

XXV Międzynarodowe Sympozjum Solne International Salt Symposium



QUO VADIS SAL

KRAKÓW, 30.09 - 01.10.2021

VARIA SAL - WSZYSTKO O SOLI - ALL ABOUT SALT

XXV Międzynarodowe Sympozjum Solne International Salt Symposium



Zakres tematyczny/ *Symposium Topics* :

- Badania geologiczno-górnictwa złóż soli w Polsce/ *Geological and mining research on salt deposits in Poland.*
- Nowoczesne techniki modelowania w badaniach i zagospodarowaniu złóż solnych/ *Modern modelling methods in salt deposit research and management.*
- Gospodarka solą w Polsce – produkcja, dystrybucja, import, eksport/ *Salt management in Poland: production, distribution, import and export.*
- Podziemne magazyny w kavernach solnych – ropa, paliwa, gaz, wodór/ *Underground storage facilities in salt caverns for crude oil, fuels, natural gas and hydrogen.*
- Zagrożenia geologiczno-górnictwa i środowiskowe przy eksploatacji złóż soli/ *Geological, mining and ecological hazards associated with salt mining.*
- Podziemne kopalnie soli jako obiekty historyczne i rekreacyjno-lecznicze/ *Underground salt mines as landmarks and recreation and health facilities.*

XXV Międzynarodowe Sympozjum Solne International Salt Symposium



Organizatorzy/ *The Organizers:*



Polskie Stowarzyszenie Górnictwa Solnego



Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława
Staszica w Krakowie

Partnerzy/ *The Partners:*



UOS Drilling S.A.



KGHM Polska Miedź S.A.



KGHM Metraco S.A.



Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Górnictwa
Surowców Chemicznych CHEMKOP
Sp. z o.o.



Sandvik Polska Sp. z o.o.



Kopalnia Soli "Kłodawa" S.A.

XXV Międzynarodowe Sympozjum Solne International Salt Symposium



Komitet Naukowy/ *Scientific Committee*

prof. dr hab. inż. Aleksander Garlicki – AGH Kraków

dr hab. inż. Krzysztof Bukowski – AGH Kraków

dr hab. Grzegorz Czapowski – PIG-PIB Warszawa

dr inż. Katarzyna Cyran – AGH Kraków

dr inż. Tomasz Toboła – AGH Kraków

dr inż. Jacek Wachowiak - Geosalt

Komitet Organizacyjny/ *Organizing Committee*

Grażyna Holojuch – IGSMiE PAN, Kraków

Justyna Nowińska-Jarzębińska – AGH Kraków / Chemkop

Jacek Wachowiak - Geosalt

Natalia Walczak-Torba - Chemkop

Redakcja tomu konferencyjnego/ *Editors*

Justyna Nowińska-Jarzębińska – AGH Kraków / Chemkop

Jacek Wachowiak - Geosalt

Natalia Walczak-Torba - Chemkop

PROGRAM SYMPOZJUM

Czwartek, 30.09.2021

13:00 - 14:00	Rejestracja uczestników Sympozjum w budynku A0 Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie	
14:00 - 14:20	Powitanie Gości w sali 133 przez Prezesa Polskiego Stowarzyszenia Górnictwa Solnego dr inż. JACKA WACHOWIAKA oraz Prorektora AGH ds. Współpracy prof. dr. hab. inż. RAFAŁA WIŚNIEWSKIEGO	
<p>14:20 - 16:00 - I SESJA REFERATOWA</p> <p>Podziemne kopalnie soli jako obiekty historyczne i rekreacyjno-lecznicze</p> <p>Badania mineralogiczno-górniczne złóż soli w Polsce</p>		
14:20 - 14:40	PRZYBYŁO JERZY. Fotografia w wielickiej kopalni - od zdjęć Awita Szuberta do skaningu laserowego	16
14:40 - 15:00	CZAPOWSKI GRZEGORZ, MAŁOLEPSZY ZBIGNIEW, SZYNKARUK EWA, CHEŁMIŃSKI JACEK, NOWACKI ŁUKASZ. Paleofacie i paleogeografia cechsztyńskich basenów ewaporatowych w rejonie Gorzowa Wielkopolskiego (zachodnia Polska)	21
15:00 - 15:20	GALAMAY ANATOLIY R., BUKOWSKI KRZYSZTOF, ZINCHUK IGOR M., MENG FANWEI. Obliczenie temperatury i głębokości basenu solonośnego z wykorzystaniem ciekłych inkluzji w halicie z soli miocenijskich z obszaru Karpat	26
15:20 - 16:00	CZAPOWSKI GRZEGORZ, TOMASSI-MORAWIEC HANNA, WACHOWIAK JACEK. Wybrane pierwiastki śladowe w górnopermskich solach potasowo-magnezowych w Polsce - czy warto je stąd pozyskiwać?	28
16:00 - 16:30	Przerwa kawowa i sesja posterowa	
<p>16:30 - 18:00 - II SESJA REFERATOWA</p> <p>Nowoczesne techniki modelowania w badaniach i zagospodarowaniu złóż solnych</p>		
16:30 - 16:50	SŁOTWIŃSKI MICHAŁ, BURLIGA STANISŁAW. Zastosowanie metod numerycznych i analogowych w modelowaniu tektoniki solnej	31

16:50 - 17:10	URBAŃCZYK KAZIMIERZ. Ługowanie w złożach małej miąższości (V część cyklu: Proces ługowania kawern solnych)	34
17:10 - 17:30	CHROMIK MARIUSZ, KORZENIOWSKI WALDEMAR, SKRZYPKOWSKI KRZYSZTOF. Metoda ługowania magazynowych komór solnych z zastosowaniem techniki hydro-strumieniowej	38
17:30 - 18:00	Dyskusja	
18:00 - 18:30	Podsumowanie i zakończenie pierwszego dnia Sympozjum	
19:30 - ...	Uroczysta kolacja górnicza w Hotelu Polonez	

Piątek, 01.10.2021

09:00 - 13:00	Walne Zebranie Polskiego Stowarzyszenia Górnictwa Solnego (dla członków PSGS)	
09:00 - 13:00	Zwiedzanie Krakowa z przewodnikiem (dla osób chętnych, niestowarzyszonych w PSGS, zapisy w pierwszym dniu Sympozjum)	
13:00 - 14:00	Obiad, catering w AGH	

14:00 - 15:30 - III SESJA REFERATOWA

Gospodarka solą w Polsce - produkcja, dystrybucja, import, eksport
Zagrożenia geologiczno-górnictwo i środowiskowe przy eksploatacji złóż soli

14:00 - 14:20	KOŁODZIEJSKI JANUSZ, SADOWSKI ANDRZEJ. Podaż soli na rynku polskim w latach 2016-2020 z uwzględnieniem importu i eksportu	40
14:20 - 14:40	HODBOD MARTA. Sole potasowo-magnezowe - polskie zasoby na tle gospodarki światowej	42
14:40 - 15:00	PASZCZA HENRYK. Słone wody kopalniane w górnictwie węglowym	50
15:00 - 15:30	KURDEK DAMIAN. Analiza wyników obserwacji ruchów górotworu w polu nr 1 w Kopalni Soli "Kłodawa" S.A.	51
15:30 - 16:00	Przerwa kawowa i sesja posterowa	

16:00 - 18:00 - IV SESJA REFERATOWA

Podziemne magazyny w kawernach solnych – ropa, paliwa, gaz, wodór.

16:00 - 16:20	BIENIASZ JÓZEF, PIETRAS JAKUB, MARCOLA-SADOWSKA JOLANTA, KURDEK DAMIAN. Zmienność zjawiska zaciskania wyrobisk komorowych w przestrzeni pola nr 2 w kopalni soli Kłodawa	52
16:20 - 16:40	GRZYBOWSKI ŁUKASZ, WILKOSZ PAWEŁ, CEKLARZ MARIAN, MROZIŃSKI PIOTR, DERDOWSKI RAFAŁ, CYRAN KATARZYNA, KOWALSKI MICHAŁ, UTHKE WŁADYSŁAW, URBAŃCZYK KAZIMIERZ, NOWIŃSKA-JARZĘBIŃSKA JUSTYNA, WALCZAK-TORBA NATALIA. Projekt CavDim - Optymalizacja kształtu i pojemności kawern magazynowych w pokładowym złożu soli kamiennej	55
16:40 - 17:00	MISA RAFAŁ, SROKA ANTONI, TAJDUŚ KRZYSZTOF, DUDEK MATEUSZ. Bezinwazyjna metoda określania konwergencji kawern solnych	57
17:00 - 17:20	SZATKO MATEUSZ, ŁUCZAK RYSZARD. Rurociągi z włókna szklanego dla środowisk agresywnych chemicznie	59
17:20 - 17:40	TOMALA PIOTR, PLEZIA PAWEŁ, URBAŃSKI PIOTR, CIELEŃ ŁUKASZ, ANDRUSIKIEWICZ WACŁAW, WRZOSEK JOANNA. Podziemny przepust wentylacyjny z blach falistych - studium przypadku	65
17:40 - 18:00	Dyskusja	
18:00 - 18:30	Podsumowanie obrad i zakończenie Sympozjum	
19:30 - ...	Pożegnalna biesiada górnicza Hotelu Polonez	

POSTERY

ŚWIERK MATEUSZ, BURLIGA STANISŁAW. Halit w poziomie eksploatacyjnym złóż rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej - przykład współczesnej mineralizacji chlorkowej	68
NOWIŃSKA-JARZĘBIŃSKA JUSTYNA, WALCZAK-TORBA NATALIA. Badania mineralogiczno-petrograficzne i ługownicze prób soli ze złoża Sorkol (Kazachstan)	72
BASIURA ALEKSANDRA, CYRAN PAULINA, GARDEŁA ANDRZEJ, GIEREK MAŁGORZATA. Monitoring ekologiczny zagrożeń gazowych dla obszarów objętych działalnością górniczą związaną z magazynowaniem mieszaniny gazu ziemnego, wodoru i bio-metanu	75
KUBACKA TOMASZ, NGUYEN CHAU DINH. Wpływ obecności rur eksploatacyjnych na parametry geometryczne fali ultradźwiękowej w pomiarach echometrycznych kawern solnych	76

GRZYBOWKI ŁUKASZ, KRZYWIEC PIOTR. Analiza rozwoju struktury solnej Goleniowa (NW Polska) w Mezozoiku na podstawie interpretacji danych geologicznych i geofizycznych

78

SYMPOSIUM PROGRAMME

Thursday, 30.09.2021

13:00 - 14:00	<i>Registration of the Symposium participants in A0 building of University of Science and Technology in Cracow</i>	
14:00 - 14:20	<i>Welcome of the participants in the 133 hall by the President of Polish Salt Mining Association Mr. JACEK WACHOWIAK and Vice-Rector for Cooperation of University of Science and Technology Mr. RAFAŁ WISNIOWSKI</i>	
<p>14:20 - 16:00 - 1st PAPER SESSION</p> <p><i>Underground salt mines as landmarks and recreation and health facilities</i></p> <p><i>Geological and mining research on salt deposits in Poland</i></p>		
14:20 - 14:40	<i>PRZYBYŁO JERZY. Photography in the Wieliczka mine - from photos taken by Awit Szubert to laser scanning</i>	16
14:40 - 15:00	<i>CZAPOWSKI GRZEGORZ, MAŁOLEPSZY ZBIGNIEW, SZYNKARUK EWA, CHEŁMIŃSKI JACEK, NOWACKI ŁUKASZ. Paleofacies and paleogeography of Upper Permian (Zechstein) evaporite basins in the Gorzów Wielkopolski area (western Poland)</i>	21
15:00 - 15:20	<i>GALAMAY ANATOLIY R., BUKOWSKI KRZYSZTOF, ZINCHUK IGOR M., MENG FANWEI. The calculation of salt basin depth and temperature using fluid inclusions in halite from the Middle Miocene salts from the Carpathian area</i>	26
15:20 - 16:00	<i>CZAPOWSKI GRZEGORZ, TOMASSI-MORAWIEC HANNA, WACHOWIAK JACEK. Selected trace elements in the Upper Permian (Zechstein) potash-bearing deposits in Poland - is their exploitation from salts economically plausible?</i>	28
16:00 - 16:30	<i>Coffee break and Poster Session</i>	

16:30 - 18:00 - IInd PAPER SESSION

Modern modelling methods in salt deposit research and management

16:30 - 16:50	SŁOTWIŃSKI MICHAŁ, BURLIGA STANISŁAW. <i>Application of numerical and analogue methods in modelling of salt tectonics</i>	31
16:50 - 17:10	URBAŃCZYK KAZIMIERZ. <i>Leaching in thin-bedded deposits. (Salt cavern leaching process p.V)</i>	34
17:10 - 17:30	CHROMIK MARIUSZ, KORZENIOWSKI WALDEMAR, SKRZYPKOWSKI KRZYSZTOF. <i>The method of leaching of salt storage caverns using the hydro-jet technique</i>	38
17:30 - 18:00	Discussion	
18:00 - 18:30	Conclusions and the end of the first day o Symposium	
19:30 - ...	Solemn Miners' Dinner in Polonez Hotel	

Friday, 01.10.2021

09:00 - 13:00	General Assembly of Polish Salt Mining Association (for Members)	
09:00 - 13:00	The trip around Cravow with Guide (for those willing, sign-up for the trip in the first day of Symposium)	
13:00 - 14:00	Dinner, catering in University of Science and Technology, AGH building	

14:00 - 15:30 - IIIrd PAPER SESSION

Salt management in Poland: production, distribution, import and export

Geological, mining and ecological hazards associated with salt mining

14:00 - 14:20	KOŁODZIEJSKI JANUSZ, SADOWSKI ANDRZEJ. <i>The supply of salt on the polish market in 2016-2020 including import and export</i>	40
14:20 - 14:40	HODBOD MARTA. <i>Potassium-magnesium salts - polish deposits in comparison with the world economy</i>	42

14:40 - 15:00	PASZCZA HENRYK. <i>Salt mine water in coal mining</i>	50
15:00 - 15:30	KURDEK DAMLIAN. <i>Measurements of the observation of rock mass movements in field No.1 in the "Kłodawa" salt mine S.A.</i>	51
15:30 - 16:00	<i>Coffee break and Poster Session</i>	
16:00 - 18:00 - IVth PAPER SESSION <i>Underground storage facilities in salt caverns for crude oil, fuels, natural gas and hydrogen</i>		
16:00 - 16:20	BIENIASZ JÓZEF, PIETRAS JAKUB, MARCOLA-SADOWSKA JOLANTA, KURDEK DAMLIAN. <i>Variability of the clamping phenomenon of post-exploitation voids in the exploitation area of field No.2 in "Kłodawa" rock salt mine</i>	52
16:20 - 16:40	GRZYBOWSKI ŁUKASZ, WILKOSZ PAWEŁ, CEKLARZ MARIAN, MROZIŃSKI PIOTR, DERDOWSKI RAFAŁ, CYRAN KATARZYNA, KOWALSKI MICHAŁ, UTHKE WŁADYSŁAW, URBAŃCZYK KAZIMIERZ, NOWIŃSKA-JARZĘBIŃSKA JUSTYNA, WALCZAK-TORBA NATALIA. <i>CavDim Project - shape and capacity optimization of storage caverns in bedded rock salt deposit</i>	55
16:40 - 17:00	MISA RAFAŁ, SROKA ANTONI, TAJDUŚ KRZYSZTOF, DUDEK MATEUSZ. <i>Non-invasive method of determining salt cavern convergence</i>	57
17:00 - 17:20	SZATKO MATEUSZ, ŁUCZAK RYSZARD. <i>Fiberglass piping for chemically aggressive environments</i>	59
17:20 - 17:40	TOMALA PIOTR, PLEZIA PAWEŁ, URBAŃSKI PIOTR, CIELEŃ ŁUKASZ, ANDRUSIKIEWICZ WACŁAW, WRZOSEK JOANNA. <i>Underground ventilation duct made of corrugated sheets - a case study</i>	65
17:40 - 18:00	<i>Discussion</i>	
18:00 - 18:30	<i>Conclusions and the end of the Symposium</i>	
19:30 - ...	<i>Farewell Mining Feast in the Polonez Hotel</i>	

POSTERS

ŚWIĘRK MATEUSZ, BURLIGA STANISŁAW. <i>Halite in mine drafts in copper ore deposits over Fore-Sudetic Homocline: An example of modern chloride mineralization</i>	68
NOWIŃSKA-JARZĘBIŃSKA JUSTYNA, WALCZAK-TORBA NATALIA. <i>Mineralogical-petrographic and leaching tests of rock salt samples from the Sorkol Deposit (Kazakhstan)</i>	72

BASIURA ALEKSANDRA, CYRAN PAULINA, GARDEŁA ANDRZEJ, GIĘREK MAŁGORZATA. <i>Ecological monitoring of gas hazards for areas covered by mining activities related to the storage of a mixture of natural gas, hydrogen and bio-methane</i>	75
KUBACKA TOMASZ, NGUYEN CHAU DINH. <i>Influence of the presence of production pipes on the geometrical parameters of the ultrasonic wave in sonar measurements of salt caverns</i>	76
GRZYBOWKI ŁUKASZ, KRZYWIEC PIOTR. <i>Analysis of the evolution of the Goleniów salt structure (NW Poland) in the Mesozoic based on the interpretation of geological and geophysical data</i>	78

Streszczenia referatów
Abstracts of oral presentations

w kolejności wystąpień
in order of presentation

FOTOGRAFIA W WIELICKIEJ KOPALNI – OD ZDJĘĆ AWITA SZUBERTA DO SKANINGU LASEROWEGO

PHOTOGRAPHY IN THE WIELICZKA MINE - FROM PHOTOS TAKEN BY AWIT SZUBERT TO LASER SCANNING

Jerzy PRZYBYŁO¹

¹ Kopalnia Soli Wieliczka S.A. Park Kingi 1, 32-020 Wieliczka,
e-mail: jerzy.przybylo@kopalnia.pl

Fotografia w Kopalni Soli Wieliczka po raz pierwszy zagościła w roku 1892, ponad 50 lat po tym jak jej wynalazek w 1939 roku niezależnie od siebie ogłosili Francuz Louis Jacques Mandé Daguerre oraz Anglik William Henry Fox Talbot. Przez długi czas w fotografowaniu podziemi nie rozwiązany problemem był brak wystarczającej ilości światła w wyrobiskach, koniecznego do robienia zdjęć. Wynalezienie w roku 1859 proszku błyskowego – magnezji umożliwiło fotografowanie w miejscach, gdzie światło było towarem deficytowym.

Awit Szubert (1837 – 1919) był wszechstronnym fotografem (prócz portretów i miejskich krajobrazów uwielbiał fotografować góry) działającym pod koniec XIX i w początkowych latach XX wieku. Wpadł na pomysł sfotografowania podziemi kopalni, co wyraził w piśmie z 15 lutego 1892 roku, zaadresowanym do zarządu kopalni. Otrzymał zgodę na wizytę z aparatem i tak powstały pierwsze znane zdjęcia kopalni (ponad 20). W 1893 roku podziemne widoki autorstwa Awita Szuberta w liczbie 20 (18 z podziemi i 2 z miasta) zostały wydane w Wiedniu w postaci albumu heliograviur.

Kolejnym fotografem wielickich podziemi był Jan Czernecki (1871 – 1955), księgarz i artysta fotograf. W młodości pracował jako urzędnik, po osiedleniu się około 1898 roku w Wieliczce zajął się fotografią. W 1902 roku zwrócił się do Krajowej Dyrekcji Skarbu we Lwowie z prośbą o możliwość robienia zdjęć w kopalni. Dostał stosowne pozwolenie i wykonał bardzo dużo fotografii zamieszczonych później między innymi w książkach i artykułach o wielickiej kopalni. Pewne fakty wskazują, że zdjęcia kopalni Wieliczka wykonywał przed 1902 rokiem, już w latach 90. tuż po Awicie Szubercie.

W okresie międzywojennym fotografem wielickiej kopalni był Władysław Gargul. (1883 - 1946). Był człowiekiem niezwykle aktywnym i przedsiębiorczym. Do Wieliczki zawitał około 1918 roku i zajął się fotografowaniem gości zwiedzających kopalnię, zarówno dostojników, jak i zwykłych turystów. Uwieczniał także podziemne wyrobiska, a swoje zdjęcia publikował w przewodnikach, książkach, albumach oraz jako karty pocztowe. Plonem jego pracy jest wizerunek Wieliczki z lat 1918-1943.

Znaczącą powojenną postacią dla kopalni był Alfons Długosz (1902 – 1975). Dzięki jego pasji zaangażowaniu powstało Muzeum Żup Krakowskich Miał wykształcenie plastyczne – przed wojną studiował w Państwowej Szkole Przemysłu Artystycznego w Berlinie i Akademii Sztuk Pięknych w Dreźnie. Zauroczony wielickimi podziemiami, które po raz pierwszy zobaczył w 1949 roku, rozpoczął starania o uratowanie zabytkowej kopalni, co stało się idee fixe jego dalszego życia. Oprócz gromadzenia zabytków i okazów skał pozyskanych podczas podziemnych wędrówek, wykonał wiele zdjęć, z których wybór zamieścił między

innymi w książce Wieliczka Magnum Sal jako zabytek kultury materialnej. Jego fotografie charakteryzują się dużym kunsztem artystycznym.

Pierwsi fotografowie wielickich podziemi do oświetlania wyrobisk stosowali magnezję. Daje ona miękkie, rozproszone światło, zdjęcia wykonane przy jej użyciu cechuje niezwykła plastyka. Umiejętnie rozmieszczone przez Długosza jej ładunki wydobywały z fotografowanych zakamarków niebywale piękne obrazy.

Postępujący rozwój turystyki w kopalni wywołał zapotrzebowanie na przewodniki, pocztówki i zestawy pamiątkowych zdjęć z Kopalni. Fotografie Wielickich podziemi tworzono także na potrzeby rozmaitych popularnonaukowych broszur, a także dla ilustracji artykułów prasowych o kopalni. Wydawano także zestawy przeźroczy do projekcji w domowych rzutnikach. W 1968 roku w serii Piękno Polski ukazał się album wydawnictwa Sport i Turystyka pod tytułem Wieliczka, zawierający czarno-białe zdjęcia autorstwa Magdaleny Rusinek. Był to drugi po dziele Awita Szuberta fotograficzny album traktujący o Wieliczce.

Wpisanie kopalni w 1976 roku na listę zabytków Województwa Krakowskiego, a w 1978 na Światową Listę Dziedzictwa Przyrodniczego wywołało dalsze zapotrzebowanie na zdjęcia z jej podziemi. Pojawiły się też duże wydawnictwa albumowe o niej traktujące. W 1984 roku ukazał się album Wieliczka - solny skarb. Traktuje on przeglądowo o kopalni wczoraj i dziś poruszając zagadnienia z geologii, historii czy technik. W 1988 roku nakładem wydawnictwa Interpress wyszedł album ze zdjęciami Stanisława Klimowskiego i tekstem Mariana Hanika Wieliczka. Siedem wieków polskiej soli. Album ten autorstwa jednego fotografa jest jednolity stylistycznie, porusza różne zagadnienia – pokazuje nie tylko trasę turystyczną lub ekspozycję Muzeum, ale także zakamarki tej „prawdziwej” kopalni.

Po 1989 roku, kiedy to w Polsce doszło do przemian ustrojowych i powstania gospodarki wolnorynkowej ilość publikacji albumowych, przewodników i innych pamiątek, takich jak kalendarze znacznie wzrosła. Publikowały je zarówno firma Kopalnia Soli „Wieliczka” - Trasa Turystyczna sp. z o.o. organizująca ruch turystyczny jak i Muzeum Żup Krakowskich Wieliczka. W latach 90. ukazały się drukiem albumy Kopalnia soli Wieliczka ze zdjęciami Pawła Jaroszewskiego (1993), Wieliczka ze zdjęciami Tomasza Gębusia i Tadeusza Korduli (1997 - 98?) oraz albumy wydawnictwa Karpaty z fotografiami Janusza Podleckiego.

Nowe tysiąclecie zaowocowało kolejnymi publikacjami, wśród których warto wymienić monumentalny album Andrzeja Nowakowskiego Skarb. Kopalnia Soli „Wieliczka” wydany w 2016 roku. Jest to obszerne dzieło, którego część fotograficzna ukazuje kopalnię w sposób odbiegający od schematu ukształtowanego pod koniec lat 90. XX wieku. Inną ciekawą pozycją jest Kopalnia Soli „Wieliczka” Niecodzienny świat soli, album ze zdjęciami Ryszarda Tatomira wydany w 2018 roku. Ideą albumu było pokazanie związku człowieka z naturą – człowiek drażąc kopalnię zawłaszczył część przyrody, teraz natura odbiera z powrotem to co do niej niegdyś należało, zaciskając stopniowo opuszczone wyrobiska i budując szaty naciekowe wtórnych soli.

Fotografia wielickiej kopalni ma też swój praktyczny rozdział. Zdjęcia podziemnych korytarzy i komór, górników przy pracy oraz odsłoneń geologicznych służyły celom dydaktycznym. Przykładem zastosowania fotografii wielickich podziemi w procesie edukacji i rozwoju nauki są liczne ilustracje zamieszczane w artykułach naukowych oraz popularnonaukowych.

Fotogrametria jest pomiarem wykorzystującym obraz w postaci zdjęcia, na którego podstawie interpretuje się kształty, rozmiary i wzajemne położenie obiektów. W 1960 roku ukazała się publikacja pt. Fotogrametryczne kartowanie i profilowanie wyrobisk górniczych na przykładzie kopalni w Wieliczce autorstwa Zygmunta Kowalczyka. Był on profesorem geodezji,

rektorem AGH, pracował też na Politechnice Warszawskiej. Związany był też z górnictwem, bardzo interesował się geologią. W swojej pracy przedstawił metody fotogrametrycznego kartowania geologicznego wyrobisk górniczych, ilustrując zagadnienie przykładami odsłoneń geologicznych w wyrobiskach kopalni Wieliczka.

Fotogrametria na dobre zagościła w Kopalni „Wieliczka” w latach 70. i 80. Wówczas to Krakowskie Przedsiębiorstwo Geodezyjne wykonało gigantyczną pracę tworząc tą metodą mapy i przekroje wyrobisk kopalni objętych trasą turystyczną, podziemną ekspozycją Muzeum Żup Krakowskich oraz wybranymi wyrobiskami zlokalizowanymi poza tymi rejonami. Wykonano precyzyjne mapy i przekroje zarówno komór, jak i chodników w skali 1:50.

Fotografia była też narzędziem dokumentacji zabytkowych wyrobisk podczas przeprowadzonych w kopani inwentaryzacji w latach 70. i 80. XX wieku oraz w latach 2017 – 2020.

W ostatnim czasie w kopalni pojawiła się nowa technologia - skaning laserowy. Jest to metoda polegająca na laserowym pomiarze odległości i kąta od punktu o określonych współrzędnych, w którym zlokalizowane jest urządzenie emitujące wiązkę laserową, do obiektu. W wyniku pomiaru powstaje „chmura punktów”, która określa kształt skanowanego obiektu lub przestrzeń wyrobisk kopalni. Różne wartości głębi obrazu z przyporządkowanym odpowiednio kolorem dają obraz podobny do zdjęcia fotograficznego.

Na koniec pewna refleksja. Przedstawiono w nim zarys dziejów obecności fotografii w kopalni soli „Wieliczka”, zarówno w postaci ilustracyjno-pocztówkowo-albumowej jak i mającej zastosowania dydaktyczno-naukowo-techniczne. O ile w tej ostatniej materii na pewno jeszcze przez wiele lat będzie ona obecna, to w tym pierwszym wymiarze budzi niepokój. W ostatnich latach gwałtownie spadła sprzedaż wydawnictw albumowych poświęconych kopalni. Pocztówek praktycznie już nikt nie wysyła. Pojawia się pytanie, czy komukolwiek będą jeszcze potrzebne wizerunki wielickich podziemi, tak pieczołowicie niegdyś fotografowanych przez Awit Szuberta, Jana Czerneckiego, Władysława Garguła czy Alfonsa Długosza? Czyżby zbliżał się koniec wielickiej fotografii?

Photography in the Wieliczka Salt Mine came for the first time in 1892, over 50 years after its invention was independently announced in 1839 by a Frenchman Louis Jacques Mandé Daguerre and an Englishman William Henry Fox Talbot. For a long time, an unsolved problem in photographing the underground was the lack of sufficient light in the excavations to take pictures. The invention of the flash powder magnesia in 1859 made photography possible in places where light was a scarce commodity.

Avit Szubert (1837 - 1919) was a versatile photographer (besides portraits and cityscapes, he loved to photograph mountains) active at the end of the 19th century and in the early years of the 20th century. He came up with the idea of photographing the undergrounds of the mines, which he expressed in a letter of 15 February 1892 addressed to the management of the mine. He received permission to visit the mine with his camera and this is how the first known photos of the mine were made (more than 20). In 1893 20 underground views by Avit Szubert (18 from the underground and 2 from the town) were published in Vienna in an album of heliogravures.

Another photographer of the Wieliczka underground was Jan Czernecki (1871 - 1955), a bookseller and an artist photographer. In his youth he worked as a clerk, after settling down in Wieliczka around 1898 he took up photography. In 1902, he asked the National Treasury Directorate in Lvov to allow him to take photographs in the mine. He was granted permission and took many photographs which were later published in books and articles about the Wieliczka mine. Some facts indicate that he took photographs of the Wieliczka mine before 1902, just after Avit Szubert.

Before the Second World War the photographer of the Wieliczka mine was Władysław Gargul. (1883 - 1946). He was an extremely active and enterprising man. He came to Wieliczka around 1918 and took photographs of visitors to the mine, both dignitaries and ordinary tourists. He also immortalized underground workings and published his photographs in guidebooks, books, albums and as postcards. The result of his work is the image of Wieliczka from 1918-1943.

A significant post-war figure for the mine was Alfons Długosz (1902 - 1975). It was thanks to his passion and involvement that the Cracow Saltworks Museum was established. He had an artistic education - before the war he studied at the State School of Artistic Industry in Berlin and at the Academy of Fine Arts in Dresden. Enchanted with the Wieliczka underground, which he saw for the first time in 1949, he started to make efforts to save the historic mine, which became the idea fixe of his further life. Apart from collecting monuments and rock specimens acquired during his underground wanderings, he took many photographs, a selection of which he published, among others, in his book *Wieliczka Magnum Sal* as a monument of material culture. His photographs are characterized by great artistic craftsmanship.

The first photographers of the Wieliczka underground used magnesia to illuminate the excavations. It gives a soft, diffused light, and photographs taken with it are characterised by extraordinary plasticity. The charges of magnesia, skilfully placed by Długosz, brought out remarkably beautiful images from the photographed nooks and crannies.

Progressive development of tourism in the mine caused the demand for guidebooks, postcards and sets of commemorative photos of the mine. Photographs of Wieliczka underground were also created for various popular science brochures and to illustrate press articles about the mine. There were also published sets of slides for projection in home projectors. In 1968 in the series *The beauty of Poland* an album was published by the Sport and Tourism publishing house under the title *Wieliczka*, containing black and white photographs by Magdalena Rusinek. This was the second photographic album about Wieliczka after the work of Anit Szubert.

The entry of the mine in 1976 on the list of monuments of the Cracow Voivodeship and in 1978 on the World Heritage List caused further demand for photographs from its underground. There appeared also large album publications about it. In 1984 the album *Wieliczka - Salt Treasure* was published. It gives an overview of the mine yesterday and today, covering the issues of geology, history and technology. In 1988 the Interpress publishing house released an album with photographs by Stanisław Klimowski and a text by Marian Hanik entitled *Wieliczka. Seven Centuries of Polish Salt*. This album, authored by a single photographer, is stylistically uniform and addresses various issues - it shows not only the tourist route or the Museum exhibition, but also the nooks and crannies of this "real" mine.

After 1989, when Poland underwent political transformation and the free-market economy emerged, the number of album publications, guidebooks and other memorabilia such as calendars increased significantly. They were published both by the Wieliczka Salt Mine - Tourist Route Ltd. organising tourist traffic and by the Cracow Saltworks Museum Wieliczka. The 1990s saw the publication of albums entitled *Wieliczka Salt Mine* with photographs by Paweł Jaroszewski (1993), *Wieliczka* with photographs by Tomasz Gebuś and Tadeusz Kordula (1997-98) and albums by the Karpaty publishing house with photographs by Janusz Podlecki.

The new millennium brought further publications, among which worth mentioning is the monumental album *Treasure. Wieliczka Salt Mine* published in 2016. It is an extensive work, the photographic part of which shows the mine in a way that differs from the pattern formed in the late 1990s. Another interesting item is *Salt Mine Wieliczka. Uncommon World of Salt*, an album with photographs by Ryszard Tatomir published in 2018. The idea of the album was to show the relationship between man and nature - by digging the mine, man appropriated part of nature, and now nature is taking back what once belonged to it, gradually tightening abandoned pits and building dripstone robes of secondary salts.

The photography of the Wieliczka mine also has its practical chapter. Photos of underground corridors and chambers, miners at work and geological exposures were used for didactic purposes. Numerous illustrations in

scientific and popular articles are an example of using photographs of Wieliczka underground in the process of education and development of science.

Photogrammetry is a measurement which uses an image in the form of a photograph, on the basis of which the shapes, sizes and mutual location of objects are interpreted. In 1960 a publication entitled *Photogrammetric mapping and profiling of mine excavations on the example of the Wieliczka mine* was published by Zygmunt Kowalczyk. He was a professor of geodesy, rector of the AGH University of Science and Technology and worked at the Warsaw University of Technology. He was also connected with mining and was very interested in geology. In his work he presented methods of photogrammetric geological mapping of mine workings, illustrating the issue with examples of geological exposures in Wieliczka mine workings.

Photogrammetry appeared in the "Wieliczka" mine for good in the 70's and 80's. At that time The Cracow Geodetic Enterprise did a tremendous job of creating with this method maps and cross-sections of mine excavations included in the tourist route, the underground exhibition of the Cracow Saltworks Museum and selected excavations located outside these areas. Precise maps and cross-sections of both chambers and galleries were made at a scale of 1:50.

Photography was also a tool for documenting the historic workings during the inventories carried out at the mine in the 1970s and 1980s and between 2017 and 2020.

Recently, a new technology has been introduced to the mine - laser scanning. This is a method involving laser measurement of the distance and angle from a point with specified coordinates, where a device emitting a laser beam is located, to an object. The measurement results in a "point cloud", which defines the shape of the scanned object or the space of the mine workings. The different depth values of the image with corresponding colour assignments produce an image similar to a photograph.

Finally, some reflection. It outlines the history of the presence of photography in the Wieliczka Salt Mine, both in illustrative-postcard-album form and in didactic-scientific-technical applications. While it will certainly be present in the latter area for many years to come, the former aspect raises concerns. In recent years sales of album publications devoted to mines have fallen sharply. Postcards are no longer sent by anyone. The question arises: will anyone still need images of the Wieliczka underground, once so meticulously photographed by Avit Szubert, Jan Czernecki, Władysław Gargul or Alfons Długosz? Is the end of Wieliczka photography approaching?

PALEOFACJE I PALEOGEOGRAFIA GÓRNOPERMSKICH (CECHSZTYŃSKICH) BASENÓW EWAPORATOWYCH W REJONIE GORZÓWA WIELKOPOLSKIEGO (ZACHODNIA POLSKA)

PALAEOFACIES AND PALAEO GEOGRAPHY OF UPPER PERMIAN (ZECHSTEIN) EVAPORITE BASINS IN THE GORZÓW WIELKOPOLSKI AREA (WESTERN POLAND)

Grzegorz CZAPOWSKI¹, Zbigniew MAŁOLEPSZY, Ewa SZYNKARUK, Jacek CHEŁMIŃSKI, Łukasz NOWACKI

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

Przestrzenny model budowy geologicznej tzw. bloku Gorzowa, obejmujący otoczenie Gorzowa Wielkopolskiego w zachodniej Polsce (ryc. 1), obrazuje architekturę sedymentacyjno-tektoniczną basenu depozycyjnego od utworów kenozoiku po karbońską część jego waryscyjskiego podłoża na gł. 2,5-4,5 km p.p.m. (Adamczak-Biały i in., 2020). Przy konstrukcji modelu wykorzystano dane z 23 zdjęć sejsmicznych 3D, ponad tysiąc linii sejsmicznych 2D oraz dane z 300 głębokich (>500 m) odwiertów (ryc. 2).

Istotnym komponentem modelu są utwory ewaporatowe (siarczany i sole) górnego permu (cechsztyn), stanowiące od ok. 1/3 do ok. 1/4 wypełnienia basenu w strefach poduszek solnych. Tworzy je 10 siarczanowych (anhydryty) i 9 litostratygraficznych wydzieleni solnych (w tym dwa wydzielenia soli K-Mg), przypisanych odpowiednio cyklotomom od PZ1 do PZ4 cechsztynu (tab.1). Opisy materiału rdzeniowego z 53 otworów wiertniczych (na blisko 280 otworów rejestrujących utwory cechsztynu), umożliwiły wyróżnienie szeregu litofacji, reprezentujących różne środowiska depozycji ewaporatów.

Dla utworów siarczanowych wyróżniono następujące litofacje: otwartego basenu siarczanowego (z partiami głębszymi), platformy siarczanowej, laguny siarczanowej (z partiami płytszymi), laguny i panwi solno-siarczanowej oraz sebkhy siarczanowej. W przypadku utworów solnych są to facje: otwartego basenu solnego (z partiami głębszymi i płytszymi), laguny solnej (z partiami płytszymi), laguny solno-siarczanowej, panwi solnej z przejściem do saliny, saliny oraz nadmorskiego (przeradzającego się w śródlądowy) zbiornika jeziornego typu *playa*.

Analiza rozkładu miąższości poszczególnych wydzieleni i wymienionych litofacji pozwoliła opracować mapy przypuszczalnej paleogeografii kolejnych basenów ewaporatowych: siarczanowych (6 map) i solnych (6 map). Wartości korelacji pomiędzy miąższością siarczanów, rozpoczynających depozycję ewaporatów w każdym z cykli, a miąższością nadległych soli oraz tychże soli do kończących cykl siarczanów, umożliwiły określenie typu ewaporatowego basenu depozycyjnego (patrz: Czapowski, Tomaszczyk, 2014). Jedynie zbiorniki sedymentacyjne utworów najstarszej soli kamiennej (Na1) i anhydrytu stropowego (A3r/A3g*) reprezentują basen typu „wypełnieniowego” (*infill evaporite basin*; wysoka ujemna wartość współczynnika korelacji; tab.1), pozostałe badane ewaporaty powstały w basenach typu „niestabilnego” (*fluctuating evaporite basin*; niska ujemna i dodatnia wartość współczynnika korelacji; tab.1). W interpretacjach rozkładu miąższości ewaporatów uwzględniono także wpływ tektoniki post- i syndepozycyjnej, szczególnie aktywnej podczas formowania ewaporatów cyklotomów PZ2 i PZ3.

Pełny tekst opracowania wraz z materiałami załącznikowymi zostanie opublikowany w Biuletynie PIG w 2022 r.

3D model of geological structure of s.c. Gorzów block, located in Gorzów Wielkopolski area in western Poland (fig. 1), imaged the sedimentary-tectonic architecture of the depositional basin there, from the Cenozoic deposits down to the Carboniferous rocks of the Variscan basement at depth 2.5-4.5 km b.s.l. (Adamczak-Biały i in., 2020). For model construction were applied data of 23 3D and over thousand 2D seismic sections, as well as data from 300 deep (>500 m) boreholes (fig. 2).

Evaporites (sulphates and salts) of Upper Permian (Zechstein) became the valid component of 3D model, building c.a. 1/3 to 1/4 of basin infill in zones of salt pillows. Ten sulphate (anhydrites) and 9 salt lithostratigraphic units (two units of K-Mg salts within), belong to Zechstein cyclothems from PZ1 to PZ4 (tab.1). Core descriptions of 53 wells (from up to 280 boreholes, registering Zechstein deposits), enabled definition of several lithofacies, corresponding with various evaporite depositional environments.

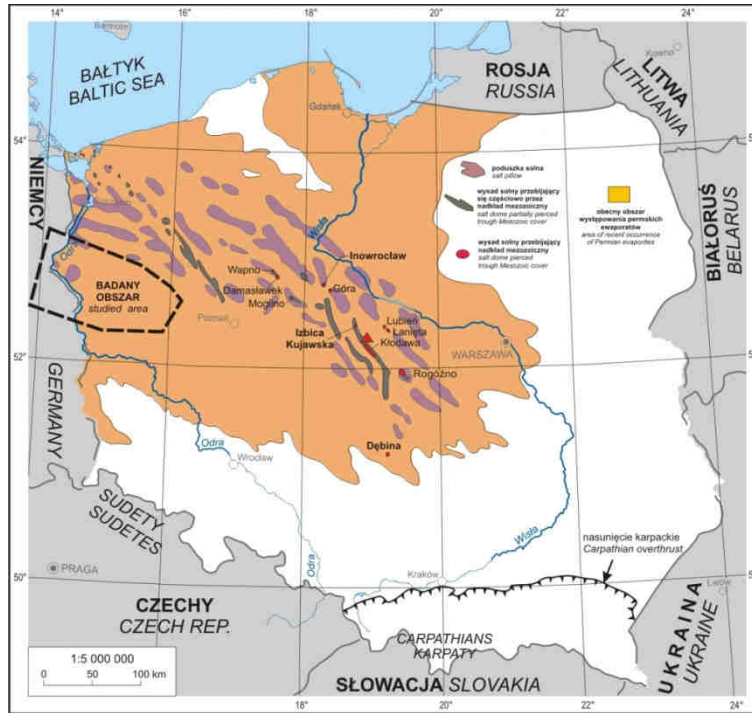
Following lithofacies were distinguished for sulphates: open sulphate basin (with deeper parts), sulphate platform, sulphate lagoon (with shallower parts), salt-sulphate lagoon and pan and sulphate sabkha. For salt deposits the lithofacies were as follow: open salt basin (with deeper and shallower parts), salt lagoon (with shallower parts), salt-sulphate lagoon, salt pan to salina, salina and seaside lake, transforming into inland one of playa type.

Analysis of thickness and lithofacies distribution of following evaporite units in the studied area enabled map creation of supposed paleogeography images of evaporite depositional basin for each unit: 6 maps for sulphate units and 6 maps for salt ones. Values of correlation coefficient between thickness of sulphates, initiating evaporite deposition in each cycle, and thickness of overlying salts and relation of these salts to next sulphates, finalizing the cycle, defined the type of evaporite depositional basin (see: Czapowski, Tomaszczyk, 2014). Only the sedimentary basins of Oldest Halite (Na1) and Top Anhydrite (A3r/ A3g) deposits represented the infill evaporite basin type (high negative value; tab.1), other studied evaporates were accumulated in the fluctuating evaporite basins (low negative and positive values; tab.1). Interpretation of thickness images considered also post- and synsedimentary tectonics, active especially during deposition of PZ2 and PZ3 evaporites.

Complete paper will be published in 2022 in the issue of Biuletyn PIG.

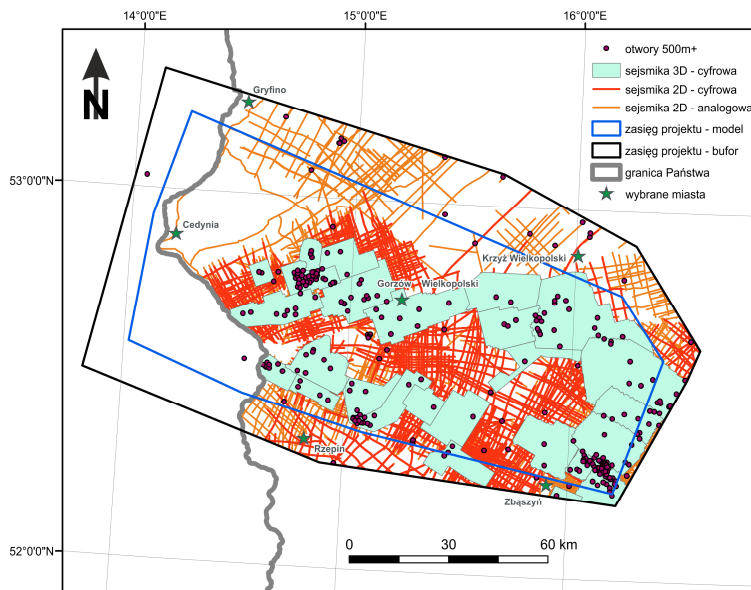
LITERATURA/ REFERENCES

- ADAMCZAK-BIAŁY T., BECKER A., CHEŁMIŃSKI J., CZAPOWSKI G., FELDMAN-OLSZEWSKA A., GŁUSZYŃSKI A., GOGOLEK T., KIERSNOWSKI H., KIJEWSKA S., LESZCZYŃSKI K., MAJEWSKA A. MAŁOLEPSZY Z. NOWACKI Ł., PAWŁOS R., PERYT T., ROSOWIECKA O., SMAJDOR Ł., STĘPIEŃ U., SZYNKARUK E., TOMASZCZYK M., WAKSMUNDZKA M. I., WAŚKIEWICZ K., WĘGLIŃSKI D., WRÓBEL K., ŻUK T., 2020. Trójwymiarowy, cyfrowy model pokrywy osadowej bloku Gorzowa. 4. Opracowanie końcowe. Poz. planu: 22.2609.1501.00.1. NAG PIG-PiB, Warszawa
- CZAPOWSKI G., TOMASZCZYK M., 2014. Baseny ewaporatowe cykli PZ1, PZ2 i PZ3 cechsztynu (górnym perm) w Polsce – studium miąższościowe. Przegląd Solny, 10: 49-64.
- WAGNER R., 1995. Stratygrafia i rozwój basenu cechsztyńskiego na Niżu Polskim. Prace PIG, 146: 1-71.



Ryc. 1. Lokalizacja obszaru badań

Fig. 1. Location of studied area



Ryc. 2. Lokalizacja wierzeń i sekcji sejsmicznych wykorzystanych w modelu 3D budowy geologicznej rejonu Gorzowa Wielkopolskiego.

Fig. 2. Location of boreholes and seismic sections used for the 3D geological model of Gorzów Wielkopolski area.

Tab. 1. Badane ewaporatowe wydzielenia litostratigraficzne cechsztynu w rejonie Gorzowa Wielkopolskiego i typy ich basenów depozycyjnych

Tab. 1. Studied Zechstein evaporite lithostratigraphic units and their depositional basin types in the Gorzów Wielkopolski area

Wyzdzenia chlorkowe i siarczanowe (wg Wagner 1995, zmienione) <i>Chloride+ sulphate units (after Wagner, 1995; modified)</i>		Typ basenu depozycyjnego (wg Czapowski, Tomaszczyk, 2014) <i>Evaporite basin type (after Czapowski, Tomaszczyk, 2014)</i>		
najmlodsza sól kamienna dolna (Na4a ₁ /Na4a*) <i>Lower Youngest Halite</i>		basen typu „niestabilnego” <i>fluctuating evaporite basin</i> współczynnik korelacji <i>correlation coefficient</i> $A4a_1/Na4a_1 = -0,08$		
anhydryt pegmatytowy dolny (A4a ₁ /A4ad*) <i>Lower Pegmatite Anhydrite</i>		brak interpretacji <i>no interpretation</i>		
anhydryt stropowy (A3r/A3g*) <i>Top Anhydrite</i>		basen typu „wypelnieniowego”? <i>infill evaporite basin</i> współczynnik korelacji <i>correlation coefficient</i> $Na3+K3/A3r = -0,83$		
młodsza sól kamienna górna (Na3g) <i>Upper Younger Halite</i>	młodsza sól kamienna (Na3) <i>Younger Halite</i>	basen typu „niestabilnego” <i>fluctuating evaporite basin</i> współczynnik korelacji <i>correlation coefficient</i> $A3/Na3+K3 = 0,14$		
młodsza sól potasowa (K3) <i>Younger Potash</i>				
młodsza sól kamienna dolna (Na3d) <i>Lower Younger Halite</i>				
anhydryt główny (A3) <i>Main Anhydrite</i>		brak interpretacji <i>no interpretation</i>		
anhydryt kryjący (A2r) <i>Screening Anhydrite</i>		basen typu „niestabilnego” <i>fluctuating evaporite basin</i> współczynnik korelacji <i>correlation coefficient</i> $Na2+K2/A2r = -0,37$		
starsza sól kamienna kryjąca (Na2r) <i>Screening Older Halite</i>		basen typu „niestabilnego” <i>fluctuating evaporite basin</i> współczynnik korelacji <i>correlation coefficient</i> $A2/Na2+K2 = -0,17$		
starsza sól potasowa (K2) <i>Older Potash</i>				
starsza sól kamienna (Na2) <i>Older Halite</i>				
anhydryt podstawowy (A2) <i>Basal Anhydrite</i>		brak interpretacji <i>no interpretation</i>		
anhydryt górny (A1g) <i>Upper Anhydrite</i>		anhydryt Werry (A1*) <i>Werra Anhydrite</i>	basen typu „niestabilnego” <i>fluctuating evaporite basin</i> współczynnik korelacji <i>correlation coefficient</i> $Na1 (+A1s)/A1g (+A1Br) = 0,10$	
brekcja anhydrytowa (A1Br) <i>Anhydrite Breccia</i>				
najstarsza sól kamienna górna (Na1g) <i>upper Oldest Halite</i>	najstarsza sól kamienna	basen typu „wypelnieniowego” <i>infill evaporite basin</i> współczynnik korelacji		
anhydryt śródsolny (A1s)				

<i>intrasalt anhydrite</i>	(Na1)		<i>correlation coefficient</i> A1d/Na1(+A1s) = -0,61
najstarsza sól kamienna dolna (Na1d) <i>lower Oldest Halite</i>	<i>Oldest</i> <i>Halite</i>		
anhydryt dolny (A1d) <i>Lower Anhydrite</i>			brak interpretacji <i>no interpretation</i>

* symbol wydzielenia litostratygraficznego, użyty w opisie profilu otworu wiertniczego (baza danych CBDG) oraz dla potrzeb konstrukcji modelu

* *symbol of lithostratigraphic unit, used in the well profile descriptions (CBDG data base) and for model construction purposes*

OBLICZENIE TEMPERATURY I GŁĘBOKOŚCI BASENU SOLONOŚNEGO Z WYKORZYSTANIEM CIEKŁYCH INKLUZJI W HALICIE Z SOLI MIOCENSKICH Z OBSZARU KARPAT

THE CALCULATION OF SALT BASIN DEPTH AND TEMPERATURE USING FLUID INCLUSIONS IN HALITE FROM THE MIDDLE MIOCENE SALTS FROM THE CARPATHIAN AREA

Anatolij R. GALAMAY¹, Krzysztof BUKOWSKI², Igor M. ZINCHUK¹, Fanwei MENG³

¹ Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals NAS of Ukraine, 79053 Lviv, Ukraine

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

³ State Key Laboratory of Paleobiology and Stratigraphy, Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China

Jedną z najbardziej rozpowszechnionych formacji solnych na obszarze Karpat powstała w środkowym miocenie podczas tzw. badeńskiego kryzysu solonośnego około 13,8-13,4 mln lat temu. Ewaporaty tworzyły się w basenie zapadliska przedkarpacciego i na jego przedpolu, w basenie siedmiogrodzkim (transylwańskim), zakarpaccim i wschodnio-słowackim, w strefie obniżek tektonicznych basenu panońskiego i w basenie solonośnym w rejonie Tuzli. Ich pozycja stratygraficzna, wiek radiometryczny tufów towarzyszących serii solnej oraz podobna litologia osadów solnych (sole kamienne z anhydrytem i przewarstwieniami skał mułowcowo-łlających) pozwalają na ogólną korelację poszczególnych formacji a także wskazują na jednorodne warunki paleoklimatyczne.

Badania ciekłych inkluzji w pierwotnym (sedymentacyjnym) halicie przynoszą nieocenioną informację na temat warunków fizykochemicznych podczas sedymentacji w basenach solonośnych oraz diagenety utworów solnych. Skład chemiczny solanek takich inkluzji umożliwia odtworzenie dawnego składu chemicznego wody morskiej i przynosi informację dotyczące lokalnego środowiska sedymentacji w basenie solonośnym. W prezentowanych badaniach ciekłe inkluzje z pierwotnego halitu zostały wykorzystane do określenia temperatury solanki sedymentacyjnej oraz do rekonstrukcji paleoklimatu.

W referacie przedstawiamy wyniki 435 pomiarów temperatury homogenizacji (Th) ciekłych inkluzji w halicie z 36 kryształów halitu wzrastającego na dnie (typu szewron) oraz z 2 kryształów kumulowanego halitu krystalizującego się w przypowierzchniowych warstwach solanki. Wszystkie próbki halitu pochodziły z kopalń soli i otworów wiertniczych z obszaru Karpat: z kopalni Wieliczka, kopalni Solotvyno (Ukraina), kopalni Slanic-Prahova i kopalni Ocna Dej (Rumunia), z otworów Hrynivka 525 (Ukraina) i Zbudza Ep-2 (Słowacja). Badano jednofazowe ciekłe inkluzje.

Analizy wykazały, że temperatury solanek przydennych wahały się od 19,5 do 22,0°C i od 24,0 do 26,0°C, natomiast temperatury solanek powierzchniowych wynosiły od 34,0 do 36,0°C. Na podstawie tych danych, jak wcześniejszych badań litologii i struktur sedymentacyjnych

badeńskich soli, można stwierdzić, że krystalizacja halitu wzrastającego na dnie odbywała się ze stężonych i schłodzonych solanek przypowierzchniowych, w basenach o głębokości do około 30 m. Wyniki te są zgodne z danymi dotyczącymi rozkładu temperatur w słupie wody współczesnego Morza Martwego (Galamay et. al., 2021).

In the Carpathian area one of the most widespread salt formations was formed in the Middle Miocene (Badenian) during the Badenian Salinity Crisis (BSC) around 13.8 to 13.4 Ma. These evaporites accumulated in the Carpathian Foredeep Basin and its foreland, the Transylvanian Basin, the Transcarpathian and East Slovakian Basins, the area of the Mid-Hungarian shear zone, and the Tuzla Basin in Bosnia and Herzegovina. The stratigraphic position, radiometric ages of accompanying tuff layers, and similar lithology of salt deposits (rock salts with anhydrite and intercalation of terrigenous silty-clay rocks) allow for a general correlation of formations and indicate homogeneous paleoclimatic conditions of salt basins.

The study of fluid inclusions in primary halite are invaluable sources of information on the physical and chemical conditions during the sedimentation in saline basins and the post-sedimentation crystallization salt deposits. The chemical composition of the brines of such inclusions makes it possible to reconstruct the chemistry of the ancient seawater and to determine the local environment of salt sedimentation. Moreover, primary fluid inclusions in halite we used to conclude the temperature of sedimentary brine and reconstruct of paleoclimate.

We present the results of 435 measurements of the homogenization temperature (T_h) of fluid inclusions in halite from 36 halite of bottom-growth chevron halite and two crystals of near-surface cumulate halite. All samples of halite came from salt mines and boreholes in the Carpathian area: from the Wieliczka mine, the Solotvyno mine (Ukraine), the Slanic-Prabova mine, and the Ocna Dej mine (Romania), from boreholes: the Hrynivka 525 (Ukraine) and Zbudza Ep-2 (Slovakia). We studied single-phase fluid inclusions.

Our analyses showed that the temperatures of near-bottom brines varied in ranges from 19.5 to 22.0 °C and 24.0 to 26.0 °C, while the temperatures of the surface brines ranged from 34.0 to 36.0 °C. Based on these data, such as an earlier study of lithology and sedimentary structures of the Badenian rock salts, the crystallization of bottom halite developed in the basin from concentrated and cooled near-surface brines of about 30 m depth. Our results presented herein refer to the crystallization temperatures of halite in the Badenian saline basins that comply with the data on the temperature distribution in the water column of the modern deep sea, the Dead Sea (Galamay et al., 2021).

LITERATURA/REFERENCES:

- GALAMAY, A.R.; BUKOWSKI, K.; ZINCZUK, I.M.; MENG, F. 2021. The Temperature of Halite Crystallization in the Badenian Saline Basins, in the Context of Paleoclimate Reconstruction of the Carpathian Area. *Minerals*, 11, 831. <https://doi.org/10.3390/min11080831>

WYBRANE PIERWIASTKI ŚLADOWE W GÓRNOPERMSKICH (CECHSZTYN) UTWORACH POTASONOŚNYCH W POLSCE - CZY WARTO JE STĄD POZYSKIWAĆ?

SELECTED TRACE ELEMENTS IN THE UPPER PERMIAN (ZECHSTEIN) POTASH-BEARING DEPOSITS IN POLAND – IS THEIR EXPLOITATION FROM SALTS ECONOMICALLY PLAUSIBLE?

Grzegorz CZAPOWSKI¹, Hanna TOMASSI MORAWIEC¹, Jacek WACHOWIAK²

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

² PSGS, AGH, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
e-mail: psgs@agh.edu.pl

Przedstawiono aktualną charakterystykę zawartości wybranych pierwiastków śladowych (Ag, As, Ba, Be, Br, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Ga, J, La, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, Rb, Sb, Se, Sn, Sr, Ti, Tl, U, V i Zn) w utworach potasonośnych cyklotemów PZ1, PZ2 i PZ3 cechsztynu (tab. 1) w Polsce, opartą o analizę wyników badań geochemicznych (archiwalnych i publikowanych) 307 próbek skal (tab. 2). Większość danych dotyczy 4 wysadów solnych z centralnej Polski (ryc. 1): Damasławek (14 próbek), Góra (5 próbek), Kłodawa (266 próbek) i Mogilno (13 próbek). Najwięcej danych uzyskano dla utworów potasonośnych cyklotemu PZ3 (207 próbek), dwukrotnie mniej (91 próbek) dla serii potasonośnej cyklotemu PZ2. Skąpe dane (9 próbek) dotyczą siarczanowych soli K-Mg (polihality) cyklotemu PZ1 w północnej Polsce (tab. 2).

Średni udział większości wymienionych pierwiastków w tych utworach jest niski, nie przekracza zwykle 1-4 mg/kg. Opisane serie potasonośne nie stanowią zatem ekonomicznie opłacalnego źródła pozyskiwania pożądaných rzadkich pierwiastków śladowych takich jak np. lit, bor, stron czy cez.

Pełne dane z komentarzami zostaną przedstawione w formie publikacji w następnym numerze Przeglądu Solnego.

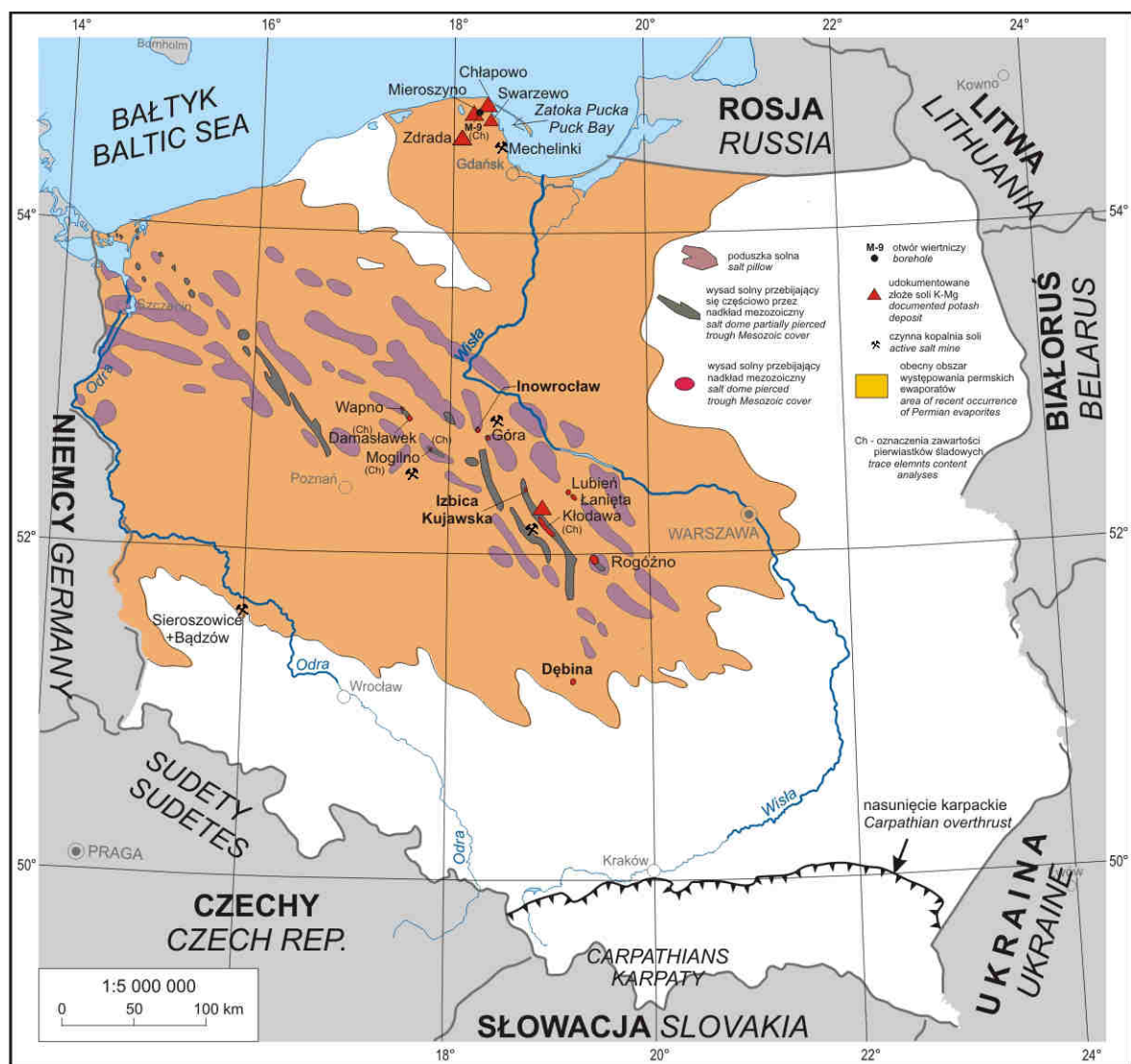
Słowa kluczowe: pierwiastki śladowe, utwory potasonośne, cechsztyń, Polska

Content analysis of selected trace elements (Ag, As, Ba, Be, Br, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Ga, J, La, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, Rb, Sb, Se, Sn, Sr, Ti, Tl, U, V i Zn) in the Upper Permian (Zechstein, PZ1 to PZ3 cyclothems) potash-bearing deposits in Poland based on geochemical data (archive and published) from 307 rock samples (tab. 1). Most of samples (296) were taken from four salt domes, located in central Poland (Fig. 1): Damasławek (14 samples), Góra (5 samples), Kłodawa (266 samples) and Mogilno (13 samples). Dominant (207 samples) data represented the potash-bearing series of PZ3 cyclothem (Transitional Beds Na₂+K₂ and Older Potash unit; tab. 1), less data (91 samples) characterized the potash-bearing deposits of PZ2 cyclothem (Transitional Beds Na₃+K₃ and Younger Potash unit; tab. 1). Only few (9) samples were taken from sulphate potassium-magnesium salts (polyhalites) of PZ1 cyclothem from northern Poland (Fig. 1).

Average content of most detected trace elements in studied deposits is low, commonly no higher than 1-4 mg/kg, so these Zechstein potash-bearing rocks are not economic source of many required trace elements e.g. lithium, boron, strontium or caesium.

Complete data will be published in the next issue of Salt Review.

Key words: trace elements, potash-bearing deposits, Zechstein, Poland



Ryc. 1. Lokalizacja miejsc omawianych badań geochemicznych utworów potasonośnych cechsztynu w Polsce

Fig. 1. Location of commented geochemical studies of Zechstein potash-bearing deposits in Poland

Tabela 1. Stratygrafia badanych utworów potasonośnych cechsztynu (wg Wagner, 1995; zmienione)

Table 1. Stratigraphy of studied Zechstein potash-bearing deposits in Poland (after Wagner, 1995; modified)

BADANE WYDZIELENIA LITOSTRATYGRAFICZNE UTWORÓW POTASONOŚNYCH CECHSZTYNU W POLSCE Studied Zechstein lithostratigraphic potash-bearing units in Poland	
Wydziazenia: nazwa i symbol <i>Name and symbol of unit</i>	Cyklotemy Cyclothem
młodsza sól potasowa (K3) <i>Younger Potash</i>	PZ3
utwory przejściowe Na3+K3 <i>Transitional beds Na3+K3</i>	
starsza sól potasowa (K2) <i>Older Potash</i>	PZ2
utwory przejściowe Na2+K2 <i>Transitional beds Na2+K2</i>	
anhydryt dolny (A1d) utwory z polihalitem <i>Lower Anhydrite (with polyhalite)</i>	PZ1

Tabela 2. Zestawienie ilości analizowanych próbek z utworów potasonośnych cechsztynu w Polsce

Table 2. Location and number of analyzed samples from Zechsten potash-bearing deposits in Poland

WYDZIELENIE LITOSTRATYGRAFICZNE SOLI K-Mg CECHSZTYNU <i>Zechstein lithostratigraphic units</i>	LICZBA PRÓBEK/ <i>Number of samples</i>					LICZBA PRÓBEK <i>Number of samples</i>
	Rejon Zatoki Puckiej <i>Puck Bay surroundings</i>	Wysad solny Góra <i>Góra salt dome</i>	Wysad solny Damasławek <i>Damasławek salt dome</i>	Wysad solny Mogilno <i>Mogilno salt dome</i>	Wysad solny Klodawa <i>Klodawa salt dome</i>	
Polihality w A1d <i>Polihalites in Ad1</i>	9	-	-	-	-	9
Na2+K2, K2	-	1	10	7	73	91
Na3+K3, K3	-	4	4	6	193	207
LICZBA PRÓBEK <i>Number of samples</i>	9	5	14	13	266	307

ZASTOSOWANIE METOD NUMERYCZNYCH I ANALOGOWYCH W MODELOWANIU TEKTONIKI SOLNEJ

APPLICATION OF NUMERICAL AND ANALOGUE METHODS IN MODELLING OF SALT TECTONICS

Michał SŁOTWIŃSKI¹, Stanisław BURLIGA²

^{1,2} Uniwersytet Wrocławski, Instytut Nauk Geologicznych, pl. M. Borna 9, 50-204 Wrocław,
e-mail: ¹ michal.slotwinski@uwr.edu.pl; ² stanislaw.burliga@uwr.edu.pl

Słowa kluczowe: modelowanie numeryczne, modelowanie analogowe, tektonika solna, budowa złóż soli kamiennej

Key words: *numerical modelling, analogue modelling, salt tectonics, structure of rock salt deposits*

Modelowanie numeryczne i analogowe to dwie metody eksperymentalne coraz szerzej stosowane w geologii. Wykorzystywane są one do symulacji procesów geologicznych występujących w naturze, których bezpośrednio obserwacja nie jest możliwa ze względu na ogromne skale czasowe i przestrzenne. Dodatkowo, eksperymenty pozwalają na pełny wgląd w strukturę wewnętrzną modelowanego obiektu geologicznego, podczas gdy w badaniu naturalnych prototypów do dyspozycji pozostają dane powierzchniowe, otworowe i geofizyczne, obrazujące jedynie fragmenty struktury geologicznej, umożliwiające nawet bardzo rozbieżną interpretację budowy wewnętrznej obiektu lub określonego obszaru. Symulacje laboratoryjne pozwalają na odtworzenie procesów zachodzących w naturze w skali milionów lat w ciągu eksperymentów trwających maksymalnie kilkadziesiąt godzin. Zakres możliwych zastosowań obejmuje m.in. weryfikację teoretycznych koncepcji powstawania określonych struktur geologicznych, powiązywanie rozwoju określonych cech strukturalnych z czynnikami kontrolującymi deformację, budowę wewnętrzną złóż kopalin czy bezpośrednią obserwację struktur powstających w skałach i perspektywach niedostępnych w przypadku struktur naturalnych.

Tektonika solna należy do procesów geologicznych najczęściej symulowanych w modelach analogowych i numerycznych. Wynika to z dużego wpływu złóż ewaporatów na styl deformacji i ewolucji basenów sedymentacyjnych, z praktycznego wykorzystania złóż soli oraz z przyczyn czysto poznawczych. Kontrastowe własności fizyczne i reologiczne soli kamiennych względem większości skał osadowych i krystalicznych prowadzą m.in. do odspojenia tektoniki podsolnej i nadsolnej obszaru, do tworzenia pułapek węglowodorów i rozwoju spektakularnych struktur wysadowych. Za pomocą metod eksperymentalnych badane były tak różne aspekty rozwoju struktur solnych jak m.in.: wzrost, kształt i reaktywacja diapirów solnych w różnych warunkach i reżimach tektonicznych, deformacja skał nadkładu soli, tektoniczna migracja warstw solnych pod wpływem nierównomiernego obciążenia, rola warstwy solnej jako warstwy odklucia w pasach faldowo-nasuwczych i w basenach sedymentacyjnych, deformacja warstw o kontrastowej reologii (siarczany, węglany) wewnątrz ciał solnych, rozwój małoskalowych struktur wewnątrz ciał solnych oraz szeroko rozumiana analiza budowy wewnętrznej złóż soli. Ponieważ występuje pewne podobieństwo pomiędzy podatną deformacją w solach a procesami zachodzącymi w głębi litosfery w strefach magmatyzmu i metamorfizmu, rezultaty modelowań

numerycznych i analogowych dedykowane tektonice solnej wykorzystywane są również w analizie procesów litosferycznych.

Wybrane zostały cztery autorskie przykłady modeli numerycznych i analogowych, które posłużą za prezentację możliwości zastosowania takich metod: (1) numeryczne i analogowe modelowanie wpływu ekstensji i inwersji tektonicznej w podłożu na ewolucję struktury solnej Kłodawy (Burliga i in., 2012 a, b); (2) numeryczne badanie warunków rozwoju mezoskalowych struktur tektonicznych w heterogenicznej sekwencji ewaporatowej w obrębie struktury solnej Kłodawy (Słotwiński i in., 2020); (3) analogowe badania rozwoju pasów fałdowo-nasuwczych, w których warstwą odklucia była warstwa solna; (4) analogowe i numeryczne analizy roli soli kamiennej jako warstwy odspojenia w peryferyjnej strefie basenu sedymentacyjnego oraz rola morfologii podłoża w deformacji warstw solnych na przykładzie obserwacji z obszaru monokliny przedsudeckiej. Wszystkie przykłady umożliwiły pełniejsze zrozumienie ewolucji i wpływu tektoniki na kształt i wewnętrzną budowę złóż soli w Polsce.

Numerical and analogue modelling are two experimental methods that are increasingly applied in geology. They are used to simulate geological processes which occur in nature, the direct observation of which is not possible due to their excessive time and space scales. Additionally, the experiments allow for complete insight into the internal structure of the modelled geological objects, while the investigations in natural prototypes are limited to fragmentary surface, borehole and geophysical data, hence enabling even a quite divergent interpretation of geology over a specific area. Laboratory simulations allow the restoration of processes occurring in nature on a scale of millions of years during experiments lasting up to several dozen hours. The range of possible applications includes verification of theoretical concepts of the formation of different geological structures, linking the development of specific structural features with factors controlling deformation, internal structure of mineral deposits or direct observation of structures formed in scales and perspectives unavailable in a case of natural structures.

Salt tectonics is one of the geological processes most often simulated in analogue and numerical models. This is due to the large influence of evaporites on the style of deformation and evolution of sedimentary basins, the practical use of salt deposits and because of purely scientific reasons. The contrasting physical and rheological properties of rock salts in respect to majority of sedimentary and crystalline rocks may lead to: the detachment of the sub-salt and supra-salt tectonics of an area, formation of hydrocarbon traps, or development of spectacular diapiric structures. Applying experimental methods, various aspects of salt-related structures development were investigated, such as: growth, shape and reactivation of salt diapirs under different tectonic regimes and in varying tectonic settings, deformation of salt overburden, tectonic migration of salt layers under the influence of uneven load, the role of the salt layer as a detachment layer, e.g. in fold-and-thrust belts and sedimentary basins, deformation of layers with contrasting rheology (sulphates, carbonates) inside salt bodies, development of small-scale structures inside salt bodies and broadly understood analysis of the internal structure of salt deposits. Since there is a similarity between ductile deformation of salt and processes occurring deep in the lithosphere in magmatic and metamorphic zones, the results of numerical and analogue modelling focused on salt tectonics are also used in the analysis of lithospheric processes.

Four examples of numerical and analogue studies have been selected to demonstrate the applicability of such methods: (1) numerical and analogue modelling of the influence of tectonic extension and inversion in the basement on the development of the Kłodawa Salt Structure (Burliga et al., 2012 a, b); (2) numerical study of meso-scale tectonic structure development in a heterogeneous evaporite sequence within the Kłodawa Salt Structure (Słotwiński et al., 2020); (3) analogue studies on the development of fold-and-thrust belts containing a decollement zone along evaporites; (4) analogue and numerical analyses of the role of rock salt as a detachment layer in the peripheral zone of a sedimentary basin and the role of basement relief in the deformation of salt layers, based on an example from the Fore-Sudetic Homocline. All the examples allowed a more comprehensive

understanding of the evolution and influence of tectonics on the shape and internal structure of salt deposits in Poland.

LITERATURA/REFERENCES

- BURLIGA, S., KOYI, H.A., CHEMIA, Z., 2012. Analogue and numerical modelling of salt supply to a diapiric structure rising above an active basement fault. W: (red.) Alsop G.I., ARCHER S.G., HARTLEY A.J. [et al.] Salt Tectonics, Sediments and Perspectives. Wyd.: London Geological Society, The Geological Society of London Special Publications 363, 395-408. DOI: 10.1144/SP363.18
- BURLIGA, S., KOYI, H.A., KRZYWIEC, P., 2012. Modelling cover deformation and decoupling during inversion, using the Mid-Polish Trough as a case study. Journal of Structural Geology 42, 62-73. DOI:10.1016/j.jsg.2012.06.013
- SŁOTWIŃSKI M., ADAMUSZEK M., BURLIGA S., 2020. Numerical study of tectonic structure evolution in a multi-layer evaporite sequence. Journal of Structural Geology 134, 104011. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2020.104011>

ŁUGOWANIE W ZŁOŻACH MAŁEJ MIĄSZSZOŚCI (PROCES ŁUGOWANIA KAWERN SOLNYCH CZ. V)

LEACHING IN THIN -BEDDED DEPOSITS. (SALT CAVERN LEACHING PROCESS P. V)

Kazimierz URBAŃCZYK¹

¹ul. Kanadyjska 34, 32-087 Zielonki,
e-mail: kazeku@poczta.onet.pl

Tradycyjnie kawerny solne wykonuje się w pionowych otworach wierconych z powierzchni. Proces ługowania takich kawern został omówiony w czterech tekstach niniejszego cyklu publikowanych w Przeglądzie Solnym. Jednakże w złożach małej miąższości, metoda ługowania z otworu pionowego nie pozwala na wytworzenie regularnych kawern o dużej objętości. Stosuje się tam system otworów połączonych, albo ługuje się kawerny poziome, tzw. tunelowe z poziomymi otworów.

W systemie otworów połączonych tworzy się połączenie pomiędzy dwiema lub więcej sąsiednimi kawernami (wrębami) metodą szczelinowania lub tzw. torpedowania hydraulicznego. Ługowanie prowadzone jest w ten sposób, że jeden z otworów służy do zatłaczania wody, a drugi do produkcji solanki; Uzyskana w ten sposób powierzchnia ługowania w złożu soli jest na tyle duża, aby wysycić solankę płynącą między otworami. Taki system stosowany jest niekiedy przypadkowo, w wyniku nieprawidłowego, niezamierzonego przelugowania filarów pomiędzy kawernami i połączenia dwóch lub więcej sąsiednich kawern.

Idea kawern poziomych ma długą historię - pierwsze próby ługowania takich kawern podjęto wiele lat temu, a w Polsce 40 lat temu. Odwierty poziome wiercono wyłącznie z podziemnych wyrobisk górniczych, a nie z powierzchni. Niektóre z tych kawern opróżniono z solanki, umożliwiając tym samym dostęp służbom pomiarowym.

W ostatnich latach artykuły dotyczące kawern poziomych publikują głównie (a może jedynie) Chińczycy. Opisują badania laboratoryjne, rzeczywiste kawerny i model używany do symulacji ich rozwoju.

Kawerny poziome charakteryzują się następującymi cechami:

- symetria lustrzana (w stosunku do płaszczyzny pionowej przez otwór początkowy),
- brak ługowania w dół, blokuje je osiadanie części nierozpuszczalnych,
- po obu stronach od otworu początkowego, nachylenie spągu kawerny pod kątem 20-30° związane z granicznym kątem ługowania,
- podobne nachylenia pojawia się w części przedniej tylnej, poza rozługwywanym odcinkiem otworu,
- w pobliżu wlotu wody i odbioru solanki kształt kawerny jest z grubsza półobrotowy.

Proces ługowania komory poziomej opisany jest tymi samymi równaniami, co komory pionowej: wzór na szybkość ługowania, równanie transportu, równanie przepływu, równanie ciągłości z warunkami brzegowymi. Ponieważ w kawernie występuje poziomy gradient stężenia, turbulenta dyfuzja może mieć wpływ na rozwój kawerny.

W kawernie poziomej można wyróżnić trzy strefy: strefę ługowania nad punktem zatłaczania czynnika ługującego, komorę dosycającą (lub strefę poza wlotem rury solankowej) oraz długą, poziomą strefę przepływu pomiędzy nimi. Stosując aproksymację różnicową, wystarczy podzielić krokiem aproksymacyjnym tylko długość kawerny (współrzędna x).

Bloki aproksymacyjne są liniowe, z wyjątkiem bloków brzegowych. Blok brzegowy nad podawaniem wody jest sumą bloku półobrotowego i objętości sąsiednich plastrów w zakresie części osiowo-symetrycznej. Blok brzegowy koło punktu odpływu solanki jest blokiem obrotowym (lub półobrotowym), w zależności od tego, czy istnieje komora nasycająca.

Każdy z konturów bloku będzie aproksymowany oddzielnie. Można zastosować podobną metodę aproksymacji, jak w przypadku kawern osiowo-symetrycznych. Zgodnie z tą metodą, w każdym przekroju poprzecznym kontur kawerny może być przedstawiony jako półszerokość (współrzędna y) w funkcji wysokości (współrzędna z). Schemat explicite pierwszego rzędu jest stosowany do aproksymacji czasu i długości pary.

W celu przetestowania działania opisywanego tutaj modelu, wykonano jego wstępną implementację w 2004 roku. Poniżej są przedstawione wyniki niektórych testów.

Przyjęto, że wysokość kawerny nie może przekroczyć 50 m, a ługowany odcinek otworu poziomego będzie miał długość 100 m. Zastosowano krok aproksymacyjny 2 m wzdłuż poziomej osi kawerny. Założono również, że złoża solne ma jednorodne właściwości ługownicze, przy czym nominalna szybkość ługowania w kierunku poziomym wynosi 8 mm/h, a w kierunku pionowym 12 mm/h. Przyjęto udział części nierozpuszczalnych w skale solnej na 2%. Dla uproszczenia pominięto w tym teście dyfuzję turbulentną. Zamodelowano tłoczenie wody z wydajnością 120 m³/h. Wysokość 50 m osiągnięto po 142 dniach, ale tylko ponad punktu podawania wody. Co więcej, strop kawerny szybko się obniża, i wysokość kawerny wynosi zaledwie 11 m nad wylotem rury solankowej. Widać to na rys. 1. przedstawiającym przekrój wzdłuż kawerny w wybranych momentach ługowania. Widać, że po czterech miesiącach ługowania rozmiary kawerny w jej końcowej części są mniejsze niż w strefie zatłaczania wody po miesiącu.

Technologia ługowania komory poziomej nie jest jeszcze w pełni rozwinięta. Monitorowanie rozwoju kawern za pomocą echosondy najprawdopodobniej wymaga wykonania co najmniej jednego dodatkowego otworu wiertniczego. Kontrolowanie stropu kawerny za pomocą medium izolacyjnego również wymaga wykonania dodatkowego otworu. Proces rozwoju kawern może być modelowany komputerowo, choć na razie w ograniczonym zakresie. Otwartą kwestią pozostaje rola dyfuzji turbulentnej, a także opisujących ją formuł.

Pełny tekst ukaze się w Przeglądzie Solnym.

Traditional solution-mined caverns are formed by drilling vertical boreholes from the surface. Process of leaching such caverns, its mathematical and physical model, numerical implementation and its application were described in the previous papers. However, for low-thickness salt deposits the vertical borehole method does not allow one to create regular-shaped caverns of large volumes. In such cases, system of coupled wells can be applied or leaching horizontal, tunnel-like caverns from the horizontal boreholes.

In the system of coupled wells, a connection between two or more adjacent caverns (initial cuts) is being created, using leaching methods, drilling, fracturing or so-called hydraulic torpedoing. Leaching is being led in such way that one of the boreholes serves for injection of water, and the other one for the brine production; the leaching surface obtained in this way in the salt deposit is big enough to saturate the brine flowing between the boreholes. Such a system sometimes emerges incidentally, as a result of incorrect, unintentional leaching-off the pillars between the caverns and connecting two or more adjacent caverns.

Idea of horizontal caverns has a long history - the first attempts to leach such caverns were undertaken many years ago, including in Poland 40 years ago. Horizontal boreholes were drilled from underground mine excavations only, not from the surface. Brine was removed from some of those caverns, thus offering access for measuring crews.

In recent years, papers about horizontal caverns have been published mainly (or perhaps only) by the Chinese. They describe laboratory studies, actual caverns, and the model used to simulate the cavern development.

Horizontal caverns are characterized by the following features:

- mirror symmetry (against vertical plane through the initial well),
- no downward leaching due to blockage by insolubles,
- cavern bottom sloped at the both sides of the initial well, at the angle $20-30^\circ$ connected with the limiting angle of leaching,
- the same slope of the bottom seen in the cross-section along the cavern outside the leached part, at the front of the cavern and at its back,
- semi-rotational cavern front part, extending before water input, (and possibly similar back part behind brine outflow).

For the horizontal cavern, the leaching process is described by the same equations as for the vertical chamber: leaching rate formula, transport equation, flow equation, continuity equation with boundary conditions. Since there is a horizontal concentration gradient in the cavern, turbulent diffusion may affect cavern development.

Three zones can be distinguished in the horizontal cavern: the leaching zone above the point of the leaching medium injection, the saturating cavern (or the zone beyond brine pipe inlet) and the long, horizontal flow zone between them.

When using the finite differences approximation, it is enough to divide with the approximation step only the cavern length (x coordinate). Approximation blocks are linear, except for boundary blocks. The boundary block above the water injection is the sum of the semi-rotational block with volumes of the adjacent slices in the range of the axially symmetric part. The boundary block above the brine outflow point is generally a rotational (or semi-rotational) block, depending on whether there is a saturating cavern.

Each of sector contours will be approximated separately. The approximation method used may be similar to that applied to axisymmetrical caverns. According to that method, in each transverse cross-section cavern contour can be shown as half-width (y coordinate) in function of height (z coordinate).

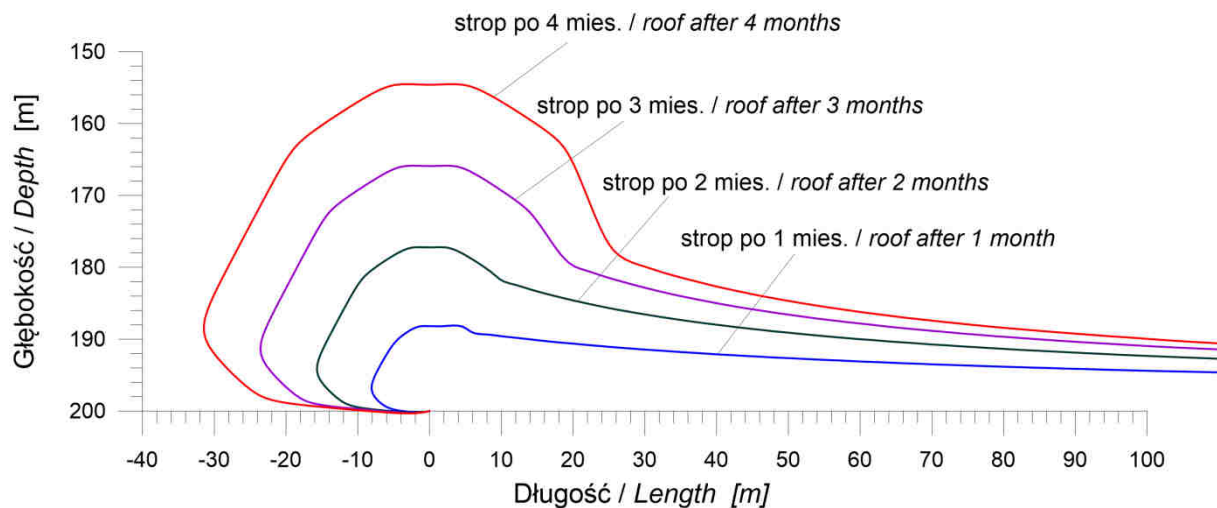
The explicit schema of first order is applied to couple time and length approximation.

In order to test how the model described here works, its preliminary implementation was made in 2004. The results of some test will be shown below. It was assumed that the height of the cavern cannot exceed 50 m, and the leached section of the horizontal well will be 100 m long. Approximate step of 2 m along the horizontal axis of the cavern was applied. It was also assumed that the salt bed has homogeneous leaching properties, with the nominal leaching rate in the horizontal direction being 8 mm/h, and in the vertical direction - 12 mm/h. The insoluble content of the salt rock was assumed to be 2%. Turbulent diffusion in this test was omitted for simplicity. Injection of the water with a capacity of 120 m³/h was modeled. The height of 50 m was reached after 142 days, but only above the water supply point. Further, the cavern roof lowers quickly and the cavern is only 11 m high above the brine pipe outlet. This can be seen in Fig. 1. showing a crosssection along the cavern at selected leaching moments.

It can be seen that after four months of leaching, the dimensions of the cavern in its final part are smaller than in the water injection zone after one month.

The technology of leaching the horizontal cavern is not yet completely developed. Monitoring of the cavern development by sonar most likely requires drilling at least one additional borehole. Controlling the cavern roof by blanket medium also requires an additional borehole. The cavern development process can be modeled by computer, although so far to a limited extent. The role of turbulent diffusion, as well as the formulas describing it, remain open issues.

Full text will be published in the Salt Review.



Ryc. 1. Przekrój wzdłuż kawerny poziomej dla 4 czasów wg modelu HORSALT.

Fig. 1. Cross-section along the horizontal cavern for 4 moments of leaching according to the HORSALT model

METODA ŁUGOWANIA MAGAZYNOWYCH KOMÓR SOLNYCH Z ZASTOSOWANIEM TECHNIKI HYDRO-STRUMIENIOWEJ

THE METHOD OF LEACHING OF SALT STORAGE CAVERNS USING THE HYDRO-JET TECHNIQUE

Mariusz CHROMIK^{1,2}, Waldemar KORZENIOWSKI¹, Krzysztof SKRZYPKOWSKI¹

¹Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Łądowej i Gospodarki Zasobami, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków.

e-mail: m.chromik@agh.edu.pl

²Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Górnictwa Surowców Chemicznych „CHEMKOP” Sp z o.o. ul. J. Wybickiego 7, 31 - 261 Kraków.

e-mail: mariusz.chromik@chemkop.pl

Złóża soli kamiennej są wykorzystywane nie tylko do pozyskiwania soli lub solanki, ale także do tworzenia w nich podziemnych komór o różnym przeznaczeniu. Wobec coraz większego zapotrzebowania na przestrzeń magazynową dla węglowodorów czy też wodoru, związanego z intensywnym rozwojem energii odnawialnej i koniecznością jej wspomagania, podejmowane są działania poprawiające warunki i efektywność technik magazynowania.

Proces ługowania komór solnych w swojej klasycznej formie polega na wykonaniu odpowiedniego odwiertu, który udostępnia złożę (zarówno wysad solny jak i pokład) i w konsekwencji umożliwia wprowadzenie instalacji doprowadzającej wodę słodką i odbierającą solankę powstałą w wyniku rozpuszczenia soli. Innowacyjność proponowanej metody polega na wykonaniu odpowiednich nisz w ściankach odwiertu ługowniczego za pomocą wysokociśnieniowej techniki hydro-strumieniowej, tuż przed rozpoczęciem ługowania wrębu. Nisze wykonywane są w górotworze solnym w bezpośrednim otoczeniu odwiertu, prostopadle (lub skośnie) względem jego osi.

Na podstawie badań laboratoryjnych oraz symulacji numerycznych procesu ługowania komór solnych przy użyciu specjalistycznego oprogramowania UBRO, autorzy przedstawiają potencjalne zalety wspomnianej technologii, zwłaszcza skrócenie czasu ługowania, jak również wpływ na początkowy i ostateczny kształt komory oraz jej pojemność.

Słowa kluczowe: Ługowanie, komory magazynowe, wodór, cięcie hydro-strumieniowe,

Rock salt deposits are used not only for salt or brine production, but also to create underground caverns for various purposes in them, and in view of the increasing demand for storage space for hydrocarbons or hydrogen, related to the intensive development of renewable energy and the need to support it, actions to improve the conditions and efficiency of storage techniques are needed.

The leaching process of salt caverns in its classic form consists of making an appropriate well, which makes the deposit accessible (both the salt dome and the bedded salt deposit) and, consequently, allows the injection of a fresh water supply system and collecting brine resulting from the dissolution of salt. The innovation of the proposed method consists in making appropriate niches in the walls of the leaching well with the use of high-pressure hydro-jet technique, just before the beginning of the leaching of the sump. The niches are made in the salt rock mass in the immediate vicinity of the well, perpendicularly (or obliquely) to its axis.

Based on laboratory tests and numerical simulations of the leaching process of salt caverns using specialized UBRO software, the authors present the potential advantages of this technology, especially the reduction of the leaching time, as well as the initial and final shape of the caverns and its capacity.

Key words: *Leaching, storage caverns, hydrogen, hydro-jet cutting*

PODAŻ SOLI NA RYNKU POLSKIM W LATACH 2016-2020 Z UWZGLĘDNIENIEM IMPORTU I EKSPORTU

THE SUPPLY OF SALT ON THE POLISH MARKET IN 2016-2020 INCLUDING IMPORT AND EXPORT

Janusz KOŁODZIEJSKI¹, Andrzej SADOWSKI¹

¹Fundacja „Polska Sól”, Aleja 1000-lecia 2, 62-650 Kłodawa,

e-mail: jkolodziejski@polska-sol.pl, asadowski@polska-sol.pl

Sól czyli chlorek sodu NaCl – jest jednym z podstawowych surowców, który znajduje zastosowanie w wielu gałęziach gospodarki światowej. Od początku drugiej dekady XXI wieku produkcja soli na świecie wykazuje tendencję rosnącą wg. średniorocznego tempa rzędu 1% z poziomu ok. 300 mln Mg w roku 2010 do 330 mln Mg w roku 2020. W artykule wskazano krajowych producentów soli, przeanalizowano krajowy rynek soli zarówno w zakresie podaży, jak i popytu. Przedstawiono również eksport i import soli. Analizę oparto na danych z lat 2015-2020. Dodatkowo na przykładzie roku 2019 dokonano pełniejszej analizy eksportu i importu.

Krajowa struktura zużycia nie różni się zasadniczo od struktury światowej. Rynek soli warzonej wykazuje niewielkie wahania średnioroczne. Natomiast dużą zmiennością charakteryzuje się rynek soli kamiennej, której głównym zastosowaniem jest zimowe utrzymanie dróg. W przypadku anomalii pogodowych potrafi się zmienić o kilkadziesiąt procent.

Salt, or sodiumchloride NaCl - is one of the basic raw materials that is used in many branches of the world industry. From the beginning of the second decade of the 21st century, salt production in the world shows a growing tendency according to the average annual rate of 1% from the level of approx. 300 million Mg in 2010 to 330 million Mg in 2020. The article indicates domestic salt manufacturers, and analyzes the domestic salt market both in terms of supply and demand. The export and import of salt are also presented. The analysis was based on data from 2015 to 2020. Additionally, on the example of 2019, a more complete analysis of export and import was made.

The domestic consumption structure does not differ significantly from the world structure. The evaporated salt market shows slight annual fluctuations. On the other hand, the rock salt market, the main application of which is winter road maintenance, is characterized by high variability. In the case of weather anomalies, it can change by several dozen percent.

Słowa kluczowe: Rynek soli, sól kamienna, sól warzona, eksport- import soli

Key words: Rock salt market, rock salt, evaporated salt, export-import of the salt

LITERATURA/ REFERENCES

- GŁÓWNY URZĄD STATYSTYCZNY – dane za lata 2015-2020 (dane niepublikowane)
- CENTRUM ANALITYCZNE IZBY ADMINISTRACJI SKARBOWEJ W WARSZAWIE (dane niepublikowane)

- INTERNETOWA STRONA KORPORACYJNA Ciech S.A.
- BILANS SOLNY z lat 2015-20 opracowany przez Fundację „Polska Sól” (dane niepublikowane)

Marta HODBOD¹

¹Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa,
e-mail: marta.hodbod@pgi.gov.pl

Sole potasowo-magnezowe, jako cenne źródło pierwiastka potasu, wykorzystuje się przede wszystkim (w ponad 90%) do produkcji nawozów. Obecnie całe światowe rolnictwo bazuje na nawozach mineralnych, stąd sole potasowo-magnezowe zajmują strategiczną pozycję na rynku surowców. Ponadto surowiec ten stosowany jest w przemyśle szklarskim, spożywczym, kosmetycznym (mydła), farbiarskim, farmaceutycznym, produkcji detergentów i wielu innych.

Złoża soli potasowo-magnezowych, zaliczane do złóż typu epigenetycznego, powstają w wyniku procesu ewaporacji w zbiornikach z roztworami bogatymi w substancje mineralne. Sedymentacja tych soli następuje zarówno w środowiskach morskich – zatoki, laguny, saliny, jak i w środowiskach lądowych – bezodpływowe zbiorniki jeziorne. Jako najłatwiej rozpuszczalne związki, krystalizują w końcowej fazie pełnego cyklu solnego.

Głównymi minerałami soli potasowo-magnezowych są: sylwin KCl, karnalit $KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$, polihalit $K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 2CaSO_4 \cdot 2H_2O$, kizeryt $MgSO_4 \cdot H_2O$, kainit $KCl \cdot MgSO_4 \cdot 6H_2O$, heksahydryt $MgSO_4 \cdot 6H_2O$, langbajnit $K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$.

Zasadniczo złoża soli potasowych są pierwotne, jednak ich cechy, takie jak plastyczność czy podatność minerałów na przemiany, prowadzą do wtórnych zmian mineralnych pod wpływem procesów tektonicznych. W stanie kopalnym większość soli potasowo-magnezowych jest reprezentowana przez minerały wtórne (np. kizeryt), które po przeobrażeniach utworzyły nowe złoża w postaci soczewek, gniazd, żył lub form rozproszonych (Czapowski i in., 2020).

W Polsce sole potasowe i potasowo-magnezowe występują w cechsztyńskiej formacji solnej, która jest częścią ogromnego środkowoeuropejskiego permskiego (cechsztyńskiego) basenu sedymentacyjnego. Udokumentowane sole potasowe towarzyszą soli kamiennej w wydzielisku solnym Kłodawa, natomiast sole potasowo-magnezowe zostały udokumentowane w pokładowej formacji solnej na Kaszubach, w rejonie Zatoki Puckiej – złoża: Chłapowo, Mieroszyno, Swarzewo, Zdrada. Złoża te nie zostały jak dotąd zagospodarowane. Ponadto wystąpienia soli potasowo-magnezowych są znane z większości obszarów występowania soli kamiennej w Polsce. Sole występujące w chlorkach mają charakter pierwotny, a te występujące w siarczanach mają genezę infiltracyjną, wczesnodiagenetyczną (epigenetyczne), która wynikała z zastępowania pierwotnego siarczanu wapnia przez polihalit (Czapowski, Bukowski, 2013, Czapowski i in. 2020).

Pomimo braku udokumentowania wielu złóż soli potasowo-magnezowych, Polska jest bardzo zasobna w ten surowiec. Przewidywane (prognostyczne i perspektywiczne) zasoby soli potasowo-magnezowych, obliczone wyłącznie dla złóż pokładowych, z uwagi na skomplikowaną budowę wewnętrzną wydzielisk solnych, oszacowano na 3,64 mld t. Występowanie tych zasobów stwierdzono na obszarze monokliny mazursko-podlaskiej, monokliny przedsudeckiej oraz synklinorium północnosudeckiego (peryklina Żar), o łącznej powierzchni ponad 466 km² (Czapowski i in., 2020).

Jak dotąd złoża soli potasowo-magnezowych nie były w Polsce eksploatowane, co wiązało się z niską opłacalnością ich pozyskiwania (niskie ceny surowca na rynku oraz wysoka podaż z krajów wschodnich: Białorusi, Rosji, Ukrainy), stąd zapotrzebowanie na sole zaspokaja import (Czapowski i in. 2020).

Sole kamienne wraz z solami potasowo-magnezowymi są znane są ze wszystkich okresów geologicznych i kontynentów na Ziemi. Największe baseny z sedimentacją tych soli w Ameryce Północnej to: Elk Point, Maritimes, Paradox i Salado, w Europie: cechsztyński, prypecki, Solikamsk i przedkaspijski, w Afryce: Danakil i Dolnego Kongo, w Azji: Morze Martwe, Khorat, SakonNakon, Qaidam i baseny centralnej Azji, w Ameryce Południowej: amazoński, Sergipe i Neuquén (Cocker i in., 2016).

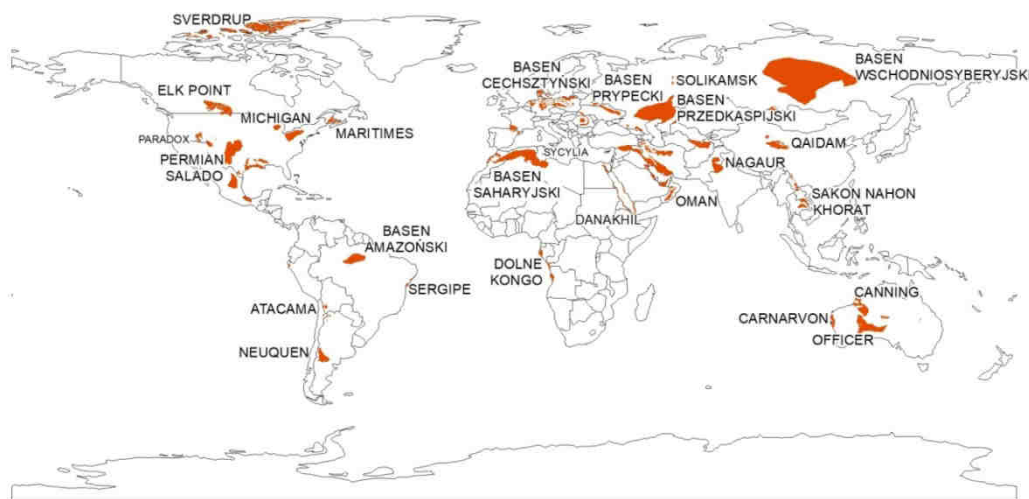


Fig.1. Mapa obszarów występowania soli potasowych na świecie (wg. Orris i in., 2014)

Fig.1. Map of the occurrence areas of potassium salts in the world (acc. to Orris et al., 2014)

Zgodnie z raportem *Mineral Commodity Summaries 2021* (Jasinski, 2021) całkowite zasoby soli potasowych na świecie wynoszą 250 mld t. Z uwagi na niepełne dane trudno oszacować światowe zasoby wydobywalne (*reserves*), jednak wiadomo, że największe z nich znajdują się w Kanadzie, Białorusi, Rosji i USA.

Światowa konsumpcja w 2020 r. utrzymała się na podobnym poziomie, co w latach wcześniejszych i wyniosła ok 41 mln t K_2O . Dzięki zwiększonej produkcji w Kanadzie oraz Rosji, odnotowany został również wzrost światowej produkcji. Wiodącymi regionami konsumenckimi były Azja i Ameryka Południowa, dzięki którym również w 2021 roku spodziewany jest wzrost globalnej konsumpcji (Jasinski, 2021). International Fertilizer Association (IFA) oszacowało, że w 2020 r. produkcja wzrosła o 6% w stosunku do 2019 r. i przekroczyła 70 mln ton. Wolumen handlowy osiągnął rekordowy przyrost – z 49 mln ton MOP (KCl) w 2019 r. do 65 mln ton w 2020 r. MOP (KCl). Wpływ na to miał m.in. zwiększony popyt w krajach takich jak USA, Brazylia, Indie czy Chiny, jak również znaczny wzrost produkcji w Rosji i na Białorusi (o 2,3 mln t K_2O więcej niż w 2019 r.), gdzie uruchomione zostały nowe kopalnie. IFA prognozuje dalsze zwiększanie mocy produkcyjnej nawet o 4,6 mln ton K_2O w latach 2021-2025, w związku z planowanym uruchomieniem kolejnych projektów potasowych (IFA, 2021).

Czołowymi producentami soli potasowych są: Kanada – 14 mln ton K_2O w 2020 r., Rosja – 7,6 mln ton K_2O w 2020 r. i Białoruś – 7,3 mln ton K_2O w 2020 r. (Jasinski, 2021). Światowy

rynek potasu charakteryzuje się stosunkowo niewielką liczbą producentów. Konkurencja uzależniona jest głównie od kosztów produkcji i możliwości logistycznych. Wejście na rynek dla nowych firm nie jest łatwe z uwagi na wysokie koszty inwestycyjne oraz czas niezbędny do rozpoczęcia działalności (pozwolenia, koncesje, budowa kopalni i zakładów produkcyjnych). Obecnie największymi, konkurującymi ze sobą przedsiębiorstwami są (Fig. 2):

- **Nutrien** – kanadyjska firma, jest największym na świecie producentem związków potasu (ponad 20 mln ton – 21% możliwości produkcji światowej) w sześciu zakładach/kopalniach potasu w Saskatchewan: Allan Potash, Cory Potash, LaniganPotash, Patience Lake Potash, RocanvillePotash, VanscoyPotash. 79% obrotów światowych KCl należy do osiągnięć firmy. Głównymi importerami związków potasu są Brazylia, USA, Chiny oraz Indie (Nutrien, 2019).
- **Mosaic** – amerykańska firma, jeden z wiodących na świecie producentów i sprzedawców skoncentrowanych fosforanów oraz soli potasowych. Roczna produkcja związków potasu to 10,5 mln ton (15 % produkcji światowej). Firma posiada 3 kopalnie i zakłady produkcyjne w Kanadzie (Saskatchewan): BellePlaine, Colonsay i Esterhazy oraz 1 kopalnię w Carlsbad (Nowy Meksyk, USA). Główne kierunki eksportu: Chiny, Indie, Korea Południowa, Brazylia, Wietnam, Malezja, rynek wewnętrzny (USA) i kanadyjski (Mosaic, 2019).
- **JSC Belaruskali** – białoruska spółka, jest jednym z największych producentów (15 % produkcji światowej) i eksporterów nawozów potasowych na świecie. Wydobycie opiera się na złożu soli potasowych Starobin, w południowej części obwodu mińskiego na Białorusi. Spółka posiada 6 kopalń oraz 4 zakłady produkcyjne. Drugim, niedawno ustanowionym obszarem jest złożo Petrikovsky (obwód homelski). JSC Belaruskali produkuje głównie nawozy potasowe (87,9%), a także nawozy typu NPK (2,2%) oraz chlorek sodu (NaCl) w postaci technicznej, paszowej i soli kuchennej (9,9%). Eksport odbywa się do Europy, wschodniej Azji, krajów śródziemnomorskich, Afryki, Indii, Chin, Ameryki Południowej i Północnej (<https://kali.by/en>).
- **Uralkali** – rosyjska spółka, zajmująca się produkcją związków potasu, głównie MOP oraz karnalitu, a także soli kamiennej (NaCl). Ma znaczący udział (14%) w produkcji światowej soli potasowych. Posiada 5 kopalń (Solikamsk-1, Solikamsk-2, Solikamsk-3, Berezniki-2, Berezniki-4), 6 zakładów obróbki rudy potasu (KCl) oraz 1 zakład obróbki karnalitu zlokalizowanych w miejscowościach Berezniki i Solikamsk (Kraj Permski, Rosja). Uralkali prowadzi też badania w ramach 4 koncesji poszukiwawczo-rozpoznawczych nowych bloków złoża. Kluczowe rynki eksportu: Brazylia, Indie, Chiny, południowo-wschodnia Azja, Rosja, USA, Europa (Uralkali, 2019).
- **K+S** – niemiecka grupa, jest największym dostawcą produktów solnych na świecie, piątym wśród największych producentów soli potasowych na świecie (udział 7%) i największym dostawcą soli potasowych w zachodniej Europie. Surowiec pozyskiwany jest w kopalniach podziemnych i odkrywkowych, jak również otworowych oraz ewaporację zbiorników morskich i salin w wielu regionach na świecie. Połowa zysków segmentu rolniczego została wygenerowana w Europie, pozostałymi kluczowymi kierunkami eksportu są kraje Ameryki Południowej (zwłaszcza Brazylia) oraz Azji (K+S, 2019).

Wśród znaczących producentów soli potasowych można wymienić także: QSL (Chiny), ICL (Izrael), APC (Jordania), EuroChem (Rosja) i SQM (Chile). Pozostałe firmy stanowią zaledwie 10% udziału.

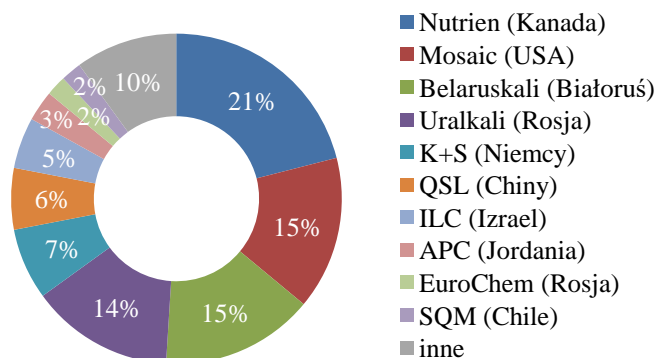


Fig. 2. Udział poszczególnych producentów soli potasowych na rynku międzynarodowym (ICL, 2021)

Fig. 2. Share of individual producers of potassium salts on the international market (ICL, 2021)

W ciągu ostatnich kilku lat przodującymi krajami w eksporcie produktów potasowych były Kanada, Białoruś i Rosja. Głównymi odbiorcami dostaw były Brazylia, Chiny i USA. (tab. 1, 2). W 2019 r. Polska zajęła 8. miejsce wśród państw importujących (Nutrien, 2020).

Tab. 1. Zestawienie przodujących krajów w eksporcie KCl w latach 2017–2019 oraz główne kierunki eksportu (Nutrien, 2020)

Tab. 1 List of the leading countries in KCl export in 2017-2019 and the main directions of exports (Nutrien, 2020)

CAŁKOWITY EKSPORT [tys. ton KCl] <i>Total export [thousand tonnes KCl]</i>					GŁÓWNE KIERUNKI EKSPORTU W 2019 r. <i>Main directions of export in 2019</i>		
POZYCJA <i>Position</i>	PAŃSTWO EKSPORTUJĄCE <i>Exporting country</i>	2019	2018	2017	1	2	3
1	Kanada	19 236	21 421	18 920	USA	Chiny/ <i>China</i>	Brazylia/ <i>Brasil</i>
2	Białoruś	10 323	10 960	10 508	Chiny/ <i>China</i>	Brazylia <i>/ Brasil</i>	Indie/ <i>India</i>
3	Rosja	9 544	8 622	10 241	Brazylia <i>/ Brasil</i>	Chiny/ <i>China</i>	Indonezja <i>/ Indonesia</i>
Razem/ <i>total</i>	top 3	39 103	41 003	39 669			
Razem/ <i>total</i>	świat/ <i>world</i>	49 291	52 323	51 522			

Tab. 2. Zestawienie przodujących krajów w imporcie KCl w latach 2017–2019 oraz główne źródła importu (Nutrien, 2020)

Tab.2. A list of the leading countries in KCl import in 2017-2019 and the main sources of imports (Nutrien, 2020)

CAŁKOWITY IMPORT [tys. ton KCl] <i>Total import [thousand tonnes KCl]</i>					GŁÓWNE ŹRÓDŁA IMPORTU W 2019 r. <i>Main sources of import in 2019</i>		
POZYCJA <i>Position</i>	PAŃSTWO IMPORTUJĄC E <i>Importing country</i>	2019	2018	2017	1	2	3
1	Brazylia/ <i>Brasil</i>	10 201	10 011	9 228	Kanada / <i>Canada</i>	Rosja/ <i>Russia</i>	Białoruś/ <i>Belarus</i>
2	Chiny/ <i>China</i>	8 962	7 409	7 544	Kanada / <i>Canada</i>	Rosja/ <i>Russia</i>	Białoruś/ <i>Belarus</i>
3	USA	7 792	9 109	9 530	Kanada / <i>Canada</i>	Białoruś / <i>Belarus</i>	Rosja/ <i>Russia</i>
Razem/ Total	top 3	26 955	26 529	26 302			
Razem Total	świat/world	49 291	52 323	51 522			

W najbliższych latach przewiduje się wzrost importu w krajach Ameryki Południowej i wschodniej Azji. Niektórzy kluczowi konsumenci z południowo-wschodniej Azji wskazują na możliwy wzrost importu w tym regionie, w tym m.in. Indie, Indonezja, Malezja, ale też Afryka (IFA, 2020).

Potassium-magnesium salts, as a valuable source of the potassium element, are mainly used (in over 90%) for the production of fertilizers. Currently, the entire world agriculture is based on mineral fertilizers, hence potassium and magnesium salts occupy a strategic position on the raw material market. In addition, this raw material is used in the glass, food, cosmetics (soap), dyeing, pharmaceutical, detergent production and many other industries.

Deposits of potassium and magnesium salts, classified as epigenetic types, are formed as a result of the evaporation process in basins with solutions rich in mineral substances. Sedimentation of these salts occurs both in marine environments - bays, lagoons, salines, and in terrestrial environments - inletless lake reservoirs. As the most soluble compounds, they crystallize in the final phase of the full salt cycle.

The main minerals of potassium and magnesium salts are: sylvite KCl , carnallite $KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$, polyhalite $K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 2CaSO_4 \cdot 2H_2O$, kieserite $MgSO_4 \cdot H_2O$, kainite $KCl \cdot MgSO_4 \cdot 6H_2O$, hexahydrate $MgSO_4 \cdot 6H_2O$, langbeinite $K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$

Basically, the deposits of potassium salts are primary, but their characteristics, such as plasticity or mineral susceptibility to transformation, lead to secondary mineral changes under the influence of tectonic processes. In the fossil state, most potassium-magnesium salts are represented by secondary minerals (e.g. kieserite) which, after transformations, created new deposits in the form of lenses, sockets, veins or dispersed forms (Czapowski et al., 2020).

In Poland, potassium and potassium-magnesium salts are found in the Zechstein salt formation, which is part of the vast Central European Permian (Zechstein) sedimentary basin. Documented potassium salts accompany rock salt in the Kłodawa salt dome, while potassium-magnesium salts have been documented in the bedded salt formation in Kashubia, in the area of Zatoka Pucka - the Chłapowo, Mieroszyno, Swarzewo, Zdrada deposits. These deposits have not been developed so far. In addition, the occurrence of potassium-magnesium salts are known from most areas of rock salt occurrence in Poland. Chloride salts are of primary nature, and those present in sulphates have an infiltration, early diagenetic (epigenetic) origin, which resulted from the replacement of primary calcium sulphate by polyhalite (Czapowski, Bukowski, 2013, Czapowski et al. 2020).

Despite the lack of documentation of many deposits of potassium and magnesium salts, Poland is very rich in this raw material. The predicted (prognostic and prospective) resources of potassium and magnesium salts, calculated only for the bedded deposits, due to the complicated internal structure of the salt domes, were estimated at 3.64 billion tons. The occurrence of these resources was found in the area of the Mazurian-Podlasie monocline, the Fore-Sudetic Monocline and the synclinorium North Sudetic (Żary pericline), with a total area of over 466 km² (Czapowski et al., 2020).

So far, deposits of potassium and magnesium salts have not been exploited in Poland, which was associated with low profitability of their exploitation (low prices of the raw material on the market and high supply from eastern countries: Belarus, Russia, Ukraine), hence the demand for salts is met by import (Czapowski and in. 2020).

Rock salts together with potassium-magnesium salts are known from all geological periods and continents on Earth. The largest basins with sedimentation of these salts in North America are: Elk Point, Maritimes, Paradox and Salado, in Europe: Zechstein, Pripecki, Solikamsk and pre-Caspian, in Africa: Danakil and Lower Congo, in Asia: Dead Sea, Khorat, SakonNakon, Qaidam and the basins of central Asia, in South America: Amazonian, Sergipe and Neuquén (Cocker et al., 2016).

According to the report MineralCommodity Summaries 2021 (Jasinski, 2021), the total reserves of potassium salts in the world amount to 250 billion tons. Due to incomplete data, it is difficult to estimate the world's recoverable reserves, but it is known that the largest of them are in Canada, Belarus, and Russia and the USA.

World consumption in 2020 remained at a similar level as in the previous years and amounted to about 41 million tons of K₂O. Due to increased production in Canada and Russia, an increase in global production was also noted. The leading consumer regions were Asia and South America, thanks to which global consumption is also expected to increase in 2021 (Jasinski, 2021). International Fertilizer Association (IFA) estimated that in 2020 production increased by 6% compared to 2019 and exceeded 70 million tonnes. Trade volume reached a record increase - from 49 million tons of MOP (KCl) in 2019 to 65 million tons in 2020. MOP (KCl). It was influenced, among others, by increased demand in countries such as the USA, Brazil, India and China, as well as a significant increase in production in Russia and Belarus (by 2.3 million tons of K₂O more than in 2019), where new mines were launched. IFA forecasts a further increase in production capacity by up to 4.6 million tons of K₂O in 2021-2025, in connection with the planned launch of further potash projects (IFA, 2021).

The leading producers of potassium salts are: Canada - 14 million tons of K₂O in 2020, Russia - 7.6 million tons of K₂O in 2020 and Belarus - 7.3 million tons of K₂O in 2020 (Jasinski, 2021). The global potassium market is characterized by a relatively small number of producers. Competition depends mainly on production costs and logistic possibilities. Entering the market is not easy for new companies due to the high investment costs and the time necessary to start operations (permits, concessions, construction of mines and production plants). Currently, the largest competing enterprises are (Fig. 2):

- **Nutrien** - a Canadian company, is the world's largest producer of potassium compounds (over 20 million tons - 21% of global production capacity) at six potassium plants / mines in Saskatchewan:

Allan Potash, Cory Potash, Lanigan Potash, Patience Lake Potash, Rocanville Potash, Vanscoy Potash. 79% of KCl's global turnover belongs to the company's achievements. The main importers of potassium compounds are Brazil, the USA, China and India (Nutrien, 2019).

- **Mosaic** - an American company, one of the world's leading producers and sellers of concentrated phosphates and potassium salts. The annual production of potassium compounds is 10.5 million tonnes (15% of world production). The company has 3 mines and production plants in Canada (Saskatchewan): BellePlaine, Colonsay and Esterhazy, and 1 mine in Carlsbad (New Mexico, USA). Main export destinations: China, India, South Korea, Brazil, Vietnam, Malaysia, domestic (USA) and Canadian (Mosaic, 2019).
- **JSC Belaruskali** - a Belarusian company, is one of the largest producers (15% of world production) and exporters of potash fertilizers in the world. The mining is based on the Starobin potassium salt deposit in the southern part of the Minsk region in Belarus. The company has 6 mines and 4 production plants. The second recently established area is the Petrikovskiy field (Gomel region). JSC Belaruskali mainly produces potassium fertilizers (87.9%), as well as NPK fertilizers (2.2%) and sodium chloride (NaCl) in technical, feed and table salt (9.9%) forms. Exports are made to Europe, East Asia, Mediterranean countries, Africa, India, China, South and North America (<https://kali.by/en>).
- **Uralkali** - a Russian company dealing in the production of potassium compounds, mainly MOP, and carnallite, as well as rock salt (NaCl). It has a significant share (14%) in the production of the world potassium salt. It has 5 mines (Solikamsk-1, Solikamsk-2, Solikamsk-3, Berezniki-2, Berezniki-4), 6 potassium ore processing plants (KCl) and 1 carnallite processing plant located in Berezniki and Solikamsk (Perm Region, Russia). Uralkali is also conducting research under 4 exploration and appraisal licenses for new blocks of the deposit. Key export markets: Brazil, India, China, Southeast Asia, Russia, USA, Europe (Uralkali, 2019).
- **K + S** - the German group, is the largest supplier of salt products in the world, the fifth largest producer of potassium salts in the world (7% share) and the largest supplier of potassium salts in Western Europe. The raw material is obtained in underground and opencast mines, as well as borehole mines and evaporation of sea reservoirs and salines in many regions around the world. Half of the profits of the agricultural segment were generated in Europe, the other key export destinations are the countries of South America (especially Brazil) and Asia (K + S, 2019).

The major producers of potassium salts also include: QSL (China), ICL (Israel), APC (Jordan), EuroChem (Russia) and SQM (Chile). The remaining companies account for only 10% of the share.

Over the past few years, Canada, Belarus and Russia have been the leading countries in the export of potassium products. The main recipients of supplies were Brazil, China and the USA. (Tab. 1, 2). In 2019, Poland was ranked 8th among importing countries (Nutrien, 2020).

Imports are expected to increase in South America and East Asia in the coming years. Some key consumers in Southeast Asia indicate a possible increase in imports in the region, including India, Indonesia, Malaysia, but also Africa (IFA, 2020).

LITERATURA/REFERENCES:

- COCKER M.D., ORRIS G.J., WYNN J., 2016. U.S. Geological Survey assessment of global potash production and resources - A significant advancement for global development and a sustainable future. *W: Geoscience for the Public Good and Global Development: Toward a Sustainable Future* (red. G.R. Wessel, J.K. Greenberg). *Geological Society of America Special Paper*, 520: 89–98.

- CZAPOWSKI G., BUKOWSKI K., 2013. Potencjał zasobowy soli kamiennej i soli potasowych w Polsce a perspektywy jego wykorzystania. *Górnictwo Odkrywkowe*, 54, 2: 74 – 84.
- CZAPOWSKI G., BUKOWSKI K., MAZUREK S., 2020. Sól kamienna (rock salt, salt, halites) i sole potasowo-magnezowe (potashsalts, potassiumsalts, potassium-magnesium salts). *W: Bilans perspektywicznych zasobów kopalin Polski wg stanu na 31.12.2018 r.* (red. Szamalek K., Szuflicki M., Mizerski W.): 218–232. PIG-PIB, Warszawa.
- <https://kali.by/en>
- ICL, 2019. Annual Report. For the Period Ended December 31, 2020.
- IFA, 2020. Fertilizer Outlook 2020–2024.
- IFA, 2021. Public Summary Medium-Term Fertilizer Outlook 2021–2025.
- JASINSKI S. M., 2021. Potash. *W: Mineral commodity summaries 2021*. U.S. Geological Survey: 126–127.
- K+S, 2019. Annual Report.
- MOSAIC, 2019. Annual Report.
- NUTRIEN, 2019. Fact Book.
- NUTRIEN, 2020. Fact Book.
- ORRIS G.J., COCKER M.D., DUNLAP P., WYNN J., SPANSKI G.T., BRIGGS D.A., GASS L., przydziale BLISS J.D., BOLM K.S., YANG C., LIPIN B.R., LUDINGTON S., MILLER R.J., SŁOWAKIEWICZ M., 2014. Potash – A global overview of evaporite-related potash resources, including spatial databases of deposits, occurrences, and permissive tracts. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010–5090–S, pp. 76, [daneprzestrzenne:http://dx.doi.org/10.3133/sir20105090S](http://dx.doi.org/10.3133/sir20105090S).
- URALKALI, 2019. Proactive, progressive, proud. Annual Report.

Henryk PASZCZA¹

¹Emerytowany Dyrektor Agencji Rozwoju Przemysłu
e-mail: hpaszcz@gmail.com

Z uwagi na szczególną złożoność problematyki wpływu eksploatacji węgla kamiennego na środowisko, autorzy w niniejszym referacie ograniczyli się głównie do przedstawienia zagadnień dotyczących ilości i wielkości zrzutu wód kopalnianych, ich wpływu na środowisko naturalne oraz działań podejmowanych przez kopalnie, mających na celu eliminowanie ujemnych skutków ekologicznych, poprzez prowadzenie racjonalnej gospodarki wodno-ściekowej, w tym niezmiernie istotnych elementów jakimi są: ograniczenie wody pitnej i przemysłowej oraz zmniejszanie zrzutu soli zawartej w niewykorzystanych wodach dołowych odprowadzanych do wód zlewni Wisły i Odry. W artykule przedstawiono zarówno ilości wód kopalnianych odprowadzanych przez sektor górnictwa węgla kamiennego do cieków powierzchniowych tak z kopalń czynnych jak i kopalń będących w stanie likwidacji lub zlikwidowanych. Przedstawiono wielkości zrzutu jonów solnych w wodach słonych w okresie 2015-2020, jak również dokonano podziału kwalifikacyjnego wód kopalnianych z podziałem na grupy i klasy. W końcu przedstawiono funkcjonujący w sektorze system retencyjno-dozujący zrzutu wód słonych wód do Odry, aby odbywał się on w sposób bezpieczny i kontrolowany.

Due to the particular complexity of the issue of the impact of hard coal mining on the environment, the authors of this paper have limited themselves mainly to the presentation of issues concerning the quantity and volume of mine water discharge, its impact on the environment and activities undertaken by the mines in order to eliminate negative ecological effects by conducting rational water and sewage management, including extremely important elements such as reduction of drinking and industrial water and reduction of discharge of salt contained in unused groundwater discharged to the waters of the Vistula and Odra catchment areas. The article presents the quantity of mine waters discharged by the hard coal mining sector into surface watercourses from active mines as well as from mines under liquidation or liquidated. Salt ion discharge rates in saline waters are presented in 2015-2020 period, as well as a qualifying breakdown of mine water by group and class. In the end, the sector's retention, and dosing system for discharging saline water into the Oder River was presented aimed to make it safe and controlled.

Słowa kluczowe: kopalnia, wody kopalniane, odwadnianie, środowisko naturalne, zasolenie, siarczki, chlorki, zrzuty wód, ciekły powierzchniowe.

Key Words: mine, mine water, dewatering, environment, salinity, sulphides, chlorides, water discharges, surface watercourses.

POMIARY OBSERWACJI RUCHÓW GÓROTWORU W POLU NR 1 W KOPALNI SOLI „KŁODAWA” S.A.

MEASUREMENTS OF THE OBSERVATION OF ROCK MASS MOVEMENTS IN FIELD NO.1 IN THE “KŁODAWA” SALT MINE S.A.

Damian KURDEK¹

¹Kopalnia Soli „Kłodawa” S.A., Aleja 1000-lecia 2, 62-650 Kłodawa,
e-mail: dkurdek@sol-klodawa.com.pl

Obserwacje ruchów górotworu, które wykonuje się w polu nr 1, rozpoczęto w 1962 roku na poziomie 450 m, zakładając linie obserwacyjną do pomiaru niwelacyjnego oraz długościowego. Następnie pod koniec lat 80. XX wieku zastabilizowano bazy do pomiaru konwergencji liniowej chodnikowej i komorowej. Kolejnym etapem było rozszerzenie sieci niwelacyjnej w polu nr 1. Pomiary długościowe linii obserwacyjnej na poziomie 450 m zakończyły się 1979 roku, a niwelacyjne 1994 roku. Po 2005 roku uzupełniono sieć pomiarów niwelacyjnych, a w 2010 roku rozpoczęto pomiary przemieszczeń poziomych na nowo założonej linii obserwacyjnej prostopadłej do dłuższej osi pola nr 1 na poziomie 450 m. W następnych latach dokonano uzupełnień sieci do monitoringu ruchów górotworu wraz z wykonaniem pomiaru geodezyjnego. W 2020 roku wykonano pomiary na wszystkich dostępnych liniach obserwacyjnych (pomiar linii obserwacyjnej z 1962) i sieciach niwelacyjnych. Pomiary te pozwoliły na skorelowanie przemieszczeń do jednego układu wysokościowego. Obecna sieć do monitoringu pozwala na wyznaczenie przemieszczeń poziomych i pionowych, a także konwergencji. Dzięki temu, mamy możliwość kontroli zachodzących procesów deformacji w polu nr 1.

Słowa kluczowe: pomiary geodezyjne, obserwacje, wyrobisko górnicze, pole eksploatacyjne

Observations of the movements of the rock mass, which are performed in field no. 1, began in 1962 at the level of 450 m, by setting up observation lines for leveling and length measurements. Then, at the end of the 1980s, the bases for measuring the linear convergence of the pavement and the chamber were stabilized. The next stage was the extension of the leveling network in field no. 1. The length measurements of the observation line at the level of 450 m ended in 1979, and the leveling measurements in 1994. After 2005, the network of leveling measurements was supplemented, and in 2010, measurements of horizontal displacements were commenced on the newly established observation line perpendicular to the longer axis of field no. 1 at the level of 450 m. In the following years, the network for monitoring the movements of the rock mass was supplemented and geodetic measurements were performed. In 2020, measurements were made on all available observation lines (measurement of the observation line from 1962) and leveling nets. These measurements allowed for the correlation of displacements to one elevation system. The current monitoring network allows the determination of horizontal and vertical displacements as well as convergence. Thanks to this, we can control the deformation processes taking place in field 1.

Key words: geodetic measurements, observations, mining excavation, mining field

ZMIENNOŚĆ ZJAWISKA ZACISKANIA WYROBISK KOMOROWYCH W PRZESTRZENI POLA NR 2 W KOPALNI SOLI "KŁODAWA"

VARIABILITY OF THE CLAMPING PHENOMENON OF POST-EXPLOITATION VOIDS IN THE EXPLOITATION AREA OF FIELD NO 2 IN "KŁODAWA" ROCK SALT MINE

Józef BIENIASZ¹, Jakub PIETRAS¹, Jolanta MARCOLA-SADOWSKA², Damian KURDEK²

¹Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Górnictwa Surowców Chemicznych „CHEMKOP” Sp. z o.o., 31-261 Kraków, ul. Wybickiego 7;
e-mail: jozef.bieniasz@chemkop.pl, jakub.pietras@chemkop.pl

²Kopalnia Soli „KŁODAWA” S.A. 62-650 Kłodawa, Aleja 1000-lecia 2;
e-mail: jmarcola@sol-klodawa.com.pl, dkurdek@sol-klodawa.com.pl

„CHEMKOP” od ponad 40 lat wykonuje pomiary zjawisk deformacji poeksploatacyjnych w kopalni kłodawskiej, stosując własne, oryginalne rozwiązania pomiarowe. W ostatnich kilkunastu latach systematycznie rozbudowywano sieć monitoringu zjawisk deformacyjnych w wyrobiskach całej kopalni, między innymi w polu nr 2 będącym rejonem najbardziej skoncentrowanej eksploatacji złoża solnego w wysadzie.

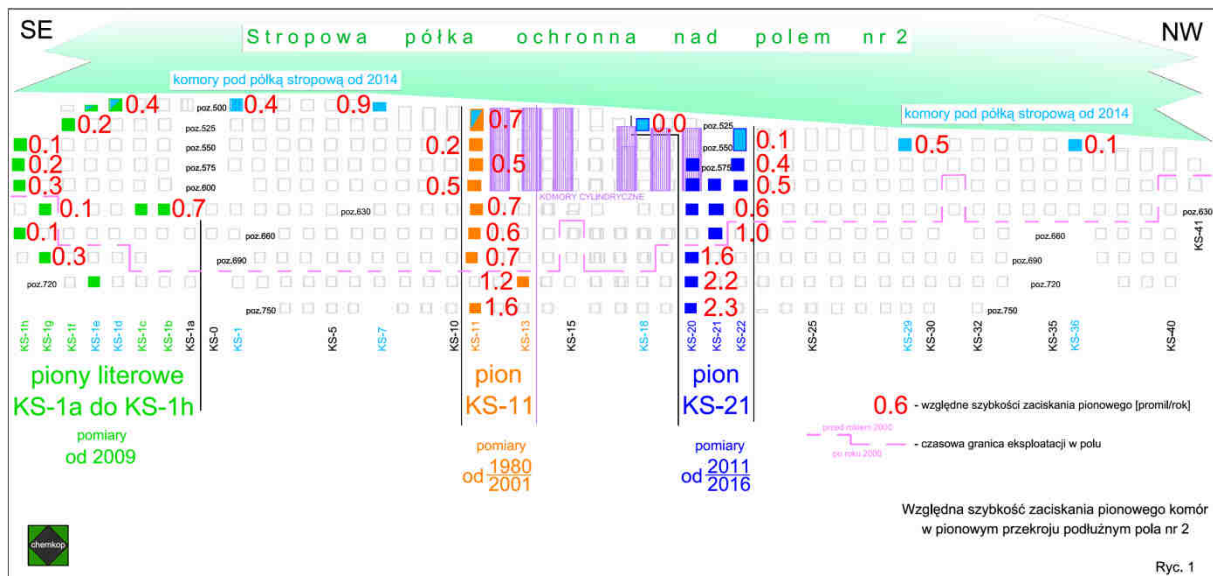
Zgromadzone dane pomiarowe pozwalają po raz pierwszy na próbę opisanie obserwowanej zmienności zjawiska zaciskania pustek poeksploatacyjnych w całej przestrzeni eksploatacyjnej pola nr 2.

Niewielkie szybkości zaciskania, poniżej 0.5 promila/rok notowane są w peryferyjnych rejonach pola rozumianych jako strefy przygraniczne przestrzeni eksploatacji. Większe wartości dochodzące do 2 promil/rok są charakterystyczne dla centralnej części pola i rejonu środka przestrzeni strefy eksploatacji.

For over 40 years, CHEMKOP has been measuring the phenomena of post-exploitation deformations in the Kłodawa salt mine, using its own, patent measurement solutions. In the last dozen years, the network for monitoring deformations phenomena of the entire mine was systematically expanded including field no 2, which is the area of the most concentrated exploitation of the salt deposit.

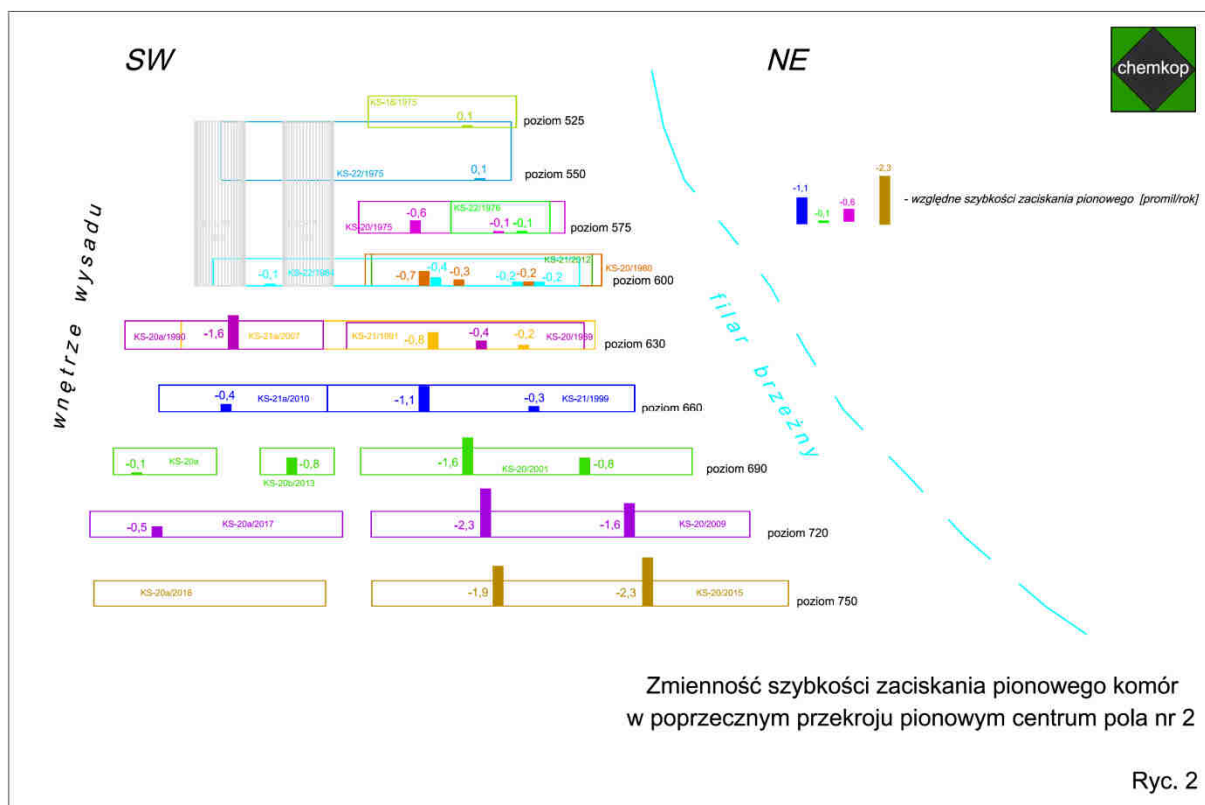
Owned measurement data allows for the first time to describe the observed variability of the clamping post-exploitation voids in the entire exploitation area of field no 2.

Low clamping speed below 0.5 permille/year is recorded in the peripheral areas of the field, understood as border zones of the exploitation. Larger values, up to 2 per mille/year are characteristic for the central part of the field and the region of the center exploitation zone.



Ryc.1 Wartości średniej szybkości względnej zaciskania pionowego z lat 2016 - 2020 r. na tle przekroju podłużnego pola nr. 2

Fig.1 The values of the average relative speed of vertical crimping from the years 2016 - 2020 against the background of the longitudinal section of field no. 2



Ryc. 2 schematyczny rozkład szybkości zaciskania pionowego w pionowym przekroju poprzecznym centralnej części pola nr 2 tj. w rejonie pionu KS-21

Fig. 2 Schematic distribution of the vertical crimping speed in the vertical cross-section of the central part of field No.2, i.e. in the area of the KS-21 vent

LITERATURA/REFERENCES

- 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, tom 12, 28-35.
- BIENIASZ J., PIETRAS J. 2018. Deformacje górotworu wywołane eksploatacją pola nr 2 w Kopalni Soli „Kłodawa” S.A., Przegląd Solny 2018. Rocznik Polskiego Stowarzyszenia Górnictwa Solnego, tom 14, 15-20.
-
- KURDEK D. 2019. Pomiary konwergencji wyrobisk chodnikowych w Kopalni Soli „Kłodawa” S.A. Przegląd solny 2019/2020. Rocznik Polskiego Stowarzyszenia Górnictwa Solnego, tom 15.
- BIENIASZ J., PIETRAS J. 2020 Wykonanie pomiarów konwergencji komór, filarów i pól międzykomorowych w polach eksploatacyjnych nr 1, 2, 3 i 5 Kopalni. Archiwum OBR GSChem CHEMKOP Sp. z o.o., 1171.

**PROJEKT CAVDIM - OPTIMALIZACJA KSZTAŁTU I POJEMNOŚCI KAWERN
MAGAZYNOWYCH W POKŁADOWYM ZŁOŻU SOLI**

***CAVDIM PROJECT - SHAPE AND CAPACITY OPTIMALIZATION OF STORAGE CAVERNS IN
BEDDED ROCK SALT DEPOSIT***

Łukasz GRZYBOWSKI, Paweł WILKOSZ, Marian CEKLARZ, Piotr MROZIŃSKI,
Rafał DERDOWSKI

Gas Storage Poland sp. z o.o., Al. Jana Pawła II 70, 00-175 Warszawa;
e-mail: Lukasz.Grzybowski@gas-storage.pl

Marek CAŁA, Katarzyna CYRAN, Michał KOWALSKI

Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Inżynierii Ładowej i Gospodarki Zasobami, Al. Mickiewicza
30, 30-059 Kraków;
e-mail: kcyran@agh.edu.pl

Władysław UTHKE, Kazimierz URBAŃCZYK, Justyna NOWIŃSKA-
JARZĘBIŃSKA*, Natalia WALCZAK-TORBA

Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Górnictwa Surowców Chemicznych "CHEMKOP" sp. z o.o., ul. J. Wybickiego
7,31-261 Kraków;
e-mail: justyna.nowinska@chemkop.pl

*Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Al.
Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

Kawerny solne są obecnie wykorzystywane do podziemnego magazynowania ropy naftowej, paliw, gazu ziemnego oraz w przyszłości sprężonego powietrza i wodoru. Kawerny magazynowe lokuje się w wysadach solnych i pokładowych złożach soli kamiennej. W literaturze z ostatnich 20-tu lat wiele uwagi poświęcono zagadnieniom stateczności kawern magazynowych oraz wytycznym i zaleceniom dotyczącym projektowania i funkcjonowania podziemnych magazynów. Rozwój podziemnego magazynowania w złożach soli kamiennej przyczynił się do stosowania zaawansowanych metod badawczych i technik w tym modelowania numerycznego do studiowania wspomnianych zagadnień. Obecnie szczególnie intensywnie analizowana jest problematyka stateczności kawern magazynowych w pokładowych złożach soli kamiennej. W Polsce, w pokładowym złożu soli kamiennej Mechelinki, zlokalizowany jest podziemny kawernowy magazyn gazu Kosakowo (KPMG Kosakowo). Doświadczenia zebrane podczas budowy KPMG Kosakowo pozwalają na weryfikację dotychczasowych założeń i wytycznych projektowych z wykorzystaniem nowych metod i technik badawczych. Projekt CavDim jest odpowiedzią na powyżej wspomniane wyzwania. Wykonywane w ramach projektu zadania zmierzają do optymalizacji geometrii kawern magazynowych oraz ich rozmieszczenia w polu kawernowym. Celem tych działań jest zwiększenia pojemności magazynowej i racjonalnego wykorzystania złoża w danych warunkach geologiczno-górnictwowych, przy zachowaniu długotrwałej stateczności i warunków bezpieczeństwa. Projekt jest realizowany wspólnie przez zespoły z trzech instytucji: Gas

Storage Poland, Wydziału Inżynierii Lądowej i Gospodarki Zasobami AGH i Ośrodka Badawczo-Rozwojowego Górnictwa Surowców Chemicznych „Chemkop”. Wyniki prac realizowanych w ramach projektu CavDim oprócz wspomnianej optymalizacji kształtu i pojemności kavern magazynowych, przyczynią się do ujednoczenia metodyki projektowania kavern magazynowych w pokładowych złożach soli oraz ich wzbogacenie o nowoczesne techniki analizy geologicznej i geomechanicznej.

Salt caverns are used for underground storage of crude oil, fuels, natural gas as well as compressed air and hydrogen in the nearest future. The storage caverns are located in both bedded and domal rock salt deposits. In the last 20 years, many papers were focused on the stability of storage caverns and guidelines for the design and operation of underground storage facilities in rock salt deposits. The development of underground storage in rock salt deposits contributed to the application of advanced methods and techniques including numerical modelling for studying the aforementioned issues. These days, the stability of storage caverns in bedded salt deposits is extensively analysed. In Poland, the Kosakow underground gas storage facility (KPMG) was located in Mechelinki bedded salt deposit. The experience gathered during the building of KPMG Kosakowo is more than sufficient to verify initial guidelines and assumptions with the use of new research methods and techniques. The CavDim project responds to this challenge. Tasks implemented within the CavDim project aim to optimization of cavern geometry and distribution in the cavern field. These tasks are also focused on an increase of storage capacity and improvement in rational use of rock salt storage resources while ensuring long-term stability and safety. The CavDim project is co-realised by three institutions: Gas Storage Poland sp. z o.o., Faculty of Civil Engineering and Resource Management at AGH University of Science and Technology and The Research and Development Centre for Mining of Chemical Raw Materials “CHEMKOP” Ltd. The results of the CavDim project enable to optimize shape and storage capacity of salt caverns. Moreover, it is expected that outcome of the CavDim project contribute to standardization in the design methodology of storage caverns in bedded rock salt deposits as well as enrichment of this methodology in modern techniques of geological and geomechanical studies.

Rafał MISA¹, Anton SROKA¹, Krzysztof TAJDUŚ¹, Mateusz DUDEK¹

¹Institut Mechaniki Górotworu Polskiej Akademii Nauk, ul. Reymonta 27, 30-059 Kraków.
e-mail: misa@imgpan.pl

Streszczenie: W prezentacji zostanie przedstawione rozwiązanie problemu wyznaczania konwergencji podziemnych kawern w górotworze solnym na podstawie wyników pomiarów osiadania powierzchni terenu za pomocą algorytmu wyrównawczego Gaussa – Markowa.

Słowa kluczowe: składowanie podziemne, kawerny solne, konwergencja, osiadanie, deformacje powierzchni

Abstract: The presentation presents a solution to the problem of determining the convergence of underground caverns in a salt rock mass based on the results of measurements of land surface subsidence using the Gauss-Markov equalization algorithm.

Keywords: *underground storage, salt cavern, convergence, subsidence, surfacedeformation*

W związku z koniecznością strategicznego gromadzenia zapasów fluidalnych surowców energetycznych, takich jak gaz i ropa naftowa, w wielu krajach zostały w górotworze solnym zespolone podziemne zbiorniki, w celu ich bezpiecznego i długotrwałego użytkowania. Ich bieżąca kontrola z punktu widzenia geomechaniki oraz z zakresu wpływów na powierzchnię terenu jest prowadzona poprzez bezpośrednie i pośrednie pomiary konwergencji oraz periodyczne pomiary osiadania punktów położonych na powierzchni terenu. Przebiegający w kawernach proces ich konwergencji prowadzi do powstania na powierzchni terenu niecki osiadania, która może prowadzić do negatywnych zmian w środowisku naturalnym oraz do uszkodzeń obiektów budowlanych. W celu oceny tych wpływów prowadzone są z reguły okresowe pomiary deformacji, w większości pomiary osiadania. I tak np. w Niemczech pomiary te muszą być wykonywane rocznie. W przypadku istnienia matematycznego modelu osiadania wyniki tych pomiarów można wykorzystać do pośredniego wyznaczenia wartości konwergencji objętościowych pojedynczych kawern.

Podstawę zaprezentowanego rozwiązania stanowi algorytm Gaussa – Markowa dla tzw. obserwacji pośredniczących. Algorytm ten wymaga zasadniczo znajomości dwóch podstawowych elementów, a mianowicie: modelu funkcjonalnego, wiążącego wielkości bezpośrednio obserwowane (tutaj: osiadania) z poszukiwanymi niewiadomymi (tutaj: konwergencje kawern), oraz modelu stochastycznego dokonanych obserwacji.

Model funkcjonalny wiąże w ogólności dokonane obserwacje z poszukiwanymi niewiadomymi. Podstawowym elementem zaproponowanej przez autorów metody bezinwazyjnego wyznaczania konwergencji jest model funkcjonalny zależności pomiędzy konwergencją i osiadaniem na powierzchni terenu sformułowany przez Srokę i Schobera w 1982 roku. Rozwiązanie to oparte jest na tzw. metodach geometryczno-całkowych

wiążących przyczynę ze skutkiem. Jako funkcję transformującą lub funkcję wpływów przyjęto odpowiednio sparametryzowaną funkcję Gaussa. Rozwiązanie podane przez Knothego określane jest w literaturze fachowej jako teoria Knothego i jest ona od ponad 60 lat z powodzeniem stosowana w górnictwie węgla kamiennego, górnictwie solnym i górnictwie rudnym wielu krajów na świecie.

Model stochastyczny wykonanych obserwacji jest reprezentowany w algorytmie Gaussa – Markowa za pomocą tzw. macierzy wagowej P . Model stochastyczny służy do zróżnicowania znaczenia poszczególnych obserwacji w procesie obliczeniowym w zależności od ich dokładności. W przypadku przyjęcia że osiadania wszystkich obserwowanych punktów zostały pomierzone z jednakową dokładnością macierz wagowa P jest macierzą jednostkową.

Do testu przydatności przedstawionej metody wyznaczania konwergencji kawern na podstawie pomiarów osiadania punktów położonych na powierzchni terenu za pomocą algorytmu wyrównawczego Gaussa – Markowa wykorzystano rzeczywiste dane części pola kawern EPE. Do testu wybrano układ 7 kawern. Przyjmując obliczone osiadania jako obserwacje, można w oparciu o model funkcjonalny – metoda Sroki i Schobera – oraz dane geometryczne wybranych kawern, dokonać, za pomocą algorytmu Gaussa – Markowa, wyznaczenia konwergencji tych kawern, a tym samym ewaluacji przedstawionego rozwiązania. Potrzebne do tego celu przybliżone wartości konwergencji pojedynczych kawern można obliczyć na podstawie relatywnych prędkości konwergencji, których wartości są zależne od przebiegu ich użytkowania.

Uzyskane wyniki w pełni potwierdzają przydatność zaproponowanego rozwiązania za pomocą algorytmu Gaussa – Markowa do wyznaczania konwergencji kawern na podstawie wyników pomiarów osiadania. Zaprezentowane rozwiązanie potwierdziło możliwość bezinwazyjnego wyznaczenia wartości konwergencji podziemnych kawern do magazynowania fluidalnych środków energetycznych na podstawie wyników pomiarów osiadania punktów położonych na powierzchni terenu. Zaproponowane rozwiązanie może być nie tylko uzupełnieniem prowadzonych w ramach okresowego monitoringu geotechnicznego bezpośrednich pomiarów konwergencji za pomocą metody echometrycznej ale także może je częściowo zastąpić, co przyczyni się do znacznej redukcji ich kosztów.

Ryszard ŁYCZAK¹, Mateusz SZATKO¹

¹GWE POL-BUD Sp. z o.o., ul. Demokratyczna 89/93
E-mail: mszatko@gwe-polbud.pl, rlyczak@gwe-polbud.pl

WSTĘP

Wybór odpowiedniego materiału do wykonania rurociągów pracujących w środowiskach agresywnych chemicznie jest jednym z najistotniejszych zadań w trakcie prac projektowych.

Znakomitym tworzywem do stworzenia rurociągów pracujących w takich środowiskach jest tworzywo sztuczne wzmacniane włóknem szklanym (GFK, GRP, GRE, „fiberglas”).

Liderem w tym zakresie jest firma NOV Fiber Glass Systems (NOV FGS), która od ponad 60 lat opracowuje nowe materiały w oparciu o aktualną wiedzę z różnych dziedzin nauki i doświadczenia płynące z codziennej praktyki.

CHARAKTERYSTYKA MATERIAŁÓW

Rurociągi z tworzywa sztucznego wzmacnianego włóknem szklanym są stosowane wszędzie tam gdzie występuje ryzyko powstania korozji spowodowanej agresywnością środowiska, w którym są stosowane. Szeroka gama rur produkowanych przez NOV FSG zapewnia możliwość dokonania właściwego wyboru.

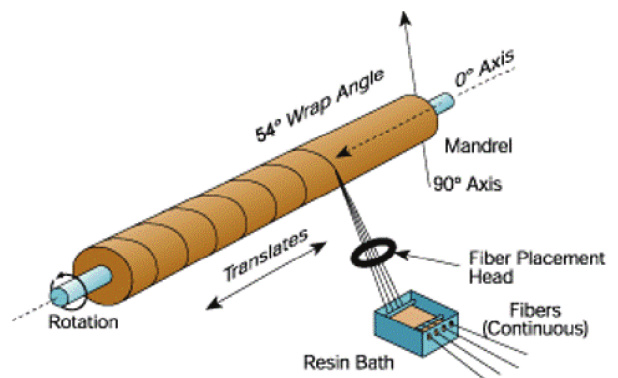
Średnice rurociągów produkowanych przez NOV FSG obejmują zakres od DN 25 do DN 900 dla rur stosowanych do ropy naftowej oraz gazu ziemnego oraz zakres od DN 25 do DN 1800 w przypadku rur stosowanych w branży chemicznej, i wszędzie tam gdzie mamy do czynienia z niskimi ciśnieniami. Maksymalne ciśnienie pracy rur i złączek wynosi 275 barów (4000 psi) natomiast maksymalna temperatura wynosi 135 °C.

Na cechy charakterystyczne produktów wpływ mają składniki z których powstaje rura. Istotne znaczenie ma żywica epoksydowa utwardzana aminami aromatycznymi, aminami alifatycznymi lub bezwodnikami. Każda kombinacja żywic posiada swoje cechy charakterystyczne wpływając decydująco na odporność chemiczną, właściwości mechaniczne rury, odporność na temperaturę lub ciśnienie. Cechy te decydują o zastosowaniu rurociągów w konkretnych warunkach.

PROCES PRODUKCJI

Rury z włókiem nawijanych

Impregnowane żywicą włókna szklane są w sposób kontrolowany są mocno napinane i nawijane na obracający się trzpień o określonej średnicy (Ryc. 1). Na zakończenie procesu przeprowadza się zabieg termicznego utwardzenia poprzez zastosowanie jednej z trzech możliwych reakcji. Proces produkcji pozwala na wytwarzanie rur o różnych warstwach z możliwością zastosowanie różnych katów nawijania, które decydują o wytrzymałości rury.

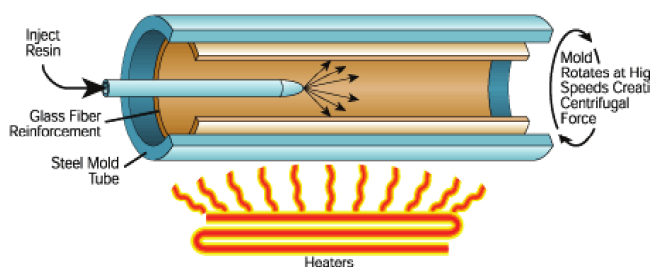


Ryc. 1 Proces produkcji rur z włókien nawijanych

Fig. 1 Filament wound tubing systems production

Rury odlewane odśrodkowo

Splecione włókno szklane lub tkanina umieszczane są wewnątrz obracającej się z dużą prędkością rury stalowej. W trakcie obrotów następuje proces natryskowego nasycenia włókien żywicą (Ryc. 2). Wzmocnienie włóknami, zarówno w kierunku promieniowym jak i osiowym, zapewnia doskonale właściwości rozszerzalności cieplnej i gięcia.



Ryc. 2 Proces produkcji rur odlewanych odśrodkowo

Fig. 2 Centrifugally cast tubes systems production

RODZAJE RUR

W zależności od sposobu produkcji i użytych komponentów tworzywo sztuczne wzmocnione szkłem uzyskuje cechy, które decydują o jego zastosowaniu:

- Rury CERAM CORE® - są stosowane w najbardziej agresywnych środowiskach korozyjno-ściernych, np. w transporcie popiołów w elektrowniach węglowych,
- Rury SILVER STREAK® - stosowane np. w procesach odsiarczania gazów spalinowych obejmującym zawiesiny gipsowe i wapienne,
- Rury CENTRICAST® - to najodporniejsze dostępne na rynku rury stosowane
- od blisko 60 lat w branżach wytrawiania stali, farmaceutycznej, energetycznej, przetwórstwie chemicznym itp.,

- Rury GREEN THREAD® i RED THREAD® - znajdują zastosowanie w systemach związanych z przygotowaniem wody pitnej, odprowadzaniem wód zasolonych, w systemach ogrzewania i chłodzenia wody oraz w systemach odprowadzania ścieków w przemyśle i gospodarce komunalnej,
- Rury serii GREEN THREAD 175® i GREEN THREAD 250® - zostały specjalnie zaprojektowane do stosowania na morskich platformach wiertniczych i wydobywczych oraz na statkach morskich spełniając szczególne wymagania przeciwpożarowe,
- Rury RED THREAD II® i RED THREAD IIA® - są z powodzeniem stosowane m. in. na stacjach paliw płynnych jako rurociągi podziemne dla benzyn ołowionych i bezołowiowych oraz oleju napędowego. W innych zastosowaniach również dla przesyłania roztworów chlorku sodu w tym również nasyconego gazami, wody destylowanej, kwasu azotowego, kwasu siarkowego benzenu, toluenu itp.,
- Rury serii STAR SUPER SEAL®, RED THREAD® i RED THREAD II® - dla przemysłu naftowego i gazowniczego do stosowania jako rurociągi przesyłowe oraz jako kolumny rur okładzinowych i eksploatacyjnych zapuszczanych do otworów wierconych za ropą naftową, gazem ziemnym, wodami zmineralizowanymi i termalnymi



Ryc. 3 Instalacje wykonane z rur z włókna szklanego

Fig. 3 Installations made of fiberglass pipes

POŁĄCZENIA RUR

Oferowanych jest sześć sposobów łączenia rur. Rodzaj połączenia zależy od przeznaczenia rurociągu.

- Połączenie kielichowe (Bell & Spigot, Integral Joint) kilka różnych rozwiązań z gwintem lub z zatyczką, z uszczelką lub bez, z dodatkowym klejeniem lub bez kleju - dla rurociągów przesyłowych,
- Połączenie gwintowe złączkowe (Threaded & Coupled) z gwintem Advanced Composite Thread (ACT) - gwint wykonany metodą wytłaczania w materiale nakładanym na czop rury. Materiał gwintu sporządzony z mieszanki grafitu, epoksydu, dodatku ceramicznego i innych komponentów - połączenie stosowane są dla rur do wykonywania kolumn rur okładzinowych lub eksploatacyjnych w otworach wiertniczych,

- Połączenie złączkowe (Threaded & Bonded, T.A.B.) - specjalny podwójny gwint zapewniający szybkie, pewne skręcenie. Dodatkowo połączenie jest doszczelniane specjalną żywicą epoksydową,
- Połączenie złączkowe z gładkimi końcami (Butt & Wrap) - po połączeniu rur za pomocą złączki zostaje ona owinięta matą nasączoną żywicą lub pokrytymi żywicą włóknami szklanymi,
- Połączenie złączkowe (Socket Joint) - proste połączenie przeznaczone do klejenia,
- Połączenie kołnierzowe (Flanged) - dla każdego rodzaju rur i wszystkich średnic.



Ryc. 4 Rurociąg wykonany z rur z włókna szklanego

Fig. 4 Pipeline made of fiberglass pipes

PODSUMOWANIE

Rury z tworzywa sztucznego wzmocnione włóknem szklanym potocznie nazywane „fiberglassem” poprzez swoją różnorodność umożliwiają wykonanie linii przesyłowych, instalacji wewnętrznych w obiektach przemysłowych oraz wyposażenie otworów wiertniczych, są rurociągami przyszłości, do stosowania w warunkach wysokiego ciśnienia i temperatury oraz dla agresywnych mediów. Długoletnie know-how w zakresie produkcji i doradztwa, najnowsze technologie produkcji i możliwości specjalizacji poszczególnych jednostek sprawiają iż NOV FGS jest światowym liderem wśród producentów rurociągów z tworzyw sztucznych (GFK).

INTRODUCTION

Choosing the right material for pipelines operating in chemically aggressive environments is one of the most important tasks during design work.

An excellent material for creating pipelines that operate in these environments is glass fiber reinforced plastic (GRP, GRP, GRE, "fiberglass").

A leader in this field is NOV Fiber Glass Systems (NOV FGS), which for more than 60 years has been developing new materials based on current knowledge from various scientific fields and experience from daily practice.

CHARACTERISTICS OF MATERIALS

Glass fiber reinforced plastic pipelines are used wherever there is a risk of corrosion due to the aggressiveness of the environment in which they are used. The wide range of pipes manufactured by NOV FSG ensures making the right choice.

The diameters of pipes manufactured by NOV FSG range from DN 25 to DN 900 for pipes used for oil and natural gas, and from DN 25 to DN 1800 for pipes used in the chemical industry, and wherever low pressures are to be found. The maximum operating pressure for pipes and fittings is 275 bar (4000 psi) and the maximum temperature is 135 °C.

The characteristics of the products are influenced by the components from which the pipe is made. Epoxy resins cured with aromatic amines, aliphatic amines or anhydrides are important. Each resin combination has its own characteristics, determining the chemical resistance, mechanical properties of the pipe, temperature resistance or pressure resistance. These features determine the use of pipelines in specific conditions.

PRODUCTION PROCESS

Filament wound tubing systems

The resin-impregnated glass fibers are tightened in a controlled manner and wound onto a rotating mandrel of a specified diameter (Fig. 1). At the end of the process, a thermal curing treatment is carried out by applying one of three possible reactions. The manufacturing process allows to produce pipes with different layers and different winding angles, which determine the strength of the pipe.

Centrifugally cast tubes systems

The braided fiberglass or fabric is placed inside a steel tube rotating at high speed. During the rotation, the fibers are sprayed with resin (Fig. 2.).Fiber reinforcement in both radial and axial directions provides excellent thermal expansion and bending properties.

TYPES OF PIPES

Depending on the manufacturing process and the components used, glass-reinforced plastic has characteristics that determine its use:

- CERAM CORE® pipes - are used in the most aggressive corrosive and abrasive environments, e.g., for ash transportation in coal-fired power plants,
- SILVER STREAK® tubes - used e.g., in flue gas desulphurization processes involving gypsum and lime suspensions,
- CENTRICAST® pipes are the most resistant pipes available on the market and have been used for nearly 60 years in the steel etching, pharmaceutical, power generation, chemical processing, etc. industries,
- GREEN THREAD® and RED THREAD® pipes - are used in systems connected with the preparation of drinking water, drainage of salty water, water heating and cooling systems and in sewage disposal systems in industry and public utilities,
- GREEN THREAD 175® and GREEN THREAD 250® series pipes - have been specially designed for use on offshore drilling and production platforms and on marine vessels to meet specific fire protection requirements,
- RED THREAD II® and RED THREAD IIA® pipes are successfully used, among others at liquid fuel stations as underground pipelines for leaded and unleaded petrol and diesel oil. In other applications also for the transmission of sodium chloride solutions including saturated gases, distilled water, nitric acid, sulfuric acid, benzene, toluene, etc.,

- *STAR SUPER SEAL®*, *RED THREAD®* and *RED THREAD II®* line pipe - for use in the oil and gas industry for transmission pipelines, casing and tubing columns drilled into crude oil, natural gas, mineralized and thermal reservoirs and thermal waters.

PIPE CONNECTIONS

Six pipe joining methods are offered. The type of connection depends on the purpose of the pipeline.

- *Socket joint (Bell & Spigot, Integral Joint) several different solutions with thread or with plug, with or without gasket, with or without additional bonding - for transmission pipelines,*
- *Threaded & Coupled with Advanced Composite Thread (ACT) - thread made by extrusion in the material applied on the pipe spigot. The thread material is made from a blend of graphite, epoxy, ceramic additive, and other components - the combination is used for casing or production pipe columns in wells,*
- *Threaded & Bonded (T.A.B.) - a special double thread for fast, secure bolting. Additionally, the connection is sealed with a special epoxy resin,*
- *Butt & Wrap - after the pipe is joined with a fitting, it is wrapped in resin-soaked matting or resin-coated glass fibers,*
- *Socket Joint - a simple connection designed for bonding,*
- *Flanged connection - for all pipe types and all diameters.*

SUMMARY

Fiberglass reinforced plastic pipes, commonly referred to as "fiberglass", thanks to their versatility, make it possible to construct transmission lines, interior installations in industrial facilities and equip boreholes; they are the pipelines of the future, for use under high pressure and temperature conditions and for aggressive media. Long-standing production and consulting know-how, the latest production technologies, and the ability to specialize in individual units make NOV FGS the world's leading manufacturer of plastic pipelines (GFK).

ŹRÓDŁA INFORMACJI/ SOURCES OF INFORMATION

- GWE, Peine, Niemcy
- NOV Fiber Glass Systems, San Antonio, Texas, USA

Piotr TOMALA¹, Paweł PLEZIA², Piotr URBAŃSKI³, Łukasz CIELEŃ⁴, Joanna WRZOSEK⁵, Waclaw ANDRUSIKIEWICZ⁶

¹ ViaCon Polska Sp. z o.o., ul. Przemysłowa 6, 64-130 Rydzyna k. Leszna,
e-mail: piotr.tomala@viacin.pl

² ViaCon Polska Sp. z o.o., ul. Przemysłowa 6, 64-130 Rydzyna k. Leszna,
e-mail: pawel.plezia@viacon.pl

³ KGHM Polska Miedź S.A. O/ZG „Polkowice-Sieroszowice”, Kaźmierzów 100, 59-101 Polkowice,
e-mail: Piotr.Urbanski@kghm.com

⁴ KGHM Polska Miedź S.A. O/ZG „Polkowice-Sieroszowice”, Kaźmierzów 100, 59-101 Polkowice,
e-mail: Lukasz.Ciel@kghm.com

⁵ KGHM Polska Miedź S.A. O/ZG „Polkowice-Sieroszowice”, Kaźmierzów 100, 59-101 Polkowice,
e-mail: Joanna.Wrzosek@kghm.com

⁶ Akademia Górniczo – Hutnicza, Wydział Inżynierii Łądowej i Gospodarki Zasobami, al. Mickiewicza 30,
30-059 Kraków,
e-mail: andrus@agh.edu.pl

KGHM Polska Miedź S.A. należy do jednego z największych producentów srebra i miedzi na świecie. Polskie zasoby miedzi, należące do jednych z największych na świecie, są eksploatowane przez trzy podziemne kopalnie: „Lubin”, „Polkowice-Sieroszowice” i „Rudna”. Ponadto kopalnia „Polkowice-Sieroszowice” od 1991 r. prowadzi roboty górnicze w obrębie złoża solnego, które zalega kilkadziesiąt metrów powyżej złoża rud miedzi. W oddziale G-55 (oddział wydobywczy soli kamienniej) oprócz robót eksploatacyjnych wykonywane są również przekopy wentylacyjne w celach przewietrzania kopalni oraz rozcięcia złoża. W 2016 r. rozpoczęto realizację projektu odprowadzania zużytego i gorącego powietrza przez złożę soli z oddziałów wydobywających rudę miedzi, do szybu wydechowego SG-2. Wcześniej wykonano szybk łączący złożę rudy miedzi ze znajdującym się nad nim pokładem soli – przekopy Ps-10 i Ps-11. Jednym z elementów projektu odprowadzania zużytego powietrza przez wyrobiska solne była zabudowa przepustu wentylacyjnego separującego. Projekt przepustu z blachy falistej o przekroju otwartym MultiPlate MP200 jest pierwszą tego typu konstrukcją wykonaną w podziemnych wyrobiskach górniczych. W referacie opisano modelowanie numeryczne, którego celem było obliczenie przemieszczeń konturu przepustu. Podjęto dodatkowo próbę ustalenia nośności badanej konstrukcji, wraz ze sprawdzeniem jej stanu w sytuacji znacznych i udokumentowanych deformacji górotworu solnego. Wykonane analizy mogą być również przydatne w trwającej dyskusji na temat rzeczywistej nośności konstrukcji podatnych, ich ciągliwości i trwałości.

Słowa kluczowe: przepust z blachy falistej, nośność konstrukcji przepustu, analiza numeryczna

KGHM Polska Miedź S.A. belongs to one of the largest producers of silver and copper in the world. Polish copper resources, one of the largest in the world, are mined by three underground mines: "Lubin", "Polkowice-

Sieroszewice" and "Rudna". In addition, since 1991, the Polkowice-Sieroszewice mine has been mining within the salt deposit, which lies several dozen meters above the copper ore deposit. In the G-55 division (rock salt mining division), apart from exploitation works, ventilation cuts are also made for the purpose of ventilating the mine and cutting the deposit. In 2016, a project was launched to discharge used and hot air through a salt deposit from copper ore mining units to the SG-2 exhaust shaft. Earlier, a shaft was made connecting the copper ore deposit with the salt seam above it - the Ps-10 and Ps-11 ditches. One of the elements of the used air discharge project through the salt workings was the installation of a separating ventilation culvert. The MultiPlate MP200 open-section corrugated sheet culvert is the first of its kind to be constructed in underground mine workings. The paper describes numerical modeling, the purpose of which was to calculate the displacements of the culvert contour. Additionally, an attempt was made to determine the bearing capacity of the tested structure, along with checking its condition in the event of significant and documented deformation of the salt rock mass. The performed analyzes may also be useful in the ongoing discussion on the real load capacity of flexible structures, their ductility and durability.

Key words: *corrugated sheet culvert, load capacity of the culvert structure, numerical analysis*

XXV Międzynarodowe Sympozjum Solne International Salt Symposium



Streszczenia posterów *Abstracts of posters*

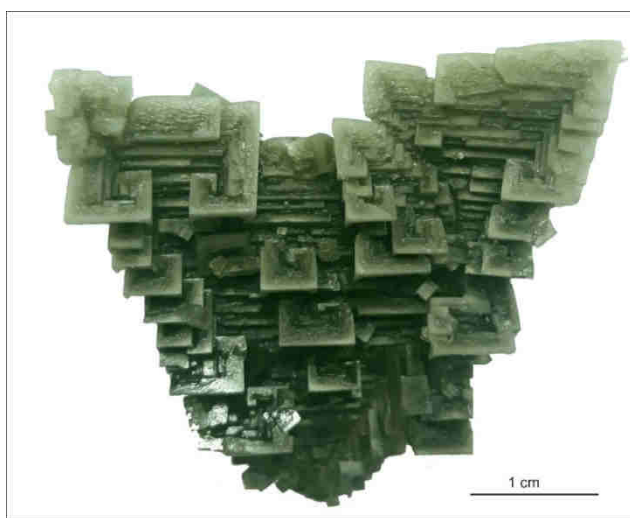
HALIT W POZIOMIE EKSPLOATACYJNYM ZŁÓŻ RUD MIEDZI NA MONOKLINIE PRZEDSUDECKIEJ– PRZYKŁAD WSPÓŁCZESNEJ MINERALIZACJI CHLORKOWEJ

HALITE IN MINE DRIFTS IN COPPER ORE DEPOSITS OVER THE FORE-SUDETIC HOMOCLINE: AN EXAMPLE OF MODERN CHLORIDE MINERALIZATION

Mateusz ŚWIERK¹, Stanisław BURLIGA²

^{1,2} Uniwersytet Wrocławski, Instytut Nauk Geologicznych, pl. M. Borna 9, 50-204 Wrocław,
e-mail: ¹mateusz.swierk@uwr.edu.pl; ²stanislaw.burliga@uwr.edu.pl

Eksploatacja złóż rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej umożliwia okresowy dopływ wód pozazłóżowych w obręb wyrobisk górniczych, inicjujący rozwój współczesnej mineralizacji. Miedziowa mineralizacja rudna występuje w skałach pogranicza czerwonego spagowca i cechsztynu, tj. w piaskowcach, łupkach ilastych i dolomitach. W dolomitach powyżej strefy mineralizacji miedziowej występuje również mineralizacja cynkowo-ołowiowa (Banaś i in., 1985), natomiast powyżej dolomitów zalegają warstwy anhydrytów, ponad którymi na części obszaru monokliny występują sole kamienne cechsztyńskiego cyklu PZ1. Takie zróżnicowanie petrograficzne serii nadzłożowej wpływa na chemizm wód kopalnianych (Becker i in., 2007), szczególnie w obszarze występowania soli kamiennych. W pracy przedstawiono wyniki szczegółowych badań mineralogicznych halitu krystalizującego w wyrobiskach górniczych w kopalni ZG Polkowice–Sierszowice podczas dopływu solanek aktywnego w roku 2016. Analizie poddano kilkanaście okazów z kolekcji Muzeum Geologicznego im. Henryka Teisseyre Uniwersytetu Wrocławskiego.



Ryc. 1. Halit szkieletowy z wyrobisk górniczych kopalni ZG Polkowice–Sierszowice. Kolekcja Muzeum Geologicznego Uniwersytetu Wrocławskiego.

Fig. 1. *Skeletal halite from the copper mine drifts on the Fore-Sudetic Homocline. Collection of the Geological Museum of University of Wrocław.*

W wyrobisku górniczym usytuowanym w północnej części ZG Polkowice-Sierszowice w roku 2016 wystąpił okresowy wypływ solanek chlorkowo-sodowych, który doprowadził do

rozwoju bogatej halitowej szaty naciekowej na stropie, ociosach i spagu wyrobiska górniczego. Spektakularne formy stalaktytów, stalagmitów, stalagnatów i pól zbudowane były w znacznej mierze z wielokrotnych zrostów kryształów szkieletowych halitu (Ryc. 1). Ich wyjątkowość wynikała również z barwnego zróżnicowania halitu, tj. występowania odmian o odcieniach białych, zielonawychi brązowych, wskazujących na obecność domieszek innych minerałów. Celem podjętych badań była identyfikacja domieszek wpływających na zieloną barwę halitu. Próbkimineralne analizowano przy użyciu skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM) wyposażonego w detektory dyspersji elektronów wtórnych i wstecznie rozproszonych (SE i BSE) i spektrometr dyspersji energii (EDS), spektrometru Ramana oraz dyfraktometru rentgenowskiego.

Analizy przy pomocy SEM i spektrometru Ramana wykazały, że minerały obecne w zielonych halitach w postaci wrostków i narostów stanowią głównie odmiany polimorficzne chlorków Cu z grupy atacamitu ($\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$): atacamit, bottalackit oraz klinoatacamit. Analiza SEM wykazała także obecność chlorku Cu i Zn, który metodą dyfraktometryczną zidentyfikowano jako herbertsmithyt ($\text{Cu}_3\text{Zn}(\text{OH})_6\text{Cl}_2$). Analiza dyfraktometryczna sproszkowanych próbek wykazała ponadto obecność tolbachitu (CuCl_2) i eriochalcytu ($\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Wymienione minerały wykazują zabarwienie w różnych odcieniach zieleni i niebieskawych. Oprócz minerałów chlorkowych udokumentowano występowanie sferoidalnych skupień siarki rodzimej w kolorze żółtawym oraz bezbarwnych snopkowych agregatów gipsu ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

Uzyskane wyniki dowodzą, że zielone zabarwienie halitów krystalizujących w rejonie wypływu solanek w poziomie eksploatacji złóż rud miedziwownika w głównej mierze z obecności wrostków minerałów z grupy chlorków Cu o różnych odcieniach zieleni. Stwierdzona mineralizacja wskazuje ponadto, iż solanki chlorkowo-sodowe migrujące ze strefy nadłożowej ługowały skały nadkładu i wzbogaciły się w składniki minerałów rudnych z grupy siarczków Cu i Zn, w wyniku czego w wyrobisku równocześnie z halitem krystalizowały chlorki Cu i Zn oraz siarka rodzima. Badania implikują ponadto, iż możliwe są bardziej zróżnicowane naturalne środowiska krystalizacji niektórych minerałów z grupy chlorków Cu, niż opisane w literaturze, jak np. herbertsmithyt, który dotychczas znany był głównie z porfirowych złóż miedzi w Chile i Iranie oraz polimetalicznych złóż Zn-Pb w Iranie (Braithwaite i in., 2004). Konkluzję tę potwierdza także wcześniejsze stwierdzenie prawdopodobnej obecności tego minerału w złożu rud miedzi na obszarze ZG Rudna w strefie współczesnego wietrzenia okruszczonych piaskowców białego spągowca (Kruszewski i in., 2020).

PODZIĘKOWANIA

Autorzy dziękują Muzeum Geologicznemu im. Henryka Teisseyre Uniwersytetu Wrocławskiego za udostępnienie próbek do badań.

Słowa kluczowe: halit, minerały chlorkowe, złożo rud miedzi, monoklina przedsudecka

The exploitation of copper ore deposits in the Fore-Sudetic Homocline (FSH) enables a periodic water infiltration from outside the deposits into the mine workings, initiating the development of modern mineralization. Copper ore mineralization occurs in the border zone of the Rotliegendes and Zechstein, i.e. in sandstones, shales and dolostones. Zinc-lead mineralization also occurs in the dolomites above the copper mineralization zone (Banaś et al., 1985), while above the dolostones there are layers of anhydrite overlain, over a part of the FSH, by rock salts of the Zechstein PZ1 cycle. Such petrographic diversity of the supra-deposit series influences the chemistry of mine waters (Becker et al., 2007), especially in the area of rock salt

occurrence. The paper presents the results of detailed mineralogical studies of halite which crystallized in mining drifts in the ZG Polkowice–Sieroszowice mine during the inflow of brines, active in 2016. Over dozen mineral specimens from the collection of the Henryk Teisseyre Geological Museum of the University of Wrocław were analysed.

In 2016, in the mining drifts located in the northern part of the ZG Polkowice-Sieroszowice mine, there was a periodic outflow of sodium-chloride brines, which led to the development of rich halite dripstones on the roof, side walls and floor of a mining drift. Spectacular forms of stalactites, stalagmites, stalagnates and flowstones were largely made of multiple arrays of skeletal crystals of halite (Fig. 1). Their uniqueness was also due to variation in colour of the halite, i.e. the presence of varieties with shades of white, greenish and brownish, indicating the presence of admixtures of other minerals. The aim of the research was to identify the mineral admixtures influencing the green colour of halite. Mineral samples were analysed using a scanning electron microscope (SEM) coupled with SE and BSE detectors and EDS spectrometer, a Raman spectrometer and an X-ray diffractometer (XRD).

Analyses with the use of SEM and Raman spectrometer showed that minerals incorporated in the green halites in forms of inclusions and overgrowths are represented mainly by polymorphs of Cu-chlorides from the atacamite group ($\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$): atacamite, bottalackite and clinoatacamite. The SEM analysis also revealed the presence of Cu- and Zn- chloride, which was identified using XRD as herbertsmithite ($\text{Cu}_3\text{Zn}(\text{OH})_6\text{Cl}_2$). XRD analysis of powdered samples also revealed the presence of tolbachite (CuCl_2) and eriochalcite ($\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). All the mentioned minerals are coloured in various shades of green and bluish. Apart from chloride minerals, yellowish spheroidal sulphur and colourless bunch-shape aggregates ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) were documented.

The obtained results prove that the green colour of the halites which crystallized in the area of the brine outflow in the copper ore deposit mine workings is mainly due to the presence of Cu-chloride minerals of various shades of green. The identified mineralization also indicates that sodium chloride brines infiltrating from the above of the copper deposit leached the overburden rocks, being enriched in elements of ore minerals from the group of Cu- and Zn- sulphides. As a result, Cu- and Zn- chlorides, and native sulphur crystallized in the mine workings simultaneously with halite. The research also implies that more diverse natural environments for the crystallization of some minerals from the Cu chloride group than those described in the literature are possible, e.g. as in a case of herbertsmithite, which so far was known mainly from porphyry copper deposits in Chile and Iran, and polymetallic Zn-Pb deposits. in Iran (Braithwaite et al., 2004). This conclusion is also confirmed by the earlier finding of the probable presence of this mineral in the copper ore deposit in the ZG Rudna mine in the zone of modern weathering of Weissliegendes sandstones with copper ore mineralization (Kruszewski et al., 2020).

Key words: halite, chloride minerals, copper ore, Fore-Sudetic Homocline

LITERATURA/ REFERENCES

- BANAŚ M., KUCHA H., MAYER W., PIESTRZYŃSKI A., SALAMON W., 1985. Okruszcowanie ołowiem i cynkiem w złożach rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej. *Annales Societatis Geologorum Poloniae* 53 (1/4): 13-42.
- BECKER R., FISZER J., KALISZ M., 2007. Hydrogeologia. [W:] Piestrzyński A., Banaszak A., Zaleska-Kuczmiarczyk M. (red.), *Monografia KGHM Polska Miedź S.A.*, Cuprum, Lubin: 82–89.
- BRAITHWAITE R.S.W., MEREITER K., PAAR W.H., CLARK, A.M., 2004. Herbertsmithite, $\text{Cu}_3\text{Zn}(\text{OH})_6\text{Cl}_2$, a new species, and the definition of paratacamite. *Mineralogical Magazine* 68 (3): 527-539. /dx.doi.org/10.1180/0026461046830204

- FILIPPI M., BRUTHANS J., PALATINUS L., ZARE M., & ASADI N., 2011. Secondary halite deposits in the Iranian salt karst: general description and origin. *International Journal of Speleology*, 40 (2), 8. <http://dx.doi.org/10.5038/1827-806X.40.2.7>
- KRUSZEWSKI Ł., ŚWIERK M., SIUDA R., SZEŁĘG E., MARCINIAK-MALISZEWSKA B., 2020. Third Worldwide Occurrence of Juangodoyite, $\text{Na}_2\text{Cu}(\text{CO}_3)_2$, and Other Secondary Na, Cu, Mg, and Ca Minerals in the Fore-Sudetic Monocline (Lower Silesia, SW Poland). *Minerals* 10 (2): 190. <https://doi.org/10.3390/min10020190>

BADANIA MINERALOGICZNO-PETROGRAFICZNE I ŁUGOWNICZE PRÓB SOLI ZE ZŁOŻA SORKOL (KAZACHSTAN)

MINERALOGICAL-PETROGRAPHIC AND LEACHING TESTS OF ROCK SALT SAMPLES FROM THE SORKOL DEPOSIT (KAZAKHSTAN)

Justyna NOWIŃSKA-JARZĘBIŃSKA^{1,2}, Natalia WALCZAK-TORBA¹

¹Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Górnictwa Surowców Chemicznych "CHEMKOP" sp. z o.o., ul. J. Wybickiego 7,31-261 Kraków;

e-mail: justyna.nowinska@chemkop.pl, natalia.walczak-torba@chemkop.pl

²Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

Złoże soli kamiennej Sorkol znajduje się w południowo-wschodniej części Republiki Kazachstanu, w obwodzie żambylskim, którego stolicą jest miasto Taraz. Obwód żambylski jest podzielony na rejony, a omawiane złoże leży w obrębie rejonu Sarysu.

Klimat w tej części Kazachstanu można scharakteryzować, jako umiarkowany, lecz suchy, skrajnie kontynentalny, gdzie różnice temperatur w ciągu dnia i nocy są bardzo duże (Salnikov i inni, 2014). Takie warunki klimatyczne wpływają na wzmożoną ewaporację i postępujący proces pustynnienia, które prowadzą do okresowego zanikania jezior i powstawania lokalnych salin, które są powszechne, a sól jest eksploatowana z powierzchni (profil geologiczny w rejonie złoża Sorkol rozpoczyna się 40 cm soli, która jest podścielona ilem czerwonym wstępującym naprzemiennie z piaskowcami). Zazwyczaj barwa takich zbiorników jest seledynowo-zielonkawa, co wskazuje na obecność w solance dużej ilości jonów Fe²⁺. W większości przypadków są to płytkie, wysychające okresowo zbiorniki zasilane przez wysoko zmineralizowane wody (od 0,45–0,75 g/l przy wysokim stanie wody do 5,5 g/l) rzeki Sarysu (Сарысу) oraz lokalne dopływy (Pospelov, 2001). Rzeka Sarysu jest nazywa żółtą rzeką ze względu na dużą ilość transportowanego materiału terygenicznego, pochodzenia górskiego jak i pustynnego.

Geologicznie jest to obszar zasięgu basenu sedymentacyjnego Chu-Sarysu, który jest drugim, co do wielkości basenem sedymentacyjnym w Kazachstanie o przebiegu NW-SE, zajmującym powierzchnię 160 000 km², wykazującym cechy basenu przedgórskiego (Abuov i inni, 2020). Basen pogłębia się w kierunku masywu górskiego Karatau, a wypełniają go paleozoiczne osady o miąższości 5 km, które można podzielić na 3 sekwencje depozycyjne: lagunowe i marginalno-morskie warstwy solonośne famenu i wczesnego karbonu (500 - 800 m miąższości), węglonośne warstwy paraliczne i płytkomorskie wczesnego karbonu (500 - 2000 m miąższości) oraz aluwialno-jeziorne osady typu "red beds" środkowego karbonu do permu o miąższości 2,5 km., zawierające ponad 500 m permskich ewaporatów, które stanowią przedmiot niniejszych badań mineralogiczno-petrograficznych, chemicznych i ługowniczych (Bykadorov i inni, 2003).

Permska seria solonośna jest ulokowana od ok. 240 do ok. 520 m p.p.t. o łącznej miąższości ok. 280 m (zgodnie profilem geologicznym złoża). W skład tej serii wchodzi sól drobnokrystaliczna, czasem przechodząca w grubokrystaliczną, często z widocznymi przezroczystymi kryształami. Sól jest zbita, o barwie rdzawo-brunatnej, czasem brązowej i ciemnoszarej, w której można zaobserwować wkładki, przerosty i smugi, bądź rozproszone

fragmenty argilitu. Argilit jest tutaj opisywany, jako skała twarda, pelityczna, zwięzła, ale czasem spękana, o barwie ciemnoszarej do brunatnej i brązowej. Cała seria solna jest mocno zanieczyszczona argilem, który wpływa niekorzystnie na współczynniki lęgownia, a co za tym idzie zaburza cały ten proces. Dla skał serii solnej wykonano analizy chemiczne oraz mineralogiczno-petrograficzne, opisano makroskopowo dostarczone rdzenie oraz wykonano podstawowe badania lęgownicze, które pozwoliły określić szybkość lęgownia na płaszczyźnie bocznej i stropowej, gęstość soli oraz zawartość części nierozpuszczalnych. Bardzo ciekawym zjawiskiem zachodzącym w trakcie lęgownia prób soli było powstawanie zielonkawo-szarego koloidu, który wraz z upływem czasu zmieniała barwę na brunatno-rdzawą. Analizy chemiczne prób takiej zanieczyszczonej soli wykazały zwiększony udział tlenków żelaza.

Całość badań mineralogiczno-petrograficznych, chemicznych i lęgowniczych posłużyła autorom do porównania warunków sedymentacji pokładu soli w basenie przedgórskim, jakim jest Chu-Sarysu z dobrze nam znanymi solami miocenijskimi. Należy tutaj podkreślić, że nadrzędnym celem posteru jest zaprezentowanie soli powstających w trakcie ewaporacji słonego jeziora, w warunkach suchego klimatu kontynentalnego, które znacznie różnią się od soli spotykanych w Polsce.

The Sorkol rock salt deposit is located in the south-eastern part of the Republic of Kazakhstan, in the Zambyl Region, the capital of which is the city of Taraz. The Zambyl region is divided into regions, and the deposit is located in the Sarysu region.

The climate in this part of Kazakhstan can be characterized as moderate, but dry, extremely continental, where the temperature differences during the day and night is very large (Salnikov et al., 2014). Such climatic conditions contribute to the increased evaporation and the progressive process of desertification, which lead to the periodic disappearance of lakes and the formation of local salines which are common, and the salt is mined from the surface (the geological profile in the Sorkol deposit area begins with 40 cm of salt, which is lined with red ascending clay alternating with sandstones). Typically, the color of such lakes is aquamarine-greenish, which indicates the presence of a large amount of Fe^{2+} ions in the brine. In most cases, these are shallow, periodically drying reservoirs fed by highly mineralized waters (from 0.45–0.75 g / l at high water level to 5.5 g / l) of the Sarysu River (Сарысу) and by local waters (Pospelov, 2001). The river of Sarysu is locally called the yellow river due to the large amount of transported terrigenous material, mountain and desert origin.

Geologically, it is the area of the Chu-Sarysu sedimentary basin, which is the second largest sedimentary basin in Kazakhstan with the course of the NW-SE, covering an area of 160,000 km², which exhibits the features of a foredeep basin (Abuov et al., 2020). The basin deepens towards the Karatau mountain massif and is filled with 5 km of Palaeozoic sediments, which can be divided into 3 deposition sequences: lagoon and marginal-marine saline layers of Famennian and Early Carboniferous (500-800 m thick), carboniferous parallels and early Carboniferous shallow sea (500-2000 m thick) and alluvial and lake sediments type "red beds" of the Middle Carboniferous to Permian with a thickness of 2.5 km, containing over 500 m of Permian evaporites, which are the subject of this mineralogical-petrographic, chemical and leaching research (Bykadorov et al., 2003).

The subject of research is the Permian salt-bearing series, located from approx. 240 m to approx. 520 m below sea level - with a total thickness of about 280 m (according to the geological profile of the deposit). This series includes fine-crystalline salt, sometimes turning into coarse-crystalline with transparent salt crystals. The salt is compact, rusty-brown, sometimes brown and dark gray, in which inserts, overgrowths and streaks, or scattered fragments of argilite can often be seen. Argilite is described here as hard, pelitic, compact but sometimes cracked, dark gray to brown and brown in color. The entire salt series is heavily contaminated with argilite, which adversely affects the leaching rates and thus disrupts the entire leaching process. Chemical and mineralogical-petrographic analyzes were performed for the rocks of the salt series, the delivered cores were macroscopically described, and basic leaching tests were performed, which allowed to determine the rate of leaching on the horizontal and vertical planes, salt density and the content of insoluble particles. A very interesting

phenomenon that took place during the leaching of salt samples was the formation of a greenish-gray colloid, which changed its color to brown-rusty over time. Chemical analyzes of the tests showed an increased proportion of iron oxides.

The authors of the entire mineralogical-petrographic, chemical and leaching studies were used to compare the sedimentation conditions of the salt bed in the pre-mountain basin of Chu-Sarysu with the well-known Miocene salts. It should be emphasized here that the overriding aim of the poster is to present the salts formed during the evaporation of a salty lake in the conditions of a dry continental climate, which are significantly different from the salts found in Poland.

LITERATURA/BIBLIOGRAPHY:

- ABUOV Y., SEISENBAYEV N., LEE W.,(2020). CO2 storage potential in sedimentary basins of Kazakhstan, International Journal of Greenhouse Gas Control, 103.
- BYKADOROV V. A. BUSH V.A, FEDORENKO O.A., FILIPPOVA, I. B. MILETENKO , N.V., PUCHAKOV V.N., SMIRNOV A.V, UZHKENOV B.S., VOLOZH Y.A. (2003). Ordovician - Permian palaeogeography of Central Eurasia: Development of Palaeozoic petroleum-bearing basin. Journal of Petroleum Geology, 26(3).
- POSPELOV E. M., (2001). Географические названия мира:Топонимический словарь.
- SALNIKOV V. TURULINA G., POLYAKOVA S.,PETROVA, Y., SKAKOVA, A.,(2014). Climate change in Kazakhstan during the past 70 years.Quaternary International, 1-3.
- KOSOWSKI T., CHROMIK M., NOWIŃSKA J., WALCZAK N., GARDEŁA A., GIEREK M., WRONA P., 2020., Raport końcowy z badań geomechanicznych, ługowania oraz chemicznych dla skał solnych z otworu C-41.
- DANE od Inwestora - profil geologiczny, wyniki analiz chemicznych, rdzenie wiertnicze

MONITORING EKOLOGICZNY ZAGROŻEŃ GAZOWYCH DLA OBSZARÓW OBJĘTYCH DZIAŁALNOŚCIĄ GÓRNICZĄ ZWIĄZANĄ Z MAGAZYNOWANIEM MIESZANINY GAZU ZIEMNEGO, WODORU I BIO-METANU

ECOLOGICAL MONITORING OF GAS HAZARDS FOR AREAS COVERED BY MINING ACTIVITIES RELATED TO THE STORAGE OF A MIXTURE OF NATURAL GAS, HYDROGEN AND BIO-METHANE

Aleksandra BASIURA¹, Paulina CYRAN¹, Andrzej GARDEŁA¹, Małgorzata GIEREK^{1,2}

¹ Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Górnictwa Surowców Chemicznych „CHEMKOP” Sp. z o.o., ul. Józefa Wybickiego 7, 31-261 Kraków,
e-mail: aleksandra.basiura@chemkop.pl, paulina.cyran@chemkop.pl, andrzej.gardela@chemkop.pl,
malgorzata.gierek@chemkop.pl

² AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Energetyki i Paliw, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków,
e-mail: gierek@agh.edu.pl

Jednym z ważniejszych problemów występujących w procesie podziemnego magazynowania gazu ziemnego jest zapewnienie bezpiecznej eksploatacji tych obiektów. Praktyka światowa wykazuje, że podziemne magazynowanie węglowodorów w kawernach solnych należy do najbezpieczniejszych i jednocześnie najtańszych. Stosowane aktualnie technologie budowy podziemnych magazynów na wodór, gaz ziemny i ciekłe węglowodory gwarantują ich długotrwałą szczelność. Nie można jednak z całkowitą pewnością wykluczyć okoliczności, które mogą prowadzić do powstania chociażby nieznaczących nieszczelności podziemnego magazynu w czasie jego eksploatacji i związanej z tym migracji magazynowanych gazów do geosfery. Okresowe badania geochemiczne mają na celu odpowiednio wczesne zasygnalizowanie anomalii wskazujących na możliwość wystąpienia tego rodzaju awarii oraz podjęcie działań w celu wyjaśnienia jej przyczyn i likwidacji zagrożenia.

Słowa kluczowe: Gazy glebowe, bio-metan, wodór, paliwa, monitoring środowiska, ochrona środowiska

One of the most important problems in the process of underground natural gas storage is ensuring the safe operation of these facilities. World practice shows that the underground storage of hydrocarbons in salt caverns is one of the safest and, at the same time, the cheapest. The currently used technologies for the construction of hydrogen, natural gas and liquid hydrocarbon storage facilities guarantee their long-term tightness. However, it is not possible to exclude with 100% certainty the circumstances that may lead to even slight leaks in the underground storage during its operation and the related migration of stored gases to the geosphere. Periodic geochemical tests are intended to signal early anomalies indicating the possibility of this type of failure and to take action to explain its causes and eliminate the threat.

Key words: Soil gases, natural gases, bio-methane, hydrogen, fuels, environmental monitoring, environmental protection

WPLYW OBECNOŚCI RUR EKSPLOATACYJNYCH NA PARAMETRY GEOMETRYCZNE FALI ULTRADŹWIĘKOWEJ W POMIARACH ECHOMETRYCZNYCH KAWERN SOLNYCH

INFLUENCE OF THE PRESENCE OF PRODUCTION PIPES ON THE GEOMETRICAL PARAMETERS OF THE ULTRASONIC WAVE IN SONAR MEASUREMENTS OF SALT CAVERNS

Tomasz KUBACKA^{1,2}, Chau Dinh NGUYEN^{2*}

¹Ośrodek Badawczo Rozwojowy Górnictwa Surowców Chemicznych CHEMKOP Sp. z o.o.
ul. J. Wybickiego 7, 31-261 Kraków,
e-mail: tomasz.kubacka@chemkop.pl

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

Podczas wykonywania pomiarów echometrycznych kawern solnych, zarówno tych w trakcie ługowania, jak również przeznaczonych na magazynowanie substancji niezbędna jest wiedza na temat parametrów geometrycznych generowanej wiązki ultradźwiękowej w danych warunkach pomiarowych. Pozwala to na określenie odpowiedniego kroku pomiarowego oraz prawidłowe wysterowanie urządzenia pomiarowego, a co za tym idzie lepsze odwzorowanie mierzonej kawerny.

Sytuacja, w której sonda pomiarowa znajduje się wewnątrz stalowych rur eksploatacyjnych podczas wykonywania badań echometrycznych kawerny zazwyczaj nie jest pożądana. Przesłonięcie strefy pomiarowej przez rury wpływa negatywnie zarówno na zasięg pomiarowy jak również na parametry geometryczne generowanej fali ultradźwiękowej.

W celu zbadania wpływu metalowej przeszkody, jaką jest rura eksploatacyjna na parametry fali ultradźwiękowej generowanej przez przetwornik umieszczony w jej wnętrzu, autor przeprowadził odpowiednie badania symulacyjne za pomocą specjalistycznego oprogramowania komputerowego OnScale.

Zaprezentowane zostały wyniki badań, kiedy źródło sygnału znajduje się wewnątrz stalowej rury o różnych średnicach. W ramach prac badawczych przeanalizowano również przypadki, w których źródło sygnału ultradźwiękowego umieszczone jest w różnych odległościach od krawędzi wewnętrznej rury. W wyniku przeprowadzonych badań otrzymano przebiegi czasowe rejestrowanego sygnału po przejściu fali przez stalową przeszkodę. Wyznaczono również ich rozkład częstotliwościowy oraz zmiany pola ciśnienia w badanym modelu. Wykonano również przekroje rozwartości kątowej wiązki ultradźwiękowej za badaną przeszkodą, które również poddano analizie.

Wyniki symulacji wykazały, że średnica rury ma wpływ na parametry geometryczne generowanej wiązki fali ultradźwiękowej. Wraz ze zmniejszeniem średnicy rury następuje zwiększone ogniskowanie fali ultradźwiękowej, co powoduje rozproszenie fali w dalszych odległościach. Wpływa to negatywnie na rozdzielczość pomiarową oraz zmniejszenie zasięgu pomiarowego. Przeprowadzone badania wykazały również pomijalny wpływ odległości źródła fali od wewnętrznej krawędzi rury na zmianę kąta rozwarcia wiązki ultradźwiękowej oraz amplitudę rejestrowanego sygnału.

Słowa kluczowe: ultradźwięki, echosonda, kawerna, rury eksploatacyjne

During sonar measurements of salt caverns, both for leaching and intended for the storage of substances, it is necessary to know the geometrical parameters of the generated ultrasound beam in specific measurement conditions. This allows for the determination of the appropriate measuring step and settings to correct parameter of the measuring device, everything for a better representation of the measured cavity.

A situation where the test probe is inside production pipes when performing cavern sonar measurements is usually not desirable. Obscuring the measuring zone by pipes negatively affects both the measuring range and the geometrical parameters of the generated ultrasonic wave. In order to investigate the influence of the metal obstacle, which is the production pipe, on the parameters of the ultrasonic wave generated by the transducer placed inside it, the author conducted appropriate simulation tests using specialized computer software OnScale.

The results of tests are presented when the signal source is inside a production pipe of different diameters. As part of the research work, cases where the source of the ultrasonic signal is located at different distances from the inner edge of the pipe were also analyzed. As a result of the research, the time courses of the recorded signal were obtained after the wave passed through the steel obstacle. Their frequency distribution and changes in the pressure field in the tested model were also determined. Also, cross-sections of the angular width of the ultrasound beam behind the tested obstacle were made and it was also analyzed.

The simulation results showed that the pipe diameter influences the geometrical parameters of the generated ultrasonic wave beam. As the diameter of the tube decreases, the ultrasonic wave becomes more focused, which causes the wave to disperse over longer distances. This has a negative effect on the measurement resolution and reduces the measuring range. The conducted research also showed a slight influence of the distance of the wave source from the inner edge of the tube on the opening angle of the ultrasonic beam. The same applies to the amplitude of the recorded signal.

Keywords: *ultrasound, sonar, cavern, production pipes*

ANALIZA ROZWOJU STRUKTURY SOLNEJ GOLENIOWA (NW POLSKA) W MEZOZOIKU NA PODSTAWIE INTERPRETACJI DANYCH GEOLOGICZNYCH I GEOFIZYCZNYCH

ANALYSIS OF THE EVOLUTION OF THE GOLENIÓW SALT STRUCTURE (NW POLAND) IN THE MESOZOIC BASED ON INTERPRETATION OF GEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL DATA

Łukasz GRZYBOWSKI¹, Piotr KRZYWIEC²

¹ Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Instytut Geologii
e-mail: lukasz.grzybowski@amu.edu.pl

² Instytut Nauk Geologicznych Polskiej Akademii Nauk w Warszawie
e-mail: piotr.krzywiec@twarda.pan.pl

Struktura solna Goleniowa (SSG) zlokalizowana jest w NW części basenu polskiego, który stanowi fragment systemu epikontynentalnych basenów osadowych zachodniej i centralnej Europy. Jego osiowa część (tzw. bruzda śródpolska) w trakcie swego rozwoju w permie i mezozoiku została wypełniona osadami o miąższości kilku kilometrów, głównie klastykami i węglanami a także cechsztyńskimi ewaporatami, które występują w spągu pokrywy osadowej. W późnej kredzie-paleogenie basen polski uległ całkowitej inwersji. Obecność warstwy ewaporatów o dużej miąższości spowodowała powstanie zróżnicowanych struktur solnych. W rejonie pomorskim, na NW skłonie bruzdy śródpolskiej stwierdzono występowanie licznych struktur solnych w tym wysadów solnych oraz struktur pokrewnych. Jedną z nich jest struktura solna Goleniowa o przebiegu NNW-SSE i długości dłuższej osi ok. 25 km. Interpretacja gęstej siatki profili sejsmicznych 2D umożliwiła analizę jej zmienności przestrzennej i głównych faz rozwojowych.

NNW część struktury Goleniowa tworzy dobrze rozwinięty diapir solny (mur solny). Jego rozwój zapoczątkowany został w późnym triasie kiedy to regionalna ekstensja spowodowała utworzenie asymetrycznego diapiru reaktywnego. Po fazie aktywnego wzrostu, która miała miejsce na przelomie późnego triasu i wczesnej jury wysad kontynuował swój wzrost jako diapir pasywny w ekstensyjnym polu naprężeń. W środkowej i późnej jurze następował stopniowy zanik dopływu soli z warstwy źródłowej co w efekcie doprowadziło do całkowitego pogrzebienia diapiru. Dalsza ekstensja spowodowała zapadanie się ciała solnego. We wczesnej kredzie w warunkach lokalnej ekstensji doszło do powstania półrowu zlokalizowanego wzdłuż biegu struktury solnej w którym doszło do nagromadzenia osadów dolnokredowych o zwiększonej miąższości. W późnej kredzie w trakcie inwersji basenu polskiego diapir został kompresyjnie reaktywowany, o czym świadczy obecność osadów synkinematycznych na jego flankach. W efekcie tej reaktywacji nadkład diapiru został silnie uniesiony a strop soli był rozpuszczany przez wody podziemne co spowodowało powstanie niecki subrozynnej wypełnionej osadami kenozoiku o znacznie zwiększonej miąższości. Styl strukturalny SSG znacząco zmienia się w kierunku SSE, gdzie na skutek mniejszej ilości soli nie doszło do powstania wysadu solnego. W tym rejonie stwierdzono występowanie skomplikowanej strefy naskórkowych deformacji powiązanych z powierzchnią odklucia w obrębie warstw cechsztyńskich ewaporatów. W pierwszym, ekstensyjnym etapie rozwoju w późnym triasie i jurze rozwijał się tu zespół naskórkowych półrowów, który następnie został poddany kompresji w trakcie inwersji basenu co spowodowało deformacje o charakterze fałdowo-nasunięciowym w obrębie pokrywy mezozoicznej.

The Goleniów salt structure (GSS) is located in the NW part of the Polish Basin which belongs to a system of Permian-Mesozoic epicontinental sedimentary basins of the Western and Central Europe. Its axial part (so called Mid-Polish Trough – MPT) was filled with several kilometres of sediments, mainly siliciclastic and carbonates and with Zechstein (Upper Permian) evaporites at its base. The Polish Basin was fully inverted in Late Cretaceous-Paleogene. The presence of thick layer of evaporites led to formation of diverse salt structures. The study area is located within the NW flank of the MPT (Pomeranian region), characterized by presence of numerous salt and salt-related structures. One of them, the NNW-SSE oriented Goleniów structure, extends for over 25 km. Interpretation of dense array of 2D seismic reflection profiles allowed for the assessment its spatial variability and main evolutionary stages.

NNW part of the Goleniów structure is formed by a well-developed salt diapir (salt wall). Its evolution started in Late Triassic when regional extension triggered formation of the asymmetric reactive diapir. After Late Triassic-Early Jurassic active growth, diapir continued its development as a passive diapir due to a regional extensional tectonic regime. In Middle and Late Jurassic, insufficient amount of salt in the source layer led to diapir burial. Further extension caused diapir to fall. This resulted in Early Cretaceous localised extension and formation of a half-graben along strike the salt structure filled with Lower Cretaceous sediments of locally increased thickness. The Goleniów structure was significantly re-shaped during the Late Cretaceous inversion of the Polish Basin. It was rejuvenated and started to grow which led to roof uplift followed by its partial erosion. This progressive compression-related Late Cretaceous growth is very well documented by growth strata preserved above the diapir. Finally, after completion of inversion of the Polish Basin, salt crest reached the Cenozoic groundwater active circulation zone which caused its dissolution and, eventually, development of the dissolution-collapse trough filled with Cenozoic sediments with increased thickness. The style of the deformation changes along strike toward the SSE where, due to smaller amount of evaporites, salt diapir did not form and was replaced by a complex zone of thin-skinned deformation detached within the Zechstein evaporites. First, thin-skinned series of half-grabens was formed during Late Triassic-Jurassic extensional phase. It was then compressionaly deformed during basin inversion and this led to complex thin-skinned folding and thrusting within the Mesozoic section.

XXV Międzynarodowe Sympozjum Solne International Salt Symposium



Firmy i instytucje
Companies and institutions

XXV Międzynarodowe Sympozjum Solne International Salt Symposium



1	Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
2	CFT Polska Sp. z o.o.
3	CIECH Soda Polska S.A.
4	DEEP.KBB GmbH
5	Fundacja "Polska Sól"
6	Gas Storage Poland sp. z o.o.
7	GWE POL-BUD Sp. z o.o.
8	Instytut Mechaniki Górotworu Polskiej Akademii Nauk
9	K+S Polska Sp. z o.o.
10	KGHM Metraco S.A.
11	KGHM Polska Miedź S.A.
12	Kopalnia Soli "Kłodawa" S.A.
13	Kopalnia Soli "Wieliczka" S.A.
14	Kukialka Consulting Ltd.
15	K-UTECH AG Salt Technologies Am
16	Okręgowy Urząd Górniczy w Krakowie
17	Okręgowy Urząd Górniczy w Poznaniu
18	OPG GAZ-SYSTEM
19	Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Górnictwa Surowców Chemicznych "CHEMKOP" Sp. z o.o.
20	Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy
21	PBM "TOLOS" Piotr Walczak i wspólnicy sp.k.
22	PGNiG S.A. Oddział Geologii i Eksploatacji w Warszawie
23	Polskie Stowarzyszenie Geologów Górniczych
24	Polskie Stowarzyszenie Górnictwa Solnego
25	Przedsiębiorstwo Badawczo-Wdrożeniowe "HYDRO-POMP" Sp. z o.o.
26	Ubroservice

XXV Międzynarodowe Sympozjum Solne International Salt Symposium



27	Uniwersytet Wrocławski
28	UOS Drilling S.A.
29	Uponor Infra Sp. z o.o.
30	Wyższy Urząd Górniczy - Katowice
31	ZG Polkowice - Sieroszowice

XXV Międzynarodowe Sympozjum Solne International Salt Symposium