyczną, różową sól kamienną (350 tys. ton soli rocznie), stała się dużą atrakcją turystyczną, odwiedzaną każdego roku przez ponad 250 tys. osób. Turyści mogą wędrować przez podziemne, wykute w kolorowej soli wyrobiska, a nawet wejść do solnego meczetu. Sama trasa turystyczna w tej kopalni nie jest udekorowana żadnymi rzeźbami, co nie dziwi, zważywszy na zasady ikonoklazmu muzułmańskiego. Sól jest wykorzystywana do wyrobu, świeczników, lamp i innych rodzajów pamiątek o geometrycznych zazwyczaj kształtach (www.indieszerokopojete.pl/pakinstanskie-kopalnie-soli/, dostęp: 26.04.2018).

SÓL JAKO TWORZYWO RZEŹBIARSKIE DLA WSPÓŁCZESNYCH ARTYSTÓW PROFESJONALNYCH

Odrębnym zagadnieniem jest wykorzystanie soli jako materiału rzeźbiarskiego przez współczesnych artystów profesjonalnych, niemających związków z górnictwem jak np. Mirosława Bałki. Jego dzieło znajduje się od 2011 roku w kolekcji Muzeum Sztuki Współczesnej w Krakowie. Rzeźba ważąca ok. 4 tony składa się z ośmiu elementów, każdy ma formę walca (średnica 90 cm, wysokość 30 cm), wykonanych z soli kamiennej z Kłodawy i eksponowanych na betonowych podstawach. Symboliczne użycie soli odnosi się do czasów, w których służyła ona jako środek płatniczy. Walce nawiązują do kształtu monet, a obracanie się jednego z nich może sugerować obieg pieniądza (www.mocak.pl/artist/192/7-1, dostęp: 22.05.2018).

Sól była również wykorzystywana przez polsko-kanadyjską rzeźbiarkę performerkę Kingę Araya (www.culture.pl/pl/tworca/kinga-araya, Autor: Ewa Gorządek, dostęp: 24. 07. 2018). W 2012 roku przeprowadziła ona w Krakowie twórcze działanie pt. „Walking with Kinga”, którego głównymi elementami były wyrzeźbione w wielickiej soli stopy oraz sól drobna kruszona. Artystka odwoływała się do doświadczeń emigracyjnych, postaci historycznej jaką była św. Kinga oraz do własnych przeżyć związanych z pobytem poza Ojczyzną.

Ciekawymi postaciami wykorzystującymi sól jako tworzywo rzeźbiarskie są artyści z litewskich Druskiennik: Aušra i Tauras Česnulevičiusowie. Na peryferiach Druskiennik stworzyli oryginalną pracownię plastyczną, którą nazwali „Studio Soli”. Tworzą prace oryginalne i zaskakujące, wykorzystując jako materiał rzeźbiarski nie tylko drewno, ale także sól. Niektóre z rzeźb osiągają nawet 800 kg wagi (www.druskostudija.lt/pl/, dostęp: 26.04.2018).

Na podstawie opisanych powyżej przykładów można stwierdzić, że początki rzeźbiarstwa w soli wywodzą się z tradycji górniczych. Polskie kopalnie, rumuńska Kaczyka, sycylijska Realmonte, kopalnia w Kolumbii czy Pakistanie to miej-

sca, gdzie pracujący pod ziemią górnicy tworzyli w soli dzieła o tematyce głównie religijnej. Tradycja ta nadal jest żywa. Natomiast dla współczesnych artystów profesjonalnych, sól nie jest popularnym surowcem. Wykorzystują ją jedynie nieliczni, i to przeważnie, odnosząc się do wieloznacznej symboliki soli.

SPECYFIKA SUROWCA

Sól kamienna to związek chemiczny (NaCl), który ze względu na różne domieszki może mieć różną barwę, od białej, poprzez szarą, zieloną, błękitną, miodową czy też różową. Sól kamienna jest krucha, ale jednocześnie plastyczna, podatna na odkształcenia i wilgoć. Różny był czas jej powstawania, od 200 mln lat przed naszą erą (kłodawskie złoża cechsztyńskie) po 13,6 mln lat – złoża wielickie (miocenijskie). Specyfika surowca, jakim jest sól, warunkuje często formę i technikę rzeźbiarską. Inaczej rzeźbi się w bryle soli wielickiej czy bocheńskiej, a inaczej w soli kłodawskiej. Decydująca jest jej wewnętrzna struktura. Istotne jest, aby sól przeznaczona na rzeźbę nie miała zanieczyszczeń.

Złoża soli kamiennej „Wieliczka” należące do formacji miocenijskiej składa się z dwóch partii: górnej (złoża bryłowa) oraz dolnej (złoża pokładowe). W rzeźbiarstwie wykorzystywane są sole pochodzące z obu tych partii złoża, czyli z górnej części złoża - bryłowej: sól zielona bryłowa typowa oraz z dolnej części - pokładowej: sole spizowe szare, białe i sól szybikowa (o wyjątkowej czystości, najchętniej wykorzystywana niegdyś przez rzeźbiarzy). Jako tworzywo rzeźbiarskie służą również sole kamienne różowe i białe, formacji cechsztyńskiej, rozciągające się gł. na terenie Niżu Polskiego i Monokliny Przesudeckiej (Kłodawa, Sieroszowice)⁶. To tylko niektóre przykłady rodzajów soli wykorzystywanych jako tworzywo rzeźbiarskie.

W Wieliczce zazwyczaj rzeźbi się w bryłach soli zielonej typowej (ZBt). Jest to najbardziej popularny rodzaj soli bryłowej, który przez wiele stuleci był eksploatowany w wielickiej kopalni. Bloki solne, które wykorzystują potem górnicy-rzeźbiarze, pozyskuje się m.in. z komory Rainer I Dolna (90 metrów głębokości, poziom II wyższy wielickiej kopalni). Pomnik Jana Pawła II, autorstwa Stanisława Anioła, Piotra Starowicza i Pawła Janowskiego, wg. projektu Czesława Dźwigaja powstał z dwóch bloków soli (Zielonej Bryłowej typowej) pochodzących właśnie z tej komory. Z tej komory pochodziła również sól (ZBt) wykorzystana do stworzenia płaskorzeźb do kaplicy w Centrum Jana Pawła II.

Ze złoża pokładowego górnicy-rzeźbiarze wykorzystują w swoich pracach sól spizową, która ma wiele odcieni i barw. Z czystej soli spizowej (biała spiza) wykonano w latach 90. XVII wieku postać króla Augusta II (obecnie destrukcyjna). Z soli spizowej o czystej białej barwie, pozyskanej z rejonu komory

⁶ Informacje uzyskane od geologów Kopalni Soli „Wieliczka” SA: Elżbiety Włodarczyk i Jerzego Przybyłto.



Ryc.6. Sól bryłowa typowa (ZBt) z komory Reiner I Górna, wykonano z niej pomnik Jana Pawła II. Fot. J. Przybyło

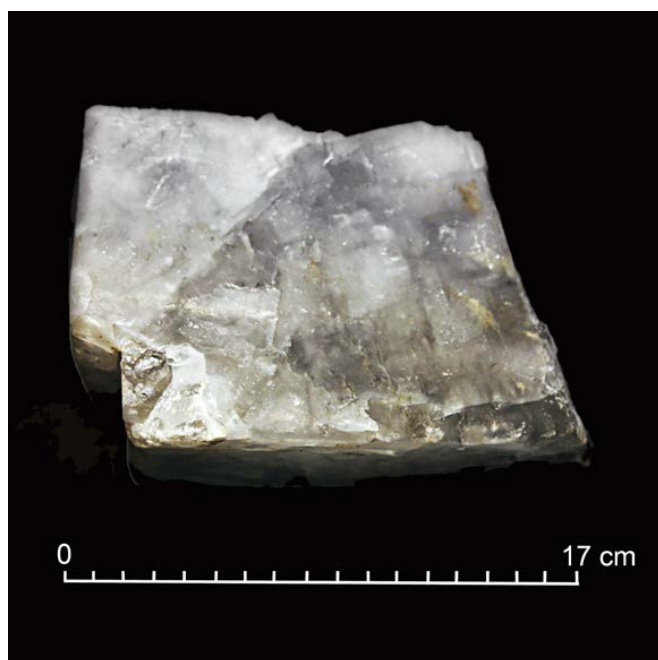
Fig. 6. Typical green boulder salt (ZBt) from the Upper Reiner I Chamber, a statue of John Paul II was made out of it.

Photo J. Przybyło



Ryc. 7. Sól spizowa, fragment z figury Augusta II Sasa wykonanej w XVII w. Fot. J. Przybyło

Fig. 7. Spiza salt, a fragment of the figure of King August II made in the 17th century. Photo: J. Przybyło



Ryc.8. Biała sól spizowa; wykonano z niej figurę św. Kingi do Łagiewnik. Fot. J. Przybyło

Fig. 8. White spiza salt; used to make a figure of St. Kinga to Łagiewniki. Photo J. Przybyło

Piłsudskiego wyrzeźbiono figurę św. Kingi do kaplicy w Centrum Jana Pawła II w Łagiewnikach. Inne rzeźby o wyjątkowym przeznaczeniu jak np. figurę św. Kingi autorstwa Marka Stachury dla muzeum w Tokio również wykonano ze spizy. Sól na tą rzeźbę pozyskano z poziomu IV wielickiej kopalni. W soli spizowej o charakterystycznym miodowym zabarwieniu, powstają również rzeźby o mniejszych formatach.

Najczystsza sól - kryształowa, charakteryzująca się tym, że zbudowana jest z sześciokątnych przezroczystych kryształów, o lśniącej powierzchni, wykorzystywana była również przez górników do prac artystycznych. Rzeźbić w niej było trudno, z uwagi na jej wewnętrzną budowę, ale nadawała się do dekorowania i była wykorzystywana m.in. w konstruowaniu solnych żyrandoli. Specyfika surowca, z którego wykonane są rzeźby, czyli sól determinuje również ich nietrwałość i nierozwiązywalne częstokroć problemy konserwatorskie. Wilgotne powietrze, które dostawało się do kopalni, rozpuszczało powierzchnię solnych rzeźb, wilgoć przenikała również głębiej w strukturę soli, a rozpuszczona sól wtórnie krystalizowała na powierzchni rzeźby. W Kopalni Soli „Wieliczka” od kilkunastu lat, za pomocą urządzeń klimatyzacyjnych, osusza się powietrze. Tym samym stworzone zostały dobre warunki dla zachowania solnych rzeźb. Nie udało się wypracować metody konserwatorskiej, która umożliwiałaby ratowanie solnych rzeźb. Można jedynie je odtworzyć w całości lub we fragmentach. Ciekawym przykładem obrazującym wpływ wilgotnego powietrza na solne rzeźby są dwa posągi króla Augusta II Mocnego, znajdujące się w kaplicy św. Antoniego w wielickiej kopalni. Pierwszy z nich to destrukcja rzeźby z 1696 roku, druga rzeźba - to odtworzona w 2016 roku figura króla. Górnik-rzeźbiarz Wojciech Markowski, na podstawie opracowanych przez siebie materiałów źródłowych, wraz z zespołem górników-rzeźbiarzy: Janem Banasiem, Piotrem Starowiczem i Michałem Aniołem, odtworzyli postać króla w soli spizowej (złoża pokładowego), pozyskanej z rejonu szybu Wilson (KONWERSKA B⁷., 2016; MARKOWSKI W., 2016).

⁷ Barbara Konwerska podaje na s. 114, mylną informację „Ostatecznie udało się uzyskać podobny gatunek soli – bryłę jasnej soli zielonej z przerozami soli szybikowej”.



Ryc. 9. Sól spizowa z IV poziomu kopalni wielickiej, wykonano z tego gatunku soli figurę św. Kingi do Tokio. Fot. J. Przybyło
Fig. 9. Spiza salt from the 4th level of the "Wieliczka" Mine, a figure of St. Kinga to Tokyo was made out of it. Photo: J. Przybyło



Ryc. 10. Różne odmiany wielickiej soli włóknistej. Fot. J. Przybyło
Fig. 10. Different varieties of fibrous salt from Wieliczka. Photo: J. Przybyło



Ryc. 11. Pomniki Augusta II Mocnego w kaplicy Św. Antoniego. Fot. J. Przybyło
Fig. 11. Monuments of King August II in the Chapel of St. Anthony. Photo: J. Przybyło

O wyborze gatunku soli decyduje temat i wielkość mającej powstać rzeźby. Wtedy podejmowana jest decyzja, czy rzeźba powstanie w soli spizowej (złoża pokładowego „Wieliczka”) czy w soli typowej zielonej (partia bryłowa złoża „Wieliczka”). Sól wykorzystywana przez rzeźbiarzy jest zawsze specjalnie wyselekcjonowana, tak aby nie miała przerostów soli jarczystej czy też nie była zanieczyszczona substancjami ilastymi. Tylko wtedy twórca może osiągnąć zamierzony efekt. Sól spizowa może być szara lub biała, jest jednolita, bardzo twarda, ale dzięki temu można lepiej oddać szczegóły danej rzeźby. Ze względu na swoją twardość łatwiej pracuje

się w niej nad formami mniejszymi, gdzie oddanie detalu odgrywa decydującą rolę⁸. Natomiast rzeźbienie w soli zielonej bryłowej typowej utrudnia jej zróżnicowana struktura, którą tworzą różnej wielkości kryształy. Gorzej w niej rzeźbi się detale, natomiast dzięki temu, że przepuszcza światło (kryształy są transparentne), osiągnąć można bardzo ciekawe wrażenia końcowe. Stosując ostre, głębsze cięcia można pracować nad rzeźbami o dużych gabarytach⁹.

⁸ Na podstawie wywiadu z górnikiem-rzeźbiarzem Janem Banasiem, 23.05.2018 roku.

⁹ Na podstawie wywiadu z górnikiem-rzeźbiarzem Michałem Aniołem, 23.05.2018 roku.



Ryc. 12. Sól spizowa z rejonu szybu Wilson, wykonano z niej figurę Augusta II Sasa w 2016 roku. Fot. J. Przybyło

Fig. 12. Spiza salt from the area of the Wilson shaft, used to make a statue of King August II in 2016. Photo: J. Przybyło

Kopalnia soli w Kłodawie jest dostarczycielem bloków solnych chętnie wykorzystywanych przez górników-rzeźbiarzy oraz rzeźbiarzy profesjonalnych. Kłodawska sól ma charakterystyczne różowe lub białe zabarwienie. Z białej soli kłodawskiej powstała m.in. naturalnej wielkości figura generała Józefa Hallera autorstwa Stanisława Anioła dla Muzeum Żup Krakowskich oraz rzeźba Jana Pawła II wykonana w Bochni przez Mirosława Małacę w 2017 roku.

Geolodzy rzadko klasyfikują złoża soli kamiennej ze względu na barwę. Kolor soli, biorąc pod uwagę jej wykorzystanie w przemyśle, nie ma znaczenia (CZAPOWSKI G., MISIEK G., POBORSKA-MŁYNARSKA K., TOMASSI-MORAWIEC H., 2005). W wysadzie solnym Kłodawy galanteryjne sole różowe eksploatowane są do głębokości 750 m. Kruchy solne przeznaczone do wykorzystania przez wytwórców galanterii ozdobnej muszą mieć określone cechy. Ich barwa powinna być intensywna (różowa lub pomarańczowa), o strukturze gruboziarnistej tzn. z dużymi kryształami halitu. Najkorzystniej, gdy jest „solą świeżą” tzn. ze świeżymi przełamami na powierzchni poszczególnych kruchów (CZAPOWSKI G., MISIEK G., POBORSKA-MŁYNARSKA K., TOMASSI-MORAWIEC H., 2005). Eksploatacja soli przeznaczonej dla rzeźbiarzy odbywa się przy zastosowaniu technik strzałowych, co pozwala na uzyskanie brył o dużych gabarytach. Rzeźbiarze, wykorzystujący sól z Kłodawy, preferują jej odmianę o mocnym zabarwieniu i zbitej strukturze (drobnoziarnistą).

PODSUMOWANIE

Kilkuniekowa tradycja rzeźbienia w soli, która początki swe wywodzi z kopalń soli kamiennej, nadal jest podtrzymywana i kontynuowana. Mecenat Zarządów Kopalń sprawia, że nowopowstałe rzeźby zdobią turystyczne komory. W Wieliczce wciąż żywe jest rzeźbienie w soli i ma ono również



Ryc. 13. Sól różowa z Kopalni Soli Kłodawa. Fot. J. Przybyło

Fig. 13. Pink salt from the “Kłodawa” Salt Mine. Photo: J. Przybyło

wymiar dziedziczenia profesji „z ojca na syna”. Przykładem na to są rodziny: Markowskich (Józef, Tomasz, Ignacy, Wojciech), Aniołów (Stanisław, Michał), Janowskich (Władysław, Marek, Paweł). Realizacja dużych projektów rzeźbiarsko – architektonicznych możliwa jest tylko przy wykonywaniu tych prac całym zespołem. Górniczy-rzeźbiarze wykonują swe prace nie tylko na potrzeby kopalni, ale trafiają one również do wyjątkowych gości zwiedzających podziemia, są wysyłane na wystawy zagraniczne i krajowe, a mniejsze można nabyć w firmowych sklepach.

Sól jest również wykorzystywana, aczkolwiek sporadycznie, przez artystów profesjonalnych niezwiązanych pracą w żadnej kopalni.

Temat, jaki podejmuje rzeźbiarz, determinuje jaki rodzaj soli jest wykorzystywany w danej pracy. Specyfika surowca, jakim jest sól, ma wpływ na przebieg procesu tworzenia, czasami wymusza nawet zmianę pierwotnej koncepcji formy.

Artykuł ten może stanie się przyczynkiem do dalszych badań nad rzeźbiarstwem solnym, które jako część dziedzictwa górnictwa solnego warte jest kompleksowych studiów i jego popularyzacji. Podjęcie interdyscyplinarnych badań powinno przyczynić się do objęcia jeszcze lepszą ochroną dzieł powstałych w soli. Celem nadrzędnym mogłoby być wpisanie rzeźbiarstwa w soli na Światową Listę Dziedzictwa UNESCO, po uprzednim przeprowadzeniu oceny porównawczej w kontekście innych dóbr, oceny stanu zachowania dobra i systemu zabezpieczenia dobra. Stosując poziom analizy dobra w orzeczeniach OUV, rzeźbiarstwo w soli jako nominacja seryjna spełnia trzy podstawowe kryteria (poziomy) OUV.

LITERATURA/REFERENCES

BOCZKOWSKI F., 1843, O Wieliczce pod względem historii naturalnej, dziejów i kąpiel.

- CHARKOT J., 2003, Problematyka zabezpieczania i konserwacji zabytkowych wyrobisk kopalni wielickiej, *Studia i Materiały do Dziejów Żup Solnych w Polsce*, t. XXIII, s. 9-36.
- CZAPOWSKI G., MISIEK G., POBORSKA-MŁYNARSKA K., TOMASSI-MORAWIEC H., 2005, Różowa sól kamienna do produkcji galanteryjnych wyrobów solnych – geologiczne warunki występowania, własności i metody pozyskiwania w Kopalni Soli „Kłodawa”, *Geologia*, t. 31, zeszyt 2, s. 167-188.
- GARLICKI A., 2013, Kopalnie soli na świecie/Salt Mines in the World, w: *Skarb/Treasure*, red. A. Nowakowski, Wydawnictwo Universitas, Kraków, s. 15-34.
- GAWROŃSKI W., 2008, Słownik biograficzny wieliczian, MŻK, Wieliczka 2008.
- KALWAJTYS E., 1996, Kaplica Św. Antoniego w kopalni soli w Wieliczce, *Studia i Materiały do Dziejów Żup Solnych w Polsce*, t. XIX, Wieliczka, s. 47-110.
- KALWAJTYS E., 2011, Kaplica pod wezwaniem Św. Krzyża w komorze Lizak na poziomie I kopalni soli w Wieliczce, *Studia i Materiały do Dziejów Żup Solnych w Polsce*, t. XXXVII, Wieliczka, s. 269-299.
- KALWAJTYS E., 2003, Kaplica Św. Kunegundy w komorze Boczaniec, *Studia i Materiały do Dziejów Żup Solnych w Polsce*, t. XXIII, Wieliczka, s. 37-52.
- KONWERSKA B., 2016, Kaplica św. Antoniego w kopalni soli w Wieliczce, *Wieliczka*.
- KOŻUSZEK R., 2016, Solna katedra, *Przewodnik Katolicki*, nr 35/2016.
- MARKOWSKI W., 2016, Szkic do rekonstrukcji posągu Augusta II Mocnego z kaplicy św. Antoniego w wielickiej kopalni soli, *Wieliczka*, maszynopis.
- MIGDAS T., 2006, Miejsca kultu religijnego w bocheńskiej kopalni soli, w: *Warsztaty z cyklu: Zagrożenia naturalne w górnictwie*, *Materiały Sympozjum*, s. 605-610.
- PALUCH-STASZKIEL K., 1981, Kaplica Bł. Kingi w Kopalni Soli w Wieliczce., *Studia i Materiały do Dziejów Żup Solnych w Polsce*, t. X, Wieliczka, s. 103-152.
- SKUBISZ M., 2014, Gnomy, krasnoludki, soliludki w wielickiej kopalni soli, w: *Ludzie i krasnoludki – powinowactwa z wyboru*, red. T. Budrewicz, J. Majchrzyk, Warszawa, s. 73-79.
- ŚLADECKI D., 1989, Kaplica Bł. Kingi w bocheńskiej kopalni soli, *Studia i Materiały do Dziejów Żup Solnych w Polsce*, t. XV, Wieliczka, s. 103-140.
- WOLAŃSKA A., SKUBISZ M., 2016, Krzyż i sól dziedzictwo wiary wielickich górników, *Wieliczka*.
- WOLAŃSKA A., 2016, Górnicy rzeźbiarze dawniej i dziś czyli o tradycjach rzeźbienia w wielickiej kopalni soli, w: *Biblioteczka Wielicka*, z. 164, 219 Spotkanie z cyklu „Wieliczka – Wieliczanie”, s. 11-32.
- ZUP C., 1981, Salina Kaczyka – między tradycją i przyszłością., *Studia i Materiały do Dziejów Żup Solnych w Polsce*, t. XXIV, Wieliczka, s. 304-314.



Chrząszcze w soli

Beetles in rock salt

Grzegorz KŁYS¹, Aleksandra ZIARKIEWICZ², Jerzy PRZYBYŁO³,
Elżbieta WŁODARCZYK-ŻUREK⁴

¹ Uniwersytet Opolski, Samodzielna Katedra Biosystematyki, Oleska 22, 45-052 Opole, Poland, e-mail: gklys@uni.opole.pl

² Uniwersytet Opolski, Samodzielna Katedra Biosystematyki, Oleska 22, 45-052 Opole, Poland, e-mail: aleksandra.opole2@gmail.com

³ Kopalnia Soli „Wieliczka” S.A. Wieliczka, Park Kingi 1, 32-020 Wieliczka, e-mail: jerzy.przybylo@kopalnia.pl

⁴ Kopalnia Soli „Wieliczka” S.A. Wieliczka, Park Kingi 1, 32-020 Wieliczka, e-mail: elzbieta.wlodarczyk@kopalnia.pl

STRESZCZENIE

Kopalnia Soli „Wieliczka” jest obiektem sztucznie stworzonym przez człowieka, dawniej eksploatowanym, obecnie intensywnie odwiedzanym. Dzięki kopalni powstała nowa nisza ekologiczna, którą zaczęły zasiedlać troglifilne organizmy żywe. Jednymi z ciekawszych zwierząt żyjących w tej kopalni są chrząszcze *Niptus hololeucus*. Naturalnie występują w miejscach niezwiązanych z solnymi systemami podziemnymi, jednak zawleczone przystosowały się do troglobiontycznego trybu życia. Obecnie prowadzone badania ukierunkowane są m.in. na biologiczne i morfologiczne porównanie populacji troglifilnych z kopalni i żyjących poza nią. W tym celu przy pomocy pułapek Barbera pobierane są próby z 13 stanowisk z poziomów I-III. Wstępne wyniki pokazują znaczące zmiany liczebności chrząszczy znajdujących w pułapkach, co może mieć związek z cyklem rozwojowym a także znaczne różnice związane z miejscem ulokowania pułapki.

Słowa kluczowe: Kopalnia Soli „Wieliczka”, troglifilny, troglifil, troglifilny, troglifilny, chrząszcze

ABSTRACT

The „Wieliczka” Salt Mine is the place artificially created by man, formerly operated, now intensely visited. Owing to mine arise new ecological niche, which trogliphiles living organisms to settled. One of the more interesting animals from this mine are the beetles *Niptus hololeucus*. They naturally occur in place unbound with salt underground systems but introduce adapt to trogliphilic lifestyle. The aim of current research is i.a. biological and morphological comparison tro-

gliphile and free-living populations. For this purpose, using Barber’s traps samples from 13 positions from the I-III level of the mine are collected. The preliminary results show significant changes in numbers of found beetles in traps, what may be related to the life cycle, and significant differences related to the location of the trap.

Keywords: „Wieliczka” Salt Mine, trogliphiles, trogliphiles, trogliphiles, trogliphiles, beetles

WPROWADZENIE

Kopalnia Soli „Wieliczka” jest obiektem czynnym nieprzerwanie od drugiej połowy XIII wieku, kiedy to rozpoczęto podziemną eksploatację soli. Złoże powstało w miocenie, około 13,6 miliona lat temu, w obrębie zapadliska przedkarpackiego. W budowie geologicznej obserwowana jest charakterystyczna dwudzielność, złoże dzieli się na partię bryłową i pokładową (Bukowski 2011).

Wśród rozmaitych ciekawostek związanych z kopalnią, warto wymienić jej stałych mieszkańców, na przykład bakterie żyjące w skałach i solankach (Stępniewska i in. 2018), myszy *Mus musculus* oraz chrząszcze. W opublikowanej w 1843 roku książce „Krótki opis historyczny, geologiczny i górniczy Wieliczki”, autorstwa wybitnego polskiego geologa Ludwika Zejsznera, znajduje się zapis: „Prócz myszy istotnie w kopalni zagnieżdżonych i mnożących się, ze żyjących istot znajdujących się jeszcze male chrząszcze czerwone w opuszczonych miejscach kopalni [...]. Często znajdują się one na soli naciekowej i stąd powstała bajka jakoby w soli żyły.” (Zejszner 1843).

Zwierzęta bytujące w systemach podziemnych dzieli się na trzy grupy ekologiczne: troglokseny, troglofile i troglobionty. Troglokseny to organizmy zwierzęce, które w systemach podziemnych znalazły się przypadkowo albo przebywają tam tylko w pewnych okresach lub porach roku, np. zimą. Troglofile to gatunki, które znalazły w systemach podziemnych odpowiednie dla siebie warunki bytowania i tam też rozmnażają się, ale mogą występować także poza systemami podziemnymi. Troglobionty to gatunki znane wyłącznie z systemów podziemnych i niespotykane poza nimi. W wyniku badań prowadzonych w Kopalni Soli „Wieliczka” stwierdzono obecność dwóch pierwszych typów organizmów i należą do nich gatunki z rzędów: Acari, Diptera i Coleoptera. Na uwagę zasługują przede wszystkim wspomniane wcześniej tzw. „chrząszcze czerwone”, czyli *Niptus hololeucus* (Faldermann 1835). Postacie dorosłe *Niptus hololeucus* są znajdowane w pomieszczeniach zamkniętych, gniazdach owadów społecznych i ptaków oraz norach gryzoni (Borowski 1996).

Zwierzęta zasiedlające polskie systemy podziemne, w tym przede wszystkim jaskinie, są mniej różnorodne niż te, zasiedlające systemy podziemne południowej części Europy czy stref tropikalnych. Ma to związek przede wszystkim ze zlodowaceniami, które wystąpiły na obszarze Polski. Systemy podziemne ze względu na unikalne cechy mikroklimatyczne, które znacznie różnią się od otoczenia, są miejscem występowania lub czasowego przebywania nielicznych a zarazem niezwykłych gatunków roślin i zwierząt (Parma i Rajwa 1989).

W Polsce szczegółowe badania fauny jaskiniowej prowadzone są od lat 50. XX wieku. Jednak fauna poszczególnych regionów krasowych została zbadana w dość różnym stopniu (Szymczakowski 1957; Dumnicka 2005; Dumnicka i in. 2007; Ponikowski 2008). Badania nad organizmami sztucznych systemów podziemnych są prowadzone sporadycznie (Skubała i Kłys 2002; Kłys 2004; Skubała i Kłys. 2006; Kłys i Kubisz 2017). Nieco liczniej prowadzone są badania nad trogloksenicznymi nietoperzami (Baryła 2000; Kłys 2008; Kłys 2013).

BADANIA W KOPLANI SOLI WIELICZKA

W wyrobiskach Kopalni Soli „Wieliczka” wytypowano 13 stanowisk, w których umieszczono pułapki Barbera. Stanowiska były zlokalizowane w wyrobiskach poziomów I, II niższego oraz III. Na I poziomie wytypowano komory kieratowe oraz stajnie, z uwagi na prawdopodobieństwo, że chrząszcze przywędrowały do kopalni wraz z pracującymi w niej końmi. Konie mogły pracować pod ziemią epizodycznie już w XVI wieku, a ich regularna praca rozpoczęła się od początku XVII wieku (Charkot 2014).

Najstarszą komorą stajenną była komora Fortymbark na poziomie I (Charkot 2014). W niej też pozostawiono jedną z pułapek Barbera. Pozostałe pułapki na tym poziomie zlokalizowano w komorze Stara Stajnia oraz dawnych komorach

kieratowych – Mirów, Adamów i Mortis oraz w komorze Krupiński ze względu na nagromadzone w niej butwiejące resztki lin konopnych z dawnych warsztatów powroźniczych.

Z uwagi na spotykane osobniki chrząszczy w wodach wycieków kopalnianych, kolejne pułapki zlokalizowano w pobliżu nagromadzeń solanki - małych jeziorok w Polu Odbudowy Haluszka i poprzeczni Haluszka Dolna na poziomie II niższym, w rejonie szybu Górsko. Na tym poziomie umieszczono także pułapkę w komorze Przanowski, w której obserwowane są wykroplenia i wysączenia pełnonasyconej solanki, zarejestrowane jako wyciek WIIn-6. Solanki te migrują do tej komory ze starych, niezinventaryzowanych zrobów z najstarszego etapu eksploatacji złoża „Wieliczka”.

Chrząszcze w wielickiej kopalni spotykane są między innymi w wodach wycieków kopalnianych WIII-23 w szybiku Śnieci, WIII-35 w szybiku Lipowiec oraz WIII-37 w szybiku Ksawer. Są to wycieki kropłowe zarejestrowane na poziomie III kopalni, związane z przeciekami pełnonasyconych solanek z wyższych jej poziomów. Wycieki WIII-35 i WIII-37 charakteryzują się niewielką wydajnością rzędu 8-20 kr./min - WIII-37 oraz 25-50 kr./min – WIII-35. Wydajność wycieku z szybiku Śnieci jest dużo większa i wynosi około 500-600 kr./min (Rejestr wycieków kopalnianych). W miejscach tych wycieków umieszczono pozostałe pułapki.

W rejonie wyżej wymienionych wycieków obserwuje się wtórną szatę naciekową halitu wykształconą w postaci narostów gąbczastych, polew oraz stalaktytów solnych. Obecność chrząszczy stwierdzono w tej szacie naciekowej. Ze względu na kropłowy charakter wycieków żaden z nich nie jest systematycznie odwadniany, a solanka migruje w sposób niekontrolowany, co może mieć wpływ na warunki bytowania organizmów.

WYNIKI

Wstępne badania pokazują znaczne różnice w liczebności chrząszczy występujących w różnych miejscach na terenie kopalni. Najwięcej chrząszczy zostało pobranych z pułapek ustawionych w miejscach wycieków, a nie jak się spodziewano w stajniach i komorach kieratowych, w których zdeponowana jest baza pokarmowa, a warunki bytowania są bardziej korzystne. Ponadto pomimo początkowej fazy badań zauważalne są zmiany liczebności odławianych chrząszczy w czasie, co może mieć związek z ich cyklem rozwojowym. Obecnie prowadzone badania nad tym gatunkiem chrząszcza są ukierunkowane przede wszystkim na porównanie troglofilnych populacji z kopalni i żyjących poza nimi oraz poznanie stopnia przystosowania tego gatunku do troglobiontycznego trybu życia.

PODSUMOWANIE

Nie wiadomo dlaczego akurat *Niptus hololeucus* skolonizował podziemny system solny i znalazł tu odpowiednie warunki



Ryc. 1. *Niptus hololeucus* w soli. Rejon szybika Ksawer, kopalnia soli Wieliczka.
Fig. 1. *Niptus hololeucus* in rock salt. The Ksawer shaft area, Wieliczka salt mine.

do życia. Badania nad tym gatunkiem mogą pozwolić znaleźć przyczynę kolonizacji tych podziemnych systemów. Prawdopodobnie decydujący jest tutaj pełny zakres biotycznych i abiotycznych składników środowiska. Nieznane są też cechy anatomiczno-morfologiczne, które umożliwiają *Niptus hololeucus* przebywanie w tak skrajnie nieprzyjaznym środowisku. System podziemny solny to nadal *terra incognita* dla biologów.

LITERATURA

- Baryła J. 2000. Organizmy żywe w jaskiniach polskich w: Jaskinie nr 3: 19-24. "Szelerewicz", Kraków.
- Borowski J. 1996. Część XIX. Chrząszcze - Coleoptera. Pustoszo-wate – Ptinidae. Klucze do Oznaczania Owadów Polski. 149: 42.
- Bukowski K. 2011. Badeńska sedimentacja salinarna na obszarze między Rybnikiem a Dębicą w świetle badań geochemicznych, izotopowych i radiometrycznych. Rozprawy Monografie nr 236, Wydawnictwa AGH, Kraków.
- Charkot J. 2014. Konie w służbie salinarnej. Studia i materiały do dziejów żup solnych w Polsce tom XXIX. Muzeum Żup Krakowskich. Wieliczka.
- Dumnicka E. 2005. Stygofauna associated with spring fauna in southern Poland. *Subterranean Biology* 3: 29-36.
- Dumnicka E., Galas J., Koperski P. 2007. Benthic invertebrates in karst springs: does substratum or location define communities? *International Review of Hydrobiology*, 92: 452-464.
- Kłys G. 2004. Przyroda Podziemi Tarnogórskich. Pyrzowice-Sosnowiec PTG.
- Kłys G. 2008. Bats in the Tarnowskie Góry-Bytom mines. In: red. Kłys G., Wołoszyn B. W., Jagt -Yazykova E, Anna Kuśnierz A. Impact of environmental conditions on the choice of the hibernaculum by bats. Bytom, 30-45.
- Kłys G. 2013. Antropogeniczne podziemia jako miejsca zimowania nietoperzy *Acta Geographica Silesiana*. WNoZ UŚ, Sosnowiec, 13: 37-42.
- Kłys G., Kubisz D. 2017. Beetles (Coleoptera) in the Tarnowskie Góry-Bytom Subterranean System. *Acta entomologica silesiana*, 25: 1-5.
- Ponikowski A. 2008. Chrząszcze jaskiniowe (Coleoptera) z rodziny biegaczowatych (Carabidae) w rezerwacie Skorocice (Niecka Nidziańska). materiały pokonferencyjne „Społeczno-ekonomiczno-przyrodnicze aspekty zrównoważonego rozwoju”, Lublin, KUL, 1-7.
- Rejestr wycieków kopalnianych. Książka kontroli wycieków na poz. IIn, III, archiwum Działu Mierniczo Geologicznego Kopalni Soli „Wieliczka” S.A.
- Skubała P., Kłys G. 2002. Orbitid fauna (Acari: Oribatida) in the mine underground workings. [w:] red: Ignatowica S. *Postępy polskiej akarologii*. SGGW, 203-212.
- Skubała P., Kłys G. 2006. Fauna mechowców (Acari: Oribatida) w podziemnych chodnikach kopalnianych. 2006. Nauka w obiektywie. Uniwersytet Śląski, 12-13.
- Stępniewska Z, Goraj W, Wolińska A, Szafranek-Nakonieczna A., Banach, A, Górski A. 2018. Methanotrophic activity of rockssurroundingbadeniansalts in the “Wieliczka” salt mine. *CarpathianJournal of Earth and EnvironmentalSciences*, 13(1): 107-119.
- Szymczakowski W. 1957. Catopidae (Coleoptera) des grottes dans les Sokole Góry pres de Częstochowa. *Acta Zool. Cracov.*, Kraków, 1: 65-115.
- Zejszner L. 1843. Krótki opis historyczny, geologiczny i górnicy Wieliczki, Behra, Berlin.



Gruzja – reminiscencje z wyprawy

Georgia – reminiscences from the expedition

Wacław ANDRUSIKIEWICZ

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, al. A Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; e-mail: andrus@agh.edu.pl

STRESZCZENIE

Gruzja, kraj pomiędzy Wielkim a Małym Kaukazem, była celem kolejnej wyprawy Polskiego Stowarzyszenia Górnictwa Solnego. Mimo że w Gruzji nie istnieje górnictwo solne jako odrębna gałąź przemysłu, to ze względu na położenie geograficzne kraj ten wydaje się być niezwykle ciekawy od strony geologicznej i krajoznawczej. Nie zabrakło jednak akcentów solnych, choć w skali mikro. W trakcie wyprawy jej uczestnicy mieli możliwość poznania niezwykle ciekawych historycznie miejsc, a także obiektów przyrody ożywionej i nieożywionej. Poznanie współczesnej Gruzji było cennym doświadczeniem i porównaniem do wielu państw wcześniej odwiedzanych w trakcie wypraw Stowarzyszenia.

Słowa kluczowe: wyprawa naukowa, PSGS, Gruzja, geologia regionalna

ABSTRACT

Georgia, the country between the Great and the Little Caucasus, was the goal of the next trip of the Polish Mining Association. Although there is no salt mining in Georgia as a separate branch of industry, due to its geographic location, the country seems to be extremely interesting from the geological and sightseeing side. However, there were also salt accents, although on a micro scale. During the expedition, its participants had the opportunity to learn about historically interesting places, as well as lively and inanimate nature objects. Getting to know contemporary Georgia was a valuable experience and a comparison to many countries previously visited during the expeditions of the Association.

Key words: scientific expedition, PSGS, Georgia, regional geology

WSTĘP

Celem kolejnej wyprawy Polskiego Stowarzyszenia Górnictwa Solnego, która odbyła się w dniach 10-21 września 2017 r. była Gruzja. Był to jeden z liczniejszych wyjazdów, gdyż uczestniczyły w nim 32 osoby, w tym 20 członków Stowarzyszenia.

Gruzja to kraj położony na granicy Europy i Azji. I choć umowna granica kontynentalna przebiega głównym pasmem Kaukazu, to Gruzja, leżąca po jego południowej stronie, często traktowana jest jako kraj europejski. Sąsiadami Gruzji są: od północy Rosja, od wschodu Azerbejdżan, a od południa Turcja i Armenia. Zachodnią granicę państwa stanowi wybrzeże Morza Czarnego. Stolicą jest Tbilisi położone nad rzeką Kurą, jednak w 2012 roku najważniejsze instytucje państwa, czyli Parlament – przeniesiono do Kutaisi, natomiast w Batumi ulokowano Sąd Konstytucyjny.

Gruzja zajmuje obszar niespełna 70 tys. km², na którym zamieszkuje ok. 3,7 mln ludzi. Jest to kraj wielonarodowościowy, który prócz Gruzynów zamieszkują Ormianie, Azerowie i Rosjanie, a także inne narodowości. Najnowsza historia Gruzji jest dość podobna do historii Polski – w 1918 r. Gruzja uzyskała niepodległość, by po 3 latach wolności na kolejne 70 lat stać się republiką ZSRR. Dopiero przemiany 1991 r. przynoszą Gruzji po raz kolejny wolność (ostatnia baza wojsk rosyjskich na terenie Gruzji została zlikwidowana w 2008 r.!), która jest jednak dość wątpliwa – kraj niemal w każdej dziedzinie uzależniony jest od Rosji, a do tego utracił na rzecz Rosji kontrolę i władzę nad Abchazją i Osetią Południową.

W znakomitej większości Gruzja jest krajem górzystym. Północna część kraju to południowe stoki Wielkiego Kaukazu ze wschodnim szczytem Szchary (5193 m n.p.m.), będącym najwyższym punktem Gruzji. Łańcuch tych gór został ostatecznie sfaldowany w epoce trzeciorzędu,

w czasie fałdowań alpejskich. W czwartorzędzie, w wyniku ruchów pionowych skorupy ziemskiej, utworzyły się uskoki i zręby. Góry zbudowane są ze skał krystalicznych, głównie osadowych. Wielki Kaukaz tworzą skały pochodzące z jury i kredy, głównie wapień i dolomity, gdzie utworzyły się liczne jaskinie.

Z kolei południowa część państwa to północne stoki Małego Kaukazu (najwyższy punkt w tej części Gruzji to Didi Abuli – 3300 m n.p.m.). Góry te zbudowane są wapieni kredowych, fliszu paleogeńskiego oraz ze starych skał wulkanicznych. Mały Kaukaz został wypiętrzony i sfaldowany w okresie środkowego trzeciorzędu. Góry uległy zrównaniu, a następnie ruchy pionowe pod koniec pliocenu i w plejstocenie ponownie wydzwignęły górotwór, przyczyniając się do utworzenia potężnych zrębów.

Środkową część Gruzji wypełniają obniżenia. Na zachodzie leży aluwialna Nizina Kolchidzka, dalej na wschód wznosi się Płaskowyż Imerecki, a na końcu wulkaniczny Płaskowyż Południowogruziński. W skład tego płaskowyżu wchodzi: Płaskowyż Jorski i Płaskowyż Dżawachecki. Teryny te położone są na wysokości od 2500 do 3000 m n.p.m. Gruzja jest krajem nawiedzanym przez trzęsienia ziemi (źródło: https://pl.wikipedia.org/wiki/Geografia_Gruzji).

Położenie geograficzne Gruzji czyni z niej niezwykle ciekawy geologicznie rejon świata, co przekłada się na zasobność w surowce mineralne. Głównym bogactwem są największe na świecie złoża manganu w rejonie Cziaturii (region Imeretia), z których niejako „przy okazji” pozyskuje się miedź i złoto. Kolejne bogactwo to węgiel kamienny w rejonie Tki-buli i Tkwarzeli, jednak w skali światowej jest to marginalna skala wydobycia. Z innych surowców mineralnych wydobywanych w Gruzji należy wskazać ropę naftową, rtęć i baryt. Występują także surowce skalne w postaci marmurów, bazaltów, granitów, żwirów i piasku. Jednak najcenniejsze w Gruzji są występujące w dużej obfitości wody mineralne, będące przedmiotem eksportu na cały świat. W Gruzji nie występują sole kamienne, potasowe itp., a przynajmniej nie w ilościach, które mogłyby być wykorzystywane gospodarczo. Niemniej jednak na trasie odwiedziliśmy „stone” punkty, które stanowiły naukowe akcenty typowo krajoznawczej wyprawy do tego pięknego kraju.

GRUZJA – GEOLOGIA W PIGULCE

Geologicznie Gruzja jest krajem bardzo młodym, jej obszar leży w strefie fałdowań alpejskich (podobnie jak Alpy, Karpaty, Góry Zagros, Hindukusz czy Himalaje), przypadają-



Fig. 1. Szkic występowania głównych struktur tektonicznych Azji Mniejszej (wg Świat, mapa ścienna dwustronna fizyczno-polityczna w skali 1:25 000 000; EkoGraf, 2018; źródło: <https://www.arttravel.pl>)

Fig. 1. Sketch of occurrence of major tectonic structures of Asia Minor

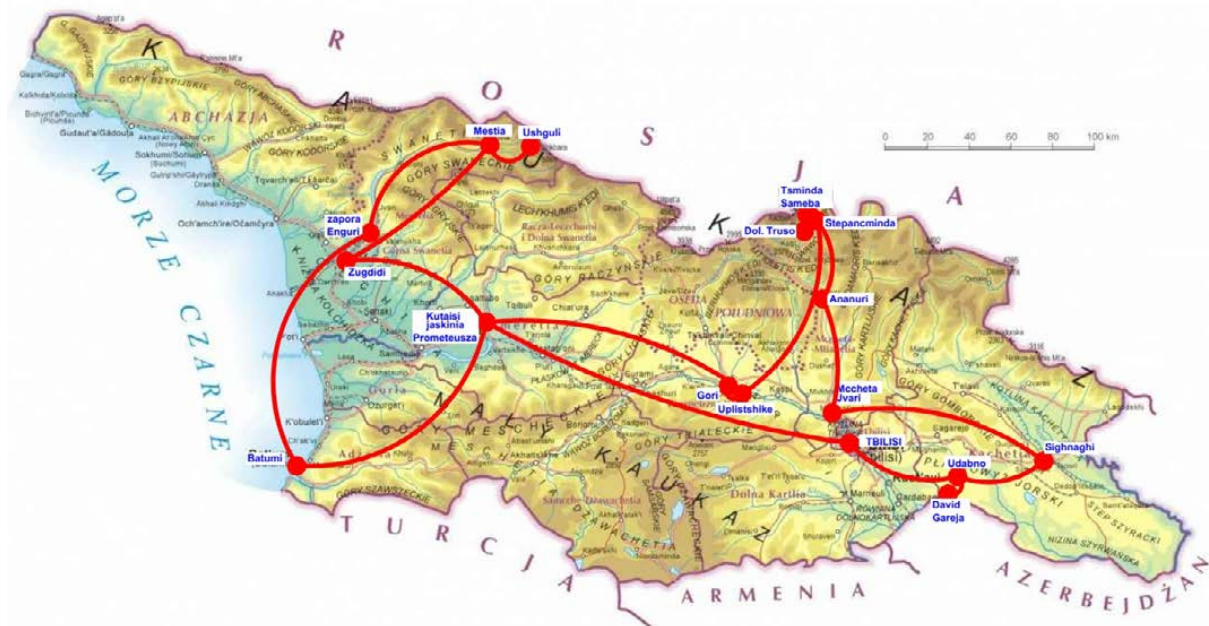


Fig. 2. Trasa wyprawy
Fig. 2. Route of the trip

cych na erę kenozoiczną, zaś rozciągającej się od Atlasu i Gór Betyckich po Archipelag Sundajski. Górzysta rzeźba Gruzji, na którą przypada 2/3 powierzchni kraju, np. potężny masyw Kaukazu, liczne aktywne uskoki tektoniczne, wzdłuż których następuje w postaci trzęsień ziemi rozładowywanie się naprężeń tektonicznych, to wynik ścierania się płyt wielkich litosfery. Płyta Arabska przesuwa się sukcesywnie ku północy napiera na Płytę Euroazjatycką i rozsuwa na boki dwa mniejsze fragmenty skorupy ziemskiej: Płytę Irańską i Anatolijską (Turecką – PT) (Fig. 1).

Większość skał spotykanych w Gruzji powstało w erze mezozoicznej i kenozoicznej, są więc młodsze niż 250 mln lat. Największy obszar zajmują skały osadowe (wapień, dolomity, margle, piaskowce, zlepieńce i utwory fliszowe), powstałe w oceanie Tetydy, ewoluującym od triasu aż po paleogen. Intensywny wulkanizm, trwający od paleogenu do młodszego holocenu – ostatnie erupcje datowuje się na czwarte tysiąclecie przed Chrystusem – pozostawił rozległe i miększe osady wulkaniczne (bazalty, andezyty, porfiry i tufy) oraz różnorodne formy wulkaniczne: stożki i jeziora wypełniające wygasłe kraterki wulkaniczne. W niektórych regionach Gruzji np. Ściana Bezingi w Kaukazie, na powierzchni napotkać można skały paleozoicznych intruzji magmowych (granity, dioryty i sienity), wyniesione z głębi litosfery przez ruchy fałdowe.

W budowie tektonicznej Gruzji dominują strefy fałdów, zrębów i zapadlisk. W części NE kraju najważniejszą jednostką geologiczną jest Antyklinorium Głównego Grzbietu Kaukaskiego, zaś dalej w kierunku SW rozciągają się kolejne struktury: Główny Grzbiet Kaukazu, System Fałdowy Południowego Skłonu Głównego Grzbietu, Strefa Międzygórska

(Gruzińska), Adżarsko-Triałecki System Fałdowy i wreszcie Strefa Artwińsko-Bolniska (źródło: <http://www.kaukaz.pl>).

Zaplanowana trasa przejazdu po Gruzji przewidywała odwiedzenie najciekawszych miejsc, która pozwoliła na poznanie Gruzji „w pigułce” (Fig. 2). Na pewno jednak nie zobaczyliśmy wszystkiego, co najciekawsze – może na kolejnej wyprawie?

TBILISI I KACHETIA

Po nocnym locie do stolicy Gruzji i krótkim odpoczynku rozpoczęliśmy naszą wyprawę od zwiedzania Tbilisi. Miasto położone w dolinie rzeki Kury tętni życiem od wczesnych godzin porannych do późnego wieczora. To, co pierwsze rzuca się w oczy, to zgiełk uliczny oraz intensywny ruch samochodowy rządzący się swoimi prawami (o dziwo, nie widzieliśmy ani jednej kolizji, za to mnóstwo poobijanych aut).

Zwiedzanie miasta odbyło się utartym szlakiem turystycznym począwszy od dzielnicy ormiańskiej Avlabari w której znajduje się największa cerkiew na Kaukazie – Cminda Sameba (Sobór Świętej Trójcy), wzniesionej w XX wieku, a konsekrowanej w 2004 roku. Jej wysokość sięga 84 metrów, górując nad zabudową tej części miasta. Krętymi i wyboistymi uliczkami, wśród zaniedbanych starych domów zesłaliśmy nad brzeg rzeki, zaglądając po drodze do pałacu książniczki Darejani. Z nadrzecznego bulwaru kolejką linową przemieściliśmy się na drugą stronę Kury, w rejon górującej nad miastem twierdzy Narikala (VI–VIII w.). I to właśnie stąd widać wielkość miasta (Fig. 3), w końcu mieszka tu ponad milion ludzi!

Krótki odpoczynek, zdjęcia i kontynuujemy spacer w rejon najstarszej części miasta, która swoim urokiem naprawdę zachwyca. I choć niewielka, to ciekawa. Liczne knajpki, które



Fig. 3. Wieczorna panorama miasta
Fig. 3. Evening panorama of the city

ulokowały się w tej części miasta zachęcały do ich odwiedzenia, reklamując kuchnię gruzińską. Skrzętnie z tego skorzystaliśmy, wszak dzień był upalny, a i głód zaczynał powoli doskwierać.

Posileni ruszyliśmy na dalszy podbój Tbilisi. Obowiązkowy punkt to łaźnie siarkowe z najbardziej znaną Łażnią Orbeliani (XIX w.), w której bywała europejska bohema artystyczna XIX w. Kilkuminutowy spacer zawiódł nas do ukrytego wąwozu z wodospadem – to strumień przepływający przez położony powyżej ogród botaniczny. Miły chłód i kojący szum wody spowodował, że zdecydowaliśmy się wspiąć (a właściwie skorzystać ze schodów) do górnej części starego Tbilisi. Niespieszny spacer (tym razem w dół) ukazał miasto w wersji dla turystów, a więc odnowione kamieniczki, zadbane ulice (Fig. 4).

Spacerując po mieście odnosi się wrażenie wielopłaszczyznowej skrajności: nowoczesne budownictwo na tle zaniedbanych, starych dzielnic, luksusowe samochody mijające wysłużone wołgi, ludzie niczym z ulic Wiednia czy Paryża, a na skwerkach kłoszardzi, biedota... Ot, taka obserwacja.

Pierwszy dzień pobytu zakończyliśmy suprą, czyli uroczystą kolacją w stylu gruzińskim z występami folklorystycznymi. Mimo wielu wrażeń tego dnia, wszyscy z utęsknieniem wracali do hotelu na zasłużony odpoczynek.

Drugiego dnia rano wyjechaliśmy w kierunku granicy gruzińsko-azerskiej do kompleksu monasterów Dawid Gareja z VI w.

Po drodze, nieopodal wsi Udabno zatrzymuje nas „słony” pierwiastek naszej wyprawy – trzy słone jeziora! To kompleks jezior Jikurebi. Obowiązkowy postój i eksploracja zbiorników, które okazały się być wyschnięte, ale za to pokryte białą, słoną skorupą, skrywającą poniżej błotnistą maź



Fig. 4. Uliczka w starym Tbilisi, w głębi meczet
Fig. 4. Street in old Tbilisi, mosque in the background

(Fig. 5). Blizsze badania zbiorników pozwalają na wyciągnięcie wniosku, że wysychają one w porze letniej, natomiast od jesieni do wiosny może pojawiać się w nich solanka.



Fig. 5. Słone jezioro Jikurebi

Fig. 5. Salt Lake Jikurebi

Ruszamy dalej, mijając wieś Udabno, która robi dość przygnębiające wrażenie. Choć zabudowę można określić jako współczesną, w zdecydowanej większości domy są opuszczone. To znak czasu i historii tego miejsca – władze radzieckie przesiedliły w to miejsce w 2 poł. XX w. górali kaukaskich ze Swanetii, którzy mieli tu uprawiać słoneczniki.

Stepowo-pustynny charakter tego miejsca uczynił, że górale jakoś się nie zaaklimatyzowali, a obce im kulturowo słoneczniki nie bardzo chciały rosnąć (Fig. 6). No i na efekt nie trzeba było długo czekać – jak tylko nadarzyła się sposobność (rozpad ZSRR), kto tylko mógł, to uciekł z tego miejsca.



Fig. 6. Panorama w rejonie wsi Udabno

Fig. 6. Panorama in the area of the village Udabno



Fig. 7. Monastyr David Gareja
Fig. 7. Monastery David Gareja

Mimo tej mrocznej historii w Udabnie zaskoczył nas polski akcent – od kilku lat w jednym z opuszczonych domów Polacy prowadzą niewielką knajpkę z hostelem. Zatrzymamy się tu w drodze powrotnej z monastynu.

David Gareja – kompleks monastynów. Zwiedzaliśmy jeden z nich, będący częściowo wykuty w skałach góry Gareja, a częściowo będący typową budową sakralną (Fig. 7). Niepokojna historia tego miejsca czyniła, że monastyr był wielokrotnie plądrowany i niszczony przez Turków, Mongołów i Persów. Ostatni czas, od początku XIX w. po upadek ZSRR uczynił, że monastyr był opuszczony i popadał w ruinę. Aktualnie zamieszkuje w nim kilku mnichów i prowadzone są prace konserwatorskie. Mimo burzliwej historii, lata świetności tego miejsca przypadają na średniowiecze, wówczas monastyr był w największym rozkwicie. Był ośrodkiem sakralnej sztuki malarskiej (fresków), to tu powstały pieśni religijne, które w niezmienionej formie przetrwały do dziś.

Po opuszczeniu monastynu zatrzymaliśmy się we wspomnianej wcześniej polskiej knajpce. Sympatyczny klimat i Polaków rozmowy, wszak sezonowa obsługa to też Polacy!

Czas ruszać w dalszą podróż do miasteczka Signaghi, zwanego miastem miłości. Mimo że jest to odległość ok. 100 km (ok. 60 km w linii prostej), krajobraz zmienia się dość istotnie. Z lekko pofalowanego pustynno-stepowego pogranicza wjeżdżamy między pagórki z intensywną roślinnością. To jeden z rejonów Gruzji, w którym uprawia się winogrona

i produkuje wino. Zastaje nas wczesny wieczór, więc czas na suprę. Tym razem, i przez kolejnych kilka dni, będziemy spać rozdzieleni na mniejsze grupki w tzw. agroturystykach. Komfort klasy turystycznej, za to bezcenny jest kontakt z naszymi gospodarzami, ich bezpośredniością i serdecznością. W jednym domu światła zgasły grubo po północy.

KAUKAZ

Przed nami długa droga – musimy dojechać do Stepandminda, miasteczka u stóp Kaukazu. Po szybkim śniadaniu jedziemy do monastynu Bodbe nieopodal Signaghi. To właśnie tu została pochowana św. Nino, apostołka i patronka Gruzji, święta kościoła katolickiego, ormiańskiego i prawosławnego. Dzięki św. Nino Gruzja stała się drugim na świecie państwem (po Armenii), które przyjęło chrześcijaństwo. Jak ważne jest dla Gruzinów miejsce, tłumaczyć chyba nie trzeba.

Kierunek Kaukaz! Dojeżdżamy do Mchety – dawnej stolicy Gruzji. Niewielkie miasteczko położone kilkanaście kilometrów od Tbilisi, przy ujściu rzeki Aragwy do Kury (Fig. 8), jest dzisiaj siedzibą Gruzińskiego Kościoła Prawosławnego. Główną atrakcją jest sobór katedralny Sweti Cchoweli z XI w. – zbudowany na miejscu pierwszej w Gruzji świątyni chrześcijańskiej z IV w., miejsce koronacji i wiecznego spoczynku władców Gruzji. Zachowały się także z czasów starożytnych ruiny akropolu Armazisciche – na prawym brzegu rzeki Kury, rozbudowywana od III wiek p.n.e., z pozostałościami cytadeli, pałacu i grobowców oraz ruiny pałacu kró-



Fig. 8. Panorama Mchety – dawnej stolicy Gruzji przy ujściu rzeki Aragwy do Kury
Fig. 8. *Panorama of Mtskheta - the former capital of Georgia at the mouth of the Aragva to Kura*

łów iberyjskich w Armazischewi (I–III w. n.e.). W 1994 roku zabytki historyczne Mchety zostały wpisane na Listę Światowego Dziedzictwa UNESCO. W roku 2009 miasto zostało umieszczone na Liście Dziedzictwa Zagrożonego UNESCO z powodu postępującego zniszczenia murów oraz fresków. Na wzgórzu nieopodal usytuowany jest monaster Jvari z VI

w. Zwiedzając te obiekty uświadamiamy sobie, że nasza polska państwowość jest o kilkaset lat młodsza, a chrześcijaństwo na naszej ziemi dotarło 600 lat później.

Nieopodal monasteru Jvari znajduje się niewielkie jezioro pokryte solną skorupą. Podobnie jak te w rejonie Udabno – suche. Prawdopodobnie w okresie od późnej jesieni do



Fig. 9. Utwory trawertynowe przy Gruzjińskiej Drodze Wojennej
Fig. 9. *Travertine works on the Georgian Military Road*

wczesnej wiosny pojawia się w nim niewielka ilość solanki, o czym świadczyło suche podłoże. Jak się okazało, był to ostatni solny akcent naszej wyprawy.

Poruszamy się po rozległej równinie otoczonej pagórkami, lecz z każdym kilometrem krajobraz ulega zmianie. Zatrzymujemy się na krótki postój w Ananuri w bezpośrednim sąsiedztwie twierdzy. U jej stóp rozciąga się jezioro zaporo-we, co czyni, że widoki są bardzo malownicze. Stąd już tylko 4 km do Osetii Południowej, terytorium niby gruzińskiego, ale nad którym kontrolę mają Rosjanie. Wjeżdżamy na Gruzińską Drogę Wojenną, która aktualnie jest głównym szlakiem drogowym w kierunku Władykaukazu w Rosji. Droga zaczyna się pięć coraz wyżej, po drodze mijamy gruzińską stolicę sportów zimowych Gudauri. Z okien autokaru oglądamy hotele, wyciągi narciarskie, lecz sprawiają one wrażenie przypadkowych obiektów w przypadkowych miejscach. W końcu wjeżdżamy na najwyższy punkt naszego przejazdu – Przełęcz Krzyżową (2379 m n.p.m.). Zjeżdżając w stronę Stepancminy mijamy po drodze niewielkie utwory trawerynowe (Fig. 9) do złudzenia przypominające te w Pamukale (Turcja). Dojeżdżamy na miejsce, jesteśmy u stóp Wielkiego Kaukazu! O skali trudności przebytej drogi niech świadczy fakt, że aby dojechać do Stepancminy z Tbilisi samochodem osobowym potrzeba minimum 5 godzin, a to „tylko” 210 km.

KAUKAZ – SZKIC GEOLOGICZNY

Łańcuch Wysokiego Kaukazu w północnej części Gruzji, z najwyższym szczytem kraju – Szchara o wysokości 5193 m n.p.m, chyba najpiękniejszy region Gruzji dla miłośników alpejskiej geologii i przyrody. Uformowany ostatecznie

w neogenie, pocięty następnie porzecznymi dyslokacjami w czwartorzędzie, sprzyjających powstaniu głębokich dolin i kotlin, zbudowany jest z mezozoicznych łupków, piaskowców, wapieni i skał wulkanicznych. Jurajskie i kredowe skały węglanowe są podatne na rozwój rzeźby krasowej. Najwyższe szczyty Kaukazu (Elbrus i Kazbek) są stożkami wygasłych wulkanów.

Wysokogórski klimat pozwala na zachowanie na wysokości od 2900 do 3500 m n.p.m. wiecznych śniegów i lodowców o powierzchni około 2 tys. km².

Na południe od Wysokiego Kaukazu, rozdzielony równoleżnikowym pasem tektonicznych obniżen śródgórskich (tzw. zapadlisko riońsko-kurskie), rozciąga się znacznie niższy łańcuch Małego Kaukazu (najwyższy szczyt to Mepisckaro – 2850 m n.p.m). Zbudowany z wapieni kredowych, fliszu paleogeńskiego i starych skał wulkanicznych, Mały Kaukaz został wypiętrzony i sfałdowany w okresie miocenu. Później nastąpił okres intensywnej peneplenizacji i dopiero kolejne ruchy tektoniczne pod koniec pliocenu i w plejstocenie ponownie wydzwignęły górotwór, formując jednocześnie wielkie struktury zrębowe.

Na pas obniżen pomiędzy oboma masywami górkimi składa się kilka jednostek morfologicznych. Na zachodzie leży otwierająca się ku Morzu Czarnemu aluwialna Nizina Kolchidzka, dalej na wschód wznosi się Płaskowyż Imerecki, a na końcu wulkaniczny Płaskowyż Południowogruzjiński (źródło: <https://pl.wikipedia.org/wiki/Kaukaz>).

Kolejny dzień przywitał nas piękną pogodą, a naszym oczom ukazał się w całej krasie Kazbek (5033 m n.p.m.), góra jak piękna, tak kapryśna. Widok, który przyszło nam oglądać nie należy do częstych, gdyż szczyt na ogół spowity jest

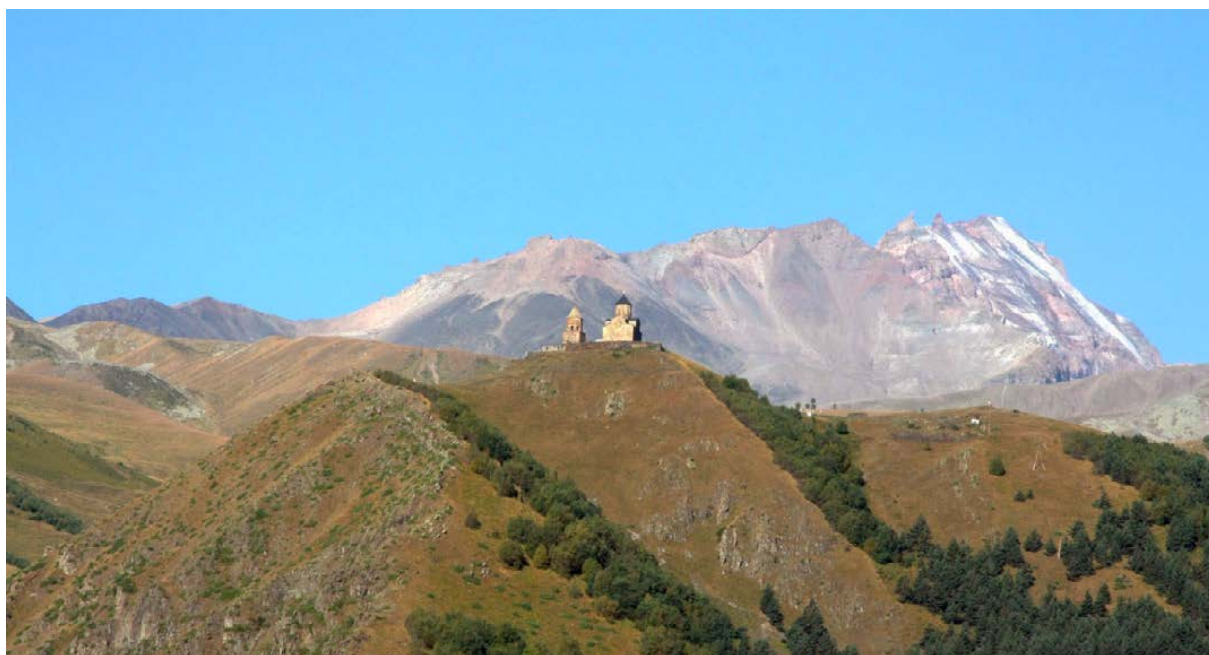


Fig. 10. Panorama na monaster Cmina Sameba

Fig. 10. Panorama on the Monastery of Cmina Sameba



Fig. 11. Grupa na tle Kazbeku
Fig. 11. Group against Kazbek

chmurami. A przed nami kolejne wyzwanie, czyli monastyr Cmindá Sameba (Fig. 10). Tym razem przesiadamy się do aut terenowych, by po kilkudziesięciominutowej jeździe, iście terenowej, podjechać pod monastyr. Ten prawosławny klasztor wzniesiony został na wzgórzu (2170 m n.p.m.) górującym nad doliną rzeki Terek, nad którą położona jest Stepancminda.

Jest to znakomity punkt widokowy, skąd można podziwiać potęgę Kaukazu.

Jeszcze tylko pamiątkowa fotka na tle Kazbeku (Fig. 11) i przemieszczamy się do doliny rzeki Truso.

Karkołomny zjazd do Stepancmindy (znakomici kierowcy!). Troszkę po asfalcie i wjazd na drogę szutrową. Wjeżdża-



Fig. 12. Trawertyny w dolinie Truso
Fig. 12. Travertines in the Truso valley



Fig. 13. W dolinie rzeki Truso
Fig. 13. In the valley of the Truso river

my w dolinę rzeki Truso, po drodze pokonując niewielki, ale za to głęboki przełom rzeki. Po pokonaniu przełomu wjeżdżamy do rozległej doliny, a naszym oczom ukazują się kolejne utwory trawertynowe. Dziwi nas, że nikt ich nie zabezpiecza przed niekontrolowanym zwiedzaniem, przy takim sposobie eksploracji za parę lat niewiele zostanie z tej ciekawej formy geologicznej (Fig. 12). Wjeżdżamy dalej w głąb doliny, dojeżdżamy do ruin kilku opuszczonych gospodarstw (Fig. 13). I w zasadzie nic tu nie ma poza widokami, którymi można napawać się do woli. Jest po prostu pięknie! Pięknie i dziko.

Może dlatego, że współczesna cywilizacja jeszcze nie odkryła tego miejsca?

KIERUNEK SWANETIA

Znów wjeżdżamy na Gruzjińską Drogę Wojenną, tym razem w przeciwnym kierunku, w stronę Imeretii. Naszym kolejnym punktem wyprawy jest Uplistsikhe koło Gori – starożytne skalne miasto (Fig. 14). Miasto częściowo wykute w skałach nad brzegiem Kury powstało w V w. p.n.e. i istnia-



Fig. 14. W skalnym mieście Uplistsikhe
Fig. 14. In the rocky city of Uplistsikhe



Fig. 15. Budynek Parlamentu Gruzji w Kutaisi
Fig. 15. The building of the Georgian Parliament in Kutaisi

ło do późnego średniowiecza. Jest uznawane za jedno z najstarszych miast na terenie współczesnej Gruzji. Zachowane elementy świadczą o poziomie rozwoju społecznego ówczesnych mieszkańców. Samo miasto stanowiło centrum kulturalne, polityczne i religijne w tej części Gruzji.

Niejako „przy okazji” zatrzymaliśmy się również w Gori, rodzinnym mieście Józefa Wissarionowicza Dżugaszwillego, znanego jako Józef Stalin. Ten niewątpliwy zbrodniarz jest przez Gruzinów co najmniej tolerowany, czego dowodem może być muzeum Stalina, dość licznie odwiedzany przez turystów. Sama ekspozycja ma charakter biograficzny i nie ucieka od tematów trudnych. Ciekawostką jest ustawiona na terenie muzeum udostępniona do zwiedzania salonka (wagon kolejowy), którą GenSek podróżował. Dzień kończymy w Kutaisi, drugim co do wielkości mieście Gruzji.

Szósty dzień wyprawy rozpoczynamy od krótkiego objazdu Kutaisi. Podobnie jak we wcześniej odwiedzanych miastach, nowoczesne budynki o różnorodnej funkcji wkomponowano w postkomunistyczną zabudowę, która bardziej nadaje się do wyburzenia, niż do eksponowania. Wrażenie robi futurystyczna bryła budynku Parlamentu (Fig. 15).

Jedziemy do jaskini Prometeusza nieopodal Kutaisi. Jaskinia ta z uwagi na bogatą szatę naciekową jest uznawana za jedną z najpiękniejszych na świecie. I tak też jest. Jaskinia została odkryta w 1984 r., a długość podziemnego labiryntu wynosi ponad 15 km, z czego zaledwie 10% udostępnione jest do zwiedzania. Zaawansowane zjawiska krasowe o różnorodnej formie, ciekawie podświetlone, pozwalają na popuszczenie wodzy fantazji i własną interpretację oglądanych form (Fig. 16). Jednak z oświetleniem jaskini wiąże się inny problem – pojawienie się glonów, które pokrywają oświetlane powierzchnie. Ciekawostką jest to, że poziom tlenu w jaskini jest dużo wyższy, niż w atmosferze na zewnątrz, co z kolei może być wykorzystane do leczenia chorób układu oddechowego.

Opuszczamy jaskinię, przed nami długa droga w kierunku Kaukazu, a tym razem celem jest miejscowość Mestia, która na dwa kolejne dni będzie naszą bazą. Wspinamy się górska



Fig. 16. W jaskini Prometeusza
Fig. 16. In the cave of Prometheus

drogą, a do celu docieramy późnym popołudniem. Nocujemy w obiektach agroturystycznych i znowu spotykamy się z dużą serdecznością ze strony gospodarzy.

Poranek powitał nas piękną pogodą, a wraz z nim możemy podziwiać wieże, które onegdaj budowano przy każdym gospodarstwie. Wieże miały charakter obronny, i mimo iż liczą sobie ok. 150-200 lat, to wiele z nich zachowało się w doskonałym stanie (Fig. 17).



Fig. 17. Mestia i jej charakterystyczne wieże
Fig. 17. Mestia and its characteristic towers

Celem dnia jest dotarcie do wioski Ushguli, uznawanej za najwyżej położoną w Europie (ok. 2200 m n.p.m.). Przed nami nieco ponad 40 kilometrów, z czego $\frac{3}{4}$ do drogi szutrowe (Fig. 18). Przesiadamy się do jeepów, chłonąc po drodze przepiękne krajobrazy. Sama podróż jeepami trwała prawie 3 godziny, w tym postój na zwiedzanie jednej z wież, zwanej Wieżą Miłości.

Po dotarciu na miejsce udajemy się na spacer po wiosce i najbliższej okolicy. A ta jak to w Kaukazie – jest przepiękna. Nad wioską góruje najwyższy szczyt Gruzji – Szchara (5068 m n.p.m.). Rozległe przestrzenie, piękna zieleń, no i góry (Fig. 19). To uświadamia, że człowiek jest niczym wobec potęgi przyrody. Sama wioska sprawia wrażenie, jakby się w niej czas zatrzymał. Stare zabudowania, zwierzęta gospodarskie na uliczkach.... inny świat. O współczesności przypominają



Fig. 18. Jedyna droga z Mestii do Ushguli
Fig. 18. The only way from Mestia to Ushguli



Fig. 19. Ushguli, w tle najwyższy szczyt Gruzji – Suchara
Fig. 19. Ushguli, in the background the highest peak of Georgia – Shkhara



Fig. 20. Zapora i elektrownia wodna Enguri
Fig. 20. Enguri dam and hydroelectric power plant

samochody przyjeżdżające z turystami, linia elektryczna oraz komórki, którą ma prawie każdy mieszkaniec wsi. Niemniej jednak życie w tym miejscu do najłatwiejszych chyba nie należy. Pora wracać do Mestii na kolejny nocleg.

Opuszczamy Mestię i ruszamy w kierunku Batumi. Przed nami prawie 300 km, czyli w realiach gruzińskich dróg podróż do popołudnia. Zjeżdżamy z kaukaskich stoków wzdłuż rzeki Enguri w stronę Niziny Kolchidzkiej. Zdziwiał nas kolor rzeki – turkusowo-mleczny. Co ciekawe, w górnym biegu rzeki pracują z powodzeniem poszukiwacze złota, co potwierdza tylko legendę o kolchidzkim złocie. Przeciwny brzeg rzeki to już separatystyczna Abchazja – terytorium, nad którym Gruzini stracili kontrolę.

Na pograniczu gór i niziny zatrzymujemy się przy największej w Gruzji zaporze wodnej Enguri (272 m), która jest drugą co do wielkości betonową zaporą na świecie. Wzniesiona w latach 1961-1980 r. za czasów ZSRR pełni rolę hydroelektrowni. Zabudowano w niej 20 turbin o mocy 66 MW każda. Trzeba przyznać, że budowla ta robi duże wrażenie (Fig. 20).

Jedziemy dalej, by po kolejnych kilometrach wjechać do Adżarii, regionu, którego stolicą jest Batumi.

BATUMI, ECH BATUMI

Mijamy deltę Enguri i wjeżdżamy do miasta. Z dalszej perspektywy robi wrażenie – w oczy rzucają się wysokie, nowoczesne budowle. Ale wjazd w gęszcz miejskiej zabudowy przypomina, że jesteśmy w stosunkowo biednym kraju, post-sowieckiej republice. Nowoczesne apartamentowce i biurowce wzniesione wśród obskórnych bloków pomieszanych z kamienicami „z epoki” (Fig. 21). Tygiel architektoniczny, poparty intensywnym ruchem ulicznym. Docieramy do hotelu. Od teraz czas wolny – odpoczynek po intensywnym zwiedzaniu Gruzji. Pierwsza, popołudniowa wizyta nad morzem nie zachwyca. Kamienista plaża w niczym nie przypomina naszych nadbałtyckich. Woda również sprawia wrażenie brudnej, wszak jesteśmy w dużym, portowym mieście. Obowiązkowy spacer po mieście potwierdza wcześniejsze spostrzeżenia, a uliczne krajobrazy przypominają początek lat 90-tych XX w. w naszym kraju. Widać, że państwo stara się stanąć na własnych nogach, a inicjatywa gospodarcza jest po stronie ludzi.

Przed nami cały dzień leniuchowania i nie wiadomo, jakie atrakcje wybrać. Oferta jest bogata – przepiękny ogród botaniczny, kolejka gondolowa, delfinarium, targ rybny (Fig. 22),



Fig. 21. Nowoczesna „twarz” Batumi
Fig. 21. Modern “face” of Batumi



Fig. 22. Na targu rybnym
Fig. 22. At the fish market

bazar, plaża... Każdy wybiera swoje ścieżki według swoich zainteresowań.

Niestety nigdzie nie dostrzeżliśmy „...herbacianych pól Batumi...” z piosenki Ali Babek. Okazuje się, że uprawa herbaty ma miejsce w Adżarii, ale w rejonach oddalonych od wybrzeża czarnomorskiego.

POWRÓT

To już ostatni nocleg w Gruzji, ostatnie przedpołudnie. W godzinach wczesno popołudniowych ruszamy do Tbilisi, skąd mamy nocny powrót do Warszawy. Wracamy pełni wrażeń, trochę jednak zmęczeni, jednak nikt z tego powodu nie

narzeka. Ciekawy kraj, przyjaźni ludzie – cóż więcej potrzeba by uznać, że warto było tu przyjechać?

PODSUMOWANIE

Przejechaliśmy po Gruzji ponad 2000 km. Odwiedziliśmy kilkanaście najciekawszych turystycznie miejsc, co pozwala na uznanie, że Gruzję poznaliśmy w połowie. Druga część to kolejny wyjazd. Jesteśmy usatysfakcjonowani od strony geologicznej, obserwując wiele ciekawych miejsc i zjawisk, dla których warto było tu przyjechać. Jedno jest pewne – nikt nie wrócił rozczarowany.



II. KOMUNIKATY / NOTICES

Wspomnienie o Andrzeju Lasoniu (1953–2018)

„...Pracuj pilnie, a zawsze znajdziesz uznanie. Nawet jakby ta Twoja praca nie była oceniana to i tak będziesz miał wewnętrzną satysfakcję...”. Andrzej to zdanie wziął sobie do serca. Zostało napisane 10 lipca 1966 roku przez Jego Tatę w liście, gdy 13-letni Andrzej był na swoim drugim w życiu obozie harcerskim. Nie ma już ani Taty, ani Andrzeja, obaj studiowali w AGH, obaj odeszli mając 65 lat.

Z czasów młodości dla Andrzeja ważne i dające Mu wiele szczęścia i satysfakcji były działania i wyprawy z ludźmi Krakowskiego Klubu Tatarnictwa Jaskiniowego, w którym był od 1974 roku. Znalazłam pożegnanie z Andrzejem na Ich stronie, umieszczone przez Ewę Kotarbę, która mam nadzieję, nie będzie mi miała za złe, że je zacytuję. Spotkanie i rozmowa z drugim człowiekiem może nas zaskoczyć! W drugiej połowie lat dziewięćdziesiątych, dzieląc się w rozmowie z Andrzejem wakacyjnymi wspomnieniami, nagle usłyszałam, jak dla mnie wtedy, niezwykłą historię. Andrzej opowiadał o wyprawie do jaskiń Rumunii, w której uczestniczył w latach siedemdziesiątych. Zapamiętałam jak wspominał o wspinaczce w kominach jaskini Cetatile Ponorolui i o pozostawionej tam kartce z nazwiskami osób, które tam dotarły... W skali eksploracyjnej naszego klubu małe epizody. Dla mnie on był bardzo cenny, bo mówił o jaskini, w której i ja byłam i dobrze ją zapamiętałam. Dodatkowo dowiedziałam się o nim z ust Andrzeja, od którego się tego nie spodziewałam! Nie byłam razem z Andrzejem w jaskini, ale w przesunięciu czasowym, tak. Doskonale mogłam sobie wyobrazić o czym On mówił. Mam nadzieję, że w przyszłości będziemy mogli znów się wspólnie spotkać i cieszyć, tym razem terazniejszością - wiecznością!”

Andrzej Lasoń, mgr inż. górnik, z Kopalnią Soli „Wieliczka” był związany od 1983 roku. W dniu 1 grudnia 1983 roku na mocy porozumienia pomiędzy Kopalnią Węgla Kamiennego „Kazimierz-Juliusz” w Sosnowcu, a Kopalnią Soli „Wieliczka” stał się pracownikiem kopalni w Wieliczce. W Kopalni Soli „Wieliczka” pracował do 31 stycznia 1987 roku, na stanowisku inspektora nadzoru inwestycyjnego ds.

górniczego zabezpieczenia kopalni, zajmując się nadzorem nad robotami górnictwami wykonywanymi w zabytkowej części Kopalni Soli „Wieliczka”. Następnie, aż do końca swojego życia, pracował w Zakładzie Robót Górniczych i Wysokościowych „AMC”. Pracując w firmie „AMC” nie stracił kontaktu z kopalnią w Wieliczce. Uczestniczył, jako współautor, w opracowaniu wielu projektów technicznych zabezpieczenia zabytkowych komór kopalni. Wymienić tutaj należy m.in. komory Baum, Budryk, Franciszek Karol, Gaisruck, Geramb, Gołuchowskiego, Jezioro Wessel, kaplica św. Kingi, Kazanów, Margielnik, Maria Teresa II górna, Michałowice, Pieskowa Skała, Piłsudskiego, Staszica, i in. Michałowice to jedna z największych komór, która została zabezpieczona przy dużym udziale Andrzeja. Będąc kierownikiem Działu Robót Górniczych w firmie AMC opracowywał, dla robót wykonywanych przez tę firmę, technologie zabezpieczania wyrobisk górnictwa, a następnie osobiście nadzorował proces ich zabezpieczenia, niejednokrotnie na bieżąco korygując, przyjętą na etapie projektowania, technologię. Był także współautorem części studialnej Projektu Planu ochrony rezerwatu przyrody „Groty Kryształowe” w Kopalni Soli „Wieliczka”. Z dużym zaangażowaniem, przez wiele lat, poświęcał się wykonywaniu, z użyciem technik alpinistycznych, kontroli komór wysokich w kopalni „Wieliczka”.

„Andrzej Lasoń był serdecznym kolegą dla wielu osób kierownictwa i dozoru ruchu w kopalni „Wieliczka”. Z dużą cierpliwością wyjaśniał konieczność realizacji zaprojektowanych robót. Nie szukał kompromisów, ale starał się przekonać do propozycji rozwiązań, które zawierał w technologii zabezpieczenia wyrobisk. Te jego propozycje zawsze były oparte o pomiary, badania geologiczne, obserwacje własne i inżynierskie doświadczenie. Angażując się ponad 30 lat w proces zabezpieczenia Kopalni Soli „Wieliczka” na trwale zapisał się w jej historii.”

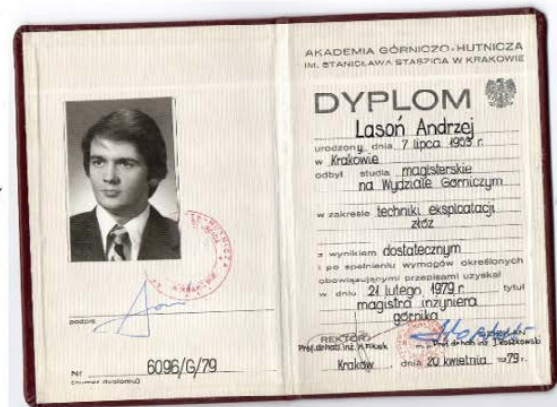
Krzysztof Brudnik



Andrzej Lason (fot. Drab)

Tadziu Mikoś w ramach wspomnień napisał dla Andrzeja wiersz.

Non omnis moriar...
 Re zdanania Andrzeju...
 Takie życie za szybko minęło
 Odprytno w dal Kraków po Kraków
 I tylko wspomnienia jasnieją
 Jak światło w potężnym mroku...
 Twoją pasją było górnictwo
 I promienną jego przeszłą chwytą
 Foswecites im serce i umysł
 I czas życia swojego niematy...
 Górnie skarby przeszłości
 Przybliżyć namion chwytą
 Temu się poswiecites
 I taką pracę Kochates
 Wnosites do świata potężni
 Naszą górną starg
 Bezpieczeństwo, fascynacja, piskno
 Zamiennone w zabytłach naukę
 RATAWAŁES, zabytłki potężne
 Kopalnie, grotty i jany
 Takiego Cig pamiętamy
 I dotąd wspomnamy...
 Dnia z żalem Cig żegnamy
 Bo zaswucites wieli
 Mówimy "DO ZOBACZENIA" ANDRZEJU
 Drogi Przyjacielu!
 3.09.2018 Tadziu Mikoś
 T. Mikoś



„Jest mi bardzo ciężko, kiedy moi Przyjaciele odchodzą, a ich Najbliżsi bardzo cierpią. W tym strasznym roku te odejścia mnie przygniotły i wdeptały w ziemię. Trudno policzyć z ilu odejściami musiałem się pogodzić w tym roku. W naszej małej społeczności Katedry Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej ubyło nam dwóch Kolegów. Andrzejek był mi na swój sposób bardzo bliski ze względu na ciepłe i swoiście oszczędne, ale akceptujące relacje z drugim człowiekiem. Odkąd Go poznałem zawsze między nami była tzw. dobra chemia. Nie napisałem dotąd żadnych wspomnień o moich odeszłych mistrzach, Przyjaciolach i Kolegach, bo do tego trzeba trochę chłodnego namysłu, a to mi nie przychodzi łatwo. Andrzej był po prostu fajnym kumplem i kiedy ostatni raz się spotkaliśmy w lampowni w Kopalni „Wieliczka”, On w drodze do swoich komór, ja ze studentami z Nowego Targu i kiedy siedzieliśmy obok siebie na drewnianej ławce bez oparcia, czekając na coś tam, to fajnie nam się milczało. Czuliśmy się bliśscy sobie. Potem każdy z nas poszedł do swoich, realizować swoje zadania. To było parę lat temu (czas szybko ucieka) i to było nasze ostatnie spotkanie. Nie wiedziałem tego wtedy. Nigdy nie wiemy, kiedy spotkamy się ostatni raz. Cóż mogę więcej napisać o Andrzeju? Przecież nie będę streszczał Jego życiorysu, punktował Jego niezwykłych zalet (bo tak wypada) i niezwykłych osiągnięć (bo każdy po śmierci je ma). Dla mnie Andrzej był kimś, od kogo uczyłem się Kopalni Soli „Wieliczka”, mimo że jestem wieliczaninem i mój dziadek od strony mamy był górnikiem w tej kopalni. Nie potrafię pisać wspomnień, tych którzy odeszli i są ze mną związani więzami przyjaźni, zachowuję Ich w sobie i będą żyć we mnie i w moich snach (często mi się to obecnie zdarza) do końca mojej drogi tu i teraz.”

Jacek Motyka



Jazda do delty Nilu, uzupełnianie poziomu wody w organizmie (fot. Janusz Chmura)



Wizyta na terenie koptyjskiego sanktuarium pod Kairem (fot. Maciej Pawlikowski)

„Nasza znajomość z Andrzejem miała podłoże koleżeńskie i naukowe. Wspólnie z Tadeuszem Mikosiem oraz śp. Januszem Chmurą jeździliśmy do Egiptu. Zajmowaliśmy się między innymi badaniami grobów notabli w Górnym Egipcie oraz na stanowisku Tell el-Farcha w delcie Nilu. Tu pracowaliśmy nad projektem podniesienia dużej mastaby i możliwościami wykonania pod nią (po podniesieniu) badań archeologicznych. Wykonaliśmy także wstępne badania geologiczno-górniczne w koptyjskim sanktuarium, zlokalizowanym w starych kamieniołomach faraonów na Mukattamie pod Kairem. Prowadzone były one pod kątem górniczego zabezpieczenia kościołów i kaplic, zlokalizowanych w tych górniczych wyrobiskach. Trudno nie wspomnieć o współpracy z Andrzejem w ramach problematyki górniczej i geologicznej kopalni soli w Wieliczce, gdzie obok innych zagadnień analizowaliśmy znaczenie mineralizacji solnej drewnianej obudowy chodników górniczych, szczególnie na tzw. kopalnianej trasie turystycznej, przez którą dziennie przechodzi tysiące osób. Andrzej był zawsze pomocny, życzliwy i uśmiechnięty. Nawet gdy pojechał ze mną na wykopaliska do Babiego Dołu pod Gdańsk pracował łopatą na równi ze studentami. Był niezwykle sympatycznym i mądrym kolegą, o wyjątkowo dużej wiedzy górniczej i geologicznej. Miał też szczególny urok osobisty, gwarantujący Mu, obok wiedzy, niezwykle powodzeniu u płci pięknej. Wielka szkoda, że chwilowo się nie wybiierzemy wspólnie w świat, by się cieszyć możliwością odbycia przygód i prowadzenia sympatycznej i interesującej współpracy”.

Maciek Pawlikowski



Andrzej podczas wizyty na stanowisku archeologicznym Tell el-Farcha w delcie Nilu (fot. Maciej Pawlikowski)



Po męczącym dniu relaks z sziszą w ulicznej kawiarence (fot. Maciej Pawlikowski)

„Andrzeja poznałem w czasie wyprawy AGH do Egiptu, gdzie poszukiwaliśmy śladów upadku meteorytów. Andrzej był niezmiernie otwarty na wszystko co go otaczało. Dużo dyskutowaliśmy na każdy możliwy temat (nie zawsze mając podobne opinie, ale to myślę dobrze?!) i chyba przypadliśmy sobie do gustu. Gdy byliśmy przy schodkowej piramidzie w Meidum wymyśliliśmy nową teorię na temat jej powstania, ale po powrocie jakoś czasu nie stało, aby ją ogłosić. Szkoda! Pamiętam dobrze wizytę w koptyjskim kościele mieszczącym się w jaskini w dzielnicy Mukattam w Kairze. Gdy Andrzej zobaczył ogromne, niczym nie zabezpieczone, skalne płyty zwisające z sufitu, czekające aby pewnego dnia spaść na głowy modlących się tłumów, nie wytrzymał i zaczął kląć. Jako solidny specjalista On dobrze wiedział, czym jest górotwór i co potrafi. I jeszcze jedno. Pamiętam, że gdy my znużeni spaliśmy w busie, On w zamyśleniu wciąż śledził mijane otoczenie (zob. filmik *Nieznana Katastrofa w Starożytnym Egipcie, cz.2*).

Potem kilkakrotnie wpadaliśmy na siebie, gdy zjeżdżałem na dół do kopalni w Wieliczce. Z naszymi pokreconymi życiorysami mieliśmy o czym pogadać... Najczęściej jednak wspominam moment, gdy z grupą studentów szliśmy chodnikiem, a tu ni stąd ni zowąd, z jakiegoś zawalonego wyrobiska, przez które chyba tylko mysz mogłaby się prześlizgnąć, nagle wychylna w blasku lamp górniczych umorusana postać. Dziewczeta krzyknęły, chłopcy udawali dzielnych, a postać krzyknęła do mnie wesoło – Witaj profesorze! To właśnie był Andrzej i takiego chcę pamiętać. Niezwykłego... Niestety o śmierci Andrzeja dowiedziałem się od Jurka Przybyło długo po pogrzebie. I było to dla mnie szokiem, bo przecież nie tak dawno z nim rozmawiałem na nadszybiu”.

Zbyszek Sawłowicz

I jeszcze na koniec, mimo, że Andrzej nie lubił celebry, a tym bardziej zwykle nie zaznaczał swojej obecności w kopalni w Wieliczce, to jednak udało się trafić w pewnym miejscu na taki, zapewne jeden jedyny, palec na piasku pisany w 2000 roku napis, który przetrwał 18 lat, dla żartu, a może dla pamięci umieszczony przez Niego, po sąsiedzku ze starszym o ponad 100 lat, napisem kogoś, kto też tam był i minął, tak jak Andrzej i my wszyscy kiedyś (?). Szczęść Boże!

Praca i aktywność Andrzeja, jak widać to zawsze było dotykane Ziemi, początkowo przy okazji nadzoru przy wydobywaniu węgla kamiennego, później

drażnienie lub podpieranie stropu i ścian, ochrona dziedzictwa historycznego w kopalniach i ich reliktach, albo w wyrobiskach zabytkowych podziemi, w starych klasztorach, kościołach czy piwnicach, a także na stanowiskach podczas wspólnych prac z archeologami. Kochał historię i wyczytywał ją nie tylko z książek, a głównie ze śladów pracy rąk ludzkich, chcąc je uchronić przed zniszczeniem pod wpływem czasu i nieodpowiedzialnych działań. Szczególnie doceniał pracę z drewnem, weryfikował jak funkcjonują zaprojektowane i tworzone z niego konstrukcje, czy są zgodne z zasadami geometrii i geomechaniki, czy odpowiednio zabezpieczają górotwór lub stateczność budowli, w jakich warunkach mogą ulec zniszczeniu, zwłaszcza gdy powietrze jest przesycone drobkami soli. Jaskinie i góry, ciepłe morza i wydmy Bałtyku, ukochane Lubiatowo, tam wszędzie jest Andrzej. Ten młody i ten dojrzały, to zawsze silny i sprawny mężczyzna, który uwielbiał się wspinać, nurkować i żeglować. Robił to albo perfekcyjnie, albo na tyle dobrze, by było bezpiecznie. W wakacje można było Go spotkać raczej w małych i bardziej odludnych miejscach, na pustych, najchętniej żwirowych plażach lub na hałdach starych kopalń. Odszedł na tyle po swojemu, na ile to było możliwe. Jest nadal i pozostał w sercu, w duszy i w pamięci, jak długo życie pozwoli mieć pieczę nad świadomością. Z Nim nigdy nie można było stracić, bo był rzetelny, prawy i honorowy. Życie z Nim było prawdziwym zaszczytem, w sprawach ważnych był bezkompromisowy i aktywny, ale przeważnie wolał pozostawać w cieniu. Mam nadzieję, że wybaczy mi te kilka stron, zapisanych uczuciami i wspomnieniami zebranych od Przyjaciół, za co w Jego imieniu dziękuję Wam i Wydawcy, że zechciał je przyjąć do druku i upamiętnić Ciebie Andrzeju.

Marta Wardas-Lason



GUIDELINES FOR AUTHORS

The papers received by the *Salt Review* Editors will be published in the following sections:

- I. Papers
- II. Notices, Reports, and Opinions

I. Papers – Composed in MS Word, font: Times New Roman

1. Title in Polish and English (font: Times New Roman 14)
2. Full first names and surnames of all the authors (Times New Roman 12)
3. Names and addresses of the institutions employing the authors (Times New Roman 11)
4. Body of the Paper should contain:
 - a. Abstract and Key Words in Polish and English
 - b. Content in Polish or English
 - c. Summary in Polish
 - d. References
 - e. Captions of Figures
 - f. Captions of Tables

Examples and rules of quotes used in the body of the paper:

- ...should be counted as original inclusions (Roedder, 1984)...
- ...important role in arc magma generation (e.g. Ulmer & Trommsdorf, 1995; Scambelluri et al., 2004) by feeding...

5. Figures. A Figure can be composed of one or several elements, either black-and-white or in colour, either inserted into the text and enclosed below, saved in Corel Draw, version up to X5, in TIF, BMP, PDF or JPG formats, with the min. resolution of 300 dpi.

Captions in Polish and English (in *italic*), e.g.:

Ryc. 2. Profil litostratygraficzny.....

Fig. 2. Lithostratigraphic profile.....

List of Figures should be placed at the end of the body of the paper.

6. Tables. A Table can be either inserted into the body of the text and enclosed below (preferred format: MS Excel). Tables should be numbered with Arabic numerals.

Captions in Polish and English (in *italic*), e.g.:

Tabela 1. Rozkład granulometryczny.....

Table 1. Grain size distribution.....

Phrases within the Tables should use fonts that remain readable after possible reduction.

List of Tables should be placed at the end of the body of the paper.

7. References. The list of References may include exclusively the works quoted in the body of the paper. Each item should contain: The surnames and initials of the first names of all the authors, year of publication, title, journal (in *italic*), volume number, issue number (in parentheses), page numbers. In the case of archival issues, give the name of the library and the archive number.

LITERATURA / REFERENCES

BURNS P.C., CARPENTER M.A., 1997. Phase transition in the series boracite-trembathite-congolite... *Canadian Mineralogist*, 35: 189-202.

WACHOWIAK J., PAWLKOWSKI M., 2011. Mineralogical and petrographic studies of the Zechstein evaporites in the Mogilno salt diapir. *Investgas S.A. Archives*, 4/2011: 1-65.

II. Notices, Reports, and Opinions

The contents placed in this section will refer to the events taking place in salt mining in Poland and abroad (conferences, expeditions, field trips, biographic notes, short reviews etc.). The paper structure (e.g. introduction or key words) is not required here. In the case of English texts, an abstract in Polish should accompany the text. Text format will be the same as for the body of a paper.

Remarks

The *Salt Review* Editors request the authors to observe the rules strictly. Additional examples can be found in previous *Salt Review* volumes.

INSTRUKCJA DLA AUTORÓW

Texty nadsyłane do Redakcji Przeglądu Solnego będą zamieszczone w dwóch rozdziałach:

- I. Artykuły
- II. Komunikaty, wydarzenia, opinie

I. Artykuły

1. Tytuł w języku polskim i angielskim (kursywą), czcionką Times New Roman 14
2. Pełne imiona i nazwiska (kapitałkami) wszystkich autorów, np.:
Marek KOWALSKI¹, Jacek NOWAK², Iwona ROŚ²
3. Afiliacje autorów czcionką Times New Roman 11, np.:

¹IKS Solino S.A. ul. Św. Ducha 26a, 88-100 Inowrocław.

E-mail: m.kowal@wp.pl

²Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii,

al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków. E-mail: nowak@agh.edu.pl

4. Tekst artykułu napisany czcionką Times New Roman 12 obejmujący:
 - a. streszczenie i słowa kluczowe w języku polskim,
 - b. streszczenie (Abstract) i słowa kluczowe (Key words) w języku angielskim,
 - c. treść w języku polskim lub angielskim, zawierająca podstawowe człony: wstęp, metody badań, wyniki badań, wnioski,
 - d. podsumowanie (Summary) w j. angielskim (1-2 str.) z cytacją wszystkich rycin i tabel zawartych w teście,
 - e. alfabetyczny wykaz cytowanych pozycji literatury,
 - f. spis rycin w j. polskim i angielskim,
 - g. spis tabel w j. polskim i angielskim.

Uwaga!

- W tekście pisanym po polsku, autorów innych publikacji należy cytować używając wyłącznie **polskich znaków i przecinków!** Np. (Smith i in., 2013), (Kowalski, Plana, 2014).
- W streszczeniach w j. angielskim należy używać angielskich znaków i przecinków, np.: (Smith at al., 2013), (Kowalski & Plana, 2014).

5. Ryciny.

Nazwa rycina (Ryc., ang. Fig.) obejmuje zdjęcia, wykresy, diagramy, itp. Rycina powinna być włączona w tekst oraz dołączona jako załącznik, zapisany w programie Corel Draw w wersji nie nowszej niż X5 lub w plikach TIF, BMP, JPG, PDF w rozdzielczości min. 300 dpi.

Opisy rycin należy podać w j. polskim i angielskim (*kursywą*), numeracja cyframi arabskimi np.:

Ryc. 2. Profil litostratygraficzny.....

Fig. 2. Lithostratigraphic profile.....

Tekst wewnątrz rycin musi być napisany w j. polskim i angielskim (*kursywą*)

Zbiorczy spis rycin należy zamieścić na końcu tekstu głównego, po literaturze.

6. Tabele.

Tabela powinna być zamieszczona w tekście oraz jako załącznik (preferowany program Excel). Opisy tabel należy podać w j. polskim i angielskim (*kursywą*), numeracja cyframi arabskimi. np.:

Tabela 1. Rozkład granulometryczny.....

Table 1. Grain size distribution.....

Tekst wewnątrz tabel musi być napisany w j. polskim i angielskim (*kursywą*)

Zbiorczy spis tabel należy zamieścić na końcu tekstu głównego, po literaturze.

7. Literatura / References.

W spisie literatury mogą być zamieszczane wyłącznie pozycje cytowane w tekście. Dla listowanej publikacji należy podać kolejno: nazwiska i inicjały imion wszystkich autorów, rok wydania pracy, tytuł pracy, nazwę czasopisma (*kursywą*), numer tomu, numer zeszytu (w nawiasie), strony. W przypadku opracowań archiwalnych należy podać miejsce przechowywania opracowania i jego numer archiwalny. Np.:

LITERATURA / REFERENCES

BURNS P.C., CARPENTER M.A., 1996. Phase transitions in the series boracite – trembathite – congolite: phase relations. *Canadian Mineralogist* 34 (12): 881–892.

CHARYSZ W., 1973. Cechsztyńskie piętro soli młodszych w regionie kujawskim. *Prace Geologiczne*, 75: 7-67.

CZAPOWSKI G., TOMASSI-MORAWIEC H., MISIEK G., 2007. Podział i występowanie górnopemskich skał zubożonych w Polsce. Materiały XII Sympozjum Solnego pt. „Przemysł solny w gospodarce”. Kłodawa, 11-12 października 2007 r. Abstrakt: 31-33.

II. Komunikaty, wydarzenia, opinie.

Treści zawarte w tym rozdziale mają charakter informacyjny o wydarzeniach w polskim i światowym górnictwie solnym (informacje o konferencjach, wyprawach naukowych, notki biograficzne, krótkie recenzje itp.). Nie wymagany jest tu układ tekstu jak w przypadku artykułu, np. streszczenie w j. polskim, wstęp, słowa kluczowe itp. Powinny natomiast posiadać streszczenie w j. angielskim. Format tekstu jak w artykule.

Uwagi końcowe

Redakcja Przeglądu Solnego wymaga od autorów rzetelnego cytowania osiągnięć wcześniejszych badaczy w zakresie tematyki składanych do opublikowania opracowań oraz respektowania podanych wyżej reguł cytacji i listowania literatury. Dodatkowe wzorce można zacerpnąć z opublikowanych w tomie artykułów.

MINERAŁY ZE SKAŁ SOLNYCH WYSADU „KŁODAWA”
MINERALS FROM SALT ROCKS OF “KŁODAWA” SALT DOME



1. Magnezyt [$Mg(CO_3)$] – Zuber brunatny [Na3t], poziom 750 m. *Magnesite - Brown Zuber [Na3t], level 750 m. Photo by E. Szeleg.*

2. Boracyt [$Mg_3B_7O_{13}/Cl$] – karnalitowieckizerytowy [K3], poziom 600 m. *Boracite – kieseritic carnallite rock [K3], level 600 m. Photo by E. Szeleg.*

3. Hydrotalkit [$Mg_6Al_3(OH)_{18}[Na(H_2O)_6][SO_4]_2 \cdot 6H_2O$] – sól szaropomarańczowa [Na3g], poziom 600 m. *Hydrotalcite – grey-orange rock salt [Na3g], level 600 m. Photo by E. Szeleg.*

4. Kongolit [$(Fe,Mg,Mn) B_7O_{13}/Cl$] – sól różowa [Na4], poziom 750 m. *Congolite – pink rock salt [Na4], level 750 m. Photo by E. Szeleg.*

5. Kwarc [SiO_2] – sól kamienna białoszara [Na2], poziom 450 m. *Quartz – white-grey rock salt [Na2], level 450 m. Photo by E. Szeleg.*

6. Piryt [FeS_2] – Zuber brunatny [Na3t], poziom 600 m. *Pyrite – Brown Zuber [Na3t], level 600 m. Photo by E. Szeleg.*

7. Hematyt [Fe_2O_3] – Zuber czerwony [Na4t], poziom 750 m. *Hematite – Red Zuber [Na4t], level 750 m. Photo by E. Szeleg.*