

XXVI Międzynarodowe Sympozjum Solne International Salt Symposium



QUO VADIS SAL

30
LAT
POLSKIEGO STOWARZYSZENIA
GÓRNICTWA SOLNEGO

KRAKÓW, 21.09 - 25.09.2022

Solnictwo w świetle nowych wyzwań geopolitycznych i klimatycznych
Salt Industry in the Light of the New Geopolitical and Climatic Challenges

XXVI Międzynarodowe Sympozjum Solne International Salt Symposium



Zakres tematyczny/ *Symposium Topics* :

- Sól a bezpieczeństwo energetyczne – magazyny kawernowe węglowodorów: stan obecny i plany rozbudowy / *Salt and energy security: cavern storage facilities for hydrocarbons: present condition and plans for future development.*
- Zielona energia – magazyny kawernowe w soli jako akumulatory energii (wodór, powietrze) / *Green energy: storage facilities in salt caverns as accumulators of energy (hydrogen and air).*
- Sól a energetyka jądrowa: bezpieczne składowiska odpadów – plany i realia / *Salt and nuclear energy: safe storage of waste – reality and planning.*
- Sole potasowo-magnezowe – światowy i krajowy potencjał oraz nowe możliwości importu / *Potassium-magnesium salts: national and global resources, with new directions of importation.*
- Klasyczne i nowoczesne techniki badań złóż soli / *Classical and modern salt-deposit research methods.*
- Zagrożenia geologiczno-górnictwa i środowiskowe przy eksploatacji złóż soli / *Geological, mining, and environmental hazards accompanying salt extraction.*
- Gospodarka solą w Polsce i na świecie – produkcja, dystrybucja, import, eksport / *Salt business management in Poland and abroad: production, distribution, import, and export.*
- Podziemne kopalnie soli świadectwem tradycji solnictwa w Polsce i na świecie / *Underground salt mines as testimonies of salt mining traditions in Poland and abroad.*

XXVI Międzynarodowe Sympozjum Solne International Salt Symposium



Organizatorzy/ *The Organizers*



Polskie Stowarzyszenie Górnictwa
Solnego

Partnerzy/ *The Partners*



Akademia Górniczo-Hutnicza
im. Stanisława Staszica w Krakowie



Kopalnia Soli "Kłodawa" S.A.



Kopalnia Soli „Wieliczka” S.A.

uponor

Uponor Sp. z o.o.



KGHM Polska Miedź S.A.

KGHM METRACO

KGHM Metraco S.A.

Wydarzenie objęte honorowym patronatem
Ministerstwa Aktywów Państwowych

XXVI 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

Komitet Organizacyjny/ *Organizing Committee*

Jacek Wachowiak - Geosalt

Justyna Nowińska-Jarzębińska

Natalia Walczak-Torba

Grażyna Meisel– IGSMiE PAN, Kraków

Redakcja tomu konferencyjnego/ *Editors*

Natalia Walczak-Torba

Agnieszka Biajgo

Justyna Nowińska-Jarzębińska

PROGRAM SYMPOZJUM
SYMPOSIUM PROGRAMME

Środa, 21.09.2022
Wednesday, 21.09.2022

18:00 - 19:00	Rejestracja uczestników Sympozjum w Hotelu Qubus w Krakowie <i>Registration of the Symposium participants in Qubus Hotel</i>
19:00 - 24:00	Ice Breaking Party – Spotkania indywidualne <i>Ice Breaking Party – private meetings</i>

Czwartek, 22.09.2022
Thursday, 22.09.2022

7:45 – 8:30	Dla osób zakwaterowanych w Hotelu Qubus przejazd autokarem na AGH <i>For people staying at Qubus Hotel, coach transport to AGH</i>
8:30 – 9:00	Rejestracja uczestników w AGH w Krakowie <i>Registration of the Symposium participants at the AGH Auditorium in Cracow</i>
9:00 – 9:15	Powitanie Gości w Auli Głównej AGH przez J.M Rektora AGH i Prezesa Polskiego Stowarzyszenia Górnictwa Solnego <i>Welcoming Addresses by His Magnificence the Rector of AGH an the PSGS President at the AGH Auditorium</i>
9:15 – 12:00	Uroczystości z okazji 30-lecia PSGS – odczyty, referaty, odznaczenia <i>PSGS Anniversary: papers, presentations and recognitions</i>
12:00 – 13:00	Przejazd autokarem do hotelu Qubus <i>Transfer to the Qubus Hotel by coach</i>
13:00 – 14:20	Obiad w Hotelu Qubus <i>Lunch at the Qubus Hotel</i>

14:20 - 16:00 - I SESJA REFERATOWA

1st PAPER SESSION

Sól a bezpieczeństwo energetyczne – magazyny kawernowe węglowodorów: stan obecny
i plany rozbudowy

*Salt and energy security: cavern storage facilities for hydrocarbons: present condition and plans for future
development*

Zielona energia – magazyny kawernowe w soli jako akumulatory energii (wodór, powietrze)

Green energy: storage facilities in salt caverns as accumulators of energy (hydrogen and air)

14:20 - 14:40	CZAPOWSKI GRZEGORZ. Lokalizacja kavern magazynowych w Polsce – stare i nowe opcje <i>Selection of sites for underground storage facilities, within the salt deposits in Poland: previous and new proposals</i>	15
14:40 - 15:00	LANKOF LESZEK, TARKOWSKI RADOSŁAW. Potencjał magazynowania wodoru w permjskich złożach soli kamiennej w Polsce <i>Hydrogen storage potential in Permian rock salts in Poland</i>	16
15:00 - 15:20	TOMASZCZYK MARTA, ADAMUSZEK MARTA, CZAPOWSKI GRZEGORZ. Analiza morfologii i wewnętrznego zróżnicowania litologicznego pokładu soli kamiennej Na1 w rejonie wyniesienia Łeby na potrzeby podziemnego magazynowania wodoru <i>The morphology and internal lithological differentiation of the Na1 rock salt deposit in the Łeba elevation area for underground hydrogen storage.</i>	17
15:20 - 15:40	NOWINKA JAROSŁAW, HAMILTON KIRK. Wyzwania techniczne oraz szczelność otworu w trakcie podziemnego magazynowania wodoru w kavernach solnych <i>Technical challenges nad well integrity for underground hydrogen storage in salt caverns</i>	20
15:40 – 16:00	HIRSCH KERSTIN, SCHMIDT JENS-HOLGER. Wykorzystanie energii odnawialnej do procesu produkcji soli kamiennej <i>The use of renewable energy for salt production process</i>	26
16:00 - 16:20	Przerwa kawowa i sesja posterowa <i>Coffee break and Poster Session</i>	
16:20 - 18:00 - II SESJA REFERATOWA <i>IInd PAPER SESSION</i> Sole potasowo-magnezowe – światowy i krajowy potencjał oraz nowe możliwości importu <i>Potassium-magnesium salts: national and global resources, with new directions of importation</i>		
16:20 - 16:40	HODBOD MARTA, ZGLINICKI KAROL. Nowe kierunki dostaw soli potasowo-magnezowych do Polski <i>New supply directions of potassium and magnesium salts to Poland</i>	28
16:40 - 17:00	POBEREZHSKYI ANDRIY, HRYNIV SOFIA, KORIN STEPAN, STUPKA OKSANA. Sole potasowe podkarpacia ukraińskiego <i>Potash salts of Ukrainian Precarpathia</i>	36
17:00 - 17:20	SADOVYI YURIY V., GALAMAY ANATOLIY R., BUKOWSKI KRZYSZTOF. Problemy środowiskowe i społeczno-gospodarcze spowodowane działalnością odkrywki Dombrowski zakładu potasowo-magnezowego Kałusz oraz sposoby ich rozwiązania w kontekście odrodzenia przemysłu na podkarpaciu ukraińskim	38

	<i>Environmental and socio-economic problems caused by the activities of the Dombrowsky quarry in the Kalush potash-magnesium plant and ways to solve them in the context of the revival of the potash industry in the ukrainian forecarpathian</i>	
17:20 – 17:40	BEER MICHAEL, ŻYWIECKI M. MICHAŁ, GILCHRIST CHRIS. Przyszłość rynku soli potasowych w zmieniającym się świecie <i>Future of potash deposits market in changing World</i>	44
17:40 - 18:00	CAŁA MAREK, WAŁACH DANIEL, BLAJER MATEUSZ, STOPKOWICZ AGNIESZKA, KOLANO MALWINA, KOWALSKI MICHAŁ, CYRAN KATARZYNA, JAKÓBCZYK JOANNA. Zabezpieczenie ociosu północnego Kaplicy św. Kingi – studium przypadku <i>Protection of the northern wall of St. Kinga's chapel – case study</i>	-
18:00 – 18:30	Podsumowanie i zakończenie pierwszego dnia Sympozjum <i>Conclusions and the end of the first day o Symposium</i>	
19:00 - ...	Uroczysta biesiada górnicza w Hotelu Qubus <i>Solemn Miners' Dinner in Qubus Hotel</i>	

Piątek, 23.09.2022
Friday, 23.09.2022

10:00 - 11:20 - III SESJA REFERATOWA

IIIrd PAPER SESSION

Zagrożenia geologiczno-górnice i środowiskowe przy eksploatacji złóż soli

Geological, mining, and environmental hazards accompanying salt extraction

Podziemne kopalnie soli świadectwem tradycji solnictwa w Polsce i na świecie

Underground salt mines as testimonies of salt mining traditions in Poland and abroad

10:00 - 10:20	BIENIASZ JÓZEF, PIETRAS JAKUB, MARCOLA-SADOWSKA JOLANTA, KURDEK DAMIAN. Specyfika zaciskania wyrobisk komorowych w polach eksploatacji soli różowych kopalni soli „Kłodawa” <i>Specificity of clamping chamber in the pink salt exploitation fields in the „Kłodawa” salt mine</i>	53
10:20 - 10:40	KURDEK DAMIAN. Ocena możliwości wykorzystania skaningu laserowego do pomiarów konwergencji wyrobisk górniczych w Kopalni Soli „Kłodawa” S.A. <i>Assessment of the possibility of using laser scanning to measure the convergence of mine workings in the "Kłodawa" Salt Mine S.A.</i>	55
10:40 - 11:00	PILL PAWEŁ. Systemy polietylenowe jako bezpieczne i ekonomiczne rozwiązanie transportu wody i solanki <i>Polyethylene systems as safe and economic way od water nad brine transport</i>	-
11:00 – 11:20	KONIECZNY DAMIAN, WOLAŃSKA AGNIESZKA, ZIOBRO JAN. Rola mecenatu Kopalni Soli "Wieliczka" w kultywowaniu górniczych tradycji	58

	i promocji dziedzictwa (na przykładzie twórczości muzycznej i rzeźbiarskiej) <i>The role of patronage of the "Wieliczka" Salt Mine in cultivating mining traditions and promoting heritage on the example of musical and sculptural works</i>	
11:20 – 12:00	Przerwa kawowa i sesja posterowa <i>Coffee break and Poster Session</i>	
12:00 - 13:00 - IV SESJA REFERATOWA <i>IVth PAPER SESSION</i>		
12:00 - 12:20	PRZYBYŁO JERZY. Kopalnia soli „Wieliczka” w filmie <i>„Wieliczka” Salt Mine in a film</i>	62
12:20 - 12:40	KRZYWIEC PIOTR, ARNDT ALEKSANDRA. Sól i alchemia – Adam Schröter i jego poemat „Regni Poloniae salinarum Vieliciensium descriptio carmine elegiaco” oraz związki z Olbrachtem Łaskim <i>Salt and alchemy - Adam Schröter, his poem „Regni Poloniae salinarum Vieliciensium descriptio carmine elegiaco” and his ties with Olbracht Łaski</i>	70
12:40 – 13:00	WRZOSEK JOANNA, URBĄŃSKI PIOTR. 30 lat eksploatacji soli kamiennej O/ZG Polkowice-Sieroszowice KGHM Polska Miedź S.A. <i>30 years of salt department at O/ZG Polkowice-Sieroszowice KGHM Polska Miedź S.A.</i>	77
13:00 – 13:30	Dyskusja <i>Discussion</i>	
13:30 - 15:00	Obiad w Hotelu Qubus <i>Dinner in Qubus Hotel</i>	
15:00 - 18:00 - V SESJA REFERATOWA <i>Vth PAPER SESSION</i> Klasyczne i nowoczesne techniki badań złóż soli <i>Classical and modern salt-deposit research methods</i>		
15:00 - 15:20	KRZYWIEC PIOTR, BUKOWSKI KRZYSZTOF, ROWAN MARK G. Czy kopalnia soli Kłodawa znajduje się w wysadzie solnym Kłodawa? <i>Is „Kłodawa” salt mine located within the Kłodawa salt diapir?</i>	78
15:20 – 15:40	BURLIGA STANISŁAW. Litostratygrafia cechsztynu – problematyka dokumentowania budowy wewnętrznej wysadowych złóż soli w Polsce <i>Zechstein lithostratigraphy – challenges in documenting the internal structure of domal salt deposits in Poland</i>	82
15:40 - 16:00	KRZYWIEC PIOTR. O roli tektoniki podłoża w rozwoju cechsztyńskiego basenu ewaporatowego <i>On role of tectonics in development of the evaporatic zechstein basin in Poland</i>	84
16:00 – 16:20	BUKOWSKI KRZYSZTOF, KIERSNOWSKI HUBERT. Przykłady współczesnego diapiryzmu związanego z eokambryjską formacją solonośną Ara w Omanie – miejsce rekomendowane dla przyszłych badań Polskiego Stowarzyszenia Górnictwa Solnego <i>Examples of recent diapirism related to the eocambrian Ara salt formation in Oman – site recommended for future study by the Polish Salt Mining Association</i>	88

16:20 – 16:40	Przerwa kawowa i sesja posterowa <i>Coffee break and Poster Session</i>	
16:40 – 17:00	SŁOTWIŃSKI MICHAŁ, ADAMUSZEK MARTA. Wpływ uziarnienia soli kamiennych na tempo zaciskania się kawern solnych <i>Role of rock salt grainsize in cavern convergence</i>	93
17:00 – 17:20	TOBOŁA TOMASZ, CYRAN KATARZYNA, KAMIŃSKI PAWEŁ. Migracja inkluzji fluidalnych pod wpływem zmian naprężenia w próbkach soli kamiennej – wstępne wyniki <i>Fluid inclusions migration induced by stress changes in rock salt samples – preliminary results</i>	94
17:20 – 18:00	ADAMUSZEK MARTA, DĄBROWSKI MARCIN. Tonące anhydryty <i>Sinking anhydrite</i>	98
18:00 -18:30	Podsumowanie obrad i zakończenie Sympozjum <i>Conclusions and the end of the Symposium</i>	
19:00 - ...	Pożegnalna kolacja w Hotelu Qubus <i>Farewell Dinner in the Qubus Hotel</i>	

POSTERY

POSTERS

ŚWIERK MATEUSZ, BURLIGA STANISŁAW. Współczesna mineralizacja halogenkowa w kopalniach rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej <i>Modern halides mineralization in copper ore mines over the Fore-Sudetic Homocline, SW Poland</i>	101
NOWACKI ŁUKASZ, CHEŁMIŃSKI JACEK, SZYNKARUK EWA, CZAPOWSKI GRZEGORZ. Litostratygrafia i środowiska facjalne – wybrane aspekty problematyki modelowania 3D na przykładzie projektu „Modelowanie budowy geologicznej basenów sedymentacyjnych Polski – Etap II „Blok Gorzowa” <i>Litostratigraphy and facies – selected problems of 3D modeling: the case of project: „Geological modeling of sedimentary basins in Poland – phase II „Gorzów Block”</i>	106

Sobota, 24.09.2022
Saturday, 24.09.2022

Wycieczka terenowa do Kopalni Soli Kłodawa
Field Trip to the „Kłodawa” Salt Mine (potash and rock salt deposits)

8:00 - 12:00	Wyjazd autokarem spod hotelu Qubus <i>Departure from the Qubus Hotel to Kłodawa by coach</i>	
12:00 - 13:00	Zakwaterowanie w Hotelu na Zamku w Uniejowie <i>Check-in at the Uniejów Castle Hotel</i>	
13:00 – 18:00	Podziemna wycieczka do kopalni Kłodawa <i>Field Trip in the underground Salt Mine</i>	
18:00 – 19:00	Obiadokolacja w Domu Górnika w Kłodawie <i>Lunch/Dinner at the Miners’ House in Kłodawa</i>	
Ok. 19:00	Powrót do Hotelu, kąpiele w źródłach/basenach termalnych <i>Return to the Hotel. Spa and thermal pool entertainment</i>	

Niedziela, 25.09.2022
Sunday, 25.09.2022

Wycieczka terenowa do Kopalni Soli Kłodawa
Field Trip to the „Kłodawa” Salt Mine (potash and rock salt deposits)

8:00 - 9:00	Śniadanie w Hotelu na Zamku Uniejów <i>Breakfast at the Uniejów Castle Hotel</i>	
9:00 - 12:00	Zwiedzanie Kolegiaty Romańskiej w Tumie oraz Zakmu Diabła Boruty w Łęczycy <i>Excursion to the Romanesque Collegiate Church in Tum and/or the Boruta Devil’s Castle in Łęczycy</i>	
12:00 – 19:00	Powrót do Krakowa z przerwą na lunch <i>Return trip to Kraków, with a lunch break</i>	

XXVI Międzynarodowe Sympozjum Solne International Salt Symposium



Streszczenia referatów

Abstracts of oral presentations

w kolejności wystąpień

in order of presentation

LOKALIZACJA KAWERN MAGAZYNOWYCH W UTWORACH SOLNYCH W POLSCE – STARE I NOWE OPCJE

SELECTION OF SITES FOR UNDERGROUND STORAGE FACILITIES, WITHIN THE SALT DEPOSITS IN POLAND: PREVIOUS AND NEW PROPOSALS

Grzegorz CZAPOWSKI¹

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

Niepewna światowa sytuacja geopolityczna, niestabilne dostawy surowców energetycznych i wojna w Ukrainie zmusza do myślenia o zabezpieczeniu istniejących i przyszłych zapasów węglowodorów energetycznych (gaz, ropa naftowa) poprzez gromadzenie ich w podziemnych magazynach. Najbardziej efektywnymi (szybki i bez strat odbiór) magazynami są kawerny solne zaś Polska dysponuje wysokim potencjałem budowy takich magazynów w kompleksach soli kamiennych cechsztyny, występujących na 2/3 obszaru kraju. Potencjalne miejsca lokalizacji magazynów kawernowych występują w pokładowych wystąpieniach soli kamiennej w północnej Polsce (5 obszarów, 3 udokumentowane złoża soli i 18 pojedynczych otworów wiertniczych) i południowo-zachodniej części kraju (11 obszarów, jedno udokumentowane złożo soli i 9 pojedynczych otworów wiertniczych). Z kolei jako potencjalne lokalizacje wytypowano 7 struktur wysadowych występujących w regionie szczecińskim w NW Polsce, a na terenie Polski centralnej – 4 wysady. Pokłady i wysady solne, położone nad Bałtykiem mogą korzystać z wody morskiej do lugowania kawern i zrzucać wytworzoną solankę do otwartego morza. Niski stopień geotermiczny tych terenów sprzyja wydłużeniu czasu funkcjonowania kawern. Pozostałe wskazane obiekty muszą korzystać z ograniczonych zasobów wód powierzchniowych zaś solanka wymaga zutylizowania w istniejących lub zbudowanych warzelniach.

Słowa kluczowe: kawerny magazynowe, obszary potencjalne, sole kamienne, Polska

Unstable geopolitical situation and uncertain deliveries of energy hydrocarbons (gas and crude oil), as well as the war in Ukraine, force us to consider the options of the assurance of own current and future media reserves by storing media in the underground facilities. The most effective storage facilities are provided by salt caverns (with easy injection and extraction of media, without losses). Salt caverns are leached within the Zechstein rock salt formations, occurring on the 2/3 of the territory of Poland. Potential sites of future cavern storage facility placement have been identified within the rock salt seams occurring in northern Poland (5 areas, 3 documented salt deposits, and 18 boreholes) and south-western Poland (11 areas, a single documented salt deposit, and 9 boreholes). Other selected sites include 7 salt domes in the Szczecin region in NW Poland and 4 other ones in central Poland. During the construction of underground facilities close to the Baltic coast, sea water can be used for cavern leaching purposes, with brine dumping directly into the open sea. A low geothermal gradient of those areas will allow for long periods of facility operation. Facilities located on other geological sites will have to use leaching liquids collected from limited resources of surface waters, with brine to be utilised either in the existing or newly built salt-works.

Key words: *underground storage facilities, prospective sites, rock salts, Poland*

Referat opublikowany w formie artykułu w Przeglądzie Solnym 2021/2022

Full text published in *Salt Review 2021/2022*

POTENCJAŁ MAGAZYNOWY WODORU W PERMSKICH ZŁOŻACH SOLI KAMIENNEJ W POLSCE

HYDROGEN STORAGE POTENTIAL IN PERMIAN ROCK SALTS IN POLAND

Leszek LANKOF¹, Radosław TARKOWSKI²

¹ Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN;
e-mail: lankof@min-pan.krakow.pl

² Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN;
e-mail: tarkowski@min-pan.krakow.pl

W artykule przedstawiono wyniki oceny potencjału podziemnego magazynowania wodoru dla pokładowych i wysadowych permskich złóż soli kamiennej w Polsce. Przeprowadzono ją w oparciu o metodykę uwzględniającą uwarunkowania górniczo-geologiczne oraz specyficzne właściwości wodoru. Szczególną uwagę zwrócono na parametry, które będą wpływać na ocenę potencjału magazynowania wodoru w kawernach solnych ulokowanych w permskich pokładowych i wysadowych złożach soli w różnych częściach Polski. Zestawienie wyników oceny potencjału podziemnego magazynowania wodoru w złożach soli kamiennej z wynikami analiz zapotrzebowania na przestrzeń magazynową wskazują, że istniejący potencjał magazynowy wodoru w pokładowych wystąpieniach soli kamiennej i wysadach solnych kilkadziesiąt razy przewyższa zapotrzebowanie nawet w przypadku założenia systemów energetycznych opartych w przeważającej części na wodorze jako nośniku energii.

Słowa kluczowe: podziemne magazynowanie wodoru, kawerny solne, wysady solne, pokłady soli kamiennej, potencjał magazynowy

The article presents the results of the assessment of the underground hydrogen storage potential for Permian stratiform salt formations and salt domes in Poland. The research was carried out based on the methodology considering mining and geological conditions and specific properties of hydrogen. Particular attention was paid to the parameters that affect the assessment of the hydrogen storage potential in salt caverns in Permian stratiform rock salts and salt domes, depending on their location. Comparing the assessment results with the demand for storage space shows that the existing hydrogen storage potential in salt caverns in Poland is dozens of times higher than the demand, even in the case of energy systems based mainly on hydrogen as an energy carrier.

Keywords: *underground hydrogen storage (UHS), salt caverns, salt domes, stratiform formation, storage potential*

Referat opublikowany w formie artykułu w Przeglądzie Solnym 2021/2022

Full text published in Salt Review 2021/2022

ANALIZA MORFOLOGII I WEWNĘTRZNEGO ZRÓŻNICOWANIA LITOLOGICZNEGO POKŁADU SOLI KAMIENNEJ Na1 W REJONIE WYNIESIENIA ŁEBY NA POTRZEBY PODZIEMNEGO MAGAZYNOWANIA WODORU

THE MORPHOLOGY AND INTERNAL LITHOLOGICAL DIFFERENTIATION OF THE Na1 ROCK SALT DEPOSIT IN THE ŁEBA ELEVATION AREA FOR UNDERGROUND HYDROGEN STORAGE

Marta TOMASZCZYK¹, Marta ADAMUSZEK², Grzegorz CZAPOWSKI¹

¹ Państwowy Instytut Geologiczny-Państwowy Instytut Badawczy, Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa

e-mail: tomaszcyk.marta@gmail.com, grzegorz.czapowski@pgi.gov.pl

² Państwowy Instytut Geologiczny-Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Dolnośląski, Al. Jaworowa 19, 53-122 Wrocław

e-mail: marta.adamuszek@pgi.gov.pl

Globalne zmiany klimatu wymuszające obniżenie emisji CO₂, kryzys energetyczny w Europie wywołany wojną w Ukrainie przyspieszają poszukiwanie nowych, stabilnych i niskoemisyjnych źródeł energii. Technologie oparte na wodorze należą do jednych z najbardziej obiecujących źródeł tzw. zielonej energii, który może być wykorzystany w energetyce, transporcie i przemyśle chemicznym (EU report, 2020; Małachowska i in., 2022).

Podziemne magazynowanie wodoru jest uważane za najbardziej ekonomiczną i bezpieczną opcję jego wykorzystania na dużą skalę (Małachowska i in., 2022). Kawerny, w których magazynowany może być wódor charakteryzują mniejsze, niż w przypadku innych gazów, np. gazu ziemnego, wymagania pod kątem ich kształtu, wysokości i objętości (Chromik, 2016). Pozwala to na ich budowanie w obrębie pokładowych wystąpień soli kamiennych, których miąższość w przypadku soli cechsztyńskich w Polsce nie przekracza zazwyczaj 100-200 metrów (Czapowski, 2019). Zaletą pokładów solnych, w porównaniu do wysadów solnych, jest ich prosta budowa geologiczna, ułatwiająca ługowanie większej liczby kawern. Jedną z lokalizacji wymienianych pod kątem budowania magazynów wodoru w pokładowych złożach soli jest rejon wyniesienia Łeby (Czapowski, 2019; Małachowska i in., 2022). Jego zaletą jest położenie w obrębie stabilnej platformy wschodnioeuropejskiej. Charakter depozycji i rozmieszczenie utworów cechsztynu jest tam zdeterminowane głównie czynnikami facjalnymi, w niewielkim stopniu kontrolowanymi przez tektonikę synelementacyjną (Czapowski, 1998). Z dala od strefy krawędziowej kratonu wschodnioeuropejskiego nie występują strefy tektoniczne rozcinające pokłady soli, która nie tworzy tu struktur halokinetycznych (Jarosiński, 2009). Obszar wyniesienia Łeby wyróżnia również, zwłaszcza we wschodniej części, bardzo szczegółowe rozpoznanie cechsztynu licznymi otworami badawczymi.

Wyniesieniem Łeby określa się obszar położony w strefie brzeżnej platformy wschodnioeuropejskiej na północno-zachodnim skłonie syneklizy perybałtyckiej (Czapowski, 1998). W zachodniej części skłon unosi się przechodząc w elewację utworów starszego mezozoiku, definiującą samo wyniesienie Łeby (op.cit.). Powierzchnia strukturalna spągu utworów cechsztynu wykazuje jednostajne, regionalne nachylenie ku SE (lokalnie SSE), zgodne z układem strukturalnym podłoża prekambryjsko-paleozoicznego. Utwory cechsztynu zapadają pod kątem nie przekraczającym 10°. Miąższość zachowanych utworów cechsztynu na wyniesieniu Łeby jest zróżnicowana i wynosi od ok. 160 do ponad 330 m. W profilu cechsztynu

występują tu trzy cyklotemy PZ1, PZ2, PZ3. Najpełniej na omawianym obszarze rozwinęły się utwory cyklotemu PZ1, które reprezentowane są przez fację siarczanowo-chlorkową, rzadziej chlorkowo-siarczanową (Czapowski, 1998). Utwory najstarszej soli kamiennej Na1 występują na prawie całym obszarze wyniesienia Łeby. Tworzy ona bardzo zróżnicowany kompleks o miąższości od kilku do ponad 200 m głębokości.

Opracowano dotychczas 2 szczegółowe modele strukturalno-parametryczne pokładu soli Na1 w rejonie wyniesienia Łeby. Pierwszy objął swoim zasięgiem obszar Mechelinki, gdzie aktualnie znajduje się działający magazyn gazu (Chelmiński i in., 2006, Czapowski i in., 2007, Tomaszczyk i in., 2007). Drugi model objął większy rejon wyniesienia Łeby, od rejonu Łeby do Zatoki Puckiej (Urbańczyk i in., 2011). Obydwa modele w momencie ich wykonywania prezentowały najbardziej aktualny stan wiedzy. Ich ograniczenie wynikało z uwzględniania wyłącznie niejednorodnie rozmieszczonych danych otworowych. Również metodyka wykonywania modeli 3D znacząco rozwinęła się w ostatnich kilkunastu latach. Stąd ponowne wykonanie modelu, który uwzględnia również dane sejsmiczne i nowe podejście do samego modelowania jest jak najbardziej uzasadnione.

Elementy budowy geologicznej, które z punktu widzenia lokalizowania magazynów wodoru i projektowania kawern mają istotne znaczenie to nachylenie spągu cechsztynu, które determinuje nachylenie całego kompleksu, głębokość spągu cechsztynu oraz poszczególnych facji w obrębie cyklotemu PZ1, miąższość soli Na1 oraz tzw. „czystość” soli Na1, czyli zawartość siarczanów oraz materiału terygenicznego. Elementy te zostały uwzględnione w modelu bądź jako poszczególne powierzchnie bądź już jako parametry w obrębie gridu 3D. Do konstrukcji modelu wykorzystano dane ze 131 otworów wiertniczych, w tym profile geologiczne, dane geofizyczne i dostępne interpretacje. Dane sejsmiczne pochodzą ze zdjęcia sejsmicznego Łeba-Żarnowiec wykonanego w latach 90-tych przez Geofizykę Toruń na zlecenie PGNiG S.A. Obejmuje ono 81 linii sejsmicznych o orientacji E-W i N-S o łącznej długości ponad 840 km.

Wykonany model 3D dzięki wykorzystaniu danych sejsmicznych pozwolił na uszczegółowienie obrazu budowy geologicznej w rejonie wyniesienia Łeby. Prezentowany obraz nie zmienia zasadniczo interpretacji geologii cechsztynu, a przede wszystkim pozwolił na dokładniejszą interpretację geometrii oraz układu przestrzennego wałów anhydrytowych i panwi solnych w poziomie PZ1. Tym samym pozwolił uszczegółwić obraz zmienności chemicznej soli. Powyższe elementy mają kluczowe znaczenie dla zarówno szczegółowego wyboru lokalizacji przyszłych magazynów wodoru jak również w projektowaniu ich geometrii.

Prezentowane prace zostały wykonane ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.

Dane sejsmiczne wykorzystane w projekcie zostały udostępnione przez PGNiG S.A.

Słowa kluczowe: magazynowanie wodoru, sól Na1, wyniesienie Łeby, model 3D

Hydrogen-based technologies are one of the most promising sources of so-called green energy. Underground hydrogen storage is the most economical and safe option for its use. The caverns in which hydrogen can be stored are characterized by small requirements. This makes it possible to build them within bedrock salt occurrences. The advantage of salt deposits of the Na1 salt level in the Łeba uplift area is their simple geological structure, lack of faults and good geological recognition of the Zechstein rocks. The 3D model use seismic data for more accurate interpretation of the geometry and spatial arrangement of anhydrite structure and salt panes at the PZ1 level. These are key elements for selecting the location of future hydrogen storage facilities as well as designing their geometry.

Key words: *underground hydrogen storage, Na1 rock salt, Łeba elevation, 3D model*

Referat będzie opublikowany w formie artykułu w **Przeglądzie Solnym 2023**

Full text published in **Salt Review 2023**

LITERATURA/ REFERENCES:

- CHROMIK M., 2016. Koncepcja magazynowania nadwyżek energii elektrycznej w postaci wodoru w kawernach w złożach soli kamiennej w Polsce – wstępne informacje. *Przegląd Solny* 12: 11–18.
- CHEŁMIŃSKI J., ROSSA M., TOMASZCZYK M., 2006. Modelowanie przestrzenne budowy geologicznej pokładowych złóż soli kamiennej — numeryczny model przestrzenny cechsztyńskiego złoża soli „Mechelinki” nad Zatoką Pucką. *Przegląd Geologiczny* 54: 311.
- CZAPOWSKI G., 1998. Geneza najstarszej soli kamiennej cechsztynu w rejonie Zatoki Puckiej (Studium sedymentologiczne). *CAG Państw. Inst. Geol., Nr arch. 696/99.*
- CZAPOWSKI, G., 2019. Perspektywy lokowania kawern magazynowych wodoru w pokładowych wystąpieniach soli kamiennych górnego permu (cechsztyń) w Polsce – ocena geologiczna. *Biuletyn PIG* 477: 21-54.
- CZAPOWSKI G., CHEŁMIŃSKI J., TOMASZCZYK M., TOMASSI-MORAWIEC H., 2007. Metodyka modelowania przestrzennego budowy geologicznej osadowych złóż pokładowych na przykładzie cechsztyńskiego złoża soli kamiennej Mechelinki nad Zatoką Pucką. *Przegląd Geologiczny* 55 (8): 681-689.
- EUROPEAN COMMISSION, 2020. A Hydrogen Strategy for a Climate-Neutral Europe; COM(2020) 301; European Commission: Brussels, Belgium. https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/hydrogen_strategy.pdf.
- JAROSIŃSKI M., 2009. Ocena stabilności pokładów soli cechsztyńskiej na wyniesieniu Łeby pod kątem lokalizacji magazynów paliw płynnych. *Przegląd Geologiczny* 57 (9): 763.
- MAŁACHOWSKA, A., ŁUKASIK, N., MIODUSKA, J., GŁĘBICKI, J., 2022. Hydrogen Storage in Geological Formations—The Potential of Salt Caverns. *Energies* 15 (5038): 1-19.
- TOMASZCZK M., CZAPOWSKI G., TOMASSI-MORAWIEC H., 2007. Model 3D zróżnicowania geologiczno-geochemicznego pokładowego złoża cechsztyńskiej soli kamiennej w rejonie Zatoki Gdańskiej jako podstawa koncepcji zagospodarowania złoża. *Materiały XI Międzynarodowego Sympozjum Solnego QUO VADIS SAL, Szklarska Poręba, 9–10 listopada 2006. Abstrakt. Gospodarka Surowcami Mineralnymi* 23 (1): 196–198.
- URBAŃCZYK K., CZAPOWSKI G., LANKOF L., ŚLIZOWSKI K., TOMASZCZYK M., 2011. Analiza zdolności magazynowej wybranych pokładów soli. W: *Możliwości magazynowania gazu ziemnego w polskich złożach soli kamiennej w zależności od warunków geologiczno-górnicznych.* Wydawnictwo IGSMiE PAN, Kraków, 53-66.

WYZWANIA TECHNICZNE ORAZ SZCZELNOŚĆ OTWORU W TRAKCIE PODZIEMNEGO MAGAZYNOWANIA WODORU W KAWERNACH SOLNYCH

TECHNICAL CHALLENGES NAD WELL INTEGRITY FOR UNDERGROUND HYDROGEN STORAGE IN SALT CAVERNS

Jarosław NOWINKA¹, Kikr HAMILTON²

¹ Eiger Energy Engineering, 1506 - 12141 Jasper Avenue NW, Edmonton, Alberta, T5N3X8, Canada;
e-mail: jnowinka@eigeree.com

² C-FER Technologies, 200 Karl Clark Road NW, Edmonton, Alberta, T6N1H2, Canada
e-mail: k.hamilton@cfertech.com

Podziemne magazynowanie wodoru (skrót angielski: UHS) w formacjach geologicznych staje się ważnym elementem globalnej gospodarki wodorowej i niezbędnym elementem systemów transportu i magazynowania energii w wielu krajach. Wodór posiada wysoką gęstość energii: 120 kJ/g; dlatego coraz częściej jest stosowany jako nośnik energii, na przykład w wytwarzaniu i dystrybucji energii elektrycznej lub w mieszkankach z gazem ziemnym do użytku komercyjnego lub domowego. Podczas gdy produkcja wodoru zwykle odbywa się w stałym tempie, zapotrzebowanie na energię zmienia się w zależności od pór roku, warunków klimatycznych i pogodowych, dziennych zmian i innych czynników. Magazynowanie dużych ilości wodoru jest zatem konieczne dla zachowania optymalnej równowagi między produkcją a użytkowaniem, oraz dla zapewnienia nieprzerwanych dostaw do konsumentów.

Wodór ma niską gęstość objętościową 0,08 kg/m³ w standardowej temperaturze i ciśnieniu (20°C i 100 kPa). Na przykład 1 kg wodoru w temperaturze otoczenia i pod ciśnieniem atmosferycznym zajmuje objętość 11 m³. W konsekwencji wydajne magazynowanie znacznych ilości wodoru wymaga dużych objętości przechowywania, z zamknięciem umożliwiającym sprężanie do podwyższonych ciśnień. Warunki te są trudne do osiągnięcia przy magazynowaniu naziemnym, ze względu na wysoki koszt budowy dużych zbiorników na wodór (wielkość porównywalna z 50-piętrowym wieżowcem).

Natomiast w formacjach podziemnych, takich jak kawerny solne, warstwy wodonośne i wyeksploatowane złoża węglowodorów, można uzyskać wystarczające objętości i korzystne warunki temperaturowo-ciśnieniowe do przechowywania wodoru. Te formacje geologiczne od wielu lat są z powodzeniem wykorzystywane do podziemnych magazynów gazu (skrót angielski: UGS), dzięki czemu zebrano duże doświadczenie branżowe w zakresie rozpoznania terenu, realizacji odwiertów dostępowych i obiektów naziemnych.

Kawerny solne są doskonałym miejscem dla UHS. Mimo, że do tej pory eksploatowano komercyjnie tylko cztery lokalizacje UHS w kawernach solnych (trzy w USA i jedna w Wielkiej Brytanii), kawerny solne wydają się być atrakcyjną opcją dla rozwoju przyszłych lokalizacji UHS z kilku powodów:

- W wielu basenach sedymentacyjnych przeważają złoża soli wysadowe lub w formie pokładów.
- Kawerny solne są budowane poprzez ługowanie po przystępnych kosztach. Rozmiar i kształt komory można zaprojektować za pomocą modelowania numerycznego i kontrolować podczas operacji ługowania.

- Ze względu na niską przepuszczalność, skała solna jest na ogół dobrze uszczelniona przed wyciekami magazynowanych gazów; nawet gdy są skompresowane do stosunkowo wysokich ciśnień, do 80% ciśnienia formacji.
- Przy odpowiednim uzbrojeniu otworów magazynowych, kawerny umożliwiają częste zatłaczanie i wytłaczanie produktu.
- Stosunek gazu roboczego do poduszki gazowej w kawernach solnych wynosi 2:1, który jest dwukrotnie wyższy niż w przypadku ośrodków porowatych. Tę samą przewagę można przedstawić pod względem proporcji gazu buforowego wynoszącego ~30% w kawernach solnych w porównaniu z ~50% w miejscach z mediami porowatymi.
- Środowiska kawernowe są stosunkowo surowe, co zmniejsza potencjał aktywności drobnoustrojów.

Chociaż uważa się, że jest to technicznie wykonalne i opłacalne ekonomicznie, rozwój nowych magazynów UHS w kawernach solnych musi obejmować staranne rozważenie szczelności miejsc magazynowania i otworów magazynowych. Przykłady tych wyzwań i możliwe strategie ich mitygacji są wymienione poniżej.

- Cząsteczka wodoru jest bardzo mała. Szybkość dyfuzji wodoru jest około czterokrotnie wyższa niż metanu. Wodór – czysty lub zmieszany – będzie wyciekał znacznie łatwiej niż gaz ziemny. Kawerna i zarurowanie muszą być znacznie bardziej szczelne w przypadku UHS niż w przypadku UGS. W szczególności szczelność połączeń rurowych stosowanych w rurach okładzinowych musi być zweryfikowana za pomocą specjalistycznych testów. Do tej pory tylko jeden dostawca rur (Vallourec) poinformował o przeprowadzeniu pełnowymiarowego testu szczelności wodorowej połączeń gwintowych z serii VAM. W teście użyto trzech mieszanek wodoru: 100% czysty wodór oraz 50% i 5% wodoru zmieszanego z azotem. Vallourec zgłosił sprzeczne z intuicją odkrycie, że szczelność przy 100% czystym wodorze była lepsza niż przy 5% mieszance wodoru z azotem. To pokazuje jakie jest znaczenie stosowania niezawodnego systemu wykrywania wycieków, zdolnego do dokładnego pomiaru wycieku zarówno czystego, jak i zmieszanego wodoru.
- Wodór może wpływać na integralność strukturalną rur w zarurowaniu otworów magazynowych. Wodór ma negatywny wpływ na stale, ponieważ zmniejsza ich odporność na pękanie i powoduje kruchość materiału. Mimo, że w magazynach typu UGS zazwyczaj stosuje się obudowę i rury o wysokiej wytrzymałości, mogą one nie być odpowiednie dla UHS, ponieważ stale o wysokiej wytrzymałości są bardziej podatne na kruchość wywołaną wodorem niż stale o niskiej wytrzymałości. Ponadto niektóre kombinacje cyklicznych obciążeń termo-mechanicznych i parametrów środowiskowych mogą prowadzić do synergicznej degradacji materiałów rurowych, która może być znacznie bardziej dotkliwa niż suma uszkodzeń materiału spowodowanych indywidualnymi skutkami – szczególnie w obszarach, w których występują globalne odkształcenia plastyczne lub lokalne koncentracje naprężeń. Ponieważ potencjał uszkodzenia synergicznego zależy od konkretnych warunków środowiskowych, dobór materiałów na zarurowanie powinien opierać się na testach ściśle symulujących zamierzoną architekturę połączeń rurowych i obciążeń operacyjnych.
- Mikroorganizmy obecne w formacjach podziemnych mogą zużywać wodór i/lub reagować z nim, tworząc inne produkty uboczne. Reakcje drobnoustrojów z wodorem mogą powodować tworzenie się siarkowodoru i prowadzić do znacznie bardziej

agresywnej kruchości wodorowej i pęknięcia korozyjnego materiałów zarurowania otworu. Negatywny wpływ drobnoustrojów można zmniejszyć przez odpowiednie usuwanie pozostałości solanki pozostającej w kawernie po lugowaniu; np. użycie wielu ciągów rur w celu poprawy krążenia medium w kawernie i usunięcia zanieczyszczeń znajdujących się blisko dna. Wpływ zanieczyszczeń i bakterii można również ograniczyć stosując środki dezynfekujące przed wprowadzeniem wodoru do kawerny.

- Rozwarstwienie magazynowanych substancji może wystąpić w kawernach solnych, w których wodór jest mieszany z gazem ziemnym, np. ze względu na sezonowość magazynowania, gdy przechowywana mieszanina pozostaje statyczna przez dłuższy czas. Potencjał stratyfikacji można złagodzić przez zastosowanie wielu ciągów rur, które umożliwiają mieszanie magazynowanego medium podczas wtłaczania i/lub okresową aktywację podczas przechowywania.
- Długotrwałe pelzanie soli może prowadzić do osiadania stropu kawerny, co spowoduje dodatkowe naprężenie obudowy szybu, powodując nadmierne naprężenia i w konsekwencji uszkodzenie systemu połączeń rurowych. Zagrożenia te można złagodzić, optymalizując ciśnienie operacyjne magazynowania i stosując urządzenia do absorpcji naprężeń zainstalowane w obrębie rur wolnowiszących.
- Ruch warstw geologicznych stanowi wyzwanie dla szczelności odwiertów w różnych formacjach geologicznych. Niektóre przesunięcia występują naturalnie wzdłuż uskoków geologicznych. Inne mogą być wywołane przez zmiany naprężeń formacji w wyniku operacji magazynowania. Na polach naftowo-gazowych niektóre przesunięcia warstw geologicznych przypisuje się wyciekom płynów, które „smarują” płaszczyzny poślizgu. Niezależnie od przyczyny, przesunięcia formacji mogą powodować wysoce zlokalizowane deformacje oraz ścinanie rur okładzinowych otworu. Aby zapobiec uszkodzeniom, systemy połączeń rurowych okładzinowych muszą być odporne na odkształcenia, z możliwością dostosowania się do znacznych odkształceń plastycznych.

Przezwyciężenie powyższych wyzwań technicznych ma kluczowe znaczenie dla przemysłu energetycznego. Dzieje się tak, ponieważ branża energetyczna może kontynuować rozwój obiektów UHS na dużą skalę tylko wtedy, gdy uzyska zaufanie co do sprawności i wydajności sprzętu oraz spełni odpowiednie wymagania prawne. Większość obecnych inicjatyw UHS na całym świecie – w kawernach solnych i innych formacjach – koncentruje się zatem na projektach pilotażowych, aby uzyskać praktyczną weryfikację wstępnych projektów lokalizacji, wykonania odwiertów i doboru parametrów operacyjnych.

W chwili obecnej nie ma międzynarodowych standardów dotyczących wyposażenia odwiertów do UHS w formacjach geologicznych. Kilka agencji normalizacyjnych rozpoczęło prace mające na celu opracowanie takich standardów; ale te wysiłki prawdopodobnie potrwać kilka lat. Wynika to z ograniczonego doświadczenia w przemyśle w zakresie zastosowań związanych z magazynowaniem wodoru oraz z powodu długotrwałych procesów związanych z gromadzeniem dowodów naukowych i budowaniem konsensusu wśród międzynarodowych ekspertów. W związku z tym można oczekiwać, że dobór wglębnego wyposażenia otworu do krótkoterminowych projektów UHS będzie opierał się na ocenach przydatności do określonego projektu magazynowania, w których rozważane materiały i sprzęt będą testowane w warunkach przewidzianych w warunkach terenowych i akceptowane na podstawie kryteriów wynikających z analizy inżynierskiej.

W tym kontekście współpraca branżowa i wymiana doświadczeń jest bardzo ważna dla przyspieszenia postępu UHS w kawernach solnych i innych formacjach geologicznych. Taka

współpraca może obejmować dzielenie się informacjami o warunkach obsługi w przyszłych lub trwających projektach UHS: geologia płytki i wglębna oraz otaczających formacji, składowane medium, ciśnienia operacyjne, cykle wtłaczania/wytłaczania, temperatury i gradienty w kawernie i otworze magazynowym, zarurowanie otworu, aktywność mikrobiologiczna, stabilność geologiczna złóż, pelzanie soli i osiadanie stropu kawern oraz inne parametry. Współpraca może również obejmować udostępnianie już oddanego do użytku lub projektowanego sprzętu oraz specyfikacji docelowych dla systemów połączeń rurowych w odwiercie, takich jak wielkość, wskaźniki ciśnienia wewnętrznego i zewnętrznego, granica plastyczności i wytrzymałość na rozciąganie, zdolność do odkształceń po osiągnięciu plastyczności, długotrwałe efekty relaksacji, tolerancja miejscowych odkształceń, składu chemicznego, odporności środowiskowej, szczegółów zacementowania otworu i innych parametrów.

Słowa kluczowe: podziemne magazynowanie wodoru, kawerny solne, pelzanie soli kamiennej, wyzwania integralności, studnie

Underground hydrogen storage (UHS) in geological formations is becoming an important element of global hydrogen economy, and a necessary component of energy transportation-and-storage systems in many countries. With a high energy density of 120 kJ/g, hydrogen is increasingly used as energy carrier; for example, in generation and distribution of electricity, or in blends with natural gas for commercial or residential consumption. While production of hydrogen typically occurs at a steady rate, the energy demands vary with seasons, climate and weather conditions, daily variations, and other factors. Storage of ample amounts of hydrogen is thus necessary for an optimum production-use balance and uninterrupted supply to consumers.

Hydrogen has a low volumetric density of 0.08 kg/m³ at standard temperature and pressure (20 °C and 100 kPa). For example, 1 kg of hydrogen at ambient temperature and atmospheric pressure occupies a volume of 11 m³. Consequently, efficient storage of substantial hydrogen amounts demands large storage volumes, with containment allowing compression to elevated pressures. These conditions are difficult to achieve with at-surface storage, because of high cost associated with constructing big hydrogen tanks (size comparable with a 50-story skyscraper building).

In contrast, sufficient volumes and favourable temperature-pressure conditions for hydrogen storage can be achieved in underground formations, such as salt caverns, aquifers and depleted hydrocarbon reservoirs. Those geological formations have been successfully used for underground gas storage (UGS) for many years, and thus a considerable amount of industry experience has been gathered relative to site exploration, completion of access wells, and surface facilities.

Salt caverns are excellent sites for UHS. Even though only four locations of UHS in salt caverns have been operated commercially to-date (three in USA and one in UK), salt caverns do appear to be an attractive option for development of future UHS sites, for a number of reasons:

- Domal or bedded salt deposits are prevalent in many sedimentary basins.*
- Salt caverns are constructed by leaching at affordable costs. The cavern size and shape can be designed with numerical modelling and controlled during the leaching operation.*
- Due to low permeability, salt rock is generally well sealed against leakage of stored gases; even when they are compressed to relatively high pressures, up to 80% of the formation pressure.*
- With adequate completions of access wells, the caverns allow frequent injections and withdrawals.*
- Ratio of working gas to cushion gas in salt caverns is 2:1, which is twice higher than for porous media sites. The same advantage can be presented in terms of cushion gas proportion being ~30% in salt caverns, versus ~50% in porous media sites.*

- *Cavern environments are relatively harsh, which reduces potential for microbial activity.*

While believed technically feasible and economically viable, development of new UHS sites in salt caverns needs to include careful consideration of integrity of the storage sites and access wells. Examples of those challenges and possible mitigation strategies are listed below.

- *Hydrogen particle is very small. Hydrogen's diffusion rate is approximately four times higher than that of methane. Hydrogen – pure or blended – will leak much easier than natural gas. The site and well containment needs to be much tighter for UHS than for UGS. In particular, sealability of tubular connections used in access well casing/ tubing strings needs to be verified with fit-for-purpose testing. To-date, only one tubular supplier (Vallourec) has reported conducting a full-scale hydrogen-sealability test on one of their VAM connections. That test included three hydrogen blends: 100% pure, and 50% and 5% hydrogen mixed with nitrogen. Vallourec reported a counterintuitive finding that sealability with 100% pure hydrogen was better than for 5% hydrogen blend with nitrogen. This illustrates importance of using a reliable leakage detection system capable of accurately measuring leakage of both pure and blended hydrogen.*
- *Hydrogen can affect structural integrity of well completion tubulars. Hydrogen has a negative impact on steels because it reduces their fracture toughness and causes material embrittlement. While UGS wells typically use high-strength casing and tubing, those might not be suitable for UHS because high-strength steels are more susceptible to hydrogen-induced embrittlement than low-strength steels. In addition, some combinations of cyclic thermo-mechanical loads and environmental exposure can lead to synergistic material degradation of the tubular materials, which can be much more severe than the sum of material damage due to individual effects – especially in areas experiencing global plastic strains or local stress concentrations. Since the potential for the synergistic damage depends on specific operational conditions, selection of materials for the casing/ tubing strings should be based on tests closely simulating the intended pipe-connection architecture and operational loading.*
- *Microbes present in underground formations can consume hydrogen and/ or react with it to form other byproducts. Microbial response to hydrogen can cause formation of hydrogen sulfide, and lead to substantially more aggressive hydrogen embrittlement and corrosion-cracking of the well casing/ tubing materials. The potential for those microbial interactions can be reduced by proper disposal of residual brine remaining in the cavern after leaching; e.g. using multiple tubing strings to improve cavern fluid circulation and remove close-to-bottom contaminants. The impacts of impurities and bacteria can also be reduced by pre-storage treatment with disinfectants.*
- *Stratification can occur in salt caverns where hydrogen is blended with natural gas, e.g. due to seasonal nature of storage operations, in which the stored blend remains static for a prolonged period. The stratification potential can be mitigated by utilizing multiple tubing strings that allow fluid mixing during injection and/ or periodic activation during storage.*
- *Long-term salt creep might lead to cavern roof settlement, which will put additional tension on the well casing, causing over-stressing and possibly failure of the tubular-connection system. These threats can be alleviated by optimizing operational storage pressures, and by strain absorption devices installed in the well tubular strings.*
- *Formation movements are a challenge to well integrity in various geological formations. Some movements occur naturally along geological faults. Others can be triggered by changes in formation stresses due to storage operations. In oil-gas fields, some formation movements have been attributed to leaks of contained fluids that “lubricate” the slip planes. Regardless of the cause, formation movements can induce highly localized casing deformations. To prevent failure, the casing tubular-connection systems need to be deformation-tolerant, with capacity to accommodate substantial plastic strains.*

Overcoming the above integrity challenges is crucial for the energy industry. This is because the industry can only proceed with large-scale development of UHS facilities when it achieves confidence in prospective site designs and equipment performance, and satisfies relevant regulatory requirements. Majority of the current UHS initiatives around the globe – in salt caverns and other formations – are thus focused on pilot projects, to obtain practical verification of initial site designs, well completions, and operational parameters.

At present, there are no international standards for well completion equipment for UHS in geological formations. Several standardization agencies have initiated work items aimed at development of such standards; but those efforts will likely take several years to complete. This is because there is a limited amount of industry experience with hydrogen storage applications, and because of lengthy processes related to gathering scientific evidence and building consensus among international experts. Consequently, selection of well completion equipment for the near-term UHS projects can be expected to be based on fit-for-purpose evaluations, whereby candidate materials and products are tested in conditions anticipated in field service, and accepted based on criteria resulting from engineering judgment.

In this context, industry collaboration and sharing of experience is very important to accelerate advancement of UHS in salt caverns and other geological formations. Such collaboration could include sharing of information about service conditions in prospective or ongoing UHS operations: geology of underground site and surrounding formations, stored medium, operational pressures, injection/withdrawal cycles, site and well temperatures and gradients, well completions, microbial activity, formation movements, salt creep and cavern roof settlement, and other parameters. The collaboration can also include sharing of already-commissioned or intended equipment and target specifications for downhole tubular-connection systems, such as size, internal and external pressure ratings, yield and tensile strength, post-yield strain capacity, long-term relaxation effects, tolerance of localized deformation, chemical composition, environmental resistance, well cement details, and other parameters.

Key words: *underground hydrogen storage, salt caverns, creep of rock salt, integrity challenges, wells*

Referat będzie opublikowany w formie artykułu w Przeglądzie Solnym 2023

Full text published in Salt Review 2023

THE USE OF RENEWABLE ENERGY FOR SALT PRODUCTION PROCESS

Kerstin HIRSCH¹, Jens-Holger SCHMIDT²

¹Business Development Manager, SEP Salt & Evaporation Plants Ltd.
e-mail: Kerstin.hirsch@sepwin.ch

²CEO, SEP Salt & Evaporation Plants Ltd.
e-mail: jens-holger.schmidt@sepwin.ch

Introduction

Nowadays, the use of fossil fuels and raw materials has become a critical component for the chemical industry. Not only environmental reasons, which have been driving the innovation for a long time, but recent political developments are putting more pressure on the progress of the arrival of energy transition in the industrial sector.

Also, for the production of vacuum salt using steam or electricity as energy source, there is potential to move away from fossil fuels. The use of waste heat from other processes or solar energy for power generation are some examples of how the transition to sustainable reduction of energy consumption and renewable energy use can be done. Renewable energy often requires energy storage because of fluctuation in the production rate. The energy storage has always been a moving topic and becomes even more important. Some good approaches are available, such as heat storage or water pump power stations.

The presentation will give an overview about the possibilities and how they can be implemented with low-temperature evaporation processes as a contribution to a greener future.

Energy Generation

Renewable Energy comprises sources such as sun, wind, moving water and geothermal heat and is defined as energy recovered from sustainable resources which can replenish in a natural way within a human timescale.

Solar power plants are used for the generation of electricity by means of photovoltaic (PV) panels. This technology is highly depending on the amount of sunshine. Besides PV panels, CST (concentrating solar thermal) is meanwhile often used to collect and concentrate radiation from the sun and transfer the solar energy into heat. CST can be used by heliostat field or parabolic troughs. Both need an energy carrier, which is either molten salt or thermal oil.

Geothermal energy is a large source of energy, where heat recovered from geothermal reservoirs is transferred into electricity. The heat in the reservoirs can be recovered directly for example as steam geysers or more often as enhanced geothermal energy, where not enough water is available.

Not really a renewable energy, but a good source of optimum use of energy is the utilization of waste heat in a power plant. If the waste heat from driving a gas turbine in a power plant is used for secondary processes, such as a steam generator and hot water as heating medium, it is called Cogeneration and reduces energy losses by 30 to 40%.

Energy storage

For the chemical industry, including the salt production industry, energy storage with a high storage capacity and a high discharge availability is required.

Many storage concepts do not fulfil the need of the chemical industry, as they are too small or only for very short-term available.

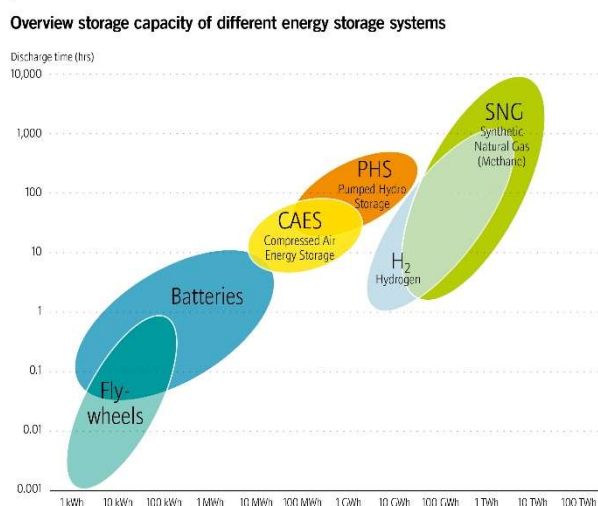


Fig. 1: Overview of storage capacity of different energy storage systems (Source: Fraunhofer Institute, 2014)

Methods, such as Compressed Air Energy Storage, Pumped Hydro Storage and Hydrogen Storage, as they are shown in **Fig. 1**, are the most qualified technologies for energy storage for heavy consumers, such as the chemical industry.

The storage of hydrogen closes the loop to renewable energy if the green hydrogen is stored. Green hydrogen is produced by splitting water by electrolysis into H₂ and O₂ by electrical power generated from wind and solar energy.

Compressed air energy storage has a low energy density, but it offers a long storage duration. A challenge in the design of this technology is in the management of thermal energy which is generated by compression of the air.

Pumped hydroelectric storage (PHS) is the largest available energy storage in the world, but it is bound to geographical conditions with environmental impact.

Application for Salt Production Processes

The production of vacuum salt requires a reliable and non-fluctuating energy source. Waste heat coming from a cogeneration plant is an energy which has no more exergy for the generation process, but it can be of high value for a salt producer. A salt plant with two thermal stages (two effects) can be easily operated with low temperature hot water coming as waste heat from a cogeneration plant. The energy is available sufficiently and stable and usually at low cost. The investment cost for a low temperature two effect plant is as well at a lower level than other comparable plant types, which makes this combination environmentally and economically an attractive business model.

Referat będzie opublikowany w formie artykułu w Przeglądzie Solnym 2023

Full text published in Salt Review 2023

Marta HODBOD¹, Karol ZGLINICKI¹

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

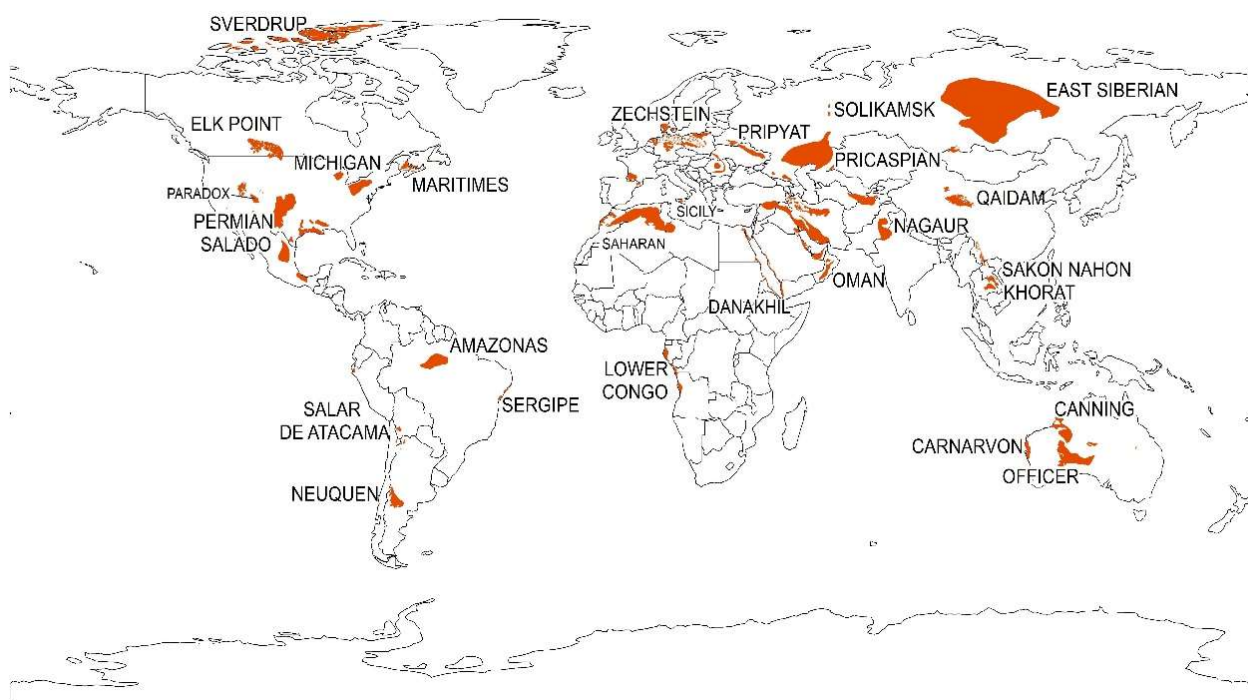
Pandemia Covid-19 oraz agresja zbrojna Rosji na Ukrainę przyczyniła się do zaburzenia globalnych łańcuchów dostaw żywności, towarów, w tym surowców (m.in. soli potasowo-magnezowych; fosforytów; siarki) używanych przez przemysł nawozów sztucznych. Strategiczną pozycję na rynku surowców odgrywiają sole potasowo-magnezowe (K-Mg). Potas oraz jego związki są kluczowym składnikiem nawozów wykorzystywanych do produkcji żywności dla rosnącej populacji świata. Stały wzrost liczby ludności (1960 – 3,6 mld; 2022 – 8,0 mld), zmniejszenie powierzchni gruntów nadających się pod uprawę (Phosagro, 2020), wzrost światowego PKB (Knoema. World GDP, 2020), zmiany w sposobie odżywiania (Phosagro, 2020) oraz alternatywne zastosowania upraw będą istotnie wpływały na globalny popyt nawozów, w tym nawozów potasowych. Według danych Amerykańskiej Służby Geologicznej – USGS (Jasinski, 2022), w 2021r. zużyto ok. 45 mln ton potasu do produkcji nawozów sztucznych. Przewiduje się, że zużycie potasu nadal będzie rosło, a rynek nawozów potasowych zarejestruje CAGR (skumulowany roczny wskaźnik wzrostu, *ang. compound annual growth rate, CAGR*) w wysokości 4,8% w okresie 2021-2026.

Unia Europejska, w tym Polska jest w pełni zależna od zewnętrznych źródeł dostaw potasu. Sankcje ekonomiczne nałożone przez Unię Europejską oraz Stany Zjednoczone w wyniku łamania międzynarodowego prawa przez Białoruś oraz Rosję za agresję zbrojną, przyczyniły do ograniczenia importu oraz deficytu potasu na europejskim rynku. Brak surowców niezbędnych do produkcji żywności wpływa bezpośrednio na bezpieczeństwo żywnościowe oraz surowcowe państwa, będące składową bezpieczeństwa narodowego.

W Polsce sole K-Mg występują w cechsztyńskiej formacji solnej, która stanowi część ogromnego środkowoeuropejskiego permskiego (cechsztyńskiego) basenu sedymentacyjnego. Pomimo dobrego rozpoznania geologicznego kraju, w Polsce jak dotąd udokumentowano 5 złóż soli K-Mg: w pokładowej formacji solnej na Kaszubach, w rejonie Zatoki Puckiej – złoża: Chłapowo, Mieroszyno, Swarzewo i Zdrada. Łączne zasoby tych złóż wynoszą ok. 705 mln ton soli K-Mg. Ponadto wystąpienia soli K-Mg znane są z większości obszarów występowania cechsztyńskiej soli kamiennej. Polska posiada stosunkowo duże szacunkowe zasoby perspektywiczne – o słabym rozpoznaniu geologicznym, wynikającym przede wszystkim ze znacznych głębokości zalegania. Przewidywane (prognostyczne i perspektywiczne) zasoby soli K-Mg, obliczone wyłącznie dla złóż pokładowych, oszacowano na 3,64 mld ton (Czapowski i in., 2020). Występowanie tych złóż stwierdzono na obszarze monokliny mazursko-podlaskiej, monokliny przedsudeckiej oraz niecki północnosudeckiej (peryklina Żar), o łącznej powierzchni ponad 466 km² (Czapowski i in., 2020). Do niedawna (1980-2000) eksploatacja soli K-Mg prowadzona była na niewielką skalę w Kopalni Soli Kłodawa (Czapowski i in., 2020). Obecnie w Polsce nie prowadzi się górniczej eksploatacji soli K-Mg. Brak własnych źródeł soli K-Mg wymaga podjęcia pilnych działań zmierzających do zapewnienia bezpieczeństwa żywnościowego i surowcowego poprzez: 1) rozpoznanie krajowego potencjału surowcowego soli K-Mg; 2)

import potasu oraz jego związków z innych źródeł przy bezpiecznym łańcuchu dostaw; 3) współpracę międzynarodową w zakresie poszukiwania soli K-Mg przez polskie firmy geologiczne i górnicze.

Sole K-Mg znane są ze wszystkich okresów geologicznych i kontynentów na Ziemi (Ryc. 1): Ameryce Północnej: Elk Point, Maritimes, Paradox i Salado, w Europie: cechsztyński, prypecki, Solikamsk i przedkaspijski, w Afryce: Danakil i Dolne Kongo, w Azji: Morze Martwe, Khorat, Sakon Nakon, Qaidam i baseny centralnej Azji, w Ameryce Południowej: amazoński, Sergipe, Salar de Atacama i Neuquén (Cocker i in., 2016).



Ryc. 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).

Złoża soli K-Mg w przewadze są złożami kopalnymi. Współczesne akumulacje soli potasowych o dużym znaczeniu są rzadkie, a dobrze rozpoznane, są tylko dwa naturalne stratyfikowane złoża, znajdujące się w Chinach – basen Qaidam oraz w Etiopii – depresja Danakil. Basen Qaidam – bezodpływowa kotlina tektoniczna w północno-wschodniej części Wyżyny Tybetańskiej, w zachodnich Chinach. Inne naturalne, ale znacznie mniejsze złoża soli potasowych tworzą się m.in. w słonych jeziorach kontynentalnych, na playach oraz w glebach, także w postaci efemerycznych wykwitów mineralnych (Warren, 2016).

Zgodnie z raportem USGS Mineral Commodity Summaries 2022 (Jasinski, 2022) całkowite zasoby soli potasowych na świecie wynoszą około 250 mld t, a ich największe udokumentowane zasoby znajdują się w Rosji, Kanadzie oraz Białorusi (**Tab. 1**).

Tabela 1. Produkcja górnicza oraz udokumentowane zasoby soli K-Mg na świecie dla wybranych krajów wg. danych USGS (Jasinski, 2022).

Table 1. Mine production and salts K-Mg ores reserves of selected countries after USGS (Jasinski, 2022)

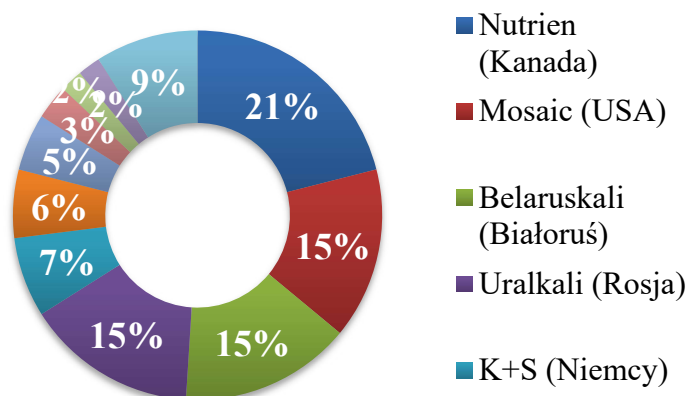
Kraj	Produkcja górnicza ¹⁾		Zasoby	
	2020	2021	Zasoby do pozyskania ¹⁾	Ekwiwalent K ₂ O ²⁾
Białoruś	7 400	8 000	3 300 000	750 000
Brazylia	254	210	10 000	2 300
Chiny	6 000	6 000	b.d	350 000
Hiszpania	420	400	b.d	68 000
Izrael	2 280	2 300	b.d	b.d
Jordania	1 590	1 600	b.d	b.d
Kanada	13 800	14 000	4 500 000	1 100 000
Niemcy	2 200	2 300	b.d	150 000
Rosja	8 110	9 000	b.d	400 000
Świat	44 000	46 000	>11 000 000	>3 500 000

b.d – brak danych;

¹⁾ dane w mln ton;

²⁾ dane w tys. ton metrycznych.

Światowy rynek potasu charakteryzuje się stosunkowo niewielką liczbą producentów, zwłaszcza tych największych. Ponad 90% udziału w światowej produkcji ma zaledwie 10 firm (**Ryc. 2**).



Ryc. 2. Udział poszczególnych producentów soli potasowych na rynku międzynarodowym (ICL, 2022).

Fig. 2. Share of individual producers of potash on the international market (ICL, 2022).

Poszukując nowych kierunków dostaw, Polska powinna niewątpliwie skupić się na największych producentach, pomijając spółki rosyjskie i białoruskie, które objęte są międzynarodowymi sankcjami. Na czele listy krajów o najwyższej produkcji potasu znajduje się Kanada, gdzie swoją siedzibę ma spółka Nutrien. Sole pozyskiwane są metodą podziemną w kilku kopalniach, z jednego z największych złóż soli potasowych na świecie – z dewońskiej

formacji Prairie w obrębie basenu Elk Point, w prowincji Saskatchewan (Nutrien, 2022). Ta sama formacja jest głównym źródłem pozyskania potasu także dla amerykańskiej spółki Mosaic, która posiada 3 kopalnie i zakłady produkcyjne w tym regionie: Belle Plaine, Colonsay i Esterhazy. Ponadto pozyskuje surowiec w kopalni w Carlsbad (Nowy Meksyk, USA) (Mosaic, 2022). Niemiecka spółka K+S swoje wydobycie opiera głównie na permskich złożach basenu cechsztyńskiego, a także na kanadyjskim złożu wspomnianego już basenu Elk Point, w prowincji Saskatchewan (K+S, 2022). Chińskie QLS pozyskuje sole potasowe ze słonego, bezodpływowego jeziora Qinghai, w prowincji Qinghai w zachodniej części Chin (www.qhsalt.com.cn). Spółka Israel Chemicals Limited (ICL) prowadzi wydobycie na obszarze Morza Martwego – z wody morskiej pozyskuje m.in. potas, brom, chlorek sodu, magnezję, chlorek magnezu i magnez metaliczny. Eksploatacja opiera się na ekstrakcji karnalitu ($\text{KCl}\cdot\text{MgCl}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$) poprzez proces odparowywania, w południowej, płytkiej części Morza Martwego, na powierzchni ok. 150 km² na obszarze Izraela. W ostatnich latach 2020 – 2021 doszło do rekordowej rocznej produkcji soli K-Mg w tym rejonie, osiągającej prawie 4 mln ton (ICL, 2022). ICL posiada również kopalnię Boulby w północnej części Wielkiej Brytanii, gdzie odbywa się wydobycie permskich (cechsztyńskich) polihalitów ($\text{K}_2\text{SO}_4\cdot\text{MgSO}_4\cdot 2\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Zdolność produkcyjna kopalni wynosi około 1 mln ton rocznie (odnotowano 789 tys. t w 2021 r.). Ponadto ICL prowadzi w Hiszpanii (Suria, Katalonia) podziemną kopalnię sylwinitu (KCl) wykształconego w późnym eocenie w basenie ewaporatowym Ebro (ICL, 2022). Arab Potash Company (APC) z Jordanii pozyskuje surowiec potasowy (głównie karnalit), podobnie jak ICL, na drodze ewaporacji wody z Morza Martwego. Zakład produkcyjny znajduje się 110 km na południe od Ammanu i posiada zdolność produkcyjną wynoszącą około 2,35 mln ton soli potasowych rocznie (Arab Potash Company, 2022). Chilijska spółka Sociedad Química y Minera S.A. (SQM) prowadzi produkcję związków potasu na obszarze olbrzymiego solniska w północnej części kraju – Salar de Atacama, z solanki wydobywanej spod powierzchni ziemi za pomocą studni pompowych, a następnie odparowywanej w stawach ewaporacyjnych (Sociedad Química y Minera de Chile S.A., 2022).

Pomimo że wymienieni „giganci potasowi” dysponują dużymi złożami surowca potasowego oraz zapewniają o możliwościach podniesienia zdolności produkcyjnych, nie będą w stanie w dłuższej perspektywie czasu zapewnić dostaw całemu światu. Dla Europy oraz Polski ważnym źródłem pozyskania potasu będzie projekt Muga spółki Highfield Resources, zlokalizowany w prowincjach Navarra i Aragón w Północnej Hiszpanii. Projekt ukierunkowany jest na stosunkowo płytko położone pokłady eocenijskiego złoża sylwinitu – na głębokości ok. 350 metrów od powierzchni terenu. Według szacunków spółki zasoby eksploatacyjne surowca potasowego (*ore reserves*) wynoszą 104,3 mln t, przy średniej zawartości K_2O 10,2%, a zasoby *resources* szacowane są na 282,2 mln t, przy średniej zawartości K_2O 11,8% (Highfield Resources, 2022). Planowana kopalnia ma funkcjonować 30 lat. Obecnie spółka dysponuje wszystkimi niezbędnymi pozwoleniami i wchodzi w fazę budowy kopalni Muga, która potrwa kilka lat.

Highfield Resources zarządza również dwoma innymi projektami potasowymi: Pintanos położonym w sąsiedztwie projektu Muga oraz Sierra del Perdón położonym na południowy wschód od Pampeluny. Oba projekty są w trakcie realizacji (Highfield Resources, 2022).

Perspektywiczne owe projekty realizowane są na kontynencie afrykańskim – w Republice Konga (Brazzaville) oraz Maroko. Jedną z firm działających w sektorze poszukiwawczo-wydobywczym soli K-Mg w Republice Konga jest Kore Potash. Spółka realizuje 3 projekty: DX (złożenie sylwinitu), Kola (złożenie sylwinitowo-karnalitowe), Dougou (złożenie karnalitowe), położone w południowo-zachodniej części kraju, na wybrzeżu Atlantyku (Dolne Kongo, Ryc. 2). Seria ewaporatowa utworzyła się w okresie kredy, w szeroko rozciągniętym basenie kongijskim. Kore posiada znaczące w skali światowej złoża potasu oraz ma potencjał, aby stać się najtańszym dostawcą potasu głównie na rynki afrykańskie i brazylijski. Wpływają na to przede wszystkim

warunki geologiczne – wysokogatunkowe złoża potasowe (ok. 35% zawartości KCl), położone na stosunkowo niewielkiej głębokości 180 m do 300 m, jak i warunki infrastrukturalne – około 80 km na północ od miasta Pointe Noire i ok. 25 km od wybrzeża Atlantyku. Najbardziej obiecującym jest projekt DX z zasobami *mineral resources* 232 mln t sylwinitu (przy zawartości 38,1% KCl). Ponadto w obrębie koncesji prowadzone są prace poszukiwawczo-rozpoznawcze, gdzie szacuje się występowanie 320-600 mln t surowca (przy zawartości 30-38% KCl). Kolejnym w strategii rozwoju spółki jest projekt Kola z szacowanymi zasobami (*measured and indicated mineral resource*) 508 mln t (przy zawartości 35,4% KCl). Przewidywana roczna produkcja wynosi 2,2 mln t, na przestrzeni 33 lat (www.korepotash.com).

Khemisset Potash to projekt potasowy zlokalizowany w północnym Maroku, należący do spółki Emmerson Plc. Seria ewaporatowa tego regionu tworzyła się w zamkniętym basenie morskim utworzonym w wyniku otwierania się grzbietu śródatlantyckiego, na przelomie triasu i jury. Grubość osadów ewaporatowych składających się głównie z halitu, gipsu i lokalnie z sylwinitu i karnalitu, miejscami przekracza nawet 1000 m. Szacowane zasoby *resource* soli potasowych wynoszą 537 mln t przy średniej zawartości K_2O 9,24%. Obszar ten ma również duży potencjał eksploracyjny. Szacowana roczna produkcja wyniesie ok. 6 mln ton soli potasowych rocznie. Za początkowy okres eksploatacji przyjmuje się 19 lat. Projekt z jednej strony nastawiony będzie na pokrywanie zapotrzebowania nawozów w Afryce, z drugiej strony znajduje się blisko rynku europejskiego, na który również może się otworzyć (Emmerson, 2020).

The Covid-19 pandemic and Russia's military aggression against Ukraine have contributed to the disruption of global supply chains for food, commodities, including raw materials (potassium-magnesium salts; phosphate rocks; sulfur, among others) used by the fertilizer industry. Potassium-magnesium salts (K-Mg) play a strategic position in the raw materials market. Potassium and its compounds are a key ingredient in fertilizers used for food production for the world's growing population. Steady population growth (1960 – 3.6 billion; 2022 – 8.0 billion), a reduction in the area of land suitable for cultivation (Phosagro, 2020), an increase in global GDP (Knoema. World GDP, 2020), changes in diet (Phosagro, 2020) and alternative uses for crops will significantly affect global demand for fertilizers, including potash fertilizers. According to data from the U.S. Geological Survey - USGS (Jasinski, 2022), about 45 million tons of potassium were used for fertilizer production in 2021. Potassium consumption is expected to continue to grow, with the potash fertilizer market registering a compound annual growth rate – CAGR of 4.8% over the 2021 – 2026 period.

The European Union, including Poland, is fully dependent on external sources of potash supplies. Economic sanctions imposed by the European Union and the United States as a result of violations of international law by Belarus and Russia for armed aggression have contributed to a reduction in imports and a deficit of potash in the European market. The lack of raw materials necessary for food production directly affects the country's food and raw material security, both which are components of national security.

In Poland, K-Mg salt occurs in the Zechstein salt formation, which is part of the vast Permian Central European (Zechstein) sedimentary basin. Despite the country's well-identified geology, 5 K-Mg salt deposits have been documented in Poland so far: in the Zechstein salt formation in Kashubia, in the Puck Bay region - deposits: Chłapowo, Mieroszyno, Swarzędwo and Zdrada. The total resources of these deposits are estimated at 705 million tons of K-Mg salt. In addition, occurrences of K-Mg salt are known from most areas of Zechstein rock salt. Poland has relatively large estimated prospective resources - with poor geological recognition, mainly due to the significant depths. The projected (prognostic and prospective) K-Mg salt resources, calculated only for seam deposits, are estimated at 3.64 billion tons (Czapowski et al., 2020). The occurrence of these deposits was found in the area of the Mazurian-Podlasie Monocline, the Fore-Sudetic Monocline and the North Sudetic Trough (Żary Pericline), with a total area of more than 466 km² (Czapowski et al., 2020). Until recently (1980-2000), K-Mg salt mining was carried out on a small scale at the Kłodawa Salt Mine (Czapowski et al., 2020). Currently, there is no mining of K-Mg salt in Poland. The lack of own sources of K-Mg salt requires urgent action to ensure food and

raw material security by: 1) recognizing the domestic resource potential of K-Mg salt; 2) importing potassium and its compounds from other sources with a secure supply chain; 3) international cooperation in the exploration of K-Mg salt by Polish geological and mining companies.

K-Mg salts are known from all geological periods and continents on Earth (**Fig. 1**): North America: Elk Point, Maritimes, Paradox and Salado; in Europe: Zechstein, Pripyat, Solikamsk and Pre-Caspian; in Africa: Danakil and Lower Congo; in Asia: Dead Sea, Khorat, Sakon Nakhon, Qaidam and the basins of Central Asian; in South America: Amazonian, Sergipe, Salar de Atacama and Neuquén (Cocker et al., 2016).

Potash deposits are predominantly ancient deposits. Significant modern accumulations of potash are rare, with only two well-defined natural stratified deposits, located in China - the Qaidam Basin and in Ethiopia - the Danakil Depression. Qaidam Basin - a drainless tectonic basin in the northeastern part of the Tibetan Plateau, in western China. Other natural, but volumetrically minor deposits of potassium salt are formed, among others, in continental lakes, playas and soils, either in ephemeral mineral efflorescences (Warren, 2016).

According to the USGS Mineral Commodity Summaries 2022 report (Jasinski, 2022), the world's total potash reserves are estimated at about 250 billion tons, with the largest proven reserves in Russia, Canada and Belarus (**Tab. 1**).

The global potash market is characterized by a relatively small number of producers, especially few large producers. As few as 10 companies account for more than 90% of global production (**Fig. 2**).

When looking for new supply directions, Poland should undoubtedly focus on the largest producers, leaving out Russian and Belarusian companies, which are subject to international sanctions. Topping the list of countries with the highest potash production is Canada, where the Nutrien company is based. The salts are extracted by underground methods at several mines, from one of the largest potassium salt deposits in the world - the Devonian Prairie formation within the Elk Point Basin, in the Saskatchewan province (Nutrien, 2022). The same formation is a major source of potash acquisition also for a US company called Mosaic, which has 3 mines and production facilities in the region: Belle Plaine, Colonsay and Esterhazy. In addition, it obtains raw material from a mine in Carlsbad (New Mexico, USA) (Mosaic, 2022). Germany's K+S bases its mining mainly on Permian Zechstein Basin deposits, as well as the Canadian deposit of the aforementioned Elk Point Basin, in the Saskatchewan province (K+S, 2022). China's QLS extracts potash from the saline Qinghai Driftless Lake, in Qinghai Province in western China (www.qhsalt.com.cn). Israel Chemicals Limited (ICL) is mining in the Dead Sea area - it extracts potassium, bromine, sodium chloride, magnesite, magnesium chloride and magnesium metal, among others, from seawater. Exploitation is based on the extraction of carnalite ($KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$) through an evaporation process, in the southern, shallow part of the Dead Sea, over an area of about 150 square kilometers within Israel. A record annual production of K-Mg salt in the area, reaching nearly 4 million tons, occurred in the recent years 2020 - 2021 (ICL, 2022). ICL also operates the Boulby mine in northern Britain, where Permian (Zechstein) polyhalites ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 2CaSO_4 \cdot 2H_2O$) are mined. The mine's production capacity is about 1 million tons per year (789,000 tons reported in 2021). In addition, ICL operates an underground sylvinite (KCl) mine in Spain (Suria, Catalonia) developed in the late Eocene in the Ebro Basin (ICL, 2022). The Arab Potash Company (APC) of Jordan obtains the potash (mainly carnalite), like ICL, by evaporating water from the Dead Sea. The production facility is located 110 kilometers south of Amman and has a production capacity of about 2.35 million tons of potash per year (Arab Potash Company, 2022). Chile's SQM produces potassium compounds in the area of the giant salar in the northern part of the country, the Salar de Atacama, from brine extracted from beneath the earth's surface via pumping wells and then evaporated in evaporation ponds (Sociedad Química y Minera de Chile S.A., 2022).

Despite the fact that the aforementioned "potash giants" manage large deposits of potassium raw material and assure of the possibility of increasing production capacity, they will not be able to supply the whole world in the long term. For Europe and Poland, an important source of potash will be Highfield Resources' Muga Project, located in the provinces of Navarra and Aragón in northern Spain. The project targets relatively shallow deposits of Eocene sylvinite deposits – at a depth of about 350 meters from the ground surface. According to the company's estimates, the ore reserves are equal to 104.3 million tons, with an average K_2O content of 10.2%, and the resources are

estimated at 282.2 million tons, with an average K₂O content of 11.8% (Highfield Resources, 2022). The planned mine is expected to operate for 30 years. The company currently has all the necessary permits and is entering the construction phase of the Muga mine, which will take several years.

Highfield Resources also manages two other potash projects: Pintanos located adjacent to the Muga project and the Sierra del Perdón, located southeast of Pamplona. Both projects are under development (Highfield Resources, 2022).

Such prospective projects are being developed on the African continent – in the Republic of Congo (Brazzaville) and Morocco. One of the companies operating in the K-Mg salt exploration and mining sector in the Republic of Congo is Kore Potash. The company is developing 3 projects: DX (sylvinite deposit), Kola (sylvinite-carnalite deposit), Dongou (carnalite deposit), located in the southwestern part of the country, on the Atlantic coast (Lower Congo, Fig. 2). The evaporite series formed during the Cretaceous period, in the widely extended Congo Basin. Kore has globally significant potash deposits and has the potential to become the least expensive supplier of potash mainly to the African and Brazilian markets. This is primarily influenced by geological conditions - high-grade potash deposits (about 35% KCl content), located at a relatively shallow depth of 180m to 300m, as well as infrastructure conditions - about 80km north of the city of Pointe Noire and about 25km from the Atlantic coast. The most promising is the DX project with mineral resources estimated at 232 million t of sylvinite (at 38.1% KCl). In addition, exploration and appraisal work is being carried out as part of the concession, where an estimated 320-600 million t of mineral resources (at 30-38% KCl) are found. Another in the company's development strategy is the Kola project with estimated measured and indicated mineral resource of 508 million t (at 35.4% KCl content). Projected annual production is 2.2 million t, over 33 years (www.korepotash.com).

Khemisset Potash is a potassium project located in northern Morocco, owned by Emmerson Plc. The evaporite series in this region formed in a closed marine basin as a result of opening of the mid-Atlantic ridge, at the turn of the Triassic and Jurassic. The thickness of the evaporite sediments, consisting mainly of halite, gypsum and locally of sylvinite and carnallite, exceeds up to 1 000 meters in some places. The resources of potash are estimated at 537 million tons with an average K₂O content of 9.24%. The area also has great exploration potential. Estimated annual production will be about 6 million tons of potash per year. The initial operating period is assumed to be 19 years. On the one hand, the project will be geared toward covering fertilizer needs in Africa, while on the other hand it is close to the European market, which it could also open up to (Emmerson, 2020).

Referat będzie opublikowany w formie artykułu w Przeglądzie Solnym 2023

Full text published in Salt Review 2023

LITERATURA/REFERENCES:

- ARAB POTASH COMPANY, 2022. Annual Report 2021 [www document]. https://www.arabpotash.com/ebv4.0/root_storage/en/eb_list_page/annual_report_2021_en.pdf
- 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., 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.

- EMMERSON, 2020. Feasibility Study Confirms Low Capex, High Margin Potash Minewith Outstanding Economic Metrics [www document]. <https://www.emmersonplc.com/wp-content/uploads/2020/05/Feasibility-Study-Long-Form-1.06.20-FINAL-FOR-WEBSITE.pdf>
- HIGHFIELD RESOURCES, 2022. Annual Report 31 December 2021 [www document]. <https://www.highfieldresources.com.au/wp-content/uploads/sites/2/2022/03/annualReport2022.pdf>
- <https://korepotash.com/projects/overview-of-assets/>
- <http://www.qhsalt.com.cn/foreign/eng/index.asp>
- ICL, 2022. Annual report for the Period Ended December 31, 2021 [www document]. https://s27.q4cdn.com/112109382/files/doc_financials/2021/ar/ICL-2021-Annual-Report-FINAL.pdf
- JASINSKI, S.M., 2022. Potash. *W*: Mineral commodity summaries 2021. U.S. Geological Survey.
- KNOEMA. World GDP. <https://knoema.com/sxesqmf/world-gdp> [dostęp 18.07.2022].
- K+S, 2022. Annual Report 2021. K+S Aktiengesellschaft, Kassel, Germany [www document]. <https://www.kpluss.com/en-us/investor-relations/publications/annual-report/>
- MOSAIC, 2022. 2021 Annual Report [www document]. https://s1.q4cdn.com/823038994/files/doc_financials/2021/ar/2021AnnualReport_FINAL.pdf
- NUTRIEN, 2022. 2022 Fact Book [www document]. <https://nutrien-prod-asset.s3.us-east-2.amazonaws.com/s3fs-public/uploads/2022-06/Nutrien%202022%20Fact%20Book.pdf>
- ORRIS G.J., COCKER M.D., DUNLAP P., WYNN J., SPANSKI G.T., BRIGGS D.A., GASS L., przy udziale BLISS J.D., BOLM K.S., YANG C., LIPIN B.R., LUDINGTON S., MILLER R.J., SLOWAKIEWICZ 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, dane przestrzenne: <http://dx.doi.org/10.3133/sir20105090S>.
- PHOSAGRO, 2020. Reports and Results, https://www.phosagro.ru/investors/reports_and_results [dostęp 18.07.2022].
- SOCIEDAD QUÍMICA Y MINERA DE CHILE S.A., 2022. Annual Report 2021 [www document]. https://s25.q4cdn.com/757756353/files/doc_financials/2021/ar/Memoria-Anual-2021_eng1.pdf
- WARREN J. K., 2016. Evaporites. A Geological Compendium. Second edition. Springer International Publishing Switzerland: I-1813.

Andriy POBEREZHSKYI¹, Sofia HRYNIV¹, Stepan KORIN¹, Oksana STUPKA¹

¹Institute of Geology & Geochemistry of Combustible Minerals NANU, Naukova 3a, Lviv 79060, Ukraine
e-mail: andriy.poberezhskyy@gmail.com; stupkaoksana@gmail.com; sophia_hryniv@ukr.net; igggk@mail.lviv.ua

Precarpathia is rich in mineral resources and is the only supplier of chlorine-free (sulfate) potassium salts. Pure sulfate-free (chlorine) salts, which are represented by sylvinite and carnallite rock, are poorly developed. Mixed sulfate-chlorine salts (kainite, langbeinite, sylvinite, halite) are more common. The K₂O content in the salts of the Precarpathian Basin ranges from 9 to 21%. The main industrial stocks are concentrated on 15 areas. The state balance sheet of mineral reserves of Ukraine includes 13 deposits of potash salts with total reserves of 4.4 billion tons, and promising and forecasted reserves - 3.9 billion tons (Gurskyy D. S. et al., 2006). Despite the existing need for potash fertilizers and favorable raw material conditions, the potash industry is on the verge of decline.

Recently, new data have been obtained that have changed previous ideas about the geology of these deposits, the origin of the mineral composition of potassium salts, and the physical and chemical conditions of their sedimentation and recrystallization. It is believed that there are only two evaporite formations in the region (and not 3 - 4 as previously assumed), and the recorded thickness of 600 - 1000 m is explained by intensive tectonics. Salt sedimentation took place at 25^o-60^oC, and recrystallization - at an average temperature of about 70^oC. The most active transformation of salts took place during the Carpathian thrust. According to their mineral and chemical composition, these salts belong to the sulfate type and serve as raw materials for the production of scarce chlorine-free potash fertilizers, the need for which is constantly growing. All this must be taken into account during further exploration and assessment of potassium salt resources.

Referat będzie opublikowany w formie artykułu w Przeglądzie Solnym 2023

Full text published in Salt Review 2023

LITERATURA/REFERENCES:

- GURSKYY D. S., YESIPCHUK K. Yu., KALININ V.I. et al. 2006. – Metallic and non-metallic minerals of Ukraine. Non-metallic minerals. V.2. *Kyiv-Lviv. "Center of Europe" Publishing House: 552 (in Ukrainian)*
- HRYNIV S. P. 1985. To the question of comparison of deposits of potassium salts of the Kalush-Golynske deposit. *Evaporites of Ukraine. Kyiv: 44-50. (in Russian)*
- KORIN S.S. 1994. Budowa geologiczna miocenskich formacji solonosnych Ukrainkiego Przedkarpacia. *Przegląd Geologiczny*, **9**: 744-747.
- KOVAC M., MARTON E. 1998. To rotate or not rotate: Palinspastic reconstruction of the Carpatho-Pannonian area during the Miocene. *Slovak Geol. Mag.*, **4**, 2:169-194.
- KOVALEVICH V. M. 1990. Halogeny and chemical evolution of the Ocean in the Phanerozoic. *Kyiv: 154. (in Russian)*
- KOVALEVICH V. M. 1994. Warunki powstania soli miocenskich Ukrainskiego Przedkarpacia w swietle badan inkiuzji. *Przegląd Geologiczny*. **42**: 738 -743.

- PETRICHENKO O. I. 1988. Physical and chemical conditions of sedimentation in ancient salt basins. Kyiv. Naukova dumka: 128. *(in Russian)*
- POBEREZHSKYI A. V., KOVALEVICH V. M. 2001. Chemical composition of seawater in the Cenozoic (according to the results of studies of inclusions in sedimentary halite). *Geologia i geochemia goruyczych kopalyn. 2: 90-99. (in Ukrainian)*
- VUL M. Ya., DENEGA B. I., KRUPSKYY Yu. Z. et al. 1998. Western oil and gas-bearing region. Atlas of oil and gas deposits of Ukraine. *Lviv: Center of Europe. V.4: 328. (in Ukrainian)*
- VUYTOVYCH A., HRYNIV S., PERYT T.M. 2003. Age of Miocene potassium salts of the Precarpathian depression and dating of tectonic events (according to K-Ar method data). *Dopovidi NAN Ukraine. 6: 92-97. (in Ukrainian)*

PROBLEMY ŚRODOWISKOWE I SPOŁECZNO-GOSPODARCZE SPOWODOWANE DZIAŁALNOŚCIĄ ODKRYWKI DOMBROVSKI ZAKŁADU POTASOWO-MAGNEZOWEGO KAŁUSZ ORAZ SPOSOBY ICH ROZWIĄZANIA W KONTEKŚCIE ODRODZENIA PRZEMYSŁU NA PODKARPACIU UKRAIŃSKIM

ENVIRONMENTAL AND SOCIO-ECONOMIC PROBLEMS CAUSED BY THE ACTIVITIES OF THE DOMBROVSKY QUARRY IN THE KAŁUSH POTASH-MAGNESIUM PLANT AND WAYS TO SOLVE THEM IN THE CONTEXT OF THE REVIVAL OF THE POTASH INDUSTRY IN THE UKRAINIAN FORECARPATHIAN

Yuryij V. SADOVYI¹, Anatolij R. GALAMAY², Krzysztof BUKOWSKI³

¹ State Institution State Scientific Research and Design Institute of Basic Chemistry (NIOCHIM), Kharkiv, Ukraine, e-mail: ysadovyi@gmail.com

² Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals, NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine, e-mail: galamaytolik@ukr.net

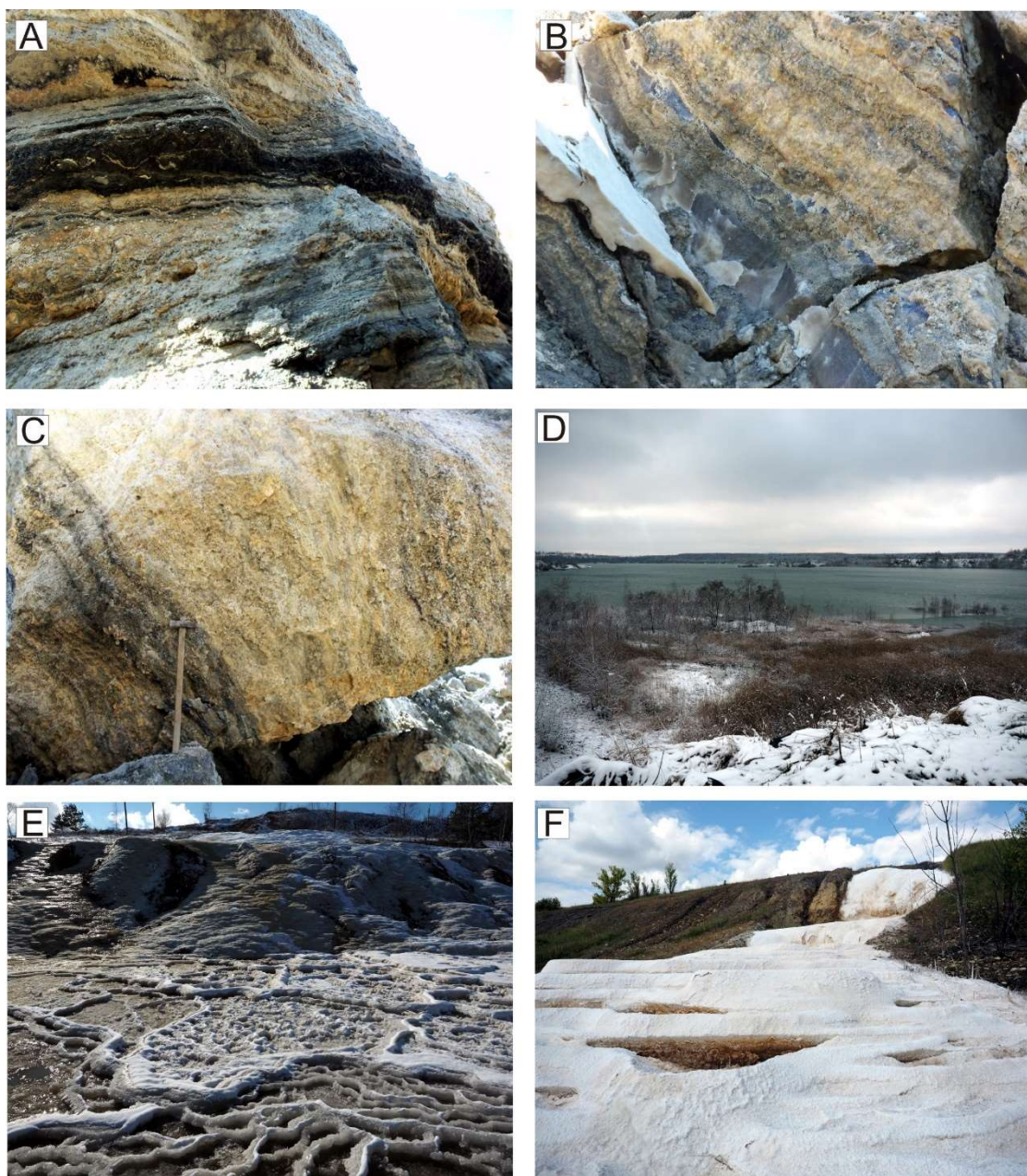
³ Faculty of Geology, Geophysics and Environmental Protection, AGH University of Science and Technology, 30059 Kraków, Poland e-mail: buk@agh.edu.pl

W granicach dawnej Galicji (zachodnia Ukraina) występują rzadkie złoża soli potasowo-magnezowej, typu siarczanowego i chlorkowo-siarczanowego o łącznych zasobach soli polimineralnych wynoszących 8315,3 mln ton. Na podstawie danych z badań geologicznych-poszukiwawczych, rozpoznano tam około dwudziestu obszarów koncentracji złóż soli K-Mg (Sadovyi i in., 2018). Najbardziej zbadane zostało złożo Kalusz-Holyń, gdzie na jednym z odcinków tego złoża (dzielnica Dombrowska) na głębokości 20–30 metrów stwierdzono występowanie grubych pokładów soli polimineralnej. Z tego też względu w latach 50-tych, na początku lat 60-tych XX wieku, po raz pierwszy na świecie w Kaluszu rozpoczęto wydobycie soli potasowo-magnezowych metodą odkrywkową w kamieniołomie (**Ryc. 1**).

W trakcie istnienia kopalni wydobyto tu 52 mln m³ skał obejmujących łącznie skały nadkładu, brekcję solną oraz rudę – mieszaninę mineralów potasowo-magnezowych z halitem. W tym samym czasie na terenach przylegających do dzielnicy Dombrowski te same złożo było eksploatowane metodą górniczą w kopalni podziemnej. Wydobyciu i przeróbce surowców mineralnych towarzyszyło powstawanie znacznej ilości odpadów stałych i płynnych, które następnie były składowane na wysypiskach i haldach oraz w stawie osadnikowym, co do dziś negatywnie wpływa na stan ekologiczny środowiska (**Ryc. 1**).

Ze względu na niedoskonałą technologię przetwarzania surowca (przeróbkę) wprowadzoną w latach 60-tych ubiegłego wieku, udział procentowy pozyskiwania składników użytecznych był niezwykle niski. Doprowadziło to do tego, że zawiesina, która dostała się do odpadów poflotacyjnych zawierała do 50% zawartości K, Mg i siarczanów z ich pierwotnej ilości w wydobytej masie górniczej oraz prawie cały chlorek sodu znajdujący się w rudzie. Obecnie roztwory które wypełniają kamieniołomem Dombrowski oraz roztwory skoncentrowane w stawach osadnikowych składowiska są wieloskładnikowe – zawierają jony Na, Cl, Mg, K, SO₄, Ca. Dominują jony Cl i Na, zawartość jonów Mg, K i SO₄ naturalnie wzrasta wraz z głębokością, a względny udział jonu Ca w ogólnym składzie soli jest niewielki. W wyrobisku stężenie roztworów waha się od 20 g/l na powierzchni do prawie 400 g/l przy dnie. W składowisku

odpadów nr 2 – od 60–80 g/l na powierzchni do 400 g/l w dolnej części. Porównanie danych testowych z różnych lat wskazuje na zmianę gęstości, całkowitej mineralizacji i zawartości rozpuszczonych składników soli w czasie, zwłaszcza w górnej części warstwy solanki.

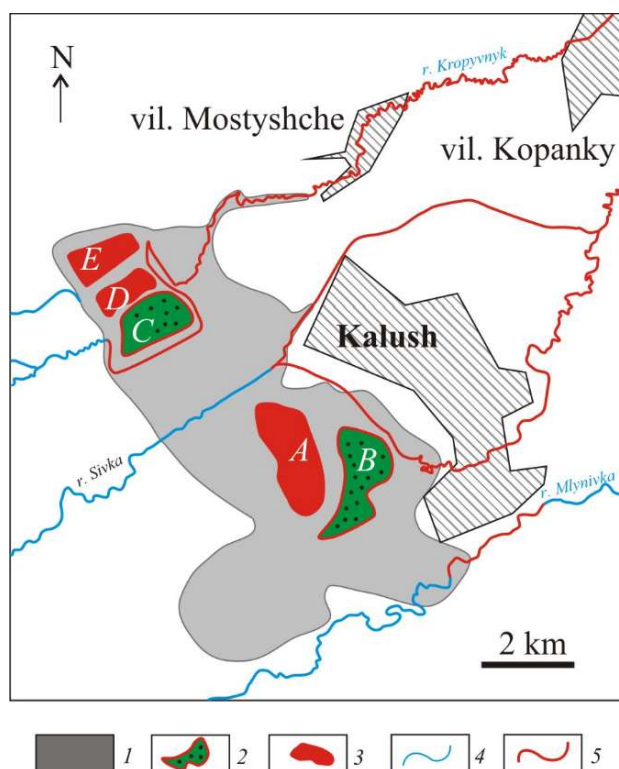


Ryc. 1. Odkrywka Dombrowski w Kaluszu. A-C – widok odsłoneń K-Mg soli przed zatopieniem (stan na wrzesień 2011 r.); A – seria surowca kainitowego; B – warstwa langbainitu w skale kainitowo-langbainitowej; C – bryła soli kainitowej; D - zatopiony kamieniołom, głębokość solanki w niektórych miejscach przekracza 100m (marzec 2021 r.); E - wykrystalizowany zimą mirabilit na brzegach zbiornika szlamu (marzec 2021 r.); F – tenardyt powstały z dehydratacji mirabilitu na brzegach składowiska odpadów przerobczych nr 1 (lipiec 2022 r.).

Fig. 1. The Dombrowski quarry in Kalush. A-C - view of outcrops of K-Mg salts before sinking (as of September 2011); A - kainite series; B - a layer of langbeinite in kainite-langbeinite rock; C - lump of kainite; D - sunken quarry, the depth of brine in some places exceeds 100m (as of March 2021); E - winter crystallized mirabilite on the banks of the slurry reservoir (as of March 2021); F - thenardite formed from dehydration of mirabilite in banks of tailings storage site No. 1 (as of July 2022).

Próbki przypowierzchniowe solanek w południowej części kamieniołomu Dombrovski w 1995 r. wskazywały mineralizację około 180 g/l i więcej, w 2010 r. ok. 130 g/l, w 2013 r. ok. 70 g/l, a w 2018 r. tylko około 25 g/l. Dzieje się tak w wyniku postępującego zalewania kamieniołomu słodkimi wodami pochodzenia atmosferycznego. Można przewidywać, że jeśli proces ten będzie postępował zawartość soli zmniejszy się, a woda będzie zbliżona do lekko słonawej. Stały spadek mineralizacji roztworów występuje również w górnych warstwach solanki w stawach osadnikowych i w zbiornikach szlamu na składowisku odpadów.

Od ponad 50 lat wysoko zmineralizowane roztwory są stale uwalniane do środowiska ze wszystkich tych obiektów i nadkładów kamieniołomu Dombrovski, przedostając się do sieci rzecznej i warstwy wodonośnej. W rezultacie w warstwie wodonośnej w pobliżu miasta Kalusz powstał obszar zasolonych wód gruntowych, który stale się powiększa, rozszerzając się w kierunku południowo-wschodnim (**Ryc. 2**). Istnieje niebezpieczeństwo dotarcia wód zmineralizowanych do ujęcia miejskiego z odpowiednimi negatywnymi skutkami. Na chwilę obecną informacje o stanie faktycznym warstwy wodonośnej są fragmentaryczne. Jednak dane uzyskane w ostatnich latach wskazują na znaczne pogorszenie sytuacji ekologicznej. W szczególności, według danych odwiertu nr 65, położonego kilkaset metrów na wschód od kamieniołomu Dombrovski i zwałowisk nadkładu, mineralizacja roztworów w 2006 r. wyniosła poniżej 20 g/l, a na koniec 2018 r. – ponad 105 g/l. Gwałtowny wzrost mineralizacji wód gruntowych rozpoczął się po intensywnym zalaniu kamieniołomu Dombrovski. Wody zasolone rozchodzą się w kierunku regionalnego stoku poziomego wodonośnego w kierunku miasta Kalusz i przypuszczalnie w kierunku miejskiego ujęcia wody na rzece Limnytsia (**Ryc.2**).



Ryc.2. Układ zaplecza technologicznego złoża soli potasowo-magnezowych Kalusz-Holyń (Sadovyi i in., 2022). Objasnienia: 1 – obszar zasolonych warstw wodonośnych; 2 – zrekultywowane obiekty zasolone na powierzchni; 3 – zbiorniki z solankami; 4 – cieki wodne niezasolone, 5 – cieki wodne zasolone. A – kamieniołom Dombrovski; B – zwałowisko soli i skal nadkładu, C – składowisko odpadów przeróbczych nr 1; D - zbiornik szlamu; E – staw osadnikowy, składowisko odpadów przeróbczych nr 2.

Fig.2. Layout of the technological facilities of the Kalush-Holyn potassium-magnesium salt deposit (Sadovyi et al., 2022). Explanations: 1 - an area of saline aquifers; 2 - reclaimed saline objects on the surface; 3 - saline reservoirs; 4 - non-saline watercourses; 5 - saline watercourses. A - Dombrovsky quarry; B - salt and overburden rock dump; C - tailings storage facility No. 1; D - sludge reservoir; E - settling pond, tailings storage facility No. 2.

Katastrofalny stan środowiska spowodowany dotychczasową nieefektywną organizacją działalności zakładu potasowo-magnezowego Kalusz oraz wieloletnią bezczynnością w rozwiązywaniu problemów środowiskowych regionu, stanowi zagrożenie dla bezpiecznego życia ludzi. Najbardziej racjonalnym sposobem rozwiązania obecnej sytuacji kryzysowej w tej materii jest przeróbka nagromadzonych solanek z zaplecza technologicznego zakładu. Tego rodzaju prace będą skuteczne, gdy równoległe prowadzony będzie kompleks prac, mających na celu znaczne ograniczenie dopływu opadów atmosferycznych i wód wodonosnych do zagospodarowanej przestrzeni kamieniołomu Dombrovski oraz zapobieżenie przenoszeniu składników soli poza obiekty technologiczne.

W wyniku badań laboratoryjnych przeprowadzonych w Instytucie Badawczym „Halurgia” w Kaluszu opracowano technologię przetwarzania stężonych roztworów pochodzących z kamieniołomu Dombrovski. Gotowe produkty tej technologii to kalimagnezja o zawartości składników (w %): K_2O – 28.79%; MgO – 11.73%; SO_4^{2-} – 59.29%; Cl – 1.77% (suma składników $K_2O + MgO = 60.3\%$) oraz sól techniczna najwyższej jakości oraz roztwór chlorku magnezu o zawartości $MgCl_2$ co najmniej 25.0 %, który można wykorzystać do uzyskania spoiw magnezowych lub tlenku magnezu o wysokiej czystości lub krystalicznego biszofitu. Odzyskiwanie potasu w kalimagnezji wynosi 90.0 %, magnezu – 36.4 %, a siarczanów – 94.4 %. Według obliczeń z 10 m³ roztworu z wyrobiska Dombrovskiego powstanie 1.1 t kalimagnezji, 2.3 t soli przemysłowej i 1.90 t roztworu $MgCl_2$. Nie ma stałych odpadów produkcyjnych.

Zaproponowane podejście umożliwiłoby zatrzymanie postępującego procesu uwalniania składników soli do środowiska i uruchomienie produkcji przy jednoczesnym rozwiązaniu problemów środowiskowych i społeczno-gospodarczych miasta Kalusz.

Skuteczne rozwiązanie problemów środowiskowych spowodowanych nieefektywnymi technologiami rozwoju i przetwarzania surowców polimineralnych, a tym samym skrajnie nieracjonalne wykorzystanie zasobów soli potasowo-magnezowych złoża Kalusz-Holyn (a także złoża Stebnik), otwiera możliwości rozwoju innych obiecujących obszarów na Przedkarpaciu i odrodzenie przemysłu potasowego w perspektywie długoterminowej. Będzie to ułatwione przez zastosowanie najnowszych technologii wydobywczych. W ostatnich latach w Instytucie Badawczym „Halurgia” opracowano kilka opcji schematów technologicznych przetwarzania złóż soli polimineralnych, które różnią się od stosowanych dotychczas technologii znacznie wyższym pozyskaniem składników użytecznych z surowców oraz brakiem konieczności budowy obiektów składowisk odpadów poflotacyjnych.

Within the former Galicia (western Ukraine) borders are rare deposits of potassium-magnesium salt, sulfate, and chloride-sulfate types with total polymineral salt reserves of 8 315.3 million tons. Based on geological-exploration data, about twenty areas of concentration of K-Mg salt deposits have been recognized there (Sadovyi et al., 2018). The most studied was the Kalush-Holyn deposit, where thick deposits of polymineral salt were found at a depth of 20-30 meters in one section of this deposit (Dombrovskaya district). For this reason, in the 1950s, and early 1960s, for the first time in the world in Kalush, the mining of K-Mg salts began using the open-pit method in a quarry (Fig. 1).

During the mine's existence, 52 million cubic meters of rock were mined there, comprising a total of overburden rock, salt breccia and ore - a mixture of potassium and magnesium minerals with halite. At the same time, in the areas adjacent to the Dombrovsky district, the same deposit was exploited using underground mining. The extraction and processing of minerals were accompanied by the generation of a significant amount of solid and liquid waste, which was subsequently dumped in landfills and heaps and in a tailings pond, which still negatively affects the ecological state of the environment today (**Fig. 1**).

Due to the highly imperfect raw material processing technology introduced in the 1960s, the percentage of valuable constituents extracted was extremely low. It led to the slurry that entered the tailings containing up to 50% of the K, Mg and sulfate content of their original amount in the mined ore and almost all of the sodium chloride found in the ore. Currently, the solutions that fill the Dombrovsky quarry and the solutions concentrated in the landfill's settling ponds are multicomponent - they contain Na, Cl, Mg, K, SO₄, and Ca ions. Chloride and sodium ions dominate, the content of Mg, K, and SO₄ ions naturally increase with depth, and the content of Ca ions in the overall salt composition is low. In the pit, the concentration of solutions varies from 20 g/l at the surface to almost 400 g/l near the bottom. Landfill No. 2 - from 60-80 g/l at the surface to 400 g/l at the bottom. A test data from different years shows a change in density, total mineralization and dissolved salt content over time, especially in the upper part of the brine layer.

Samples of near-surface brine in the southern part of the Dombrovsky quarry in 1995 indicated mineralization of about 180 g/l and more, in 2010, about 130 g/l, in 2013, about 70 g/l, and in 2018 only about 25 g/l. It is due to the progressive flooding of the quarry with fresh water of atmospheric origin. If this process continues, the salt content will decrease, and the water will be close to slightly brackish. A steady decrease in solution mineralization is also occurring in the upper layers of brine in the settling ponds and the sludge tanks at the landfill. For over fifty years, highly mineralized solutions have been continuously released into the environment from all of these facilities and the overburdened dumps of the Dombrovsky quarry, seeping into the river network and aquifer.

Consequently, an area of saline groundwater has been formed in the aquifer near the city of Kalush, which is constantly growing, expanding in the southeast direction (**Fig.2**). There is a risk of saline water reaching the city with corresponding negative consequences. At the moment, information about the actual state of the aquifer is fragmentary. However, the data obtained in recent years indicate a significant deterioration of the technological and ecological situation. In particular, according to the data of well No. 65, located a few hundred meters east of the Dombrovsky quarry and overburden dumps, the mineralization of solutions in 2006 was less than 20 g/l, and at the end of 2018 – more than 105 g/l. A sharp increase in groundwater salinization began after the intensive flooding of the Dombrovsky quarry. Saline waters spread in the direction of the regional slope of the aquifer – towards the city of Kalush and, presumably, towards the city's water intake on the Limnytsia River (**Fig.2**).

The catastrophic environmental condition caused by the previous ineffective organization of the operations of the Kalush potash and magnesium plant and many years of inaction in solving the region's environmental problems threatens the safe existence of people. The most reasonable way to solve the current crisis in this matter is to process accumulated brine from the plant's technological facilities. Such work will be effective when a complex of works is carried out in a parallel manner, aimed at significantly reducing the inflow of precipitation and aquifers into the developed space of the Dombrovsky quarry and preventing the transfer of salt components outside the technological facilities.

As a result of laboratory tests conducted at the Research Institute "Halurgia", processing technology for concentrated solutions from the Dombrovsky quarry was developed. The finished products of this technology are calimagnesia with the content of components (in %): K₂O - 28.79%; MgO - 11.73%; SO₄ - 59.29%; Cl - 1.77% (the sum of the components K₂O + MgO = 60.3%) and a technical salt of the highest quality and a solution of magnesium chloride with a concentration of MgCl₂ of at least 25.0%. MgCl₂ can be used to obtain magnesium binders or high-purity magnesium oxide, or crystalline bischofite. The extraction of potassium in calimagnesia is 90.0 %, magnesium - 36.4 %, and sulfate - 94.4 %. According to calculations, 10 m³ of solution from the Dombrovsky pit will produce 1.1 t of calimagnesia, 2.3 t of industrial salt and 1.90 t of MgCl₂ solution. There is no solid production waste. The proposed approach would make it possible to stop the progressive release

of salt components into the environment and start production while solving the environmental and socio-economic problems of the city of Kalush.

The successful resolution of environmental problems caused by inefficient technologies for processing polymineral raw materials, and thus the highly irrational use of the potassium-magnesium salt resources of the Kalusz-Holyn deposit (as well as the Stebnik deposit), opens up opportunities for the development of other promising areas in the Forecarpathian region and the revival of the potash industry in the long term. This will be facilitated by the application of the latest mining technologies. In recent years, the Research Institute "Halurgia" has developed several options for technological schemes for the processing of polymineral salt deposits, which differ from the technologies used to date by significantly higher extraction of valuable components from raw materials and by not having to build tailings storage facilities.

Referat opublikowany w formie artykułu w Przeglądzie Solnym 2021/2022

Full text published in Salt Review 2021/2022

LITERATURA/ REFERENCES

- Садовий Ю. В., Галамай А. Р., Сидор Д. В. 2019. Перспективи розвитку калійної промисловості Передкарпаття // Матеріали VIII науково-практичної конференції «Мінерально-сировинні багатства України: шляхи оптимального використання». – Хорошів, Україна. – 4 жовтня 2019. – С. 215–221.
- Садовий Ю. В., Галамай А. Р., Сидор Д. В. 2022. Екологічний стан та проблеми охорони водотоків у районі Калуського калійно-магнієвого заводу. XX Міжнародна науково-практична конференція „Ресурси природних вод карпатського регіону”. Проблеми охорони та раціонального використання. – Львів, Україна. – 26-27 травня 2022, 34–35.

Michael BEER¹, Michał M. ŻYWIECKI², Chris GILCHRIST³

¹K2O Potash Corp. Ltd., Melbourne, Australia
e-mail: mbeer@beerandco.com.au

²PetroleFinder LLC, Warszawa, Polska
e-mail: michal.zywiecki@petrofinder.com

³Gilchrist Mining Ltd., Termonfeckin, Ireland
e-mail: chris@gilchristmining.com

Złoże soli potasowych i potasowo-magnezowych są bardzo istotnym elementem produkcji żywności na świecie, stanowiąc główne komponenty lub wręcz bezpośredni nawóz rolniczy.

Jest tylko kilka dużych obszarów złożowych na świecie jak, w przypadku większości kopalni, ze względu na ich komercyjną tanią dostępność, oraz geograficzne położenie, pokrywających zapotrzebowanie o zasięgu globalnym (**Ryc. 1**).

Zawsze niezwykle ważnym elementem jest koszt dostawy danej kopaliny, gdyż transport stanowi znaczący czynnik finansowy. Zawsze najkorzystniejsze jest mieć wydobyć jak najbliżej odbiorcy.

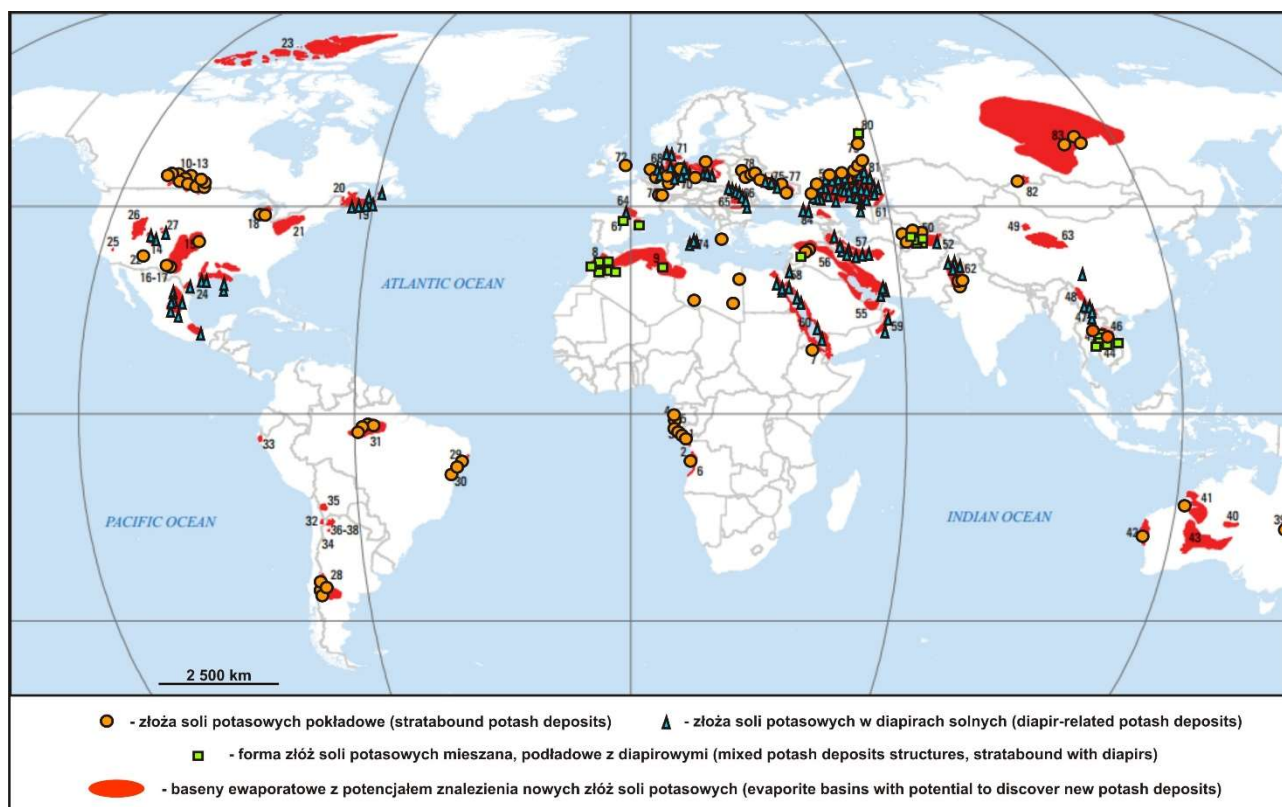
Na skutek wojny na Ukrainie, na dostarczających soli potasowych Białoruś i Federację Rosyjską, wielkość około 30% rynku światowego, zostały nałożone sankcje, powodujące kosztowną zmianę kierunków geograficznych dostaw, a nawet całkowitą rezygnację z nich (patrz Brazylia, która zrezygnowała w całości z dostaw soli potasowych z Federacji Rosyjskiej, czyli 40% wewnętrznego rynku zapewniającego potrzeby rolnictwa w tym kraju).

Głównie jako produkt wydobywania uzyskiwany jest MOP (Muriate of Potash, KCl), zdecydowanie w mniejszych ilościach wraz z magnezem SOP (Sulphate of Potash).

Razem, Białoruś, Chiny, Kanada oraz Federacja Rosji dostarczają na światowe rynki ponad 80% soli potasowych, czyli 70 milionów ton, patrz rok 2020. Największym producentem jest Kanada, pokrywająca około 32 % rynku.

W Europie jest 10 znaczących kopalni soli potasowych. W samych Niemczech 6 konwencjonalnych podziemnych i jedna kopalnia eksploatująca metodą podziemnego ługowania. W Hiszpanii 3 kopalnie i w Wielkiej Brytanii 1. Roczna ich produkcja we wszystkich tych europejskich krajach wynosi około 9 milionów ton K₂O, w samych Niemczech około 7 milionów ton K₂O, przy średniej zawartości K₂O w sekwencjach soli potasowych i potasowo-magnezowych około 8-18%.

W Rosji czynnych jest 10 kopalń, przy zmiennym wydobyciu co roku, średnio około 14 milionów ton, oraz z zawartością K₂O 15-20% (wyjątkowo w jednym z obszarów VolgaKali to 39,5%).



Ryc. 1. Mapa rozmieszczenia typów pokładowych, wysadowych i mieszanych złóż soli potasowych i potasowo-magnezowych na świecie. Zamieszczono również lokalizacje basenów ewaporatowych perspektywicznych dla nowych złóż tej kopaliny (na podstawie Orris et al., 2010).

Fig. 1. Stratabound, diapir-related and mixed types of potash and potassium-magnesium salt deposits localities in the world. Prospective evaporate basins for future discoveries also shown (based on Orris et al., 2010).

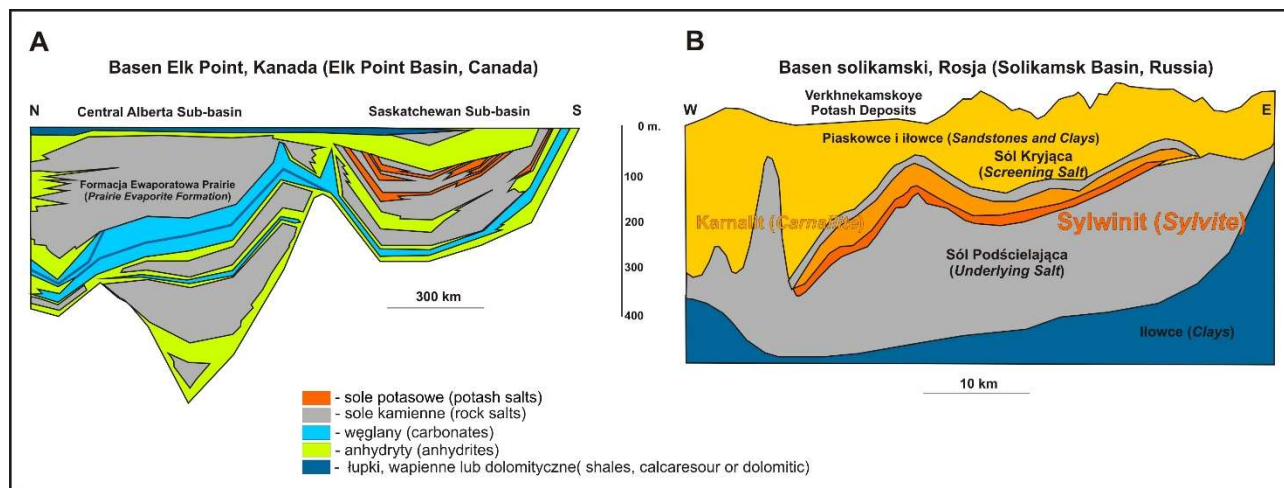
Na Białorusi działa 7 kopalń, produkując rocznie około 12 milionów ton K_2O o średniej zawartości w kopalinie soli potasowych około 13-16%.

W Kanadzie czynnych jest 13 kopalń wydobywających rocznie około 16 milionów ton K_2O o zawartości 20-27%. USA posiada 6 kopalń, średnie zawartości K_2O w kopalinie soli potasowych to około, 12-20%, i wydobywane tam jest kilka milionów ton K_2O rocznie.

Pozostałe kraje na świecie, w tym głównie Chiny i Izrael, uzyskują około 16 milionów ton K_2O z solanek słonych jezior i Morza Martwego.

Złoża soli potasowych i potasowo-magnezowych na świecie mogą zawierać sumarycznie ponad 100 miliardów ton czystego K_2O (Orris et al., 2010). Największe złoża tej kopaliny występują w osadach dewonu w Kanadzie w basenie Elk Point, na Białorusi w basenie Prypeci, w osadach permu w Rosji w basenie solikamskim i w Europie w basenie permskim (cechsztyńskim) (**Ryc. 2**), który rozciąga się również na teren prawie całej Polski (porównaj Hodbod, 2022).

Oczywiście opisywane są złoża soli potasowych i potasowo-magnezowych odkryte na lądzie, gdyż znaczące sekwencje tego typu osadów zostały znalezione również podczas prac wiertniczych za złożami ropy naftowej i gazu ziemnego na szelfach (np. zachodnie wybrzeże Afryki, szelf Brazylii czy Zatoka Meksykańska). Zresztą złoża soli potasowych są zwykle odkrywane w pierwszej kolejności podczas prac poszukiwawczych za węglowodorami.



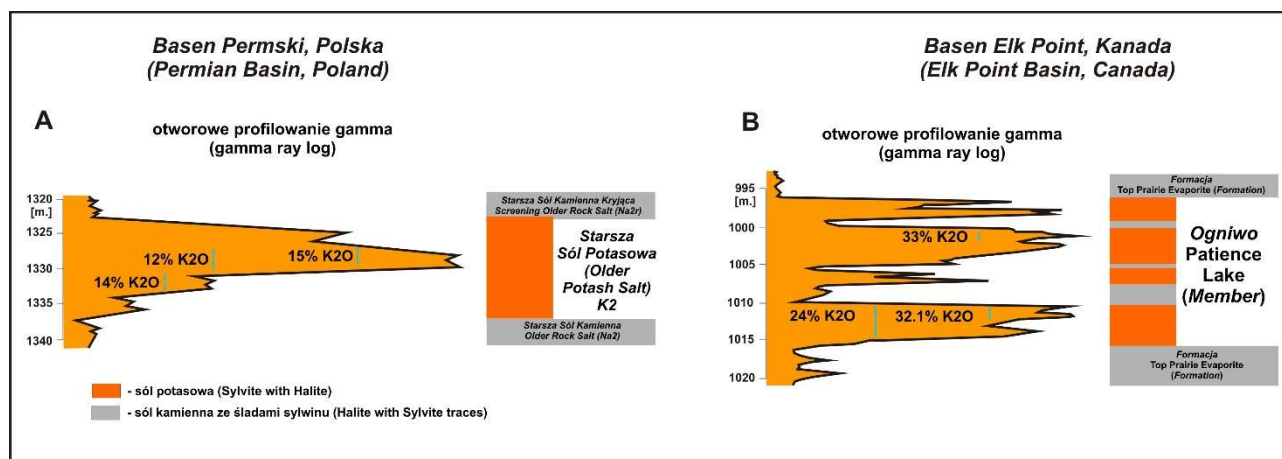
Ryc. 2. (A) Przekrój geologiczny przez basen Elk Point w Kanadzie, uważany za najbogatszy w udokumentowane złoża soli potasowych na świecie (na podstawie Saskatchewan Department of Natural Resources). (B) Przekrój geologiczny przez złożę soli potasowych Verkhnekamskoye, w basenie solikamskim, Kraju Permskim, Rosja (na podstawie Malovichko, 2009).

Fig. 2. (A) Cross-section through Elk Point Basin, Canada, described as most prolific with discovered potash salts deposits in the world (based on Saskatchewan Department of Natural Resources). (B) Cross-section through Verkhnekamskoye Potash Salts Deposits. Solikamsk Basin, western slope of Ural Mountains, Russia (based on Malovichko, 2009).

W Europie, zapotrzebowanie rynku soli potasowych, może być pokryte poprzez kontynentalne wydobywanie. Również rozwijane i nowoczesne kopalnie w Wielkiej Brytanii takie jak kopalnia ICL Boulby firmy Cleveland Potash Ltd. oraz projekt Woodsmith firmy AngloAmerican plc, oba przedsięwzięcia wydobywania złóż polihalitu metodą konwencjonalną z kopalni podziemnych mogą stanowić ważny kierunek dostaw.

Można w związku z tym bazować na zasobach olbrzymiego basenu permskiego rozciągającego się w centrum Europy. Wypełniające go sole cechsztynu, posiadają znaczące sekwencje złóż soli potasowych zakumulowane w cyklotemach Werra (Z1), Strassfurt (Z2), Leine (Z3). Podstawowym kryterium oceny zasobowości pozostaje rozpoznanie występowania złóż soli potasowych i potasowo-magnezowych na podstawie lokalizacji odwierconych już otworów wiertniczych. Pozostaje olbrzymi potencjał złożowy w obszarach nierozwierconych, przy wielkości basenu permskiego w Europie, w różnych jej krajach, można kalkulować zasoby nawet na wielokrotnie większe niż w Kanadzie (**Ryc. 1 & Ryc. 3**). Przy czym sejsmika 3D i 2D jest również bardzo użytecznym narzędziem dla odkryć nowych złóż.

Paleogeograficznie, sole basenu permskiego w Europie osadzały się w okresie permskim w takim samym środowisku geochemicznym morza intrakratonicznego jak sole basenów permskich na zachód od Uralu z drugimi co do wielkości zasobami na świecie. Co więcej osady tego typu charakteryzują się niezależnie od wieku, podobną sekwencją zmienności facjalnej, w tym wypadku z określonymi rodzajami minerałów soli potasowych i potasowo-magnezowych (**Ryc. 3**). Istnieje bardzo duży potencjał odkrycia nowych złóż sylwinitu, karnalitu, langbeinitu i polihalitu zarówno w Niemczech jak i w Polsce (Czapowski et al., 2015), co wymaga szczegółowego wcześniejszego rozpoznania zmienności facjalnej w obrębie sekwencji solnych kolejnych cyklotemów cechsztynu.



Ryc. 3. (A) Fragment otworowego profilowania gamma z wiercenia Świdnica-1, monoklina przedsudecka, okolice Zielonej Góry, Polska. Sekwencja złożowa starszej soli potasowej K₂ (na podstawie Podemski, 1972). (B) Fragment otworowego profilowania gamma z wiercenia z obszaru kopalni Belle Plaine, basen Elk Point, Kanada. Złożowe ogniwo Patience Lake bogate w sole potasowe (na podstawie Fuzesy, 1982).

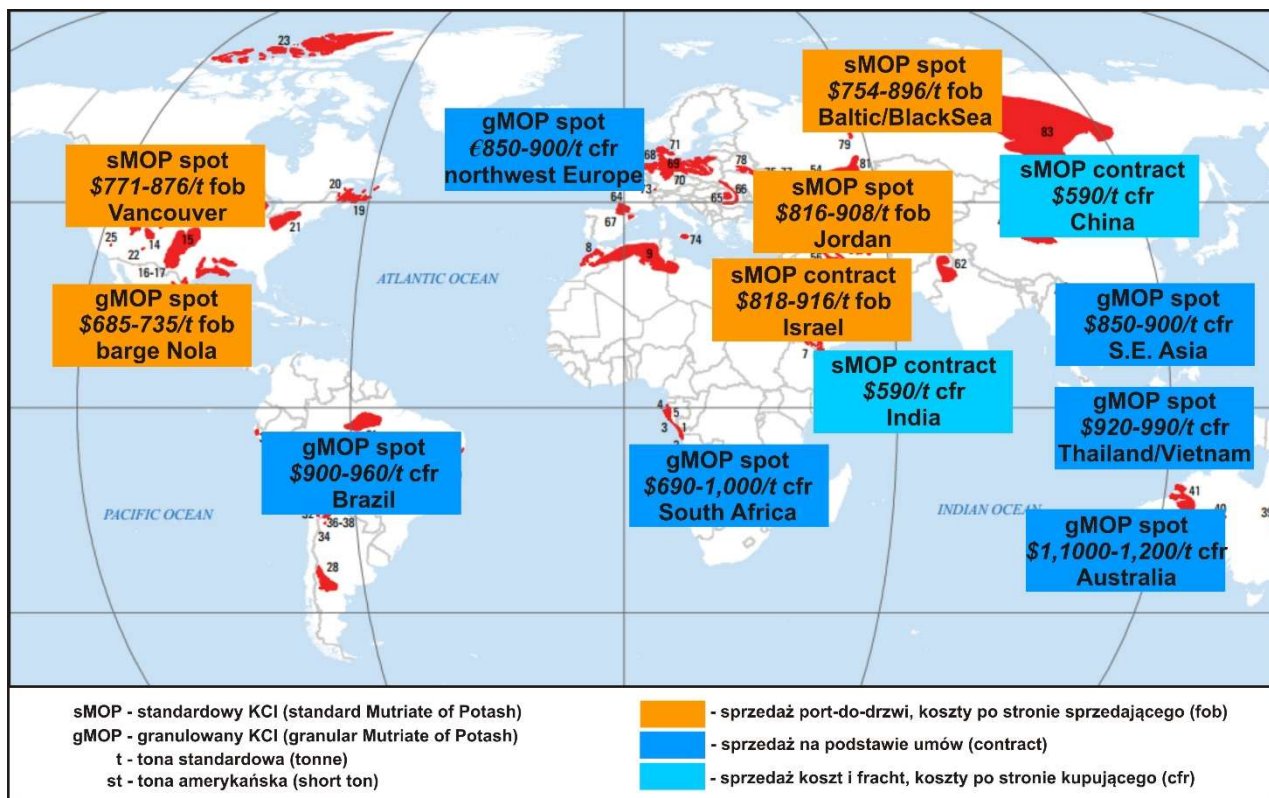
Fig. 3. (A) Gamma ray log fragment from Świdnica-1 well, Foresudetic Monocline, Zielona Góra town area, Poland (based on Podemski, 1972). (B) Gamma ray log fragment from the well from Belle Plaine Potash Mine, Elk Point Basin, Canada. Prolific in Potash Salts Patience Lake Member (based on Fuzesy, 1982).

Zapotrzebowanie na sole potasowe w przemyśle, a zwłaszcza w rolnictwie rośnie z roku na rok na świecie. Przez ostatnie kilkanaście lat trend był cały czas zwykły jednak powolny (patrz Argus Media Group, 2022). W 2017 zapotrzebowanie globalne osiągnęło poziom 66,8 milionów ton MOP (Muriate of Potash – KCl) z przewidywaniami na rok 2022 na około 70,7 milionów ton, zaś na rok 2034 86,5 milionów ton.

Podobnie z cenami, w roku 2017 była ona średnio 230-275 USD za tonę, z predykcją na rok 2022 około 268-333 USD za tonę, zaś w 2034 około 230-330 USD za tonę.

Patrząc na ceny dzisiejsze (**Ryc. 4**), kilkukrotnie wyższe od przewidywanych, widać jak po raz kolejny możemy obserwować niestabilność rynków surowców, i to nagle, z dużym wzrostem cen spowodowanym wystąpieniem znaczącego konfliktu zbrojnego w istotnym punkcie na świecie.

Obecnie, jedyne co można się spodziewać to cały czas stopniowy wzrost cen soli potasowych, gdyż tak znaczące kierunki dostaw tej kopaliny chemicznej z kierunku wschodniego, praktycznie zamykają się na nieprzewidywalnie wieloletni okres.



Ryc. 4. Obecne ceny potasu przy różnych typach transakcji w głównych regionach na świecie (na podstawie Argus Media Group, 2022).

Fig. 4. Recent Potash Prices, related to different transaction types in the world (based on Argus Media Group, 2022).

Prawdopodobnie obecna sytuacja wysokich i ciągle rosnących cen soli potasowych spowoduje szybkie, oczywiście w miarę możliwości formalnych powstawanie nowych kopalni w strefach geograficznych bliżej odbiorców.

Postęp technologiczny i doświadczenia operacji wydobywczych pozwalają na szybszą, bezpieczną dla środowiska naturalnego i estetyczną budowę kopalń podziemnych. Również możliwość planowania bardzo efektywnego wydobycia soli potasowych poprzez podziemne ługowanie (solution mining) pozwala na znaczące obniżenie poziomu CAPEX oraz OPEX, tak zawsze kosztownej inwestycji w wydobycie złóż kopalni.

Również rynek inwestorski zaczyna się dużo szerzej interesować możliwością lokowania dużych kwot w górnictwo kopalni.

Przykładem jest projekt kopalni podziemnej Jansen w Kanadzie (MOP), prowadzony przez firmę BHP, gdzie nawet rząd Kanady wspomógł go dotacją 100 milionów USD.

Etap 1 wydobycia wg danych BHP Jansen – komunikat ASX z 15 września 2021 r.

BHP Roczne wydobycie	4.35Mt MOP
BHP Nakłady inwestycyjne około	US\$5.7 miliardów
Cena sprzedaży MOP	US\$560 / T (obecnie około US\$ 800 / T)
BHP Opex około	US\$100 / T
Całościowy roczny Opex/T	US\$100 / T - US\$200 / T
BHP Pierwsze wydobycie	2026/7
BHP Etap 1	12-14 % IRR

BHP Etapy 2, 3 oraz 4 (total) dadzą 12Mt rocznie

Z powyższego zestawienia wynika, że ekonomika tego typu projektów jest doskonała, a zasoby złoża Jansen przekraczają 1 miliard ton potasu.

Dwa podstawowe obszary to po pierwsze energia: czyli ciągle wydobycie węgla, ropy naftowej i gazu ziemnego, ale też duże niedoinwestowanie w skali świata w kopalnictwo metali EV, a po drugie coraz bardziej zauważalny obszar, to przy coraz większych obawach na zwiększenie ilości konfliktów zbrojnych i przy rosnącej szybko populacji na świecie, to produkcja żywności. Podsumowując, nawozy mineralne, sole potasowe będą stanowić w najbliższym okresie bardzo istotny czynnik przetrwania w wielu strefach geograficznych.

Globalny popyt na potas przekracza wcześniejsze prognozy ze względu na obawy związane z zagrożeniem dostaw żywności na skutek kryzysu post-covidowego oraz konflikt na Ukrainie.

Białoruś i Rosja, które normalnie produkują około 30% światowego potasu, zostały wykluczone z większości światowych rynków nawozów, co spowodowało niezwykle napiętą dynamikę podaży ze strony pozostałych producentów. Obecnie nie widać końca tego problemu.

W odpowiedzi na powyższe fakty, ceny potasu wzrosły z 275 USD/t (kontrakt, 2021) do 590 USD/t (kontrakt, 2022), a ceny spot w wielu lokalizacjach wynoszą ok. 1000 USD/t.

Lokalizacja złóż soli potasowych w pobliżu danego rynku odbiorcy jest kluczowym czynnikiem ze względu na koszt i wysiłek związany z transportem towaru masowego na duże odległości oraz emisję dwutlenku węgla związaną z tym transportem.

Polska posiada znaczne złoża soli potasowych występujące we wschodniej części basenu cechtyńskiego permu. Złoża te zostały znalezione, w wielu miejscach wstępnie opisane (Czapowski et al., 2015; Podemski, 1972).

Polska nie jest obecnie producentem potasu, jednak jej rozległe zasoby, korzystne położenie i obecny status najważniejszego kraju górniczego w Europie mogą doprowadzić do powstania znaczącego krajowego przemysłu wydobywczego soli potasowych.

Deposits of potassium and potassium-magnesium salts are a very important part of food production worldwide chain, serving as major components or even direct agricultural fertilizer.

There are only a few large deposit areas in the world as, in the case of most minerals, due to their commercial low-cost availability, and geographic location, covering global demand (Fig. 1).

Always an extremely important element is the rate of supplying a given mineral, when transport is a significant cost. It is always most advantageous to have production as close to the recipient as possible.

As a result of the conflict in Ukraine, sanctions have been imposed on potassium salt suppliers from Belarus and the Russian Federation, representing about 30% of the world market, causing costly geographic diversion of supplies, or even abandoning them altogether (see Brazil, which abandoned potassium salt supplies from the Russian Federation in their entirety, 40% of the internal market providing for the country's agricultural needs).

Mainly as a product of mining, MOP (Muriate of Potash, KCl) is obtained, definitely in smaller quantities along with magnesium SOP (Sulphate of Potash).

Together, Belarus, China, Canada and the Russian Federation supply the world markets with more than 80% of potash salts, or 70 million tonnes, see 2020. Canada is the largest producer, covering about 32% of the market.

In Europe there are 10 significant potash salt mines. In Germany alone, 6 conventional underground and one solution mine. In Spain, 3 mines and in the UK, one. Their annual production in all these European countries is

about 9 million tonnes of K_2O , in Germany alone about 7 million tonnes of K_2O , from salt sequences with an average K_2O content in potassium and potassium-magnesium of about 8-18%.

In Russia there are 10 mines in operation, with variable output every year, on average it is about 14 million tonnes, and with a K_2O content of 15-20% (exceptionally in one area of VolgaKaliy it is 39.5%).

Belarus has 7 mines in operation, producing about 12 million tonnes of K_2O annually with an average content in the potassium salt of about 13-16%.

Canada has 13 mines in operation, producing about 16 million tonnes of K_2O annually with a content of 20-27%. The US has 6 mines, average K_2O content in the potassium salt mines of about 12-20%, and several million tonnes of K_2O are mined there annually.

Other countries in the world, mainly China and Israel, produce about 16 million tonnes of K_2O from the brines of salt lakes.

Existing deposits of potassium and potassium-magnesium salts in the world may contain a total of more than 100 billion tonnes of pure K_2O (Orris et al., 2010). The largest deposits of this mineral are found in Devonian sediments in Canada in the Elk Point Basin, in Belarus in the Pripyat Basin, and of Permian sediments in Russia in the Solikam Basin and in Europe in the Permian (Zechstein) Basin (**Fig. 2**). It is worth noting that the Permian Zechstein Basin extends eastward into almost entire Poland (compare to Hodob, 2021/2022).

Of course, deposits of potassium and potassium-magnesium salts discovered onshore are described, but significant sequences of such sediments have also been found during drilling off-shore for oil and gas (e.g., the west coast of Africa, the shelf of Brazil or the Gulf of Mexico). Potash deposits are normally discovered in the first instance by hydrocarbon explorers.

In Europe, the market demand for potash salts can be met through mining within the continental area, as well as developed and modern mines in the UK such as Cleveland Potash Ltd.'s ICL Boulby and Anglo-American plc's Woodsmith project, both ventures to exploit polyhalite ($K_2Ca_2Mg(SO_4)_4 \cdot 2H_2O$) deposits by conventional methods from underground mines.

It is therefore possible for Europe to rely on the resources of a huge Permian basin extending into the center of Europe. Filled with Zechstein salts, it has significant sequences of potassium salt deposits accumulated in the Werra (Z1), Strassfurt (Z2), Leine (Z3) cyclothems. Recognition of the occurrence of potassium and potassium-magnesium salt deposits based on the location of already drilled wells remains the primary criterion for assessing resource amounts. There remains enormous resource potential in undrilled areas. With the size of the Permian Basin in Europe, in its various countries, resources can be calculated to be even many times greater than in Canada (**Fig. 1 & Fig. 3**). 3D or 2D seismic surveys are also a critical discovery tool in conjunction with the extensive drilling results available

Paleogeographically, the salts of the Permian basin in Europe were deposited during the Permian period in the same geochemical environment of the intracratonic sea as the salts of the Permian basins west of the Urals with the second largest resources in the world there. Moreover, sediments of this type are characterized, regardless of age, by a similar sequence of facies variation, in this case with specific types of potassium and potassium-magnesium salt minerals (**Fig. 3**). There is a very high potential for the discovery of new deposits of sylvite, carnallite, langbeinite and polyhalite in both Germany and Poland (Czapowski et al., 2015), which however requires a detailed prior recognition of the facial variability within the salt sequences of the succession of Zechstein cyclothems.

The demand for potassium salts in industry and especially in agriculture is increasing year by year worldwide. Over the past several years, the trend has been constantly upward, but slow (see Argus Media Group, 2022). In 2017, global demand reached 66.8 million tons of MOP (Mutriate of Potash - KCl) with projections for 2022 at around 70.7 million tons, and for 2034 at 86.5 million tons.

Likewise with prices, in 2017 it averaged \$230-275 per ton, with a prediction for 2022 of about \$268-333 per ton, and in 2034 of about \$230-330 per ton.

Looking at today's prices (**Fig. 4**), which are several times higher than predicted, it is clear how we can once again see volatility in commodity markets, and sudden, with a large increase in prices caused initially by post-Covid food security fears and latterly, by the occurrence of a significant conflict at a important location in the world.

At present, the only thing that can be expected is an all time gradual increase in the price of potassium salt, as such significant directions of supply of this chemical mineral from the eastern direction, practically is shut down for an unpredictably multi-year period.

It is likely that the current situation of high and ever-increasing prices for potassium salts will result in the rapid development of new mines in geographic zones closer to consumers, where the geology is amenable for economic discoveries.

Technological advances and the experiences in mining operations allow for faster, environmentally safe and aesthetically acceptable construction of underground mines. Also, the ability to plan for highly efficient extraction of potassium salts through underground leaching (solution mining) allows for a significant reduction in CAPEX and OPEX, whilst recognizing that investment in mining of mineral deposits is always expensive.

The investor market is also beginning to take a much broader interest in the possibility of investing large sums in mineral mining.

An example is the Jansen underground mine Project in Canada (MOP), being developed by BHP, where even the Canadian government supported it with a \$100 million grant.

Phase 1 mining according to BHP Jansen - ASX announcement of September 15, 2021.

BHP Annual Production circa	4.35Mt MOP
BHP Capex est	US\$5.7bn
Current selling price MOP	US\$560 / T
BHP Opex est	US\$100 / T
Most annual global Opex/T	US\$100 / T between US200/T
BHP First Production	2026/7
BHP Stage 1	12-14 % IRR
BHP Stages 2, 3 and 4 (total) will add	12Mt/pta (1,070 Mt Reserves at grade 24.9% K ₂ O)

It can be seen by these numbers that the project economics are excellent and the Jansen Project reserves at present exceed 1bn tonnes of Potash.

The two main areas are, firstly energy: that is, still mining coal, oil and natural gas, but also the large underinvestment on a global scale in EV metal mining, and secondly, an increasingly noticeable area is, with growing concerns for increased war conflicts and with the world's population growing rapidly, food production. In conclusion for, mineral fertilizers, potassium salts will be a very important factor for survival in many geographic zones in the near term.

Global potash demand is outstripping forecasts due to post-Covid food supply fears and the conflict in Ukraine.

Belarus and Russia, normally producing around 30% of the world's potash, have been excluded from most global fertilizer markets which has resulted in extremely tight supply dynamics from the remaining producers. There is currently no end in sight to this issue.

In response, potash prices have increased from \$275/t (contract, 2021) to \$590/t (contract, 2022) with spot prices in many locations of circa. \$1000/t

The location of a potash deposit close to market is a key consideration because of the cost and effort to transport a bulk commodity over long distances and the carbon dioxide emissions associated with this transportation.

Poland has substantial potash deposits arising from an eastwards extension of the Permian age, Zechstein Sea. These have been mapped, drilled, logged and have big potential to be analysed using 3D seismic techniques (Czapowski et al., 2015; Podemski, 1972).

Poland is not currently a potash producer, however its extensive resources, favourable location and current status as Europe's most significant mining country could bring about the emergence of a significant domestic potash mining industry.

Referat będzie opublikowany w formie artykułu w Przeglądzie Solnym 2023

Full text published in Salt Review 2023

LITERATURA/REFERENCES

- CZAPOWSKI G., GAŚIEWICZ A., SZTORMWASSER E., GIEŁŹECKA-MADRY S., KUĆ P., BUKOWSKI, K. (2015) Mapa obszarów perspektywicznych wystąpień rud metali i surowców chemicznych w Polsce w skali 1:200 000 wraz z ich oceną surowcową oraz ograniczeniami środowiskowymi i zagospodarowania przestrzennego. Cz. 2 Surowce chemiczne. Arch. PIG Warszawa.
- FUZESY A. (1982). Potash in Saskatchewan. Report 181, Saskatchewan Energy and Mines, Saskatchewan Geological Survey, 48 stron.
- HODBOD, M. (2022) Sole potasowo-magnezowe – polskie zasoby na tle gospodarki światowej. Przegląd Solny, 61-67.
- MALOVICHKO D.A. (2009). Study of the seismic source mechanisms in mines of the Verkhnekamskoye potash deposit. Conference Paper, January 2009, 17 stron.
- ORRIS G.J, COCKER M.D., DUNLAP P., WYNN J., SPANSKI G.T., BRIGGS D.B, GASS L. with contributions from: BLISS J.D, BOLM K.S., YANG C., LIPIN B.R., LUNDINGTON S., MILLER R.J., SŁOWAKIEWICZ M. (2010). Potash – A Global Overview of Evaporite-Related Potash Resources, Including Spatial Databases of Deposits, Occurrences, and Permissive Tracts. US Department of Interior, US Geological Survey, Scientific Investigations Report 2010-50-90-S, 87 stron.
- PODEMSKI M. (1972) Poziom soli potasowej starszej (K2) w rejonie Zielonej Góry, Arch IG, Warszawa.
- www.argusmedia.com

SPECYFIKA ZACISKANIA WYROBISK KOMOROWYCH W POLACH EKSPLOATACJI SOLI RÓŻOWYCH KOPALNI SOLI „KŁODAWA”

SPECIFICITY OF CLAMPING CHAMBER IN THE PINK SALT EXPLOITATION FIELDS IN THE „KŁODAWA” 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: dkurdek@sol-klodawa.com.pl

CHEMKOP od niemal 20 lat wykonuje pomiary zjawisk deformacji poeksploatacyjnych w cechsztyńskich solach różowych, eksploatowanych w polach nr 3 i 5 Kopalni Soli „Kłodawa”. Złoże charakteryzuje się swoistym kształtem przestrzennym o znacznej rozciągłości (długości) i niewielkiej szerokości poziomej. Z tego względu komory eksploatacyjne rozmieszczane zgodnie z jego rozciągłością i bez zachowania pionowej współosiowości filarów międzykomorowych.

Wyniki pomiarów zaciskania komór pozwoliły na uchwycenie zmienności względnej szybkości deformacji w zależności od głębokości, wieku i wzajemnych relacji pomiędzy pionową, a poziomą składową zaciskania przekroju wyrobiska. Przedstawione wyniki pomiarów zaciskania komór pokazują, że jest ono funkcją nie tylko znanych dotychczas czynników tj. głębokości położenia i wieku wyrobiska, ale także ma związek z układem wyrobisk w złożu będącym następstwem jego formy geologicznej.

Słowa kluczowe: pomiary deformacji poeksploatacyjnych, Kopalnia Soli „Kłodawa”, monitoring deformacji, konwergencja

For almost 20 years, CHEMKOP has been measuring the phenomena of post-exploitation deformation in Zechstein pink salt deposit, exploited in fields no. 3 and 5 of the "Kłodawa" Salt Mine. The deposit is characterized by a specific spatial shape with a considerable extension (length) and a small horizontal width. For this reason, the chambers are arranged according to its extent and without maintaining the vertical coaxiality of the inter-chamber pillars.

The results of chambers clamping measurements allowed to capture the variability of the relative rate of deformation depending on the depth, age and mutual relations between the vertical and horizontal clamping components of the excavation cross-section. The presented results of chamber clamping measurements show that it is a function not only of the previously known factors, i.e. the depth and age of the excavation, but also related to the layout of the excavations in the deposit resulting from its geological form.

Key words: *post-exploitation deformations, Kłodawa salt mine, deformation monitoring, convergence*

Referat będzie opublikowany w formie artykułu w Przeglądzie Solnym 2023

Full text published in Salt Review 2023

LITERATURA/REFERENCES

- BIENIASZ J., WOJNAR W. 2008. Analiza porównawcza deformacji poeksploatacyjnych kłodawskiego systemu komorowo-filarowego przy pionowym i ukośnym układzie wyrobisk.
- *Przegląd Solny 2008. Kwartalnik IGSMiE, tom 24, zeszyt 3/2 111-120.*
- 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.*
- BIENIASZ J., PIETRAS J. 2021 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.*

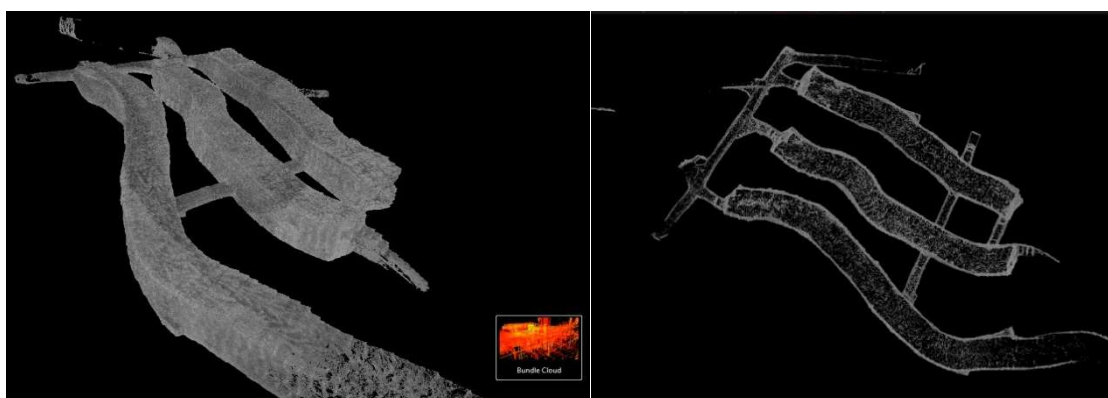
OCENA MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA SKANINGU LASEROWEGO DO POMIARÓW KONWERCENCJI WYROBISK GÓRNICZYCH W KOPALNI SOLI „KŁODAWA” S.A.

ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF USING LASER SCANNING TO MEASURE THE CONVERGENCE OF MINE WORKINGS 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

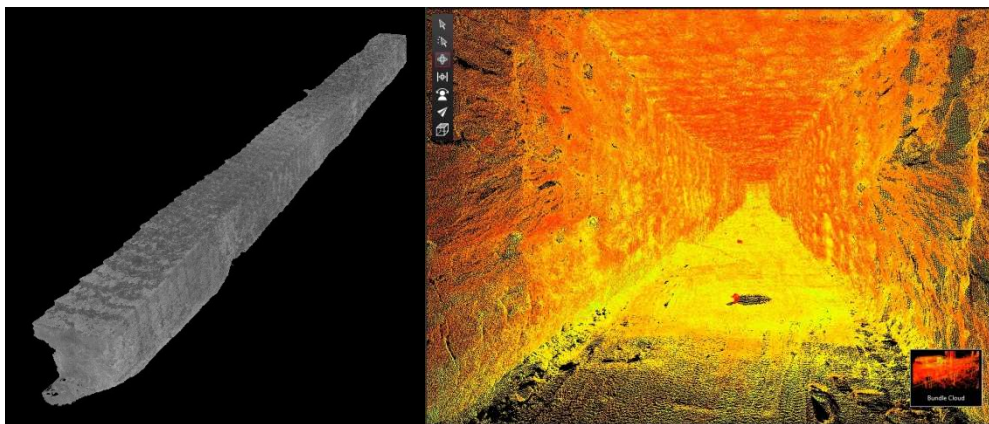
Naziemne skanowanie laserowe jest już powszechnie wykorzystywane w górnictwie, gdzie najpowszechniejszym pomiarem jest inwentaryzacja obiektu, np. wyrobiska górnicze, hałdy, wieże szybowe itp. Inne szerokie zastosowanie skaningu laserowego to wyznaczanie zmian geometrycznych, tj. ugięć, deformacji czy przemieszczeń. Przy użyciu skaningu laserowego możemy dostarczyć quasi-ciągłej informacji o geometrii obiektu w postaci trójwymiarowej chmury punktów (współrzędne X, Y, Z) uzupełnionej informacją o intensywności odbicia wiązki laserowej w poszczególnych punktach. Aby ocenić możliwość korzystania z technologii skaningu laserowego przy pomiarach konwergencji, wykonano pomiar skanerem laserowym LEICA 360RC w 11 wyrobiskach górniczych, w których prowadzi się klasyczne pomiary konwergencji. Wytypowano wyrobiska górnicze, które charakteryzują się innymi warunkami geologiczno-górnictwymi, aby można było uchwycić jak najwięcej zmian na badanym obiekcie. Przykład zeskanowanych komór (**Ryc. 1**) w polu 3 na poziomie 660 m, gdzie od niedawna są prowadzone pomiary konwergencji w rejonie trasy turystycznej. Jak widać skaningu wykonano nie tylko dla jednej komory, ale również dla sąsiednich komór. Dzięki temu możemy obserwować deformacje w filarze międzykomorowym, a nie tylko w samej komorze, co ma miejsce w klasycznym pomiarze konwergencji.



Ryc. 1. Przykład zeskanowanych komór w polu 3 na poziomie 660 m

Fig. 1. Example of scanned chambers in field 3 at the level of 660 m

Inny przykładem jest zeskanowanie komory KS-20a w polu 2 na poziomie 750 (**Ryc. 2**), gdzie obserwuje się zmienność zaciskania w całym pionie na kilku stanowiskach pomiarowych. Wykonano również skaningu komory KS-11 w polu 2 na poziomie 750, gdzie wykonuje się pomiar konwergencji za pomocą urządzeń pomiarowych stacjonarnych (rurowe bazy pomiaru konwergencji pionowej i deformacji pólek międzypoziomowych). Jak widać (**Ryc. 3**) na utworzonej chmurze punktów uchwyciono te rurowe bazy.



Ryc. 2. Przykład zeskanowanej komory KS-20a w polu 2 na poziomie 750 m

Fig. 2. An example of the scanned KS-20a chamber in field 2 at the level of 750 m



Ryc. 3. Przykład zeskanowanej komory KS-11 w polu 2 na poziomie 750 m

Fig. 3. An example of the scanned KS-11 chamber in field 2 at the level of 750 m

Z utworzonej chmury punktów za pomocą odpowiedniego oprogramowania istnieje możliwość stworzenia trójwymiarowego modelu skanowanego obiektu. Otrzymane z procesu skanowania punkty można dalej opracować w zakresie: orientacji chmury punktów z wszystkich skanów do jednego układu współrzędnych, budowy trójwymiarowego modelu CAD, stworzenie rysunków 2D, rzutów, przekrojów i profili itp. Pierwsze wnioski ze skaningu laserowego w wyrobiskach górniczych, jakie można zauważyć to takie, że skanowanie laserowe 3D pozwala w dokładny i szybki sposób zarejestrować przestrzennie obiekty. Można monitorować procesy w przestrzeni i czasie z milimetrową dokładnością. Planowane jest wykonanie skaningu wyrobisk górniczych w kilku odstępach czasowych, a następnie porównanie tych skanów z klasycznymi pomiarami konwergencji. Wtedy będzie można ocenić czy skaningu laserowego jest wystarczający dla stwierdzenia wielkości naturalnej konwergencji zachodzącej w Kopalni Soli „Kłodawa” S.A. i czy będzie można z niego korzystać do pomiarów konwergencji.

Słowa kluczowe: skanowanie laserowe, konwergencja, wyrobisko górnicze

Terrestrial laser scanning is already widely used in mining, where the most common measurement is the inventory of an object, e.g. mine workings, heaps, shaft towers, etc. Another broad application of laser scanning is the determination of geometric changes, i.e. deflections, deformations or displacements. Using laser scanning, we can provide quasi-continuous information about the geometry of the object in the form of a three-dimensional point cloud

(X, Y, Z coordinates) supplemented with information about the intensity of the laser beam reflection at individual points. In order to assess the possibility of using the laser scanning technology for convergence measurements, a measurement was carried out with the LEICA 360RC laser scanner in 11 mining excavations, where classic convergence measurements are carried out. Mining workings with different geological and mining conditions were selected so that as many changes as possible in the examined object could be captured. An example of scanned chambers (**Fig. 1**) in field 3 at the level of 660 m, where convergence measurements have recently been carried out in the area of the tourist route. As you can see, the scanning was performed not only for one chamber, but also for the adjacent chambers. Thanks to this, we can observe deformations in the interventricular pillar, and not only in the chamber itself, which is the case in the classic convergence measurement.

Another example is the scanning of the KS-20a chamber in field 2 at the level 750 (**Fig. 2**), where the variability of crimping is observed along the entire vertical at several measuring stations. The scanning of the KS-11 chamber in field 2 at level 750 was also performed, where the convergence measurement is carried out using stationary measuring devices (tubular bases for measuring vertical convergence and deformation of inter-level shelves). As you can see (**Fig. 3**), these tubular bases were captured on the created point cloud.

From the created point cloud, using appropriate software, it is possible to create a three-dimensional model of the scanned object. The points obtained from the scanning process can be further processed in terms of: orientation of the point cloud from all scans to one coordinate system, construction of a three-dimensional CAD model, creation of 2D drawings, projections, sections and profiles, etc. The first conclusions that can be noticed from laser scanning in mining excavations are that 3D laser scanning allows for accurate and quick spatial registration of objects. You can monitor processes in space and time with millimeter accuracy. It is planned to perform scanning of mining excavations in several time intervals, and then to compare these scans with classic convergence measurements. Then it will be possible to assess whether the laser scanning is sufficient to determine the size of the natural convergence taking place in the "Kłodawa" Salt Mine S.A. and whether it can be used for convergence measurements.

Key words: laser scanning, convergence, mining excavation

Referat będzie opublikowany w formie artykułu w Przeglądzie Solnym 2023

Full text published in Salt Review 2023

ROLA MECENATU KOPALNI SOLI „WIELICZKA” W KULTYWOWANIU GÓRNICZYCH TRADYCJI I PROMOCJI DZIEDZICTWA (NA PRZYKŁADZIE TWÓRCZOŚCI MUZYCZNEJ I RZEŹBIARSKIEJ)

THE ROLE OF PATRONAGE OF THE “WIELICZKA” SALT MINE IN CULTIVATING MINING TRADITIONS AND PROMOTING HERITAGE ON THE EXAMPLE OF MUSICAL AND SCULPTURAL WORKS

Damian KONIECZNY¹, Agnieszka WOLAŃSKA², Jan ZIOBRO³

¹ Kopalnia Soli „Wieliczka” SA., Park Kingi 1, 32-020 Wieliczka,
e-mail: damian.konieczny@kopalnia.pl

² Kopalnia Soli „Wieliczka” Wsparcie Sp. z o. o., Park Kingi 10, 32-020 Wieliczka,
e-mail: agnieszka.wolanska@kopalnia.pl

³ Kopalnia Soli „Wieliczka” Wsparcie Sp. z o. o., Park Kingi 10, 32-020 Wieliczka,
e-mail: jan.ziobro@kopalnia.pl

Artykuł porusza kwestie zagadnień związanych z działalnością artystyczną wielickich górników. Autorzy podjęli próbę sformułowania odpowiedzi na pytanie: jak opieka organizacyjna, finansowa i twórcza wpłynęła na poziom obecnie prezentowanego rzeźbiarstwa solnego i koncertów orkiestry górniczej? Mecenat jakim zarząd kopalni obejmował artystyczne aspekty działalności górników przyczynił się do rozwoju muzycznych przedsięwzięć Reprezentacyjnej Orkiestry Dętej Kopalni Soli „Wieliczka” oraz do zrealizowania wielu projektów rzeźbiarskich. Pielęgnowanie i ochrona tradycji rzeźbiarskich i muzycznych wpisane są w misję wielickiej kopalni, która wiąże się z zachowaniem i udostępnianiem dziedzictwa kulturowego.



Ryc.1. Koncert orkiestry w komorze Warszawa, 2016, dyr. W. Groń. Fot. R. Stachurski
Fig.1. Concert in the Warszawa Chamber, 2016, cond. W. Groń. Photo: R. Stachurski



Fig.2. Solna monstrancja, 2021, fot. R. Stachurski
Fig.2. Salt monstrance, 2021, Photo: R. Stachurski



Ryc.3. Górnik-rzeźbiarz Jan Banaś, 2018, fot. R. Stachurski

Fig.3. Miner-sculptor Jan Banaś, 2018, Photo: R. Stachurski



Ryc.4. W klasztorze klarysek w Starym Sączu, 24. 07. 2022, Fot. T. Kordula

Fig.4. Monastery of the Poor Clares in Stary Sącz, 24 July 2022. Photo: T. Kordula

Słowa kluczowe: Wieliczka, kopalnia, mecenas, dziedzictwo, orkiestra, rzeźbiarstwo

The article addresses issues related to the artistic activities of Wieliczka miners. The authors attempted to answer the question: how did the organisational, financial and creative care influence the level of the currently presented salt sculptures and concerts of the miners' orchestra? The patronage with which the mine's management covered the artistic aspects of the miners' activities contributed to the development of the musical endeavours of the "Wieliczka" Salt Mine's Representative Brass Orchestra and to the creation of many sculptural projects. Nurturing and protecting sculptural and musical traditions is part of the Wieliczka Mine's mission, which involves preserving and making available cultural heritage.

Keywords: *Wieliczka, mine, patronage, heritage, orchestra, sculpting*

Referat będzie opublikowany w formie artykułu w Przeglądzie Solnym 2023

Full text published in Salt Review 2023

„WIELICZKA” SALT MINE IN FILM

Jerzy PRZYBYŁO¹

¹Kopalnia Soli „Wieliczka” S.A.
e-mail: jerzy.przybylo@kopalnia.pl

Wynalazek braci Lumière trafił do wielickiej kopalni już w okresie międzywojennym. Pierwsze ujęcia podziemnych wyrobisk miały charakter krótkich dokumentów (**Ryc.1**). Z roku 1931 datowany jest film krótkometrażowy - „Wieliczka – perła kopalń polskich”, a z roku 1935 dokument wyprodukowany przez Instytut Filmowy przy Muzeum Przemysłu i Rolnictwa „Kopalnia Soli w Wieliczce”, należący do serii filmów oświatowych „Polska współczesna”. Były to jednak nieudane produkcje.

Pierwszy profesjonalny film, na którym zostały uwiecznione wielickie podziemia powstał dopiero w 1946 roku, czyli 51 lat po opatentowaniu kinematografu. Nakręcił go Jarosław Brzozowski, operator i reżyser filmów dokumentalnych i oświatowych. Wyreżyserował w 1946 roku film „Wieliczka”, który na I festiwalu filmowym w Cannes w 1946 roku zdobył I nagrodę w kategorii filmu dokumentalnego, oświatowego.



Ryc.1. Ekipa filmowa w wielickiej kopalni. Lata 40. XX wieku. Zbiory Narodowego Archiwum Cyfrowego

Fig.1. A film crew in a “Wieliczka” mine. 1940s. Collection of the National Digital Archive

Tadeusz Kallwejt, reżyser filmów oświatowych, operator i scenarzysta, zrealizował z kolei w 1958 roku krótki film „Słony chleb”, traktujący o pracy górników solnych. Dokument ten firmowała Wytwórnia Filmów Oświatowych w Łodzi.

Kolejnym nagrodzonym dokumentalnym filmem o Wieliczce był nakręcony w 1976 roku obraz „Magnum Sal – Wieliczka”. Reżyserem, autorem scenariusza i jednocześnie operatorem kamery był Mieczysław Vogt. Film poświęcony został postaci twórcy Muzeum Żup Krakowskich

Wieliczka Alfonsowi Długoszowi. Obraz otrzymał w 1977 roku nagrodę Muzeum Techniki Naczelnej Organizacji Technicznej za najlepszy film służący kształtowaniu kultury technicznej popularyzującej tradycje techniki i ochrony jej zabytków jako dokumentu kultury narodowej.

Rok 1977 był bogaty w wydarzenia filmowe ekranizowane w kopalni. Jerzy Gościk zrealizował reportaż z Muzeum Żup Krakowskich pod prostym tytułem „Wieliczka”. Obraz ten powstał na zlecenie Centralnego Ośrodka Informacji i Reklamy Turystycznej. W tym samym roku wielicka salina zadebiutowała również w dwóch dużych filmach fabularnych, z których jeden zyskał miano dzieła kultowego.

Pierwszym z nich (i tym kultowym) był film „Na srebrnym globie”. Jego reżyserem był zmarły w 2016 roku Andrzej Żuławski. Podjął się w 1976 roku ekranizacji „Trylogii księżycowej” autorstwa swojego stryjecznego dziadka Jerzego Żuławskiego. Trylogia, powstała w latach 1903 – 1911, pokazuje w sposób metaforyczny niepokój człowieka odciętego od swojego naturalnego otoczenia.

Realizację nietypowego jak na realia PRL filmu przerwano na polecenie ówczesnego Wiceministra ds. Kultury i Sztuki Janusza Wilhelmiego pod pretekstem przekroczenia budżetu. Żuławski wyjechał z Polski do Francji. W 1987 roku powrócił do kraju, a władza pozwoliła mu dokończyć film. Brakujące sceny uzupełniono komentarzem lektora. Powstało okaleczone dzieło - symbol ingerencji polityki w sztukę.

Po zatrzymaniu produkcji filmu „Na srebrnym globie” zniszczono kostiumy i niemal całą scenografię. Niemal, bowiem znikoma jej część ocalała do dzisiaj - w komorze Magdalena do dziś stoją resztki dekoracji z 1977 roku (**Ryc.2**).



Ryc.2. Komora Magdalena. Dekoracje do filmu „Na srebrnym globie”. Fot. Jerzy Przybyło

Fig.2. Magdalena Chamber. Decorations for the film “On the Silver Globe.” Photo by Jerzy Przybyło

Innym filmem, do którego sceny kręcono w wielickiej kopalni było dzieło w reżyserii Tadeusza Kijańskiego według scenariusza Albina Siekierskiego „Okragły tydzień”. Jest to historia małego Gustlika, który poznaje z opowieści swojego dziadka świat śląskich legend. Kopalnia „Wieliczka”, w szczególności zaś komora Michałowice, udają podziemia śląskiej kopalni. Film przeznaczony jest dla młodzieży.

Po tych pionierskich filmowych przedsięwzięciach dalsza filmowa kariera kopalni potoczyła się w wartki sposób. W krakowskim Dzienniku Polskim w 1983 roku pojawiło się ogłoszenie o naborze statystek do filmu „Seksmisja”. Film w reżyserii Juliusza Machulskiego, którego część

zdjęć kręcono w podziemiach kopalni, swą premierę miał w 1984 roku. Niemal od razu zyskał miano kultowego, choć dziś wzbudza spore kontrowersje w kręgach feministek.

W 1983 roku do Wieliczki zawitała ekipa telewizji kanadyjskiej i zrealizowała jeden z odcinków serialu „Najpiękniejsze legendy świata”. Krótki 25 minutowy film nosi tytuł „Biała dama Wieliczki”, a jego reżyserem był Jorge Fajardo. Tytułowa Biała Dama jest podziemnym duchem, którego górnicy powinni się wystrzegać, bowiem sprowadza na nich nieszczęście. Fabuła opowiada o dwojgu dzieci, dziewczynce i chłopcu, którzy podczas zwiedzania kopalni odłączyli się od szkolnej wycieczki i błądząc po kopalni napotkali Damę. Wielicki odcinek serialu został nagrodzony w 1984 roku na festiwalu filmowym w Paryżu.

W latach 1994 – 1995 powstawał serial telewizyjny „Mission Top Secret” („Tajna misja”) realizowany przez australijską Grundy Television. Jest to serial przeznaczony dla młodzieży opowiadający o dwunastoletniej dziewczynce, która poprzez komputer nawiązuje kontakt z rówieśnikami rozsianymi po całym świecie. Powstaje organizacja, która walczy z krwio pijącym kapitalistą Savage’em. Serial kręcony był we współpracy ze światowymi telewizjami, między innymi Telewizją Polską. Odcinek kręcony w naszym kraju nosi tytuł „Tajemnica polskiego żrebaka”, a niektóre sceny były kręcone w kopalni Wieliczka.

W roku 2003 Łukasz Barczyk, wówczas 29-letni reżyser, zrealizował w wielickich podziemiach spektakl telewizyjny „Hamlet”. Komory i chodniki stworzyły atmosferę mrocznych wnętrz zamku Elsynor. Spektakl miał doborową obsadę (między innymi Janusza Gajosa, Grażynę Szapolowską, Zbigniewa Zapasiewicza, Jana Frycza, a z młodszego pokolenia aktorów - Kamilę Baar i Łukasza Czerneckiego).

Pięć lat później inny reżyser - Lech Majewski - ściągnął do kopalni wybitnych światowych aktorów, takich jak Rutger Hauer, Michael York czy Charlotte Rampling. Zagrali w scenach do filmu „Młyn i Krzyż”. Film ten jest ekranizacją eseju będącego analizą obrazu „Droga krzyżowa” Pietera Bruegla Starszego, powstałego w 1564 roku. Niektóre sceny filmu kręcono w wielickich wyrobiskach symbolizujących wnętrze góry, na której stoi tytułowy młyn przedstawiony na obrazie mistrza. Zdjęcia w kopalni powstały w 2008 roku, ale premierę realizacja miała dopiero w roku 2011. Film zdobył kilka nagród, w tym dwa Orły przyznawane przez Polską Akademię Filmową.

W podobnie długim, a nawet dłuższym czasie, rodził się film z zupełnie innej konwencji – produkcja Bollywood „Rhythm”. Jest to obraz muzyczny, który wyreżyserował Vivek Kumar. Powstawał on w Polsce, a kilka scen nakręcono w Kopalni „Wieliczka” w 2012 roku. Reżyser po jej zwiedzeniu był nią tak zafascynowany, że jedna z muzycznych partii została nakręcona pod ziemią. Realizacja zdjęć trwała dwie noce, a samo zwieźenie masy sprzętu zajęło osiem godzin. Musical miał premierę w roku 2016 (**Ryc.3**).



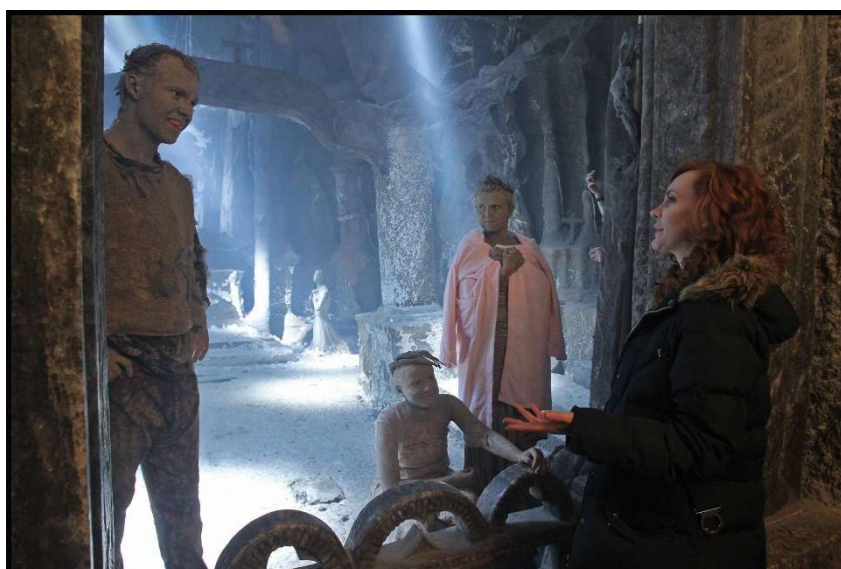
Ryc.3. Ekipa filmowa na planie filmu „Rythm”. Fot. Rafał Stachurski

Fig.3. The film crew on the set of the film "Rythm". Photo by Rafał Stachurski

Kopalnia ponownie zagościła w zagranicznej produkcji rok po realizacji „Rythmu”. Tym razem w filmie krótkometrażowym, trwającym zaledwie 11 minut pod tytułem „Salt”.

Film powstał w kooperacji polsko-brytyjsko-norweskiej, a wyreżyserowała go Maria Lloyd. Jedną z aktorek, które zagościły na jego planie była znana z serialu „Gra o tron” Octavia Selena Alexandru. Film opowiada o dziewczynce, która dorastając zauważa, że jej rodzice powoli stają się tak skostniali, że aż przyjmują postać solnych brył. Pragnęłyby uniknąć tego przeznaczenia, chce sama decydować o własnym losie, a nie żyć spletna przez sieć konwenansów.

Kolejnym filmem krótkometrażowym, w którym ważną rolę odegrały kopalniane wnętrza była „Umbra” zrealizowana przez Urszulę Nawrot w 2014 roku. Jest to bardzo kobiecy film, pełen alegorii, w którym nie pada ani jedno słowo. Na widza działa obraz oraz muzyka. Najważniejsze w nim są traumatyczne emocje głównej bohaterki. Fotograficzny film doczekał się wielu nagród międzynarodowych, bardzo często jest pokazywany w ramach terapii dla osób objętych niegdyś przemocą (**Ryc.4**).



Ryc.4. Urszula Nawrot w otoczeniu aktorów filmu „Umbra”. Fot. Rafał Stachurski

Fig.4. Urszula Nawrot surrounded by actors of the film "Umbra". Photo by Rafał Stachurski

W kopalni gościły także ekipy filmowe legitymujące się znanymi markami - Rai Tree, National Geographic czy Discovery Chanel, nie zabrakło też innych ekip telewizyjnych, rodzimych i zagranicznych.

W ostatnim dwudziestolecu powstało sporo obrazów dokumentujących wielickie podziemia. Jednym z ich dokumentatorów był krakowski redaktor Julian Rachwał, który kopalni poświęcił kilka swych produkcji, między innymi 40 minutowy film „The historic Salt Mine in Wieliczka” z 2008 roku.

Innym dokumentatorem kopalni Wieliczka był szwedzki reżyser Sadrolin Tam. W latach 2003 – 2005 zrealizował film „Wieliczka – sól ziemi”. Film trwa 26 minut i jego zaletą jest pokazanie tych wyrobisk kopalni, które w późniejszym okresie uległy przekształceniom. Film pod tym samym tytułem, już 40 minutowy i będący nową realizacją, miał swą premierę w 2010 roku, a gospodarzem wielickich podziemi był w nim wybitny aktor Jerzy Stuhr.

Ostatnim dokumentem traktującym o wielickich podziemiach jest zrealizowany przez Muzeum Żup Krakowskich Wieliczka dokument "Pasja z głębi ziemi. Alfons Długosz i dzieło jego życia", zaprezentowany 28 lipca 2022 roku. Ukazuje on sylwetkę twórcy Muzeum, wielkiego pasjonata Wieliczki.

Ostatnia zaś filmowa realizacja fabularna, której część powstała pod ziemią w kopalni to serial Netflix „Krakowskie potwory” w reżyserii Katarzyny Adamik i Olgi Chajdas. W Polsce obowiązywał covidowy lockdown. Kopalnia była zamknięta dla zwiedzających, zatem ekipa filmowa, z zachowaniem reżymu sanitarnego, działała bez przeszkód. Powstał serial nawiązujący do słowiańskich mitów, wyraźnie z gatunku fantasy.

Podziemia Kopalni Soli „Wieliczka” okazały się idealnym miejscem do kręcenia filmowych scen dla produkcji filmowych o skrajnie różnych tematykach i środkach ekspresji. Wzorami ważnymi dla realizacji produkcji filmowych w kopalni są:

- światowa marka obiektu;
- bardzo dobre skomunikowanie Wieliczki z Krakowem;
- doświadczenie pracowników kopalni przy realizacji tego typu przedsięwzięć;
- niemal gotowa scenografia, bardzo zróżnicowana, jednocześnie unikatowa;
- ciągły ruch zakładu umożliwiający pracę ekip filmowych także w nocy;
- możliwa do wykorzystania baza hotelowa i gastronomiczna Wieliczki.

The invention of the Lumière brothers came to the Wieliczka mine already in the interwar period. The first shots of the underground workings were short documentaries (Fig.1). Dating back to 1931 is a short film - "Wieliczka - the pearl of Polish mines", and from 1935 a documentary produced by the Film Institute at the Museum of Industry and Agriculture "Wieliczka Salt Mine", belonging to the series of educational films "Modern Poland". However, these are considered as unsuccessful productions.

The first professional film on which the Wieliczka underground was immortalized was not made until 1946, 51 years after the patenting of the cinematograph. It was shot by Jarosław Brzoźowski, a cinematographer and director of documentary and educational films. He directed the film "Wieliczka" in 1946, which won first prize in the documentary, educational film category at the First Cannes Film Festival in 1946.

Tadeusz Kallwejt, director of educational films, cinematographer and screenwriter, in turn made a short film "Salty Bread" in 1958, treating the work of salt miners. The Wytwórnia Filmów Oświatowych in Łódź was the company behind the documentary.

Another award-winning documentary film about Wieliczka was "Magnum Sal - Wieliczka," shot in 1976. Mieczysław Vogt was the director, author of the script and at the same time cameraman. The film was dedicated to the figure of the creator of the Cracow Saltworks Museum Wieliczka, Alfons Długosz. The picture received award of the Museum of Technology of the Supreme Technical Organization for the best film for shaping technical culture popularizing the traditions of technology and protecting its monuments as a document of national culture (1977).

The year 1977 was rich in film events screened at the mine. Jerzy Gościński made a reportage from the Cracow Saltworks Museum under the simple title "Wieliczka." The picture was commissioned by the Central Center for Tourist Information and Advertising. In the same year, the Wieliczka salt mine also made its debut in two major feature films, one of which became a cult work. The first of these (and the cult one) was the film "On the Silver Globe." Its director was Andrzej Żuławski, who died in 2016. He undertook the 1976 film adaptation of the "Moon Trilogy" by his maternal grandfather Jerzy Żuławski. The trilogy, written between 1903 and 1911, metaphorically shows the anxiety of a man cut off from his natural surroundings. The realization of the film, which was unusual for the realities of communist Poland, was interrupted on the orders of the then Deputy Minister of Culture and Art Janusz Wilhelm under the pretext of exceeding the budget. Żuławski left Poland for France. In 1987, he returned to the country, and the authorities allowed him to finish the film. Missing scenes were supplemented with voiceover commentary. The result was a mutilated work - a symbol of the interference of politics in art.

After the production of "On the Silver Globe" was halted, the costumes and almost all the scenery were destroyed. Almost, because a negligible part of it has survived to this day - in the Magdalena chamber the remnants of the decoration from 1977 still stand (**Fig.2**).

Another film for which scenes were shot in the Wieliczka mine was a work directed by Tadeusz Kijński based on a script by Albin Siekierski, "Round Week." It is the story of little Gustlik, who learns from his grandfather's stories about the world of Silesian legends. The "Wieliczka" mine, in particular the Michalowice chamber, pretends to be the underground of a Silesian mine. The film is intended for young people.

After these pioneering film endeavors, the mine's further cinematic career progressed briskly. In the Cracow-based *Dziennik Polski* in 1983, an ad appeared for the recruitment of extras for the film "Sexmission." The film, directed by Juliusz Machulski, part of which was shot in the mine's underground, premiered in 1984. Almost immediately it gained a cult status, although today it arouses considerable controversy in feminist circles.

In 1983 a Canadian television crew visited Wieliczka and made one of the episodes of the series "The Most Beautiful Legends of the World." The short 25-minute film is titled "The White Lady of Wieliczka," and was directed by Jorge Fajardo. The White Lady of the title is an underground spirit that miners should beware of, as she brings misfortune upon them. The plot tells the story of two children, a girl and a boy, who, while exploring the mine, got separated from a school trip and, wandering through the mine, encountered the Lady. The Wieliczka episode of the series was awarded in 1984 at the Paris Film Festival.

From 1994 to 1995, the television series "Mission Top Secret" ("Secret Mission") was being made by Australia's Grundy Television. It is a series aimed at young people telling the story of a twelve-year-old girl who, through the computer, makes contact with her peers spread around the world. An organization is formed to fight the bloodthirsty capitalist Savage. The series was shot in cooperation with world television stations, including Polish Television. The episode filmed in our country is titled "The Mystery of the Polish Foal," and some scenes were shot in the Wieliczka mine.

In 2003, Łukasz Barczyk, then a 29-year-old director, produced a TV play called "Hamlet" in the Wieliczka underground. The chambers and galleries created the atmosphere of the dark interiors of Elsynor Castle. The show had a good cast (including Janusz Gajos, Grażyna Szapołowska, Zbigniew Zapasiewicz, Jan Frycz, and from the younger generation of actors - Kamila Baar and Łukasz Czernecki).

Five years later, another director - Lech Majewski - brought prominent world actors such as Rutger Hauer, Michael York and Charlotte Rampling to the mine. They starred in scenes for the film "The Mill and the Cross."

The film is a screen adaptation of an essay that is an analysis of the painting "Stations of the Cross" by Pieter Bruegel the Elder, created in 1564. Some scenes of the film were shot in the Wieliczka pits symbolizing the interior of the mountain on which the title mill depicted in the master's painting stands. The mine was shot in 2008, but the film didn't premiere until 2011. The film won several awards, including two Eagles awarded by the Polish Film Academy.

In a similarly long and even longer time, a film from a completely different convention was born - the Bollywood production "Rhythm". It is a musical picture, which was directed by Vivek Kumar. It was being made in Poland, and several scenes were shot in the Wieliczka Mine in 2012. After visiting it, the director was so fascinated by it that one of the musical parts was shot underground. The shooting took two nights, and just hauling the mass of equipment took eight hours. The musical premiered in 2016 (Fig.3).

The mine again featured in a foreign production a year after the production of "Rhythm." This time in a short film of just 11 minutes titled "Salt." The film was made in a Polish-British-Norwegian cooperation, and was directed by Maria Lloyd. One of the actresses who starred in it was Octavia Selena Alexandru, known from the "Game of Thrones" series. The film tells the story of a girl who, growing up, notices that her parents are slowly becoming so ossified that they take the form of salt lumps. She would like to avoid this fate, she wants to decide her own fate and not live tied down by a web of conventions.

Another short film in which mine interiors played an important role was "Umbra" made by Urszula Nawrot in 2014. It is a very feminine film, full of allegories, in which not a single word falls. The viewer is influenced by images and music. The most important thing in it is the traumatic emotions of the main character. The photographic film has received many international awards, and is very often shown as part of therapy for formerly violent people (Fig.4).

The mine has also hosted film crews legitimized by well-known brands - Rai Tree, National Geographic or Discovery Chanel, and there have been other TV crews, domestic and foreign.

In the last two decades there have been quite a few pictures documenting the Wieliczka underground. One of their documentarians was Cracow-based editor Julian Rachwał, who dedicated several of his productions to the mine, including the 40-minute film "The historic Salt Mine in Wieliczka" from 2008.

Another documentarian of the Wieliczka mine was Swedish director Sadrolin Tam. He made the film "Wieliczka - Salt of the Earth" between 2003 and 2005. The film lasts 26 minutes and has the merit of showing those pits of the mine that were later transformed. A film with the same title, already 40 minutes long and being a new production, had its premiere in 2010, and the host of the Wieliczka underground in it was the prominent actor Jerzy Stuhr.

The last documentary dealing with the Wieliczka underground is "Passion from the Depths of the Earth. Alphonse Długosz and his life's work," presented on July 28, 2022. It shows the silhouette of the Museum's creator, a great enthusiast of Wieliczka.

And the last feature film production, part of which was made underground in the mine, is the Netflix series "Krakow Monsters," directed by Katarzyna Adamik and Olga Chajdas. A covid lockdown was in effect in Poland. The mine was closed to the public, so the film crew, with the sanitary regime in place, worked without hindrance. The result was a series referring to Slavic myths, clearly from the fantasy genre.

The underground of the Wieliczka Salt Mine has proven to be an ideal place for filming scenes for film productions with extremely different themes and means of expression. Values important for film productions in the mine are:

- the global brand of the facility;
- very good communication between Wieliczka and Krakow;
- the experience of the mine's employees in carrying out such projects;

- *almost ready-made scenography, very diverse, at the same time unique;*
- *all-day mine operation allowing film crews to work also at night;*
- *possible use of Wieliczka's hotel and catering facilities.*

Referat będzie opublikowany w formie artykułu w Przeglądzie Solnym 2023

Full text published in Salt Review 2023

SÓL I ALCHEMIA – ADAM SCHRÖTER I JEGO POEMAT „REGNI POLONIÆ SALINARUM VIELICIENSIIUM DESCRIPTIO CARMINE ELEGIACO” ORAZ ZWIĄZKI Z OLBRACHEM ŁASKIM

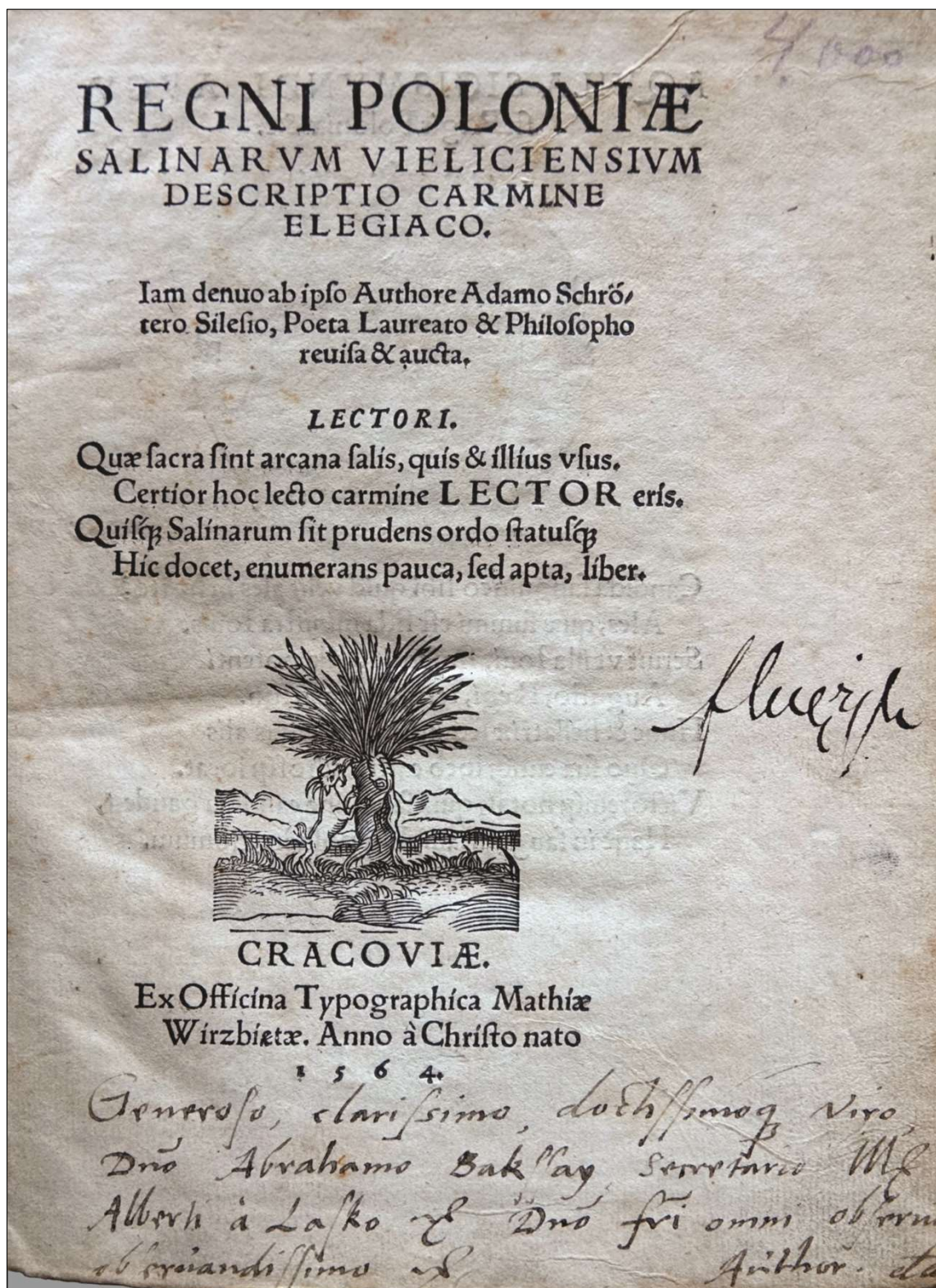
SALT AND ALCHEMY - ADAM SCHRÖTER, HIS POEM „REGNI POLONIÆ SALINARUM VIELICIENSIIUM DESCRIPTIO CARMINE ELEGIACO” AND HIS TIES WITH OLBRACHT ŁASKI

Piotr KRZYWIEC¹, Aleksandra ARNDT²

¹Instytut Nauk Geologicznych PAN
e-mail: piotr.krzywiec@twarda.pan.pl

²Instytut Filologii Klasycznej UAM
e-mail: a_arndt@amu.edu.pl

Bez większej przesady można powiedzieć, że każdy kto interesuje się geologią złóż soli i tektoniką solną – i to nie tylko w Polsce ale bez mała na całym świecie – słyszał o kopalni soli w Wieliczce. Dobrą ilustracją znaczenia Wieliczki jest fakt, iż został jej poświęcony osobny ilustrowany „box” umieszczony w omawiającym historyczne znaczenie złóż soli wstępie do fundamentalnego dzieła na temat tektoniki solnej „Salt Tectonics” (Jackson i Hudec, 2017). Ze względu na swoje ogromne znaczenie ekonomiczne Wieliczka od stuleci wzbudzała wielkie zainteresowanie wśród geologów i górników (por. Poborski, 1965; Rowan et al., 2020; Rybarski, 1932). Spektakularne wnętrza kopalni wielickiej wzbudzało podziw również wśród odwiedzających ją licznych podróżników i pisarzy (por. Bugaj, 1999; Gawęda, 1958; Maślankiewicz, 1965; Keckowa, 1969). Najstarszym opisem kopalni jest pochodzący z końca XV wieku poemat słynnego humanisty i jednego z pionierów Odrodzenia Konrada Celtisa zatytułowany „*Salinaria ad Janum Terinum*”, wydany drukiem mniej więcej sto lat później w dziele Pistoriusa (Celtis, 1582). W 1502 roku ukazał się w Krakowie poemat opisujący Polskę i Kraków autorstwa Wawrzyńca Korwina, ucznia Celtisa i przyjaciela Kopernika (Korwin, 1502). To poczytne dzieło, które doczekało się aż 25 wydań, zawiera również krótkie poetyckie przedstawienie salin wielickich: „*Z jej skrytych ciemni wyrastają solne | Gorzkańskie skały, a na światło dzienne | Szybko je kręcąc się ciężarem wlecze | Wielki kołowrót | Poca się skryte tej jaskini szpary | Strugą wiecznego źródła, a ta znowu | Sól czystą ścina, kiedy ją gorącym | Ogniem podgrzewać*” (Łanowski, 1962). Kolejny, dość obszerny opis wielickiej kopalni opublikował w 1519 r. w komentarzu do opisu świata rzymskiego geografą Pomponiusza Meli Szwajcar Joachim Watt (Vadianus). Opis ten, podobnie jak poemat Celtisa, również został przedrukowany w pracy Pistoriusa (Vadiani, 1582). Kolejnym autorem, który pozostawił opis wielickich salin był przyrodnik i chemik Jodok Willich, który zwiedził je pod koniec pierwszej połowy XVI w. w towarzystwie lekarza salinarnego Anselmusa Ephorianusa (Willich, 1543). W 1553 roku opublikowany został w Krakowie poemat Adama Schrötera poświęcony salinom wielickim, zatytułowany „*Salinarum Vieliciensium iucunda ac vera descriptio carmine elegiaco*” (Schröter, 1553). Zdobył on ogromną popularność i doczekał się szeregu wznowień. Jego drugie, poszerzone i uzupełnione wydanie ukazało się w 1564 pod nieco zmienionym tytułem „*Regni Poloniae salinarum Vieliciensium descriptio carmine elegiaco, iam denuo ab ipso authore Adamo Schrötero revisa et aucta*”, (Schröter, 1564). Poemat ten został częściowo przetłumaczony przez Z. Węclewskiego (Węclewski, 1879) a w całości przez F. Piestraka (Pierstrak, 1901). Jego analiza znajduje się w pracach m.in. Maślankiewicza (1965), Smarón (1983), Bugaja (1999) i Döppa (2019).



Ryc. 1. Strona tytułowa drugiego wydania poematu Adama Schröter „Regni Poloniae salinarum Vieliciensium descriptio carmine elegiaco” (1564), z dedykacją i podpisem autora, oraz podpisem Franciszka Weżyka.

Fig. 1. Title page of second edition of Adam Schröter’s poem „Regni Poloniae salinarum Vieliciensium descriptio carmine elegiaco” (1564) with his dedication and signature, and signature of Franciszek Weżyk

Odrodzeniowi artyści pióra, odmiennie niż miało to miejsce w średniowieczu, coraz częściej, obok łacińskiej, tworzyli swoje dzieła w mowie charakterystycznej dla ich własnego kraju, bywało jednakże, iż twórcy literaccy przedłużali niejako zwyczaje poprzedniej epoki, publikując

wylącznie po łacinie. Do takich pisarzy należał m.in. Adam Schröter. Urodził on się około 1525 r. w Żytawie na Łużycach. Odebrał wszechstronną edukację na uniwersytetach we Frankfurcie nad Odrą, Pradze i Krakowie, gdzie przybył w 1552 r. Jego patronem był wojewoda sieradzki Olbracht Łaski, w którego rezydencji w Kieżmarku przez szereg lat przebywał i gdzie zmarł około 1572 roku (Węclewski, 1879; Hajdukiewicz, 1995).

Piśmiennicza spuścizna Schrötera obejmuje tak przekłady prac alchemika i pioniera jatrochemii, Paracelsusa (z niemieckiego na łacinę), jak i poetyckie utwory własne. Wśród tych ostatnich – o treści panegirycznej czy historycznej – największe uznanie już za życia autora zdobył sobie kunsztowny poemat „*Regni Poloniae Salinarum Wieliciensium jucunda et vera descriptio*” („Zabawny i prawdziwy opis należącej do Królestwa Polskiego kopalni soli w Wieliczce”). Poemat ten stanowi niejako wypadkową dwóch różnych tradycji literackich. Po pierwsze zatem, stosownie do atmosfery renesansu, czerpie inspirację z utworów antycznych. Uwidacznia się to w inwokacji do greckiego boga sztuk, Apollina, nade wszystko zaś we włożeniu merytorycznego wywodu o soli – jej właściwościach, występowaniu i zastosowaniu – w usta Muzy poezji lirycznej, Euterpe. Jeśli chodzi o drugi z nurtów, wpisuje się dzieło Schrötera w odrodzeniowe zaciekawienie Wieliczką europejskich literatów takich jak wspomniany już Konrad Celtis.

Przed napisaniem swojego poematu odbył Schröter wycieczkę po kopalni; wrażenia z pobytu autora pod ziemią składają się na drugą część dzieła. Zawiera ona legendę o początkach wielickiej saliny, a dalej – wiadomości nt. organizacji, warunków i bezpieczeństwa pracy, wreszcie pochwały ówczesnych zarządców Wieliczki. Poeta odnotowuje ponadto rozmaite fenomeny, które zaobserwował był podczas swojej podziemnej wyprawy. Zdarza mu się przy tym weryfikować interpretacje owych zjawisk, dokonywane przez „miejsowych”. I tak na przykład kwestionuje opinię sztygara, który za materiał łatwopalny uważa w kopalni saletrę, samemu opowiadając się za naftą. W tym i w innych przypadkach opiera się Schröter na naukach Paracelsusa, pod którego wpływem pozostawał. W swoim dziele zamieścił również swoje przemyślenia na temat pochodzenia soli, legendę o odkryciu złóż wielickich, charakterystykę wybitnych postaci z administracji żupnej, opisał wreszcie historię szybów oraz opis prac górniczych związanych z wydobyciem soli.

Bardzo ciekawy jest egzemplarz drugiego wydania poematu Schrötera pochodzący ze zbiorów pierwszego autora niniejszego abstraktu. Na stronie tytułowej znajduje się tam bowiem odręczna dedykacja Schrötera o następującym brzmieniu: „*Wspaniałemu, świetnemu, wielce uczoneму mężowi, Panu Abrahamowi Bakszay, Sekretarzowi Alberta a Lasko, Panu zasługującemu na wszelkie względy, Autor*” (Ryc. 1). Oprócz tej autorskiej dedykacji widnieje tam również podpis F. Wężyka.

Wspomniany w dedykacji Albert a Lasko to Olbracht Łaski (1536 – 1604), senator Rzeczypospolitej, wojewoda sieradzki, starosta lanckoroński, starosta marienburski, a do tego fascynat alchemii i znany awanturnik (Kraushar, 1882). Łaski w wieku 12 lat został wysłany na dwór cesarza Karola V a następnie na dwór jego brata arcyksięcia Ferdynanda, w późniejszych latach króla Niemiec, Czech, Węgier i Chorwacji a od 1556 roku - cesarza rzymskiego. W polityce polskiej popierał Habsburgów, aspirował do tronu moldawskiego, brał udział w wojnach z Tatarami. Był sygnatariuszem aktu unii lubelskiej zawartej w 1569 roku; w tym samym roku przeszedł z kalwinizmu na katolicyzm i stał się gorliwym działaczem kontrreformacji. Kłopoty finansowe będące w dużej mierze efektem jego awanturniczego życia spowodowały, że zainteresował się alchemią, w szczególnością możliwością transmutacją piasku i różnych metali w złoto. W 1583 roku wyjechał do Londynu gdzie rozpoczął współpracę ze znanymi alchemikami Johnem Dee i Edwardem Kelleyem, z którymi 1583 roku przybył do Polski a w 1585 roku udał się do Pragi. Zainteresowania alchemiczne Łaskiego miały spowodować, iż do rodzinnego zamku w Kieżmarku ściągnął Adama Schrötera, zlecając mu badania alchemiczne.

Można się domyślać, że takie tło kontaktów Łaskiego i Schrötera było dla tego drugiego jednym z powodów wyprawy do Wieliczki, uważanej ówczesnie za miejsce bez mała magiczne.

Dedykacja jest dla Abrahama Bakschaya - chodzi tu o Abrahama Bakschaya, sekretarza Olbrachta Łaskiego, z którym Schrötera poznał się na zamku w Kieżmarku. Był on m.in. autorem historii Węgier (Bakschay, 1573), w której znalazła się m.in. mowa Łaskiego wygłoszona w trakcie jego moldawskiej wyprawy (Puchalski J., 1997). Łaskiego, Bakschaya i Schrötera łączyły bliskie stosunki - jak pisał Teodor Jeske-Choiński (Jeske-Choiński, 1904) w swojej powieści o Łaskim: *„Miał lat dwadzieścia siedm. Od wieku chłopięcego otaczali go tylko mężowie albo wielkich cnót rycerskich, albo wielkiej nauki. Pan Maciej Łobócki, jego powinowaty i opiekun, głośny z dzieł wojennych, wprawiał mu rękę do miecza i kopii; Frycz Modrzewski i Erazm Krasziński polerowali jego dowcip; śląski poeta laureatus Adam Schroeter i kronikarz węgierski Abraham Bakschay byli towarzyszami, przyjaciółmi jego lat młodzieńczych. (...) Nie jeden wieczór przepędził w tej cichej izbie młody magnat w towarzystwie poety Schroetera i kronikarza Bakschaya, pijąc z wiecznie świeżych ksiąg mądrość przeszłości i ogień poezyi.”*

Ciekawą postacią choć już z zupełnie innej epoki był Franciszek Wężyk (1785 - 1862), którego podpis znajduje się na stronie tytułowej omawianego egzemplarza poematu Schrötera (**Ryc. 1**). Był to polski dramatopisarz, powieściopisarz, poeta, tłumacz, krytyk literacki, publicysta, członek Towarzystwa Warszawskiego Przyjaciół Nauk, prezes Towarzystwa Naukowego Krakowskiego, poseł na Sejm Księstwa Warszawskiego i Królestwa Kongresowego, senator, wolnomularz. Jednym z jego dzieł jest wierszowany opis Krakowa i jego okolic zatytułowany *„Okolice Krakowa. Poema”*, powstały w latach 1809-1813 a po raz pierwszy wydany w roku 1820 (Wężyk, 1820) a następnie w 1823, 1833 i 1869. W poemacie Wężyka znajduje się m.in. obszerny opis salin wielickich i pożaru, który miał w nich miejsce w 1509 roku. Da się tu bez wątplenia odczuć inspirację poematem Schrötera.

Without much exaggeration it could be said that everyone who is interested in geology of salt deposits and in salt tectonics – not only in Poland but world-wide – must have heard about the Wieliczka Salt Mine. Importance of this salt mine is well illustrated by the fact that it has special dedicated “box” in the landmark publication „Salt Tectonics” (Jackson i Hudec, 2017). Because of its economic importance it has always been a site of great interest to geologists and miners (cf. Poborski, 1965; Rowan et al., 2020; Rybarski, 1932). Spectacular interior of the Wieliczka Salt Mine was admired by numerous writers and travelers visiting it over the centuries (cf. Bugaj, 1999; Gawęda, 1958; Maślankiewicz, 1965; Keckowa, 1969). Poem by Conrad Celtis, renowned Renaissance pioneer, entitled „Salinaria ad Janum Terinum” written in late 15th century and published for the first time almost hundred years later (Celtis, 1582) is the oldest description of this mine. In 1502 a poem by Wawrzyniec Korwin, pupil of Celtis and friend of Copernicus, was published in Kraków (Korwin, 1502). This very popular publication, that went through 25 editions, contained detailed description of Kingdom of Poland and of Kraków, with several verses devoted to the Wieliczka Salt Mine (Łanowski, 1962). Other descriptions of this mine were published by Joachim Watt (Vadianus) (Vadiani, 1582) and by Jodok Willich (Willich, 1543). In 1553 Adama Schröter published in Kraków his landmark poem entitled „Salinarum Vieliciensium incunda ac vera descriptio carmine elegiaco” (Schröter, 1553). It proved to be very popular and went through several editions. Its second extended and supplemented edition was published in 1564 under slightly modified title „Regni Poloniae salinarum Vieliciensium descriptio carmine elegiaco, iam denuo ab ipso authore Adamo Schrötero revisa et aucta,” (Schröter, 1564). It was partly translated to Polish by Z. Węclewski (Węclewski, 1879), complete translation was published by F. Piestrak (Piestrak, 1901). Its analysis could be found in publications by Maślankiewicz (1965), Smaróń (1983), Bugaj (1999) and Döpp (2019).

Renaissance writers, contrary to common practices in Middle Ages, were frequently using national languages in their publications, although some still kept using Latin. Adam Schröter was one of such more conservative writers. He was born around 1525 in Żytawa located in Łużyce (Lusatia) region, located in SE Germany and SW Poland. Schröter was well educated having studied in Frankfurt an der Oder, Prague and finally in Kraków,

where he arrived in 1552. His patron was Olbrach Łaski, voivode of Sieradz voivodeship, in whose residency in Kieźmark (now Kežmarok in Slovakia) Schröter spent several years, and where he died around 1572 (Węclewski, 1879; Hajdukiewicz, 1995).

Schröter's writings included both translated works of renowned alchemist and pioneer of iatrochemistry Paracelsus as well as his own poems. The best known and the most popular Schröter's poem is without any doubts his "Regni Poloniae Salinarum Wieliciensium jucunda et vera descriptio" (Joyful and detailed description of salt mine located in Wieliczka and belonging to the Kingdom of Poland). In this poem, influence and inspiration of both classic antique and Renaissance writers could be observed. First part of Schröter's poem contains legend on the beginnings of the Wieliczka Salt Mine. In its second part he provided detailed description of the mine that was based on his first-hand experience gained during his underground trip into the Wieliczka "abyss", organization of mining activities, short information on key figures from the mine, description on various technical aspects of exploitation of salt, history of mining shafts etc.

A copy of second edition of Schröter's poem from the collection of the first author of this abstract contains very interesting inscriptions on the title page: Schröter's hand-written dedication to Abraham Baksay, secretary of Albert a Lasko, and signature of F. Wężyk (**Fig. 1**). Albert a Lasko refers to Olbracht Łaski (1536 – 1604), very important political figure of Kingdom of Poland, senator, voivode of Sieradz voivodeship, staroste of Lanckorona and of Marienburg, also alchemy aficionado and adventurer (Kraushar, 1882). In the age of 12 years he was sent to court of emperor Carl V and then to court of Archduke Ferdinand, later King of Germany, Bohemia, Hungary, and Croatia, and since 1556 – the Holy Roman Emperor. Łaski supported Habsburg dynasty, aspired to the throne of Moldova, was involved in wars with the Ottoman Empire. In 1569 he was one of signatories of Union of Lublin, converted from Calvinism to Catholicism and became vivid activist of the Counter-reformation. Financial troubles caused by his adventurous political and personal life prompted Łaski's interest in alchemy, especially in transmutation of sand and metals into gold. In 1583 he travelled to London where he tied close contacts with renowned alchemists John Dee and Edward Kelley. He travelled with them to Poland and then in 1585, to Prague. Łaski's interest in alchemy led to his invitation for Adam Schröter who was supposed to embark on alchemy studies in the castle of Kieźmark. Most probably this prompted Schröter's visit in Wieliczka as it was regarded as an almost magical place.

Schröter's hand-written dedication is for Abraham Baksay – i.e. Abraham Bakschay, secretary of Olbracht Łaski, whom Schröter met in Kieźmark. Between others he published history of Hungary (Bakschay, 1573) in which Łaski's speech given during war expedition to Moldova was included (Puchalski J., 1997). Over the years, Łaski, Bakschay and Schröter became close associates (Jeske-Choiński, 1904).

Franciszek Wężyk (1785 - 1862), whose signature is also visible on the title page of the analyzed copy of Schröter's poem (**Fig. 1**), was also very interesting person, although from a very different epoch. Wężyk was a playwright, writer, poet, translator, literary critic, publicist, member of Towarzystwo Warszawskie Przyjaciół Nauk (Warsaw Society of Friends of Learning), president of Towarzystwo Naukowe Krakowskie (Kraków Scientific Society), member of parliaments of Duchy of Warsaw and Congress Kingdom of Poland, senator, freemason. One of his best known publications is a poem that contains detailed description of Kraków and its environs. It was written in 1809-1813, first published in 1820 (Wężyk, 1820) and then in 1823, 1833 and 1869. It contains fairly extensive description of the Wieliczka Salt Mine and fire that took place in 1509. In Wężyk's poem on Wieliczka significant influence of Schröter's poem is clearly visible.

Referat będzie opublikowany w formie artykułu w Przeglądzie Solnym 2023

Full text published in Salt Review 2023

LITERATURA/REFERENCES

- BAKSCHAY A., 1573, *Chronologia de Regibus Hungaricis, prius nunquam edita. Cracoviæ*
- BUGAJ R., 1999, *Renesansowy poemat o soli kamiennej - Adam Schröter Salinarum Vielicensium description. Kwartalnik Historii Nauki i Techniki, 44(2): 61-94.*
- CELTIS K., 1582, *Salinaria ad Janum Terinum. [w]: Pistorius J.N., Polonicae historiae corpus: hoc est Polonicarum rerum Latini recentiores et veteres scriptores, quotquot extant uno volumine comprehensi omnes. Basileae, t. 1, 170.*
- DÖPP S., 2019, *Adam Schröter - Regni Poloniae salinarum Vielicensium descriptio / Das Salzbergwerk von Wieliczka. Wien.*
- GAWĘDA S., 1958, *Najstarsze relacje cudzoziemców o kopalni w Wieliczce. Studia i materiały z dziejów nauki polskiej, seria D, 1: 227-247.*
- HAJDUKIEWICZ L., 1995, *Schroeter Adam. [w]: Romanowski A., (red.), Polski Słownik Biograficzny, 36, 3-4.*
- JACKSON M.P.A., Hudec M.R., 2017, *Salt Tectonics. Principles and Practice. Cambridge University Press.*
- JESKE-CHOIŃSKI T., 1904, *O mitrę gospodarską. Powieść historyczna z XVI stulecia. Warszawa-Kraków.*
- KECKOWA A., 1969, *Żupy krakowskie w XVI - XVIII wieku (do 1772 roku). Wrocław - Warszawa - Kraków.*
- KORWIN WAWRZYNIEC, 1502, *Hortulus Elegantiarum Magistri Laurentii Corvini Novoforensis. Partim ex Marci tullii Ciceronis surculis: partim ex suo germine consitus. In cuius fine describitur Cracovia Polonie Metropolis carmine Saphico. Cracoviæ.*
- KRAUSHAR A., 1882, *Olbracht Łaski wojewoda sieradzki. Wizerunek historyczny na tle dziejów Polski XVI wieku. Warszawa-Kraków.*
- ŁANOWSKI J., 1962, *Laurentiusa Corvinausa pochwała Polski i Krakowa. Meander, 17(5).*
- MAŚLANKIEWICZ K., 1965, *Z dziejów górnictwa solnego w Polsce. Warszawa.*
- PIESTRAK F., 1901, *Opis salin wielickich przez Adama Schrötera uwieńczonego poetę. Kraków.*
- POBORSKI J., 1965, *Historyczny rozwój poglądów na budowę geologiczną złoża solnego Wieliczki. Studia i materiały do dziejów żup solnych w Polsce, 1: 37-54.*
- PUCHALSKI J., 1997, *Polonika z obszaru niemieckojęzycznego - poza granicami Rzeczypospolitej - w XVI wieku. Warszawa.*
- ROWAN M.G, Krzywiec P., Bukowski K., Przybyło J., 2020, *Nature and origin of large-scale and intrasalt deformation within the Wieliczka salt mine, Poland. Geological Quarterly, 64 (4): 819–837*
- RYBARSKI R., 1932, *Wielickie Żupy Solne w latach 1497-1594. Warszawa.*
- SCHRÖTER A., 1553, *Salinarum Vielicensivm iucunda ac vera descriptio carmine elegiaco. Cracoviæ.*
- SCHRÖTER A. 1564, *Regni Poloniae salinarum Vielicensium descriptio carmine elegiaco, iam denuo ab ipso authore Adamo Schrötero revisa et aucta. Cracoviæ.*
- SMARONÍ A., *Żupy krakowskie w poezji polsko-łacińskiej od XV do XVII wieku. Studia i Materiały do Dziejów Żup Solnych w Polsce, 12: 89–108.*
- VADIANI J., 1582, *Commentariolus in pomponium Melam. De Sarmatia. [w]: Pistorius J.N., Polonicae historiae corpus: hoc est Polonicarum rerum Latini recentiores et veteres scriptores, quotquot extant uno volumine comprehensi omnes. Basileæ, t. 1, 158-163.*

- WĘCLEWSKI Z. 1879, Szlązacy w Polsce. Przewodnik Naukowy i Literacki, 7, 117 str. Lwów.
- WĘŻYK F., 1820, Okolice Krakowa, poema. Kraków.
- WILLICH J., 1543, De saline cracovianis observatio autore Jodoco Willichio Rosseliano in epistola ab Severinum Bonner de Balice Salinarum Praefectum. Cracoviæ.

30 LAT EKSPLOATACJI SOLI KAMIENNEJ O/ZG POLKOWICE-SIEROSZOWICE KGHM POLSKA MIEDŹ S.A.

30 YEARS OF SALT DEPARTMENT AT O/ZG POLKOWICE-SIEROSZOWICE KGHM POLSKA MIEDŹ S.A.

JOANNA WRZOSEK¹, Piotr URBAŃSKI²

¹ KGHM Polska Miedź S.A. O/ZG „Polkowice-Sieroszowice”, Kaźmierzów 100, 59-101 Polkowice,
e-mail: Piotr.Urbanski@kghm.com

² KGHM Polska Miedź S.A. O/ZG „Polkowice-Sieroszowice”, Kaźmierzów 100, 59-101 Polkowice,
e-mail: Joanna.Wrzosek@kghm.com

Sól kamienna została nawiercona w O/ZG „Sieroszowice” przy okazji wykonywania badań rozpoznawczych dla złoża miedzi w latach 1957 – 1973 r. Wstępna faza zagospodarowania złoża soli kamiennej rozpoczęła się w 1988r. i dotyczyła badań określających jakość i przydatność soli. W latach 1999-2013 KGHM Polska Miedź S.A. prowadziła rozpoznanie pokładu najstarszej soli kamiennej występującej ponad złożem rud miedzi „Sieroszowice” w obszarze koncesyjnym „Kazimierzów”.

W wyniku badań na części koncesji „Kazimierzów” udokumentowano w 2013 r. nowe złożo soli kamiennej „Bądzów” w kat. B+C1. Pozostała część obszar „Kazimierzów” (z wyłączeniem obszaru złoża „Bądzów”) objęta została nową koncesją na rozpoznawanie złoża soli kamiennej „Kazimierzów 1”. Od 2013 r rozpoczęto eksploatację w Obszarze Górniczy „Bądzów”, która nieprzerwalnie trwa do dziś.

Rock salt was drilled at the "Sieroszowice" mine during exploratory research for the copper deposit in 1957-1973. Initial phase of rock salt deposit utilization started in 1988 and concerned research to determine the quality and suitability of salt. In the years 1999-2013, KGHM Polska Miedź S.A. conducted exploration of the oldest rock salt seam above the "Sieroszowice" copper ore deposit in the "Kazimierzów" license area. As a result of the research on part of the "Kazimierzów" concession, in 2013 a new rock salt deposit "Bądzów" in category B + C1 was documented. The remaining part of the "Kazimierzów" area (with the exception of the "Bądzów" deposit) has been covered by a new rock salt exploration license "Kazimierzów 1". In 2013, mining in the "Bądzów" Mining Area began, which continues to this day.

Referat będzie opublikowany w formie artykułu w Przeglądzie Solnym 2023

Full text published in Salt Review 2023

CZY KOPALNIA SOLI KŁODAWA ZNAJDUJE SIĘ W WYSADZIE SOLNYM KŁODAWA?

IS „KŁODAWA” SALT MINE LOCATED WITHIN THE KŁODAWA SALT DIAPIR?

Piotr KRZYWIEC¹, Krzysztof BUKOWSKI², Mark G. ROWAN³

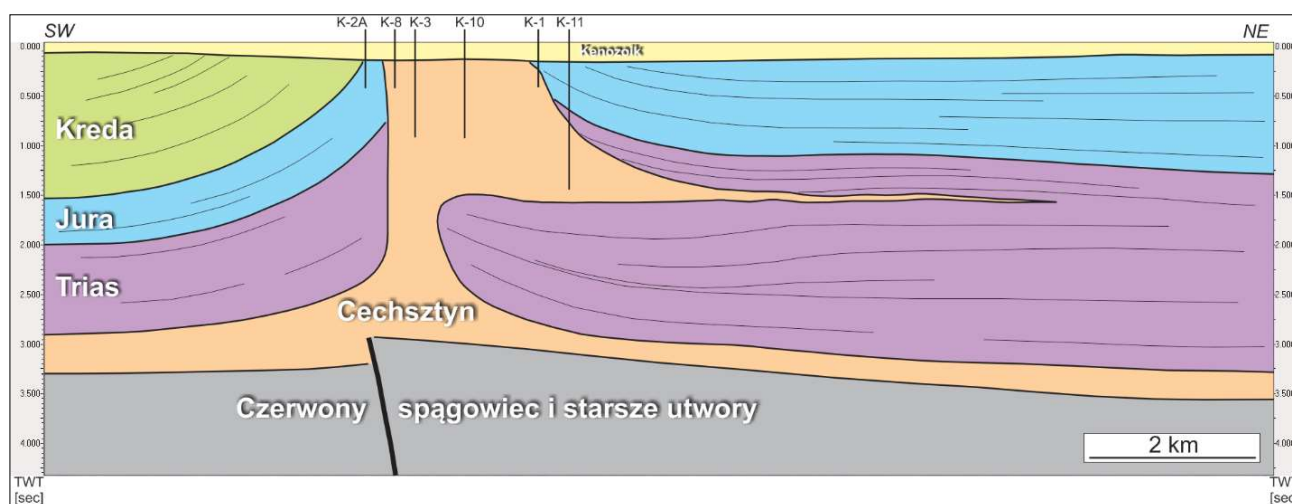
¹Instytut Nauk Geologicznych PAN
e-mail: piotr.krzywiec@twarda.pan.pl

²Akademia Górniczo-Hutnicza
e-mail: buk@agh.edu.pl

³Rowan Consulting, Inc.
e-mail: mgrowan@frii.com

Wysad, a właściwie ściana czy też wał solny Kłodawy, to największa struktura solna w Polsce. Położony on jest w centralnej części kraju, w obrębie kujawskiego segmentu wału śródpolskiego czyli regionalnej struktury powstałej w efekcie późnokredowo – paleogeńskiej inwersji basenu polskiego. W obrębie tej struktury solnej znajduje się czynna podziemna kopalnia soli. Prowadzone od wielu dekad badania doprowadziły do opracowania stosunkowo szczegółowego modelu budowy geologicznej tej struktury opartego na danych pochodzących z wyrobisk kopalnianych i otworów wiertniczych (por. np. Burliga, 1997; Szybist, 2003; Ślizowski i Saługa, 1996). Model ten jednak sięga w głąb jedynie do 2-2,5 km co wynika z głębokości najgłębszych otworów rozpoznawczych. W bardzo ograniczonym stopniu prezentuje on również otoczenie mezozoiczne wysadu Kłodawy.

W początku XXI wieku dane sejsmiczne posłużyły do opracowania regionalnego modelu rejonu Kłodawy w jej segmencie położonym na SE od kopalni (Krzywiec, 2004; 2012; Krzywiec i in., 2017). Jego charakterystyczną cechą jest obecność dużych rozmiarów przewieszki solnej występującej w obrębie utworów górnego triasu. Przewieszka to powstała jako ekstruzja soli w późnym triasie w efekcie silnej ekstensji nadkładu cechsztynu. Wykonana ostatnio interpretacja profili sejsmicznych położonych w centralnej i NW części struktury solnej Kłodawy pokazała, że przewieszka ta kontynuuje się na NW a jej rozmiar się zwiększa. Korelacja danych sejsmicznych z otworami odwierconymi w strefie kopalni pokazała, że część kopalni położona mniej więcej na NE od otworu K-10 znajduje się w obrębie przewieszki solnej a nie ponad głównym pniem wysadu solnego Kłodawy (**Ryc. 1**).



Ryc.1. Model geologiczny struktury solnej Kłodawa oparty na profilu sejsmicznym położonym w pobliżu Kopalni Soli „Kłodawa”. Skala pionowa w sekundach podwójnego czasu przebiegu fali sejsmicznej, korelację z otworami opartą na bardzo ogólnym modelu prędkościowym należy traktować jako wstępną i przybliżoną.

Fig.1. Geological model of the Kłodawa salt structure based on seismic profile located in vicinity of the “Kłodawa” Salt Mine. Vertical scale in two-way travel time, correlation with well data that is based on a very general velocity model should be regarded as preliminary and approximate. Czerwony spagowiec I starsze utwory: Rotliegend and older rocks, Cechsztyń: Zechstein, Trias: Triassic, Jura: Jurassic, Kreda: Cretaceous, Kenozoik: Cenozoic.

Nowy model dla części struktury solnej Kłodawy, w której zlokalizowana jest kopalnia, ma istotne implikacje dla wewnętrznej budowy wysadu i jego najbliższego otoczenia. Poprzedni model zakładał, że NE krawędź struktury solnej, nawiercona przez otwór K-11, ciągnie się mniej lub bardziej stromo do poziomu autochtonicznych ewaporatów cechsztynu. Oznaczało to, że głębsze deformacje wewnętrzne w obrębie struktury Kłodawy też powinny być strome bądź pionowe. Występowanie przewieszki powstałej jako ekstruzja solna (por. Krzywiec, 2004) oznacza, iż w jej spagowej części dominować powinny generalnie struktury pologie, związane z przemieszczaniem się ewaporatów po osiągnięciu przez nie powierzchni. Tego typu geometria jest bardzo dobrze udokumentowana np. w obrębie ekstruzji solnych w górach Zagros w Iranie (np. Bukowski 2020, Hassanpour i in., 2020; Talbot, 1998; Talbot i Aftabi, 2004; Talbot i Pohjola, 2009; Zavada i in., 2021). Lateralny przepływ soli w późnym triasie został zaproponowany dla wysadu solnego Kłodawy przez Burligę (1996), którego zdaniem ruch soli w tym okresie odbywał się w kierunku na NE bezpośrednio ponad podłożem pre-cechsztyńskim (Burliga, 1996 i jego fig. 6). Dane sejsmiczne pokazują, iż w późnym triasie sól, czy też szerzej – cechsztyńskie ewaporaty, wydostały się na powierzchnię i przemieszczały się ponad utworami górnego triasu (ponad górną częśćią tzw. dolnych warstw gipsowych kajpru, por. Krzywiec, 2004), jednak indykatory mezstrukturnalne lateralnego ruchu soli opisane przez Burligę (1996) są zgodne z powstaniem ekstruzji.

Odmiennej model budowy geologicznej centralnej części struktury solnej Kłodawy może mieć konsekwencje dla planowania dalszej działalności wydobywczej.

Interpretacja danych sejsmicznych z rejonu Kłodawy wykonana została w ramach projektu SALT WING realizowanego w ramach statutowej działalności badawczej ING PAN.

Kłodawa salt diapir, or Kłodawa salt wall, is the largest salt structure in Poland. It is located in central Poland, within the Kujavian segment of the Mid-Polish Anticlinorium which was formed during the Late Cretaceous – Paleogene inversion of the Polish Basin. Within this salt structure “Kłodawa” Salt Mine is located. After many decades of studies fairly detailed geological model of the Kłodawa salt structure has been developed, based on mining and well data (cf. eg. Burliga, 1997; Szybist, 2003; Śliżowski and Saługa, 1996). This model however covers only approximately uppermost 2-2,5 km as it is determined by the depth of the deepest wells. It also only approximately illustrates Mesozoic succession that surrounds Kłodawa salt structure.

In early XXI century, seismic data were used in order to construct regional geological model of the Kłodawa salt structure in its segment that is located towards the SE from the “Kłodawa” Salt Mine (Krzywiec, 2004; 2012; Krzywiec et al., 2017). Its characteristic feature is the presence of large salt overhang located within the Triassic deposits. This overhang was formed in Late Triassic as a salt extrusion due to normal faulting of the Zechstein overburden. Recently completed interpretation of seismic data located in central and NW part of the Kłodawa salt structure revealed that this salt overhang extends towards the NW and its size increases. Correlation of seismic and well data from wells drilled within the mine zone proved that part of the “Kłodawa” Salt Mine located approximately towards NE from the well K-10 is in fact located within the salt overhang, and not within the vertical core of the diapir (Fig. 1).

New model developed of the part of the Kłodawa salt structure where the mine is located has important implications regarding its internal structure and immediate surroundings. Previous model assumed that NE edge of salt structure, drilled by the K-11 well, steeply extends downward towards autochthonous Zechstein evaporites. This implied that also deeper internal deformations within the Kłodawa diapir should be relatively steep. Presence of salt overhang that was formed as a salt extrusion (cf. Krzywiec, 2004) implies that within its bottom part relatively flat deformations caused by lateral expansion of evaporites at the surface should dominate. This type of deformation is excellently documented within salt extrusions in Zagros Mts. In Iran (e.g. Bukowski, 2020; Hassanpour et al., 2020; Talbot, 1998; Talbot and Aftabi, 2004; Talbot and Pohjola, 2009; Zavada et al., 2021). Triassic lateral flow of salt has been already proposed by Burliga (1996). According to him, lateral salt movement was towards the NE directly above the pre-salt basement (Burliga, 1996 and his fig. 6). Seismic data proved that Zechstein salt – or more generally speaking Zechstein evaporites – reached the surface and were moving above Upper Triassic deposits (above upper part of the so-called Lower Gypsum Beds, cf. Krzywiec, 2004) although mezostructural indicators identified by Burliga (1996) are compatible with extrusion model for overhang formation.

New geological model proposed for the central part of the Kłodawa salt structure might have consequences for planning of future exploitation within the salt mine.

Interpretation of seismic data from the Kłodawa area was completed within the SALT WING research project.

Referat będzie opublikowany w formie artykułu w Przeglądzie Solnym 2023

Full text published in Salt Review 2023

LITERATURA/ REFERENCES

- BUKOWSKI K. (2020). Procesy geomorfologiczne na wybranych wysadach soli w pasie fałdowo-nasuńczym gór Zagros w Iranie. *Przegląd Geologiczny*, 68(3): 167–177.
- BURLIGA S. (1996). Implications for early basin dynamics of the Mid-Polish Trough from deformational structures within salt deposits in central Poland. *Geological Quarterly*, 40(2): 185-202.
- BURLIGA S. (1997). Ewolucja wysadu solnego Kłodawy. [w]: *Tektonika solna regionu kujawskiego, materiały konferencyjne, Uniejów 23–25.10, 1–14*. WIND, Wrocław.
- HASSANPOUR J., YASSAGHI A., MUÑOZ J.A., JAHANI S. (2020). Salt tectonics in a double salt-source layer setting (Eastern Persian Gulf, Iran): Insights from interpretation of seismic profiles and sequential cross-section restoration. *Basin Research*, 33, 159–185
- KRZYWIEC P. (2004). Triassic evolution of the Kłodawa salt structure: basement-controlled salt tectonics within the Mid-Polish Trough (central Poland). *Geological Quarterly*. 48(2): 123-134.
- KRZYWIEC P. (2012). Mesozoic and Cenozoic evolution of salt structures within the Polish Basin – an overview. [w]: *Alsop G.I., Archer S.G., Hartley A.J. Grant N.T., Hodgkinson R., (red.), Salt Tectonics, Sediments and Prospectivity*. Geological Society, London, Special Publications, 363, 381–394.
- KRZYWIEC P., PERYT T.M., KIERSNOWSKI H., POMIANOWSKI P., CZAPOWSKI G., KWOLEK K., (2017). Permo-Triassic evaporites of the Polish Basin and their bearing on the tectonic evolution and hydrocarbon system, an overview. [w]: *Soto J., Flinch J., Tari G. (red.), Permo-Triassic Salt Provinces of Europe, North Africa and the Central Atlantic: Tectonics and Hydrocarbon Potential*, 243-261. Elsevier.

- SZYBIST A. (2003). Struktury solne regionu kujawskiego. [w]: Bujakowski W., (red.) Termiczna charakterystyka górotworu w rejonie wysadów solnych. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków, 15-37.
- ŚLIZOWSKI K., SAŁUGA P. (1996). Surowce Mineralne Polski - Surowce Chemiczne - Sól Kamienna. CPPGSMiE PAN.
- TALBOT C.J. (1998). Extrusions of Hormuz salt in Iran. [w]: Blundell D.J. & Scott A.C. (red.) Lyell: The Past is the Key to the Present. Geological Society, London, Special Publications, 143. 315-334.
- TALBOT C.J., AFTABI P. (2004). Geology and models of salt extrusion at Qum Kuh, central Iran. Journal of the Geological Society, London, 161: 321–334.
- TALBOT C.J., POHJOLA V., 2009, Subaerial salt extrusions in Iran as analogues of ice sheets, streams, and glaciers. Earth-Science Reviews, 97: 167–195.
- ZAVADA P., BRUTHANS J., ADINEH S., WARSITZKA M., ZARE M., 2021, Composition and deformation patterns of the caprock on salt extrusions in southern Iran – Field study on the Karmostaj and Siah Taq diapirs. Journal of Structural Geology, 151, 104422.

LITOSTRATYGRAFIA CECHSZTYNU – PROBLEMATYKA DOKUMENTOWANIA BUDOWY WĘWĘTRZNEJ WYSADOWYCH ZŁÓŻ SOLI W POLSCE

ZECHSTEIN LITHOSTRATIGRAPHY – CHALLENGES IN DOCUMENTING THE INTERNAL STRUCTURE OF DOMAL SALT DEPOSITS IN POLAND

Stanisław BURLIGA¹

¹Uniwersytet Wrocławski, Instytut Nauk Geologicznych, pl. M. Borna 9, 50-204 Wrocław,
e-mail: stanislaw.burliga@uwr.edu.pl

Wysadowe złoża soli cechsztyńskich na Niziu Polskim rozpoznawane są od XIX w. metodami górniczymi i otworowymi. Od początku wyzwaniem w geologicznym dokumentowaniu tych złóż była litostratygrafia cechsztynu, która stanowi podstawę interpretacji tektoniki wewnętrznej wysadów, szacowania zasobów, a w konsekwencji projektowania eksploatacji soli. Profil litostratygraficzny cechsztynu dla Niziu Polskiego rozpoznawany był sukcesywnie do lat 90. XX wieku i w akceptowanej do dziś postaci został opublikowany przez Wagnera (1994). Późniejsze modyfikacje uwzględniły podział na sekwencje depozycyjne (Wagner i Peryt, 1997; Peryt i in., 2010).

Litostratygrafia cechsztynu przedstawiona przez Wagnera (1994) bazuje w głównej mierze na danych otworowych z obszarów pozawysadowych, gdzie tektonika w ograniczonym stopniu wpłynęła na pierwotne następstwo stratygraficzne warstw i dzięki temu możliwa jest identyfikacja ogniw litologicznych od spągu cechsztynu po spąg triasu. W kompletnym profilu litostratygraficznym wydzielono 4 cyklotemy i ponad 30 wydzieleni litostratygraficznych niższego rzędu, a profil litostratygraficzny jest zróżnicowany w skali regionalnej. Głównym wyzwaniem w analizie i dokumentowaniu budowy wewnętrznej wysadów solnych jest silne tektoniczne zaburzenie pierwotnego układu warstw, którego efektem jest powtarzanie się warstw w strukturach fałdowych, silna lub całkowita redukcja miąższości niektórych warstw litologicznych oraz przerwanie ciągłości warstw w strefach dyslokacji tektonicznych. W profilach pionowych i kierunkowych otworów wiertniczych oraz w wyrobiskach górniczych następstwo stratygraficzne bywa tym samym trudne do ustalenia, jednakże jest niezbędne do prawidłowego zinterpretowania budowy wewnętrznej wysadu solnego i określenia granic złoża. Praktyka górnicza wskazuje, iż kluczowe znaczenie dla określenia granic i budowy złoża mają warstwy należące do przedziału litostratygraficznego od najstarszej soli kamiennej Na1 (cyklotem PZ1) po zuberne czerwone Na4t (cyklotem PZ4). Natomiast w ustaleniu tektoniki złoża najistotniejszą rolę odgrywa identyfikacja warstw reperowych dla granic cyklotemów ewaporatowych i sukcesji wiekowej warstw w profilu oraz ich układ strukturalny. Pomimo podejmowania prób korelowania wieku warstw cechsztyńskich z ich cechami geochemicznymi, wciąż podstawą analizy litostratygraficznej pozostają cechy fizyko-chemiczne i petrograficzne skał oraz znajomość następstwa litofacjalnego w cechsztynie w rejonie dokumentowanego wysadu. Skuteczne zastosowanie metod geochemicznych w rozpoznawaniu litostratygrafii ogranicza w głównej mierze brak wiarygodnych profili reperowych dla cyklotemów ewaporatowych, gdyż większość opublikowanych tzw. wzorców bazuje na wycinkach profilu cechsztyńskiego, z sekwencji warstw zafaldowanych. Rozkład litofacji cechsztyńskich na Niziu Polskim wskazuje, że nie można zastosować jednego uniwersalnego wzorca litostratygraficznego dla wszystkich wysadów solnych, gdyż następstwo litofacji i ich cechy są swoiste dla poszczególnych regionów.

Słowa kluczowe: wydobywane złoża soli, cechsztyń, litostratygrafia, dokumentacja geologiczna złóż

Diapiric Zechstein salt deposits in the Polish Lowlands have been investigated since the 19th century by mining and borehole methods. From the very beginning, the main challenge in geological documenting these deposits was the Zechstein lithostratigraphy, which is fundamental for interpretations on internal tectonics of diapirs, the estimation of mineral resources, and, consequently, for planning exploitation. The lithostratigraphic profile of the Zechstein over the Polish Lowlands was investigated till the 1990s and implemented in its present form by Wagner (1994). Subsequent modifications supplemented the profile with division into depositional sequences (Wagner and Peryt, 1997; Peryt et al., 2010).

Zechstein lithostratigraphy presented by Wagner (1994) is based mainly on borehole data from non-diapiric areas, where tectonics had a limited influence on the primary stratigraphic succession of layers, and, thus, the lithological units can be identified from the Zechstein base to the base of the Triassic. In the complete lithostratigraphic profile, 4 cyclothems and more than 30 lower-order lithostratigraphic units were distinguished, and the lithostratigraphic profile differs on a regional scale. The main challenge in the analysis and documentation of the internal structure of salt diapirs is a strong tectonic disturbance of the original layer setting, which resulted in repetitions of layers in folded structures, strong or complete reductions of the thickness of some lithological layers, and the layer discontinuities in tectonic dislocation zones. Although in vertical and directional boreholes as well as in mine workings, the stratigraphic succession is thus often difficult to determine, its identification is essential for correct interpretation of the internal structure of a salt diapir and the determination of deposit boundaries. Mining practice shows that the layers belonging to the lithostratigraphic range from the Oldest Rock Salt Na1 (PZ1 cycle) to the Youngest Clay Halite Na4t (PZ4 cycle) are of key importance for determining the boundaries and structure of a deposit. To determine the tectonics of a deposit, the most crucial is the identification of marker layers for the boundaries of evaporite cycles and age succession of layers in the profile, as well as their structural arrangement. Despite attempts to correlate the age of Zechstein layers with their geochemical features, the physico-chemical and petrographic features of the rocks and the knowledge of lithofacies sequences in the Zechstein over the area of the documented diapir remain the basis for lithostratigraphic analysis. The effective use of geochemical methods in the identification of lithostratigraphic units is largely limited by the lack of reliable standard profiles for the evaporite cycles, as most of the published standard-called profiles are based on sections, where layers are folded. The distribution of Zechstein lithofacies over the Polish Lowlands indicates that there cannot be used a single and universal lithostratigraphic profile for all the salt domes, as the lithofacies patterns and their petrographic features are specific to individual regions.

Key words: domal salt deposits, Zechstein, lithostratigraphy, geological documentation of mineral resources

Referat będzie opublikowany w formie artykułu w Przeglądzie Solnym 2023

Full text published in Salt Review 2023

LITERATURA/REFERENCES

- PERYT T.M., GELUK M.C., MATHIESEN A., PAUL J., SMITH K., 2010. Zechstein. In: Petroleum Geological Atlas of the Southern Permian Basin Area (eds. J.C. Doornenbal, A.G. Stevenson) EAGE Publications b.v. (Houten): 123-147.
- WAGNER R., 1994. Stratygrafia i rozwój basenu cechsztyńskiego na Niżu Polskim. Prace Państwowego Instytutu Geologicznego 146, 1–71.
- WAGNER R., PERYT T.M., 1997. Possibility of sequence stratigraphic subdivision of the Zechstein in the Polish Basin. Geological Quarterly 41, 4, 457–474.

*ON ROLE OF TECTONICS IN DEVELOPMENT OF THE EVAPORATIC ZECHSTEIN BASIN
IN POLAND*

Piotr KRZYWIEC¹, Tadeusz M. PERYT², Hubert KIERSNOWSKI²

¹Instytut Nauk Geologicznych PAN
e-mail: piotr.krzywiec@twarda.pan.pl

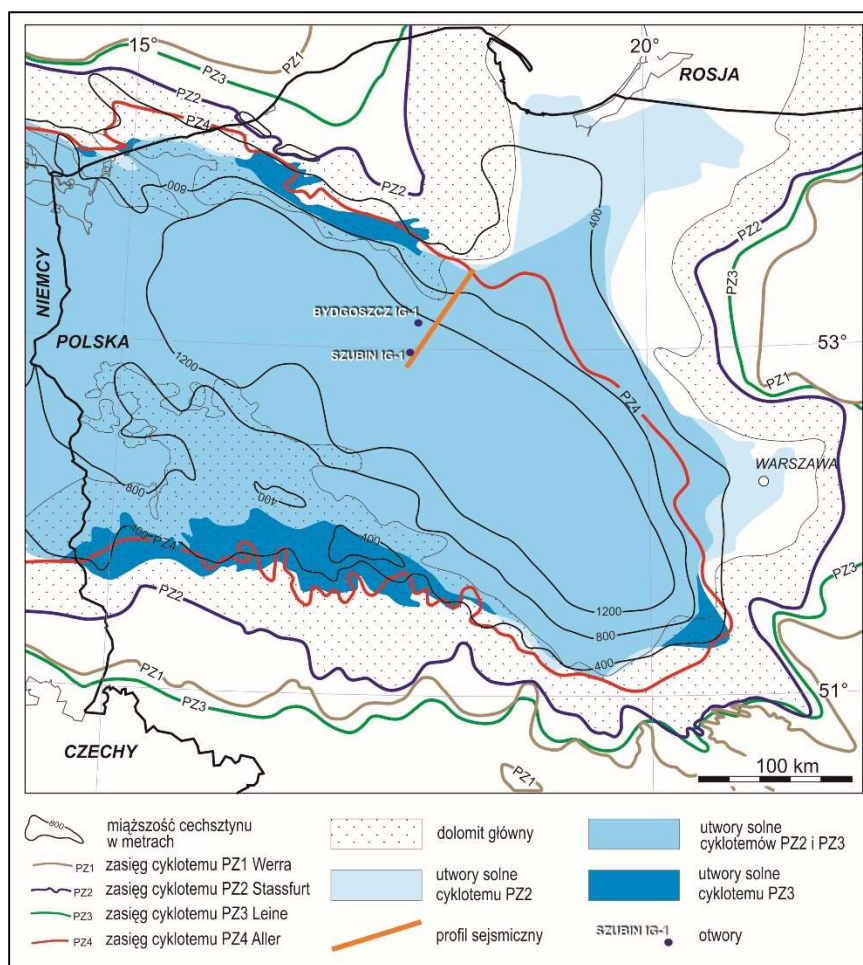
²Państwowy Instytut Geologiczny - Państwowy Instytut Badawczy
e-mail: tper@pgi.gov.pl, hkie@pgi.gov.pl

Dotychczasowe analizy oparte głównie na danych otworowych pokazały, że pierwsza główna faza subsydencji w obrębie Basenu Polskiego miała miejsce w późnym permie (cechsztyń) – wczesnym triasie (255 – 241 mln lat temu) i doprowadziła do ekstensji skorupy i litosfery rzędu 55-65% (Dadlez i in., 1995). Z drugiej strony wskazywano jednak na zdecydowany deficyt deformacji (uskoków normalnych) w obrębie górnej skorupy, które mogłyby być odpowiedzialne za tę fazę ekstensji (por. Stephenson i in., 2003), i w efekcie opracowany został model, w którym basen cechsztyński miał być rozległą depresją o dnie położonym nawet do 700 m poniżej poziomu globalnego oceanu, sukcesywnie wypełnianą przez utwory kolejnych cyklotemów cechsztyńskich (Van Wees i in., 2000). Tego typu regionalny styl sedymentacji oddany jest na mapach pokazujących paleomiąższości utworów cechsztyńskich, na których brak jest lokalnych gradientów miąższości związanych z aktywnością uskoków w trakcie sedymentacji cechsztyńskich ewaporatów (**Ryc. 1**; por. Peryt i in., 2010; Wagner, 1998).

Deficyt deformacji w obrębie utworów podcechsztyńskich może być jednak wytłumaczony w inny sposób: jako skumulowany efekt (1) późnokredowej inwersji basenu polskiego, która mogła „zresetować” wcześniejsze zrzuty na takich uskokach, oraz (2) regionalnego procesu odspojenia mechanicznego pomiędzy podłożem podcechsztyńskim a leżącą ponad cechsztyńską mezozoiczną pokrywą osadową wywołanego plastycznymi ewaporatami cechsztyńskich.

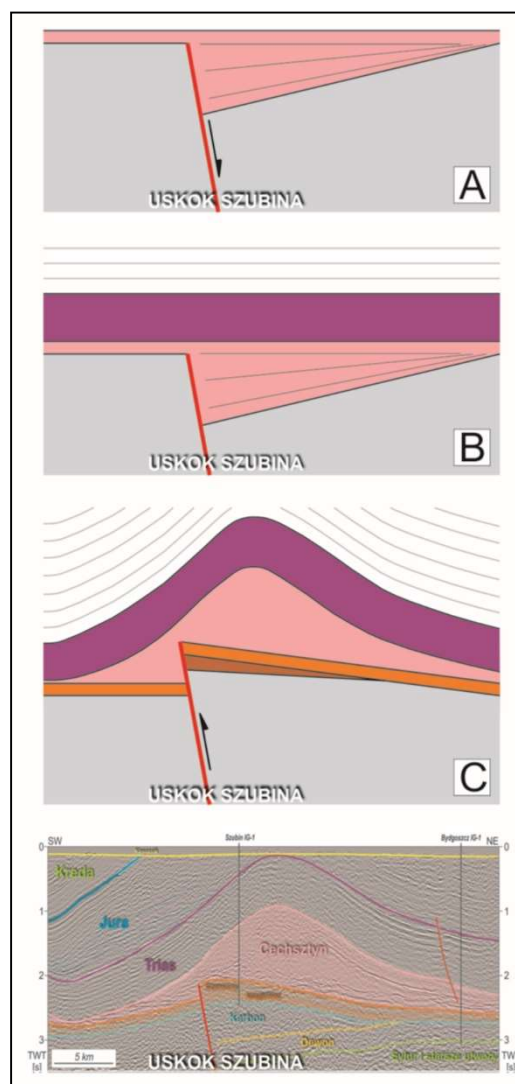
Dane sejsmiczne i otworowe z rejonu Bydgoszczy - Szubina pozwoliły na opracowanie odmiennego modelu rozwoju basenu cechsztyńskiego (por. Krzywiec i in., 2017), który może być zastosowany również w wielu innych segmentach basenu polskiego. Model ten, pokazany na **Ryc. 2**, zakłada (A) sedymentację utworów cechsztyńskich w trakcie aktywnej ekstensji, (B) przykrycie utworów cechsztyńskich przez pokrywą mezozoiczną, oraz (C) późnokredowo-paleogeńską inwersję, która doprowadziła do powstania poduszki solnej ponad skrzydłem zrzucenym uskoku normalnego. Teza o syn-ekstensyjnej sedymentacji cechsztyńskich ewaporatów jest oparta na korelacji poszczególnych cyklotemów (PZ1, PZ2, PZ3 i PZ4) między otworami Bydgoszcz IG-1 i Szubin IG-1, pokazującej wyraźny wzrost ich miąższości w kierunku uskoku normalnego. Dane sejsmiczne z tego rejonu pokazują występowanie poduszki solnej ponad elewowanym blokiem podłoża, co wytłumaczone może być właśnie przez tektonikę inwersyjną, która doprowadziła do reaktywacji uskoku normalnego w podłożu jako uskoku odwróconego (**Ryc. 2**). Tego typu budowę geologiczną ilustrują dane sejsmiczne zlokalizowane w innych częściach basenu. Pozwala to na postawienie tezy, że w trakcie depozycji cechsztyńskich ewaporatów istotną rolę odgrywała tektonika ekstensyjna i że nie było to „pasywne” wypełnianie regionalnej depresji.. Tego typu model ma również istotne konsekwencje dla regionalnych

rozkładów facji gdyż dopuszcza on występowanie utworów deponowanych w relatywnie płytkich częściach basenu zlokalizowanych w jego strefie centralnej tj. w obrębie bruzdy śródpolskiej, uważanej dotychczas za najgłębszą część basenu polskiego (Wagner, 1998).



Ryc. 1. Rozkład paleomiąższości utworów cechsztynu w Polsce (z Krzywiec i in., 2017, 2019).

Fig. 1. Zechstein paleothickness in Poland (from Krzywiec et al., 2017, 2019). Zasięg cyklotemu PZ1 Werra: extent of cyclothem PZ1 Werra, Zasięg cyklotemu PZ2 Stassfurt: extent of cyclothem PZ2 Stassfurt, Zasięg cyklotemu PZ3 Leine: extent of cyclothem PZ3 Leine, Zasięg cyklotemu PZ4 Aller: extent of cyclothem PZ4 Aller, dolomit główny: Main Dolomite, utwory solne cyklotemu PZ2: salt deposits of cyclothem PZ2, utwory solne cyklotemu PZ2 i PZ3: salt deposits of cyclothem PZ2 and PZ3, utwory solne cyklotemu PZ3: salt deposits of cyclothem PZ3, profil sejsmiczne: seismic profile, otwory: wells



Ryc. 2. Model ewolucji struktury solnej Szubina (z Krzywiec i in., 2017 zmodyfikowane).

Fig. 2. Model of evolution of the Szubin salt structure (from Krzywiec et al., 2017). Uskok Szubina: Szubi fault, Sylur i starsze utwory: Silurian and older strata, Devon: Devonian, Karbon: Carboniferous, Czerwony spagowiec: Rotliegend, Zechsztyń: Zechstein, Trias: Triassic, Jura: Jurassic, Kreda: Cretaceous, Kenozoik: Cenozoic.

Deficit of upper crustal extensional deformations (normal faults) responsible for the first, Late Permian (Zechstein) – Early Triassic (255 – 241 Ma) major subsidence pulse within the Polish Basin inferred from the subsidence modelling studies (Dadlez et al., 1995) led to the proposal that the Zechstein evaporitic basin formed an extensive depression that with time was filled up by Zechstein cyclothems (Van Wees et al., 2000). This type of regional sedimentation is depicted on maps that illustrate Zechstein paleothickness and are devoid of any local thickness gradients potentially related to activity of basement faults during sedimentation of Zechstein evaporites (**Fig. 1**; cf. Peryt et al., 2010; Wagner, 1998).

Seismic and well data from the Bydgoszcz – Szubin area were used to propose alternative model of evolution of the Zechstein basin (cf. Krzywiec et al., 2017) that could be applied to other segments of the Polish Basin. This model, illustrated on Fig. 2, assumes (A) sedimentation of the Zechstein evaporites during extension, (B) deposition of the Mesozoic cover, and (C) Late Cretaceous-Paleogene inversion that formed salt pillow above the uplifted hangingwall of the basement normal fault. Syn-extensional deposition of Zechstein evaporites is suggested by correlation of Zechstein cyclothems (PZ1, PZ2, PZ3 i PZ4) between wells Bydgoszcz IG-1 i Szubin IG-1 that illustrates their significant thickness increase towards the normal fault. Formation of salt pillow above

the uplifted basement block might be explained by basin inversion that led to reactivation of the basement normal fault as a reverse fault (Fig. 2). Similar geological structure could be observed on seismic data from other parts of the basin, and this allows to postulate that during deposition of Zechstein evaporites basement extensional tectonics played important role, and that Zechstein basin was not “passively” filled by evaporitic series. Such a model would have also important consequences for regional Zechstein facies distribution as it would allow existence of facies related to relatively shallow zones of the basin within the axial part of the basin, regarded insofar as the deepest part of the Polish Basin (Wagner, 1998).

Referat będzie opublikowany w formie artykułu w Przeglądzie Solnym 2023

Full text published in Salt Review 2023

LITERATURA/REFERENCES

- DADLEZ R., NARKIEWICZ M., STEPHENSON R.A., VISSER M.T.M., VAN WEES J.-D. (1995). Tectonic evolution of the Mid-Polish Trough: modelling implications and significance for central European geology. *Tectonophysics*, 252: 179–195.
- KRZYWIEC P., PERYT T.M., KIERSNOWSKI H., POMIANOWSKI P., CZAPOWSKI G., KWOLEK K. (2017). Permo-Triassic evaporites of the Polish Basin and their bearing on the tectonic evolution and hydrocarbon system, an overview. [w]: Soto J., Flinch J., Tari G. (red.), *Permo-Triassic Salt Provinces of Europe, North Africa and the Central Atlantic: Tectonics and Hydrocarbon Potential*, pp. 243-261. Elsevier.
- KRZYWIEC P., KIERSNOWSKI H., PERYT T.M. (2019). Fault-controlled Permian (Rotliegend and Zechstein) sedimentation in central Poland Basin (Bydgoszcz – Szubin area) – insight from well and seismic data. *Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften*, 170(3–4): 255–272.
- PERYT T.M., GELUK M.C., MATHIESEN A., PAUL J., SMITH, K. (2010). Zechstein. [w]: J.C. Doornenbal, A.G. Stevenson (red.): *Petroleum Geological Atlas of the Southern Permian Basin Area*. EAGE Publications b.v. (Houten): 225-253.
- STEPHENSON R.A., NARKIEWICZ M., DADLEZ R., VAN WEES J.-D., ANDRIESSEN P. (2003). Tectonic subsidence modelling of the Polish Basin in the light of new data on crustal structure and magnitude of inversion. *Sedimentary Geology*, 156, 59–70.
- VAN WEES J.-D., STEPHENSON R.A., ZIEGLER P.A., BAYER U., MCCANN T., DADLEZ R., GAUPP R., NARKIEWICZ M., BITZER F., SCHECK M. (2000). On the origin of the Southern Permian Basin, Central Europe. *Marine & Petroleum Geology*, 17: 43–59.
- WAGNER R. (1998). Cechsztyń. [w]: Dadlez R., Marek S., Pokorski J., (red.) *Atlas paleogeograficzny epikontynentalnego permu i mezozoiku w Polsce (1:2500000)*. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.

PRZYKŁADY WSPÓŁCZESNEGO DIAPIRYZMU ZWIĄZANEGO Z EOKAMBRYJSKĄ FORMACJĄ SOLONOŚNĄ ARA W OMANIE – MIEJSCE REKOMENDOWANE DLA PRZYSZŁYCH BADAŃ POLSKIEGO STOWARZYSZENIA GÓRNICTWA SOLNEGO

EXAMPLES OF RECENT DIAPIRISM RELATED TO THE EOCAMBRIAN ARA SALT FORMATION IN OMAN – SITE RECOMMENDED FOR FUTURE STUDY BY THE POLISH SALT MINING ASSOCIATION

Krzysztof BUKOWSKI¹, Hubert KIERSNOWSKI²

¹Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska;
e-mail: buk@agh.edu.pl

²Państwowy Instytut Geologiczny - Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa, Polska,
e-mail: hubert.kiersnowski@pgi.gov.pl; hubert.kiersnowski@gmail.com

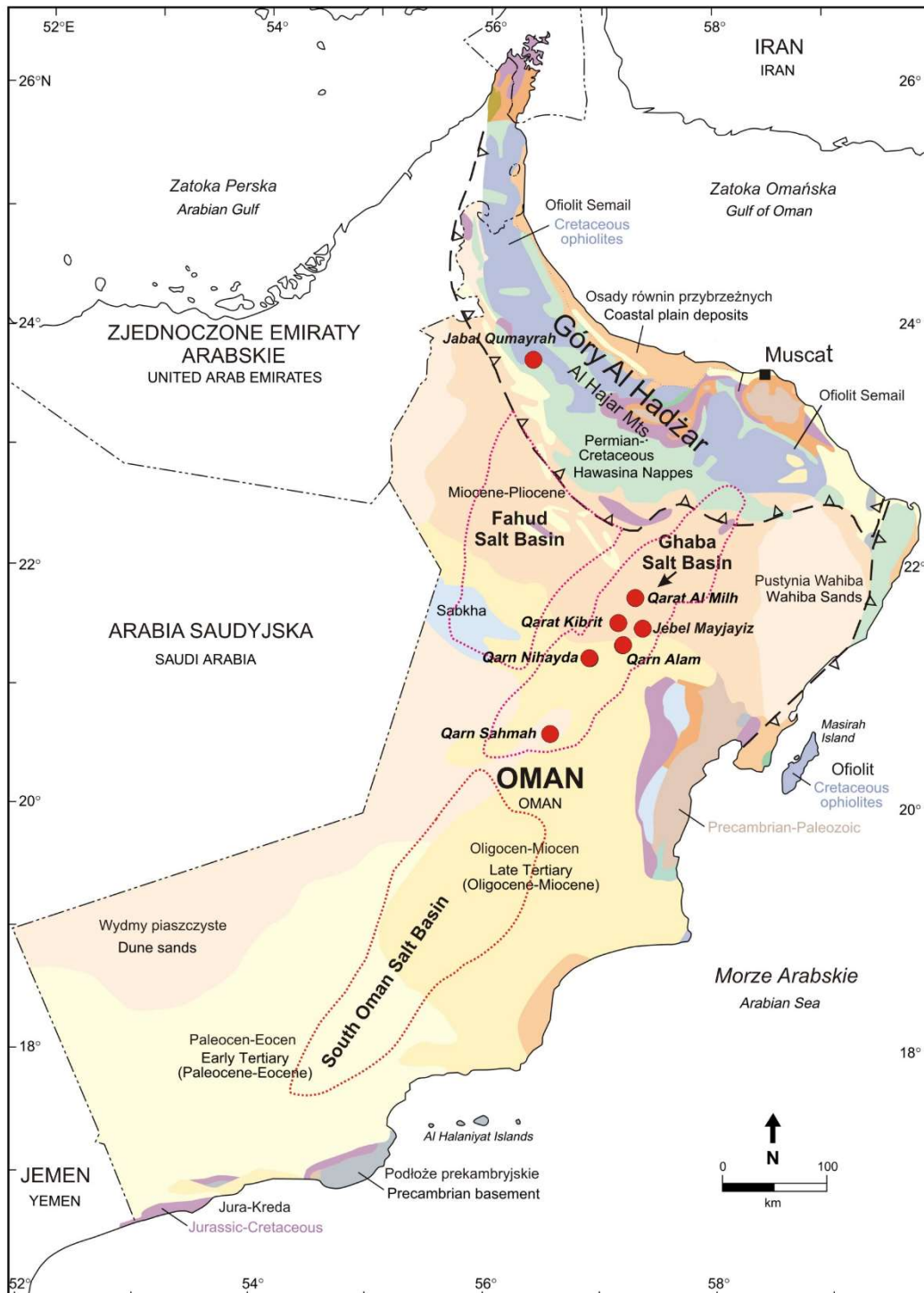
Jeden z najgrubszych na świecie kompleksów soli kamiennych powstawał w okresie od późnego neoproterozoiku (ediakaru) do wczesnego kambru, czyli około 550 mln lat temu. W tym czasie, w okresie dawniej definiowanym jako eokambryjski będącym strefą przejściową między erą proterozoiczną a paleozoiczną, ewaporaty tworzyły się wzdłuż krawędzi superkontynentu Gondwany, w pobliżu ówczesnego równika (Warren, 2016). Obecnie sole tego wieku zostały rozpoznane na obszarze Iranu i Zatoki Perskiej (formacja Hormuz), Omanu i Kataru (formacja Ara), a także w Pakistanie (formacja Salt Range), północno-zachodnich Indiach (formacja Hanseran), ale także na Syberii (formacja Usolka) i w basenie Amadeus w Australii (Warren, 2016). Do najbardziej znanych wystąpień tych soli należą odsłaniające się na powierzchni wysady i lodowce solne w górach Zagros, zaliczone do formacji Hormuz, które były obiektem badań i obserwacji geologicznych przeprowadzonych podczas wyprawy Polskiego Stowarzyszenia Górnictwa Solnego do Iranu w 2018 roku (Bukowski, 2020).

Celem tego krótkiego artykułu jest przedstawienie stosunkowo mało znanego i do tej pory szerzej nie opisywanego w polskiej literaturze geologicznej rejonu gór Al-Hadžar oraz wschodniej części pustyni Ar-Rab al-Chali w Omanie. Współcześnie na powierzchni można tam obserwować wierzchołki diapirów solnych należące do eokambryjskiej formacji solonośnej Ara. Wysady te często mają skomplikowaną budowę wewnętrzną i zawierają wyniesione na powierzchnię fragmenty głębokiego podłoża oraz skał przewarstwiających kompleksy solne. Prowadzone wiosną 2022 roku obserwacje terenowe w tym rejonie, mogą być zdaniem autorów pomocne w przygotowaniu w przyszłości kolejnej wyprawy Polskiego Stowarzyszenia Górnictwa Solnego w celu kontynuowania badań złóż soli w Omanie.

Formacja Ara jest węglanowo - ewaporatową sekwencją zawierającą bardzo grube osady soli kamiennej dochodzących do 1000 metrów miąższości (Polasstro, 1999) oraz bardzo miąższe do nawet 150 m przewarstwienia skał węglanowych (Reuning 2009). Osady ewaporatowe powstawały w palogeograficznie ograniczonych basenach sedymentacyjnych, podczas okresów relatywnie niskiego poziomu wód. W tych warunkach dochodziło do rozwarstwienia gęstościowego (stratyfikacji) solanki z okresowymi warunkami beztlenowymi w głębszych częściach, sprzyjającymi tworzeniu sedymentacji osadów bogatych w materię organiczną w obrębie utworów solnych. Osady te w formie przewarstwień w obrębie soli (ang. *stringers*) są często skalą macierzystą dla bogatych złóż ropy naftowej w tym rejonie (Polasstro, 1999). Współcześnie można je obserwować na powierzchni w strefie wschodni diapirów, gdzie

w czapach wysadów tworzą pokrywy brekcji lub występują w postaci dużych wyciągniętych na powierzchnię wznoszących się ku górze „ławic” (ang. *rafts*) skał węglanowych. W niektórych wysadach skala tego zjawiska jest tak znaczna, że zostały nazwane górami (Jebel Mayjayiz).

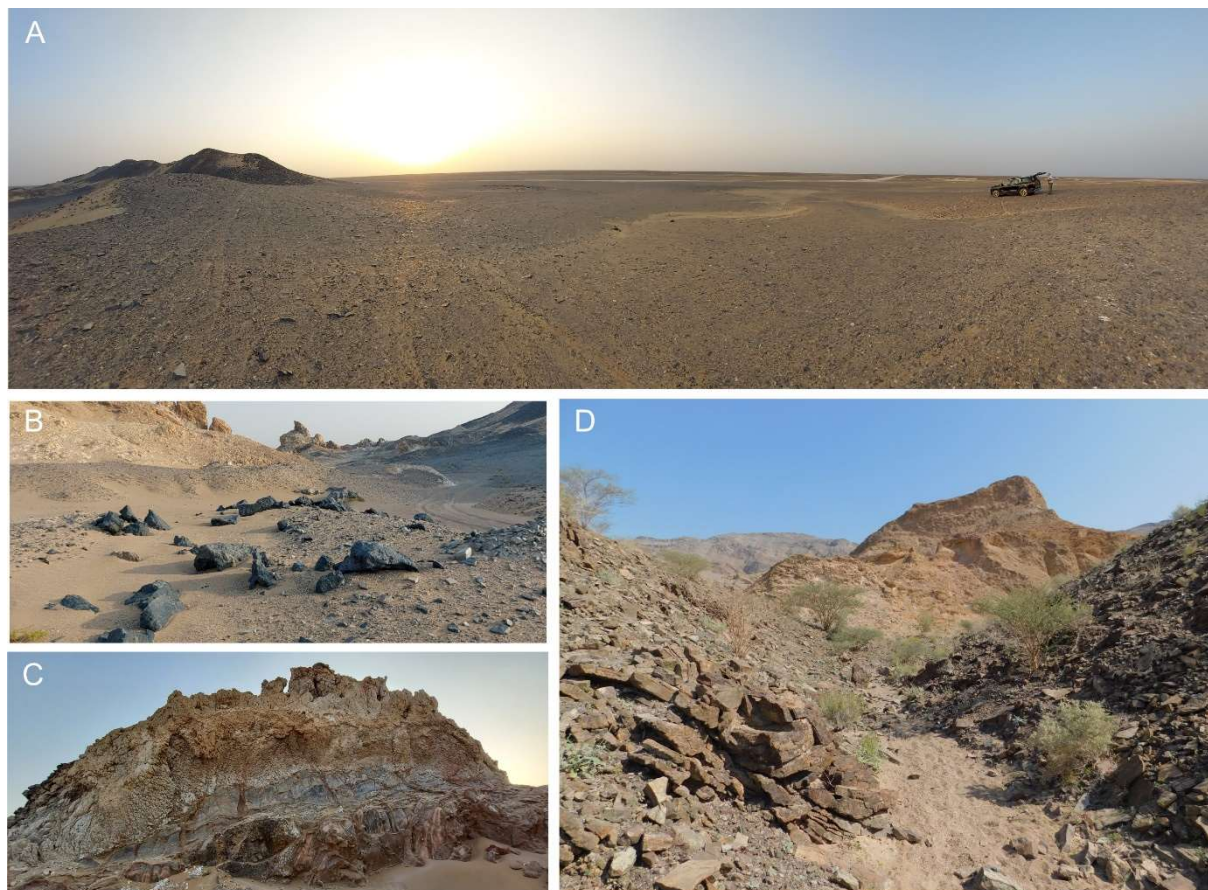
W Omanie osady formacji Ara występują głównie w trzech basenach, z których dwa są zlokalizowane w centralnej części interioru (Ghaba Salt Basin, Fahud Salt Basin) oraz w trzeci największy zlokalizowany w południowej części kraju (South Oman Salt Basin).



Ryc. 1. Uproszczona mapa geologiczna Omanu z zaznaczoną lokalizacją wysadów soli na powierzchni oraz zasięgami basenów solonośnych formacji Ara (wg Peters i in., 2003; Reuning i in. 2009, zmieniona)

Fig. 1. A simplified geological map of Oman with the marked location of the salt domes on the surface and the ranges of the Ara salt basins (according to Peters et al., 2003; Reuning et al. 2009, revised)

Sześć wylaniających się na powierzchni kopuł wysadów solnych jest rozrzuconych na pustynnych równinach środkowego Omanu w basenie solnym Ghaba (**Ryc. 1**). Wysady te po raz pierwszy zostały rozpoznane na zdjęciach lotniczych na początku lat 50-tych XX wieku. Później podczas poszukiwań ropy naftowej w tym rejonie, zostały one również badaniami terenowymi (Peters i in., 2003). Badania grawimetryczne wykazały, że w tym rejonie znajduje się jeszcze kilka innych struktur solnych nieprzebijających powierzchni, niektóre w formie poduszek solnych, kropli solnych oderwanych od podstawy diapiru, lub pionowych słupów solnych o wysokości do 9 km od jej pierwotnego położenia (Searle, 2019).



Ryc. 2. Wysady solne formacji Ara w Omanie. A-C - Qarat Kibrit; D – Jabal Qumayrah (Lisail)

Fig. 2. *Ara salt domes in Oman. A-C - Qarat Kibrit; D - Jabal Qumayrah (Lisail)*

Podczas geologicznych badań powierzchniowych udało się dotrzeć do czterech z wysadów odsłaniających się na powierzchni: Qarat Kibrit, Qarn Alam, Jebel Mayjayiz i Qarat al-Milh. Są to stosunkowo niewielkie diapiry. Jednym z mniejszych jest z Qarat Kibrit (*kibrit* arab. siarka) diapir o wymiarach 700m x 500m tworzący wzniesienie do 30 m wznoszące się ponad płaskim obszaru basenu Ghaba i zawierający niewielkie odsłonięcia soli formacji Ara (**Ryc. 2 A-C**). Największy jest Jebel Mayjayiz (3km x 1,5km), który tworzy wzgórze o wysokości ponad 60 metrów powstałe z nagromadzenia bloków i ławic wapieni (*stringers*), z których niektóre zawierają widoczne struktury stromatolitowe (Reuning i in., 2009). Większość występujących na powierzchni wysadów solnych wykazuje wyraźne ślady intensywnego rozpuszczania soli. Sugeruje to, że w czasie ich największej aktywności zarówno ich wielkość jak i rozpowszechnienie było znacznie większe niż obecnie, a także w wyniku stałego rozpuszczania soli na powierzchni, wzrastał wyraźnie udział skał nierozpuszczalnych.

W północnej części Omanu w górach Al-Hadžar stosunkowo niedawno (Copper i in., 2013) został odkryty jeszcze jeden wysad na powierzchni nazwany Jabal Qumayrah (Lisail). Zlokalizowany jest on w stosunkowo trudno dostępnych górach na północ od miejscowości Qumayrah stanowi przykład allochtonicznych soli wyciśniętych w procesie tektonicznym w trakcie nasuwania i faldowania skał mezozoicznych w brzeżnej strefie nasunięcia ofiolitu Semail. Obecnie na powierzchni zachowała się głównie czapa wysadu składająca się ze skał gipsowo-anhydrytowych i wapieni z przewarstwieniami piaskowców i mułowców pochodzących z porwaków skał w obrębie soli (**Ryc. 2D**). W obrębie wysadu nie stwierdzono powierzchniowych odsłoneń samej soli kamiennej. W pobliżu wysadu występują jeszcze szereg mniejszych odsłoneń skał ewaporatowych oraz słone źródła, od których pochodzi nazwa doliny Wadi Milh (arab. sól). Obecnie jedno z nich jest ciągle czynne, a wykonana analiza chemiczna wypływającej solanki wykazała zasolenie 25 g/l (zbliżone do zasolenia wody morskiej). W tym rejonie występują również niewielkie wystąpienia siarki rodzimej.

One of the world's thickest rock salt complexes was formed between the late Neoproterozoic (Ediacaran) and early Cambrian, i.e., about 550 million years ago. During the period formerly defined as the Eocambrian (a transition zone between the Proterozoic and Paleozoic eras), evaporites formed along the edge of the Gondwana supercontinent near the ~~then~~ equator (Warren, 2016). Currently, salts of this age have been recognized in Iran and the Persian Gulf (Hormuz Formation), Oman and Qatar (Ara Formation), as well as in Pakistan (Salt Range Formation), northwest India (Hanseran Formation), but also in Siberia (Usolka Formation) and the Amadeus Basin in Australia (Warren, 2016). The most famous occurrences of these salts are exposed as diapirs, and salt glaciers in the Zagros Mountains, included in the Hormuz Formation, which were the subject of geological research and observations carried out during the Polish Salt Mining Association's expedition to Iran in 2018 (Bukowski, 2020).

The purpose of this short paper is to present the relatively little known and so far, not described in the Polish geological literature, the Al-Hajar Mountains region and the eastern part of the Ar-Rab al-Khali desert in Oman. Today, on the surface, one can observe the tops of salt diapirs belonging to the Eocambrian Ara Formation. These diapirs often have a complicated internal structure and contain elevated fragments of deep bedrock and rocks layering the salt complexes at the surface. The author's field observations in this area, conducted in the spring of 2022, may be helpful in the preparation of the next expedition of the Polish Salt Mining Association to continue research on salt deposits in Oman.

The Ara Formation is a carbonate-evaporite sequence containing very thick rock salt deposits reaching up to 1,000 meters in thickness (Polasstro, 1999) and very thicker, up to 150 m interlayer of carbonate rocks (Reuning 2009). These evaporative sediments were formed in restricted sedimentary basins during relatively low water levels. Under these conditions, density stratification of the brine occurred with periodic anaerobic conditions in the deeper parts, promoting the formation of sedimentation of organic matter-rich sediments within the salt formations. These sediments, in the form of stratified deposits within the salt (stringers), are often the source rock for the rich oil deposits in this area (Polasstro, 1999). Nowadays, they can be observed on the surface in salt dome outcrops, where they form breccia covers in the cap rock or the form of large carbonate rocks rising upwards to the surface. In some highlands, the scale of this phenomenon is so great that they have been called mountains (Jebel Mayjayiz). In Oman, Ara Formation sediments occur mainly in three basins, two of which are located in the central interior (Ghaba Salt Basin, Fahud Salt Basin) and the third largest is located in the southern part of the country (South Oman Salt Basin).

*Six emerging salt domes are scattered across the desert plains of central Oman in the Ghaba salt basin (**Fig. 1**). These salt diapirs were first recognized in aerial photographs in the early 1950s. Later, during oil exploration in the area, they were also surveyed in the field (Peters et al., 2003). Gravimetric studies have shown that there are several other non-surface-piercing salt structures in the area, some in the form of salt pillows, salt droplets*

detached from the base of the diapir, or vertical salt columns up to 9 km from their original position (Searle, 2019).

During geological surface surveys, four exposed salt domes have been reached: Qarat Kibrit, Qarn Alam, Jebel Mayjayiz and Qarat al-Milh. They are relatively small diapirs. One of the smallest is Qarat al-Kibrit (Arabic sulfur), a 700m × 500m diapir forming an elevation of up to 30m above the flat area of the Ghaba Basin and containing small exposures of rock salt (**Fig. 2 A-C**). The largest is Jebel Mayjayiz (3km × 1.5km), which forms hills over 60 meters high, formed by an accumulation of blocks and stringers, some of which contain visible stromatolite structures (Reuning et al., 2009). Most of the salt domes on the surface show clear traces of intense salt dissolution. It suggests that at the time of their greater activity, their size and abundance were much more significant than today. As a result of the constant dissolution of salt on the surface, the proportion of insoluble rocks increased.

In the northern part of Oman, in the Al-Hajar Mountains, another surface diapir named Jabal Qumayrah (Lisail) was discovered relatively recently (Copper et al., 2013). Located in the inaccessible mountains north of Qumayrah, it is an example of allochthonous salts squeezed out by tectonic processes during the sliding and folding of Mesozoic rocks in the marginal zone of the Semail ophiolite nape. The surface mainly preserves a cap rock consisting of gypsum-anhydrite rocks and limestone with interbeds of sandstone and siltstone as xenoliths within the salt (**Fig. 2D**). No surface exposures of rock salt were found within the salt dome. Several smaller outcrops of evaporite rocks are still in the vicinity, and the salt springs gave the valley its name, Wadi Milh (Arabic - salt). One of them is still active, and chemical analysis of the outflowing brine showed a salinity of 25 g/l (close to that of seawater). There are also minor occurrences of native sulfur in the area.

Referat opublikowany w formie artykułu w Przeglądzie Solnym 2021/2022

Full text published in Salt Review 2021/2022

LITERATURA/REFERENCES

- BUKOWSKI K. 2020. Procesy geomorfologiczne na wybranych wysadach soli w pasie fałdowo-nasuwczym gór Zagros w Iranie. *Przegląd Geologiczny*, 68, 3: 167–177.
- COOPER D.J.W., SEARLE M.P., ALI M.Y. 2013. Salt intrusions in Jabal Qumayrah, northern Oman Mountains: implications from structural and gravity investigations. *GeoArabia* 18:141 – 176.
- PETERS J.M., FILBRANDT J.B., GROTZINGER J.P., NEWALL M.J., SHUSTER M.W., AL-SIYABI H.A. 2003. Surface-piercing salt domes of interior North Oman and their significance for the Ara carbonate “stringer” hydrocarbon play. *GeoArabia*, 8:231 – 270.
- POLLASTRO R.M. 1999. Ghaba Salt Basin Province and Fahud Salt Basin Province, Oman -- Geological Overview and Total Petroleum Systems. U.S. Geological Survey Open-File Report 99-50-D.
- REUNING L., SCHOENHERR J., HEIMANN A., URAI J.L., LITTKE R., KUKLA P.Z. RAWAHI Z. 2009. Constraints on the diagenesis, stratigraphy, and internal dynamics of the surface-piercing salt domes in the Ghaba Salt Basin (Oman): A comparison to the Ara Group in the South Oman Salt Basin. *GeoArabia*, 14, 3: 83-120.
- SEARLE M. 2019. *Geology of the Oman Mountains, Eastern Arabia*. Springer International Publishing.
- WARREN J.K. 2016. *Evaporites: Sediments, Resources and Hydrocarbons*. Springer, Berlin, Heidelberg, New York.

Michał SŁOTWIŃSKI^{1,2}, Marta ADAMUSZEK¹

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Centrum Modelowania Procesów Geologicznych, al. Jaworowa 19, 53-122 Wrocław,
e-mail: mslot@pgi.gov.pl, madam@pgi.gov.pl

² Uniwersytet Wrocławski, Instytut Nauk Geologicznych, ul. W. Cybulskiego 32, 50-205 Wrocław

Tempo konwergencji podziemnych magazynów solnych jest jednym z parametrów warunkujących ich długotrwałą stabilność. Pelzanie dyslokacyjne jest powszechnie uważane za główny mechanizm deformacji w solach kamiennych odpowiedzialny za konwergencję kawern. Jest to związane z głównie faktem, że mechanizm ten dominuje dla deformacji związanej z dużymi naprężeniami różnicowymi, które są spodziewane podczas eksploatacji takich kawern. Przedstawiona w artykule analiza wskazuje, że dla szerokich zakresów możliwych stanów naprężeń w magazynach pelzanie dyfuzyjne może być drugim istotnym mechanizmem deformacji. Jest to szczególnie istotne dla kawern na substancje gazowe, gdyż stan naprężeń waha się istotnie w zależności od poziomu wypełnienia gazem. Analiza danych z sześciu otworów wiertniczych na terenie wyniesienia Łeby wykazała, że przy uwzględnieniu pelzania dyfuzyjnego tempa odkształcenia, a co za tym idzie, tempa zaciskania się kawerny, w niektórych częściach profilu mogą być znacznie wyższe niż w przypadku obliczeń opartych wyłącznie na zjawisku pelzania dyslokacyjnego. Różnica ta może sięgnąć nawet kilku rzędów wielkości. Szczególnie istotną cechą jest tu rozmiar uziarnienia, który ma kluczowe znaczenie dla intensywności pelzania dyfuzyjnego. Przedstawione badania wskazują, że dla prawidłowej oceny tempa zaciskania się kawern istotne jest uwzględnienie dwóch mechanizmów deformacji zarówno pelzania dyslokacyjnego jak i dyfuzyjnego

Słowa kluczowe: sole kamienne, pelzanie dyfuzyjne, pelzanie dyslokacyjne, wyniesienie Łeby, kawerny magazynowe, konwergencja kawern

Convergence rate is one of stability parameters of underground storage caverns in rock salt. Dislocation creep is generally considered to be the main deformation mechanism responsible for the cavern convergence. This is related to the fact that for high differential stresses, such as stresses expected to occur around the salt cavern, this mechanism dominates the deformation. However, in this paper, we present an analysis showing that for ranges of probable differential stresses around the caverns, solution-precipitation creep can be also a significant deformation mechanism. It is of special importance for gas storage caverns, since the stress state around the cavern is highly dependent on the pressure of gas within the cavern that varies significantly throughout the injection-withdrawal cycle. Analysis of data from six selected boreholes located in the Łeba Elevation (northern Poland) shows that incorporating the solution-precipitation creep in the convergence rate can lead to the significantly higher values as compare to the analysis when only dislocation creep is considered. The difference can reach several orders of magnitude. The grainsize is especially important since it strongly influences the pressure solution creep. The paper shows that for accurate prediction of cavern convergence rates, both dislocation and solution-precipitation creep should be employed in the study.

Keywords: rock salt, diffusion creep, dislocation creep, Łeba Elevation, storage caverns, cavern convergence

Referat będzie opublikowany w formie artykułu w Przeglądzie Solnym 2023
Full text published in Salt Review 2023

MIGRACJA INKLUZJI FLUIDALNYCH POD WPLYWEM ZMIAN NAPRĘŻENIA W PRÓBKACH SOLI KAMIENNEJ – WSTĘPNE WYNIKI

FLUID INCLUSIONS MIGRATION INDUCED BY STRESS CHANGES IN ROCK SALT SAMPLES – PRELIMINARY RESULTS

Tomasz TOBOŁA¹, Katarzyna CYRAN², Paweł KAMIŃSKI³

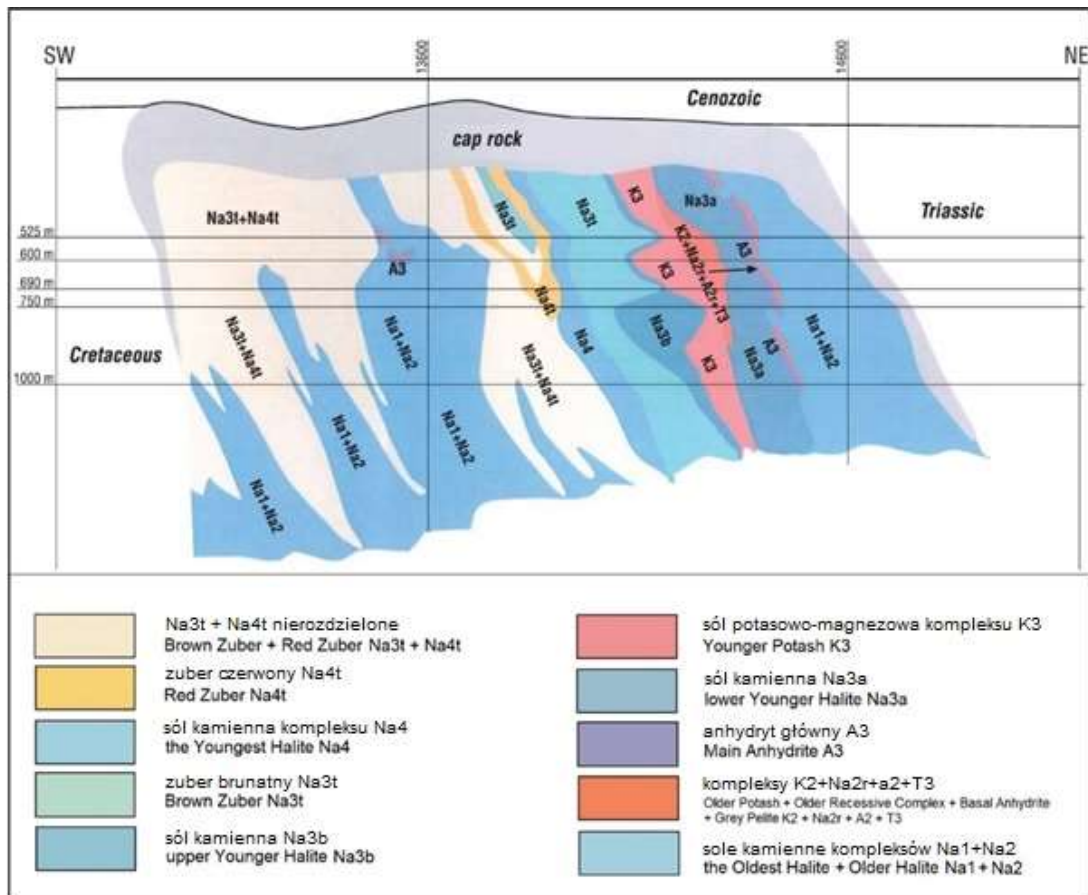
¹Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków;
e-mail: tobolatomasz@agh.edu.pl

²Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Inżynierii Łądowej i Gospodarki Zasobami, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków;
e-mail: kcyran@agh.edu.pl

³KOMAG Institute of Mining Technology, 44-101 Gliwice, Poland;
e-mail: pkamin@agh.edu.pl

Inkluzje fluidalne w kryształach halitu są powszechnie spotykane. Generalnie, pod względem genetycznym wyróżnia się w minerałach trzy typy inkluzji, tj. pierwotne, wtórne i pseudowtórne. Inkluzje pierwotne powstają w procesie wzrostu kryształów, inkluzje wtórne są efektem zablizniania spękań powstałych po uformowaniu się kryształów (np. w wyniku ruchów tektonicznych), a inkluzje pseudowtórne, podobnie jak wtórne powstają w wyniku zablizniania spękań, ale powstałych jeszcze w trakcie wzrostu kryształów. W solach kamiennych często spotykany jest dodatkowo jeszcze jeden typ inkluzji, rzadko opisywany w innych skałach, tj. zespoły inkluzji występujące na granicach kryształów halitu.

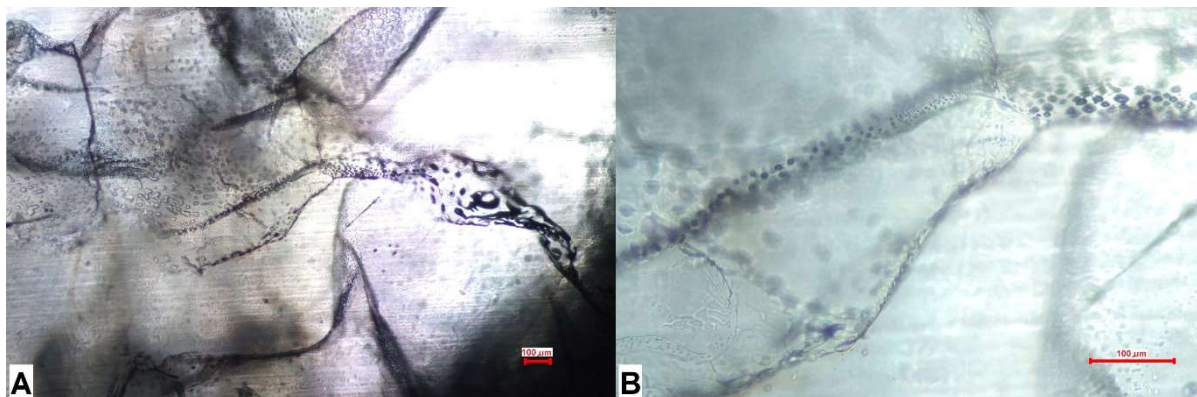
Warstwy sól różowej (sole najmłodsze Na4) o miąższości około 70 m są zlokalizowane w środkowej części wysadu solnego Kłodawa, który jest największym wysadem w Polsce (**Ryc. 1**). W badanych próbkach soli różowej dominowały sole średnioziarniste o teksturze masywnej lub kierunkowej. Kryształy halitu są anhedralne i charakteryzują się nieregularnymi krawędziami. W składzie mineralnym oprócz halitu występuje anhydryt i hematyt.



Ryc.1. Przekrój przez wysad solny Kłodawa (Mazurek, 2016; Czapowski & Tomassi-Morawiec, 2018).

Fig. 1. Geological cross-section through Kłodawa salt dome (Mazurek, 2016; Czapowski & Tomassi-Morawiec, 2018).

W badanych próbkach soli różowej z wysadu Kłodawa występowały głównie inkluzje wtórne lub pseudowtórne o zróżnicowanych kształtach i wymiarach (**Ryc. 2**). Najczęściej występują inkluzje o nieregularny kształcie i wielkości powyżej 100 μm , które są zlokalizowane na granicach kryształów halitu. Szeregi wydłużonych, rurkowatych inkluzji (do 50 μm długości) tworzą „obramowanie” niektórych kryształów halitu. Występują także szeregi mniejszych inkluzji (o średnicy od 5-20 μm) o bardziej regularnym kształcie tj. elipsoidalnym i kulistym, które są najczęściej zlokalizowane wewnątrz kryształów halitu, a rzadziej na granicach ziaren (**Ryc. 2**). Inkluzje występujące na granicach kryształów halitu są głównie ciekło-gazowe, rzadziej ciekłe lub gazowe.



Ryc. 2. Inkluzje na granicach kryształów halitu w solach różowych z Klodawy.

Fig. 2. Fluid inclusions along halite crystals boundaries in pink salt from Klodawa.

W celu zbadania wpływu zmian naprężenia na zachowanie inkluzji fluidalnych obecnych w próbkach soli różowej wykonano testy wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie przy jednoczesnej obserwacji pod mikroskopem. W testach wykorzystano specjalnie do tego celu zaprojektowane i wykonane urządzenie umożliwiające ściskanie próbek (obustronnie polerowanych pytek grubych) przy jednoczesnej obserwacji pod mikroskopem geologicznym.

W trakcie przeprowadzonych testów wytrzymałościowych zaobserwowano, że tylko inkluzje zlokalizowane na granicach kryształów halitu były aktywne. Aktywność inkluzji przejawiała się migracją fazy gazowej, przy czym intensywność tej migracji rosła wraz z postępem eksperymentu oraz wyciskaniem cieczy pod koniec eksperymentu (tuż przed zniszczeniem próbek).

Słowa kluczowe: sole różowe z wysadu Klodawa, inkluzje na granicach ziaren halitu, zmiany naprężenia, testy wytrzymałości soli kamiennej

Fluid inclusions in halite crystals are very common. There are three basic types of fluid inclusions: primary, secondary and pseudosecondary. The primary fluid inclusions formed during crystal growth, the secondary fluid inclusions resulted from healing fractures that formed after crystal growth (e.g. as a result of tectonic processes), but pseudosecondary fluid inclusions are the effect of healing fractures during crystal growth. Moreover, another type of fluid inclusions occurs along halite grain boundaries. This type is rarely described in other rocks.

The Youngest Halite beds (Na4) are about 70 m thick and located in the middle part of the Klodawa salt dome, which is the largest salt dome in Poland (Fig. 1). The studied samples of pink rock salt were characterised by middle-grained texture and massive structure. In some parts of these samples, crystals were oriented in one direction. Halite crystals are anhedral with irregular edges. The mineral composition of pink salt is dominated by halite, but there is also anhydrite and hematite.

In studied samples from Klodawa salt dome occurred mainly secondary and pseudosecondary fluid inclusions that are characterised by various shapes and dimensions (Fig. 2). The most often occur irregularly shaped fluid inclusions and a length over 100 µm located along halite grain boundaries. Elongate and tubular fluid inclusions (up to 50 µm long) form “boundaries” of some halite crystals. There are also small fluid inclusions (diameter from 5-20 µm) characterised by an ellipsoidal and spherical shapes that are located both within halite crystals and along boundaries of halite crystals (Fig. 2). These inclusions which are located along halite grain boundaries are mostly gas-liquid but there are also fluid and gas inclusions.

The uniaxial compressive strength tests along with simultaneous observation under the polarized microscope were performed to study stress impact on fluid inclusions behaviour in pink rock salt samples. The special device was designed and manufactured for the purpose of these tests. This device enables observations of double polished thick plates under a polarised microscope and performance of uniaxial compressive tests at the same time.

The performed mechanical tests showed that only fluid inclusions located along halite crystal boundaries were active during the experiments. This activity manifested by migration of gas phase in fluid inclusions whereby the migration was increasingly intensive with experiment progress. Moreover, squeezing of fluids from fluid inclusions was visible at the end of the experiment (just before the failure of the sample).

Key words: *pink rock salt from Kłodawa salt dome, fluid inclusions along halite grain boundaries, stress changes, mechanical tests of rock salt*

Referat będzie opublikowany w formie artykułu w Przeglądzie Solnym 2023

Full text published in Salt Review 2023

LITERATURA/ *REFERENCES*

- CZAPOWSKI G., TOMASSI-MORAWIEC H., 2018 - Utwory pogranicza cyklotemów PZ1 i PZ2 cechsztynu w kłodawskim wysadzie solnym (środkowa Polska). Przegląd Geologiczny, 66 (5): 303-308.
- MAZUREK S., 2016 - Dodatek nr 2 do Dokumentacji geologicznej złoża soli kamiennej „KŁODAWA, 1”. Kopalnia Soli „Kłodawa”. Spółka Akcyjna, Kłodawa.

Marta ADAMUSZEK¹, Marcin DĄBROWSKI¹

¹Centrum Modelowania Procesów Geologicznych, Oddział Dolnośląski, Państwowy Instytut Geologiczny –
Państwowy Instytut Badawczy
e-mail: marta.adamuszek@pgi.gov.pl, marcin.dabrowski@pgi.gov.pl

Przewarstwienia anhydrytu często występują w obrębie cechsztyńskich osadów ewaporatowych, a ich miąższość może osiągać nawet 80 m. Miejscami warstwy te są spękane tworząc horyzontalnie ułożone bloki skalne w obrębie pokładów soli. Ze względu na dużą różnicę gęstości między anhydrytem a solą, bloki te mogą ulegać grawitacyjnemu opadaniu w obrębie soli (np. Chemia i in., 2009; Li i Urai, 2016). Prędkość opadania pojedynczego bloku jest zależna przede wszystkim od a) wielkości i kształtu bloku, b) różnicy gęstości między anhydrytem i solą oraz c) reologii soli. W przypadku sąsiadujących ze sobą bloków, obserwowane są złożone interakcje pomiędzy blokami, które również wpływają na tempo opadania (Adamuszek i Dabrowski, 2019). Niektóre badania wskazują, że obecność dużych ciężkich bloków anhydrytu może potencjalnie stanowić zagrożenie dla wewnętrznej stabilności pokładu solnego (np. Burchardt i in., 2012), co może mieć kluczowe znaczenie w kontekście np. wyboru lokalizacji kawern solnych.

Celem prezentowanych badań jest analiza wpływu reologii soli na tempo opadania bloków anhydrytu w pokładowych seriach ewaporatowych na obszarach nieaktywnych tektonicznie. W takich warunkach głównym mechanizmem deformacji soli jest pełzanie dyfuzyjne. Pełzanie to jest silnie zależne od wielkości ziaren, które w obrębie serii ewaporatowego mogą wykazywać dużą zmienność. Zarówno zmiany w uziarnieniu soli jak i obecność zanieczyszczeń uważana jest za główny czynnik wpływający na efektywną lepkość soli, która może wahać się nawet kilka rzędów wielkości.

W ramach badań wykonano szereg symulacji numerycznych z wykorzystaniem autorskiego oprogramowania zaimplementowanego w środowisku MATLAB, gdzie wykorzystano pakiet kodów obliczeniowych MILAMIN (Dabrowski i in., 2008) i MUTILS (Krotkiewski i Dabrowski, 2013). Początkowa geometria modelu zakłada obecność w obrębie pokładu solnego horyzontalnie ułożonych bloków anhydrytu. W modelu testowano wpływ mechanicznego uwarstwienia w soli związanego ze zmianami w uziarnieniu oraz obecnością zanieczyszczeń na tempo tonięcia bloków anhydrytu oraz tworzących się wokół bloków struktur tektonicznych.

Anhydrite layers often occur within the Zechstein evaporite series and their thickness can reach up to 80 m. Locally, the layers are discontinuous and form a horizontally aligned blocks within the salt horizon. Due to the significant density difference between the anhydrite and the rock salt, the blocks can be subjected to the gravitational sinking (e.g., Chemia et al., 2009; Li and Urai, 2016). The sinking velocity of the individual block is mainly dependent on a) size and shape of the block, b) density difference between the anhydrite and the rock salt and c) rheology of the rock salt. In the case of the block clusters, complex interactions between the blocks are observed (Adamuszek and Dabrowski, 2019), which also influences the sinking rate. Several studies show that the presence of large and dense blocks can potentially disturb the internal stability of the salt structure (e.g., Burchardt et al., 2012), which can be crucial for e.g., selecting the salt cavern location.

In the presented study, we aim to analyse the role of the salt rheology on the sinking rate of the anhydrite blocks in the evaporite sequence in the absence of the regional deformation. In such conditions, the main deformation mechanism of the rock salt is diffusion creep. The diffusion creep is strongly dependent on the salt grain size, which can strongly vary within the evaporite sequence. The grain size variation next to the presence of impurities is considered as a main factor that influences the effective viscosity of rock salt, which can vary up to several orders of magnitude.

We carried out a range of numerical simulations using our own numerical codes implemented in MATLAB combined with the MILAMIN (Dabrowski et al., 2008) and MUTILS (Krotkiewski and Dabrowski, 2013) numerical package. The initial model geometry assumes the presence of horizontally aligned anhydrite blocks embedded in the salt layer. We tested the role of the mechanical stratification of the salt related with the grain size variation and presence of impurities on the anhydrite blocks sinking rate and the tectonic structure development around the blocks.

Referat będzie opublikowany w formie artykułu w Przeglądzie Solnym 2023

Full text published in Salt Review 2023

LITERATURA / BIBLIOGRAPHY:

- ADAMUSZEK, M., DABROWSKI, M. (2019). Sinking of a fragmented anhydrite layer in rock salt. *Tectonophysics* 766, 40–59
- BURCHARDT, S., KOYI, H., SCHMELING, H., FUCHS, L. (2012). Sinking of anhydrite blocks within a Newtonian salt diapir: modelling the influence of block aspect ratio and salt stratification: Sinking of anhydrite blocks. *Geophysical Journal International* 188, 763–778
- CHEMIA, Z., SCHMELING, H., KOYI, H. (2009). The effect of the salt viscosity on future evolution of the Gorleben salt diapir, Germany. *Tectonophysics* 473, 446–456
- DABROWSKI, M., KROTKIEWSKI, M., SCHMID, D.W. (2008). MILAMIN: MATLAB-based finite element method solver for large problems, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 9, Q04030
- KROTKIEWSKI, M., DABROWSKI, M. (2013). MUTILS - a set of efficient modeling tools for multi-core CPUs implemented in MEX. *EGU General Assembly Conference Abstracts, EGU General Assembly Conference Abstracts. EGU2013-7877*
- LI, S.-Y., URAI, J.L. (2016). Rheology of rock salt for salt tectonics modeling. *Petroleum Science* 13, 712–724

XXVI Międzynarodowe Sympozjum Solne International Salt Symposium



Streszczenia posterów *Abstracts of posters*

WSPÓŁCZESNA MINERALIZACJA HALOGENKOWA W KOPALNIACH RUD MIEDZI NA MONOKLINIE PRZEDSUDECKIEJ

MODERN HALIDES MINERALIZATION IN COPPER ORE MINES OVER THE FORE-SUDETIC HOMOCLINE, SW POLAND

Mateusz ŚWIERK¹, Stanisław BURLIGA²

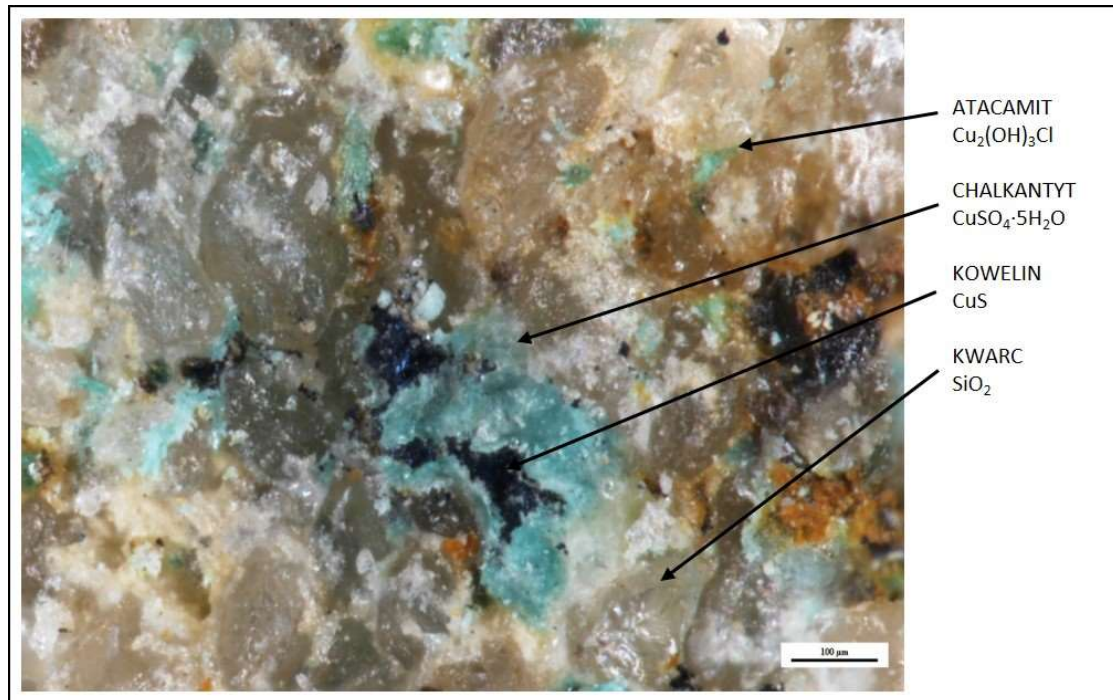
^{1,2} Uniwersytet Wrocławski, Instytut Nauk Geologicznych, pl. M. Borna 9, 50-204 Wrocław,
e-mail: ¹mateusz.swierk@uwr.edu.pl; ²stanislaw.burliga@uwr.edu.pl

Mineralizacja miedziowa na obszarze monokliny przedsudeckiej wykształciła się w sukcesji skał osadowych pogranicza czerwonego spągowca i cechsztynu (górnym perm). Od lat 60-tych XX wieku skały te są przedmiotem górniczej eksploatacji, a powstałe wyrobiska górnicze rozcinające serię złożową rud miedzi stanowią przestrzeń, w której wskutek cyrkulacji powietrza atmosferycznego oraz roztworów złożowych i pozazłożowych dochodzi do krystalizacji szeregu mineralów wtórnych. W pracy niniejszej przedstawiono wstępne wyniki badań prowadzonych nad rozprzestrzenieniem współczesnej mineralizacji halogenkowej na obszarze eksploatacji.

Dotychczas opisano około 30 mineralów powstałych w efekcie wietrzenia mineralów rudnych, głównie siarczków i siarkosoli Cu, Pb, Fe, Zn i Ni (Siuda i in., 2017), przy czym te młode fazy mineralne w większości zidentyfikowano w pojedynczych stanowiskach badawczych. Współczesna mineralizacja chlorkowa współwystępująca z rudami miedzi na monoklinie przedsudeckiej jest opisana w kilku pracach. Piestrzyński (2016) udokumentował obecność halitu (NaCl) i atacamitu ($\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$) wśród mineralów z obszaru kopalni ZG Polkowice-Sieroszowice (lokalizacja miejsc opróbowania nie jest znana). Z tej samej kopalni pochodziły halogenki z grupy atacamitu: atacamit, klinoatacamit ($\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$), botallackit ($\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$), oraz paratacamit ($\text{Cu}_3(\text{Cu,Zn})(\text{OH})_6\text{Cl}_2$) przeanalizowane przez Siudę i in. (2017), a parageneza ta występowała w miejscu wycieku solanek o wysokim stężeniu chlorków (3500 mg/dm^3) w obręb wyrobiska poeksploatacyjnego rud miedzi. Występowanie wyżej wymienionych mineralów oraz herbertsmithytu ($\text{Cu}_3\text{Zn}(\text{OH})_6\text{Cl}_2$), tolbaczytu (CuCl_2) i erichalcytu ($\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) w tej kopalni zostało także potwierdzone przez autorów niniejszej pracy (Świerk i Burliga, 2021), a wszystkie minerały zostały zidentyfikowane za pomocą kilku metod badawczych. Preparaty analizowano w Pracowni Mikroskopii Elektronowej Instytutu Nauk Geologicznych Uniwersytetu Wrocławskiego przy użyciu (1) elektronowego mikroskopu skaningowego Jeol JSM-IT500LA z detektorem elektronów wstecznie rozproszonych (BSE) oraz spektrometrem dyspersji energii (EDS), (2) spektrometru Ramana sprzężonego z konfokalnym mikroskopem optycznym, model Renishaw inVia Qontor, z laserem diodowym o długości fali 785 nm i 532 nm oraz (3) dyfraktometru rentgenowskiego D8 ADVANCE firmy Bruker, wykorzystując do obróbki danych oprogramowanie DIFFRAC.SUITE EVA V.4. Wymienione minerały tworzą paragenezy z halitem (NaCl) w postaci wrostków i narostów na kryształach halitu, nadając im zieloną barwę. Udokumentowano je w miejscach wycieku solanek chlorkowo-sodowych o wysokim stężeniu występujących w północnej części kopalni.

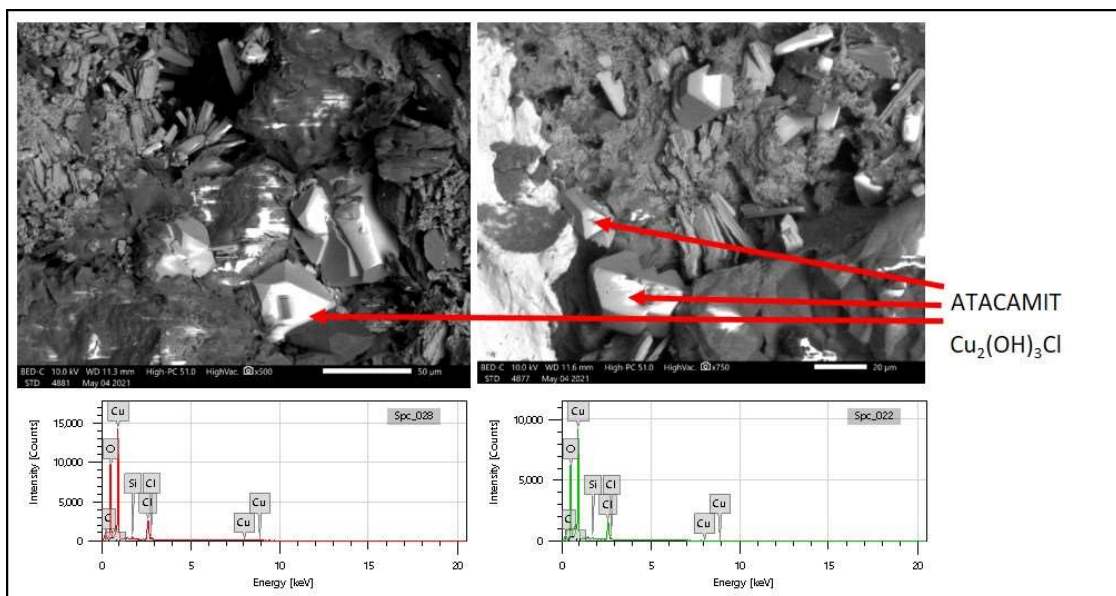
W toku badań prowadzonych w roku 2022 w ZG Lubin w rejonie oddziału górniczego G-5 zlokalizowano strefę, w której w obrębie piaskowca białego spągowca okruszcowanego kowelinem (CuS) w przestrzeniach międzyziarnowych wykrył drobnokrystaliczny

atacamit (**Ryc. 1, 2 i 3**). Obecnie strefa, z której pobrane zostały próby nie wykazuje objawów zawodnienia, jednakże według archiwalnych danych kopalni w latach 70-tych i 80-tych ubiegłego wieku w sąsiednich wyrobiskach występowały wycieki wód złożowych. Analizy ich składu chemicznego z lat 1976, 1979 i 1980 wykazują, że zawierały one jony chlorkowe na poziomie 210-364 mg/dm³.



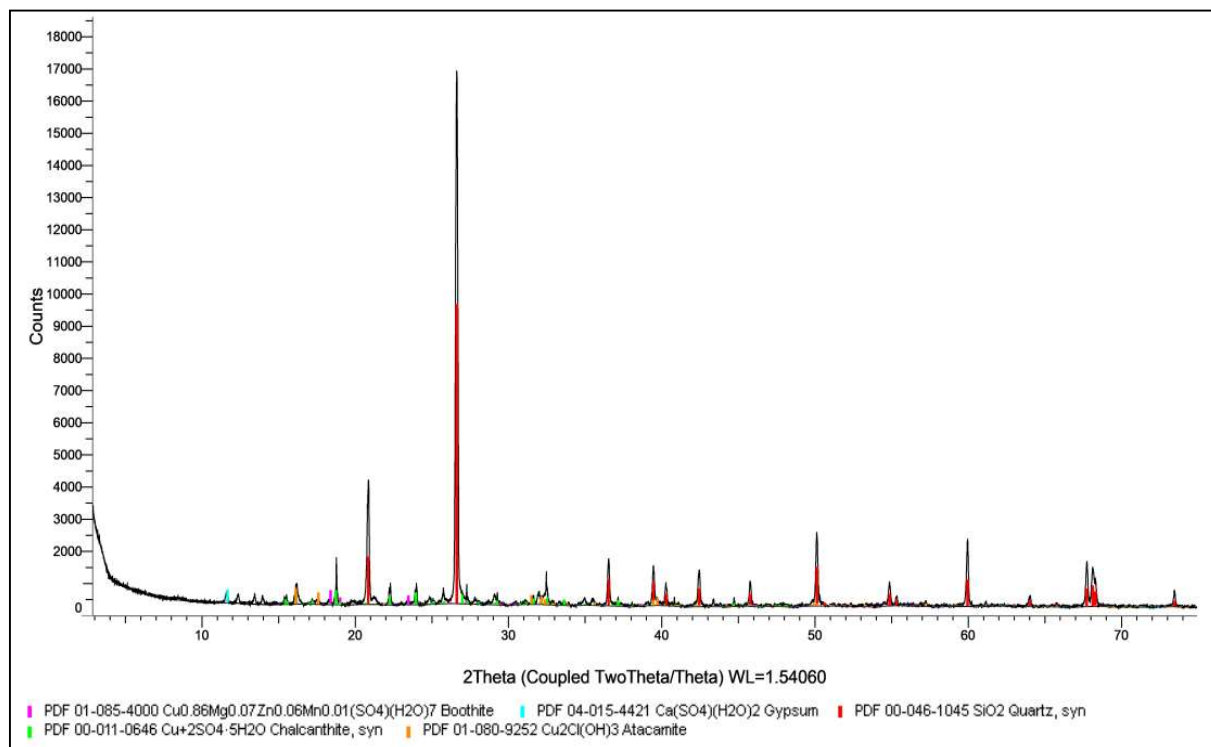
Ryc. 1. Piaskowiec białego spągowca okruszczony kowelinem z współczesnymi mineralizacją chlorkową (atacamit) i siarczanową (chalkantyt) w obrazie mikroskopowym.

Fig. 1. Microscopic image of Weissliegende sandstone with copper mineralization (covellite) and contemporary chloride (atacamite) and sulphate (chalcantite) mineralization.



Ryc. 2. Atacamit z ZG Lubin w obrazie BSE oraz jego widma uzyskane w badaniach EDS.

Fig. 2. BSE image of atacamite from Lubin Mine and its EDS spectra.



Ryc. 3. Dyfraktogram rentgenowski próbek piaskowca z atacamitem z ZG Lubin.

Fig. 3. X-ray powder diffractogram of the sandstone sample from the Lubin Mine.

Badania własne oraz wcześniejsze publikacje implikują, że współczesna mineralizacja chlorkowa występuje głównie w rejonach dopływu wód zasobnych w jony chlorkowe, a większość współczesnych chlorków udokumentowano w północnej części obszaru ZG Polkowice-Sieroszowice. Oczywisty wydaje się zatem związek takich wód z obecnością pokładu najstarszej soli kamiennej (Na1) w nadkładzie serii złożowej, gdyż południowa granica zasięgu najstarszej soli kamiennej na monoklinie przedsudeckiej przebiega przez środkową część obszaru tej kopalni. Ponieważ obszar kopalni ZG Lubin znajduje się na południe od tej granicy, a opisana w pracy strefa z atacamitem usytuowana jest ok. 12 km od niej, możliwa jest dwojaka interpretacja genezy tej mineralizacji chlorkowej. Dopuszczyć należy, iż albo wody chlorkowe miały możliwość migracji systemami spękań i uskoków na odległość co najmniej kilkunastu kilometrów na południe od południowej granicy zasięgu soli, albo pierwotny zasięg najstarszej soli kamiennej był większy, a mineralizacja chlorkowa rozwinęła się w wyniku dopływu reszkowych wód chlorkowych pozostałych w górotworze po wylugowaniu solikamienną ponad tą częścią złoża rud miedzi. Zanik dopływu wód wydaje się faworyzować drugą koncepcję, jednakże na obecnym etapie badań żadnej z interpretacji nie można wykluczyć.

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

Copper mineralization over the area of the Fore-Sudetic Homocline developed in the succession of sedimentary rocks belonging to the topmost part of Rotliegend and the basal part of Zechstein (Upper Permian). Since the 1960s, these rocks have been being mined, and the mine workings, which cut through a series of copper ore deposits, constitute a space in which a number of secondary minerals could have crystallized due to the circulation of atmospheric air and mine waters. This paper presents the preliminary results of research on the distribution of modern halide mineralization over the mining area.

So far, about 30 secondary minerals, originated in response to weathering and alteration of ore minerals, mainly Cu, Pb, Fe, Zn and Ni sulphides and sulphates (Siuda et al., 2017), have been described. The majority of these

modern mineral phases was identified in singular locations and the contemporary chloride mineralization co-occurring with copper ores over the Fore-Sudetic Homocline is described only in a few publications. Piestrzyński (2016) documented the presence of halite (NaCl) and atacamite ($\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$) among the minerals from the Polkowice-Sieroszowice mine area (the location of the sampling sites is unknown). In the same mine, the atacamite group halides: atacamite, clinoatacamite ($\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$), botallackite ($\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$), and paratacamite ($\text{Cu}_3(\text{Cu,Zn})(\text{OH})_6\text{Cl}_2$) were sampled and analyzed by Siuda et al. (2017), and this mineral paragenesis occurred at the site of leakage of brines with a high concentration of chlorides (3500 mg / dm^3) into the copper ore mining drift. Occurrence of the above-mentioned minerals as well as of herbertsmithite ($\text{Cu}_3\text{Zn}(\text{OH})_6\text{Cl}_2$), tolbachite (CuCl_2) and erichalcite ($\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) was also confirmed in this mine by the authors of this study (Świerk and Burliga, 2021), and all minerals were identified using several analytical methods. The mineral samples were analyzed in the Laboratory of Electron Microscopy in the Institute of Geological Sciences of University of Wrocław using: (1) Jeol JSM-IT500LA scanning electron microscope with a backscattered electron detector (BSE) and energy-dispersive spectrometer (EDS), (2) Raman spectrometer coupled with a confocal optical microscope, Renishaw inVia Qontor model, with a diode laser with a wavelength of 785 nm and 532 nm, and (3) an X-ray ADVANCE diffractometer by Bruker, applying DIFFRAC.SUITE EVA V.4 software for data processing. The minerals listed above created paragenesis with halite (NaCl) and crystallized inside halite crystals or as overgrowths, which resulted in greenish colour of halite. They were documented in areas of leakage of high-concentration sodium-chloride brines in the northern part of the mine.

In the course of studies carried out in 2022 in ZG Lubin mine, in the area of the G-5 mining division, a zone was located in which, within the Weissliegend sandstone with covellite (CuS), fine-grained atacamite crystallized in the inter-grain spaces (**Fig. 1, 2 and 3**). At present, the zone from which samples were taken does not display any sign of water leakage, however, according to the archival data of the mine, leakages of mine water occurred in the neighbouring workings in the 1970s and 1980s. Analyses of chemical composition of water carried out in 1976, 1979 and 1980 show that they contained chloride ions at the level of $210\text{--}364 \text{ mg/dm}^3$.

Our research and previous publications imply that contemporary chloride mineralization occurs mainly in areas of leakage of waters rich in chloride ions, and most of the present-day chlorides have been documented in the northern part of the ZG Polkowice-Sieroszowice mine. Therefore, it seems obvious that such waters are related to the presence of the Oldest Halite rock salt (Na1) bed in the overburden of the deposit series, as the southern boundary of the Oldest Halite range in the Fore-Sudetic Homocline extends across the central part of ZG Polkowice-Sieroszowice mine area. As the area of the ZG Lubin mine is located south of this border, and the zone with atacamite described in the study is located approx. 12 km from it, it is possible to interpret the genesis of this chloride mineralization in two ways. Either chloride waters could migrate through the systems of fractures and faults to a distance of dozen kilometres south of the southern boundary of the Oldest Halite boundary, or the original extent of the rock salt bed was larger, and chloride mineralization developed as a result of the inflow of residual chloride waters remaining in the rock salt overburden after leaching of rock salt over this part of the copper ore deposit. As the water inflow ceased, the second concept seems more likely, however, at the present stage of research, none of the interpretations can be ruled out.

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

Abstrakt będzie opublikowany w formie artykułu w Przeglądzie Solnym 2023

Full text published in Salt Review 2023

LITERATURA/*REFERENCES*

- PIESTRZYŃSKI A., (2016). Minerale złoża miedzi na monoklinie przedsudeckiej. W: red. J. Kicki, J. Jarosz, A. Dyczko: Świat mineralów KGHM Wydaw. Fundacja dla Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie, Kraków. 283 s.
- SIUDA R., ŁODZIŃSKI M., SYCZEWSKI M., KRUSZEWSKI Ł., PRŠEK J., HOFFMANN P., (2017). Pierwsze wystąpienie botallackitu w Polsce (kopalnia Polkowice-Sieroszowice). Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego 469: 217-228.
- ŚWIERK M., BURLIGA S., (2022). Halit w poziomie eksploatacyjnym złóż rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej – przykład współczesnej mineralizacji chlorkowej. XXV Międzynarodowe Sympozjum Solne Quo Vadis Sal, Varia Sal – Wszystko o Soli, Kraków, 68-71.

LITOSTRATYGRAFIA I ŚRODOWISKA FACJALNE – WYBRANE ASPEKTY PROBLEMATYKI MODELOWANIA 3D NA PRZYKŁADZIE PROJEKTU „MODELOWANIE BUDOWY GEOLOGICZNEJ BASENÓW SEDYMENTACYJNYCH POLSKI – ETAP II „BLOK GORZOWA”

LITOSTRATIGRAPHY AND FACIES – SELECTED PROBLEMS OF 3D MODELING: THE CASE OF PROJECT: „GEOLOGICAL MODELING OF SEDIMENTARY BASINS IN POLAND – PHASE II „GORZÓW BLOCK”

Łukasz NOWACKI¹, Jacek CHEŁMIŃSKI¹, Ewa SZYNKARUK¹, Grzegorz CZAPOWSKI¹

¹Państwowy Instytut Geologiczny-Państwowy Instytut Badawczy, ul Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa;
lnow@pgi.gov.pl

Jednym z istotnych elementów badawczych występujących podczas etapu przygotowawczego do stworzenia modelu litologicznego w przestrzeni 3D jest proces rozpoznania i wstępnej analizy parametrycznej, uwzględniającej charakterystykę ilościową i jakościową ośrodka skalnego, zgodnego z interpretacjami sedymentologicznymi.

Podstawową formą geologicznego modelu 3D jest model strukturalny czyli bryła ograniczona zadanymi powierzchniami. Mogą to być powierzchnie spągu i stropu wydzieleni lito- lub chronostratygraficznych oraz płaszczyzny nieciągłości (uskoki). Struktura modelu jest zapisana numerycznie w postaci siatki o nieregularnych oczkach (GRID) czyli komórek o określonych współrzędnych przestrzennych. Jeśli poza współrzędnymi każda z takich komórek będzie zawierała także informację o innych parametrach, np. o środowiskach facjalnych, wykreowany wówczas model będzie ukazywał przestrzenne rozmieszczenie litofacji, przypisanego określonemu wydzieleniu lito- lub chronostratygraficznemu.

Prace nad modelem strukturalnym 3D obszaru tzw. wału/wyniesienia wolsztyńskiego (WW Polska) objęły m.in. usystematyzowanie ewaporatowych wydzieleni litostratygraficznych w obrębie utworów cechsztynu oraz typów litofacjalnych, wykorzystując dane słownikowe, opracowane podczas realizacji modelu 3D basenu lubelskiego (Czapowski i in., 2017). Wydzielenia te zdefiniowano w oparciu o weryfikowane dane stratygraficzne w otworach wiertniczych oraz reinterpretację dostępnych danych sejsmicznych. Analiza map miąższości tych wydzieleni, wygenerowanych w środowisku Petrel, umożliwiła – w powiązaniu z interpretacją facjalną ich wykształcenia w oparciu o dostępne dane rdzeniowe - przedstawienie obrazów przypuszczalnej paleogeografii poszczególnych basenów ewaporatowych na obszarze objętym modelem. Zinterpretowano w ten sposób następujące wydzielenia litostratygraficzne cechsztynu:

- Utwory cyklotemu PZ1: anhydryt dolny (A1d), najstarsza sól kamienna (Na1), anhydryt górny (A1g),
- Utwory cyklotemu PZ2: anhydryt podstawowy (A2), starsza sól kamienna (Na2- wraz z nadległymi starszą sól potasową (K2) i starszą sól kamienną kryjącą (Na2r)), anhydryt kryjący (A2r),
- Utwory cyklotemu PZ3: anhydryt główny (A3), młodsza sól kamienna (Na3), oraz przykrywająca ją młodsza sól potasową (K3),
- Utwory subcyklotemu PZ4a: anhydryt pegmatytowy dolny (A4a1/A4ad), najmłodsza sól kamienna dolna (Na4a1/Na4a), anhydryt pegmatytowy górny (A4a2/A4ar=A4ag),

- Utwory subcyklotemu PZ4b: sól rozdzielająca (Na4b1/Na4bp) i najmłodsza sól kamienna stropowa (Na4b2/Na4b).

Podczas realizacji pilotażowego, 3D modelu wglębnej budowy geologicznej basenu lubelskiego opracowano słownikowy moduł bazy danych, umożliwiającego rejestrację danych litofacjalnych. Powstałe scentralizowane repozytorium zawiera informacje o: środowisku, systemie depozycyjnym, asocjacji i ich strefach oraz o facjach. Umożliwiło to opracowanie jednolitego formatu słownikowego, wyznaczeniu hierarchii oraz określeniu ich relacji z innymi danymi. Taką metodykę i konstrukcję słowników przyjęto także przy kolejnych opracowaniach: modelu bloku Gorzowa i obecnie realizowanym modelu niecki szczecińskiej.

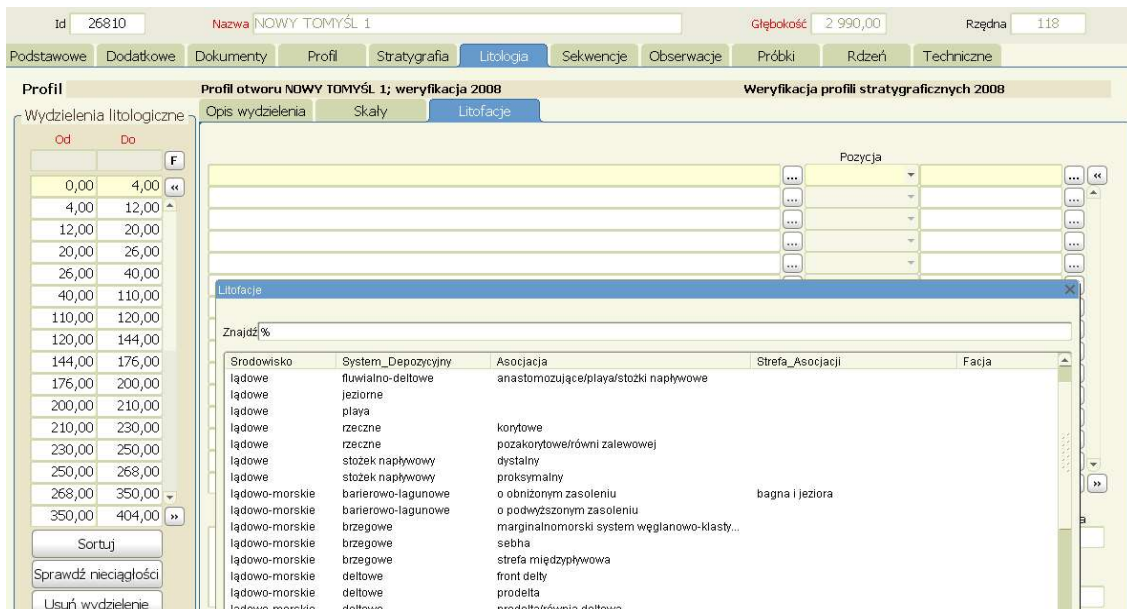
Przykładem wykorzystania opracowanych słowników dla potrzeb wspomnianego modelu jest słownik litofacjalny dla utworów cechsztynu, opracowany dla obszaru lubelskiego (**Ryc. 1**).

I poziom	II poziom	III poziom	IV poziom	LITOLOGIA	FAUNA	WYDZIELENIA LITOSTRATYGRAFICZNE
lądowe	fluwio-deltowe (rzecze)			piaskowce, mułowce i ilowce, czerwone i pstre		(?) PZt
lądowo-morskie	deltowe	równia deltowa	kanal rozpróżający	Pd i Ps, równoległe i skośne warstwowe, bezteksturalne, pstre, wkładki mułowców		(?) T1r, PZt
		prodelta	równia zalewowa	ilowce i mułowce, laminowane i bezteksturalne, rytmity, soczewy Pd		(?) PZt
	brzegowe	sebna		ilowce i mułowce, soczewy/wkładki wapienia i dolomitu, anhydryt z wkładkami dolomitu		A1g, (?) PZt
morskie	szelf silikoklastyczny	plytszy	otwarty	szare ilowce, dolomityczne, wkładki Pd kwarcowych i mułowców, ilowce laminowane		T1m, T2m, T3
		głębszy		ilopuki, ilowce, czarne i ciemnoszare, z porytem		T1m
	szelf węglanowy	plytszy	otwarty	wapnie szare, bezteksturalne, załone, lokalnie fauna i piły, wapienie dolomityczne	ramienionogi	Ca1, Ca2, Ca3
		głębszy		wapnie szare, bezteksturalne, drobnokrystaliczne, lokalnie załone, piły, dolomity i wapienie dolomityczne	lokalnie fauna	Ca1, Ca2, Ca3, T1m, T2m, T3
	rampa/platforma węglanowa	szczyt rampy	facja węglanowo-mułowcowa	wapnie dolomityczne i dolomity wapiaste, lokalnie załone, bezteksturalne, mikrytowe (relicje dolomitu i wapienia, wkładki mułowca laminowanego równoległe, lokalnie ławerty)	ramienionogi	T1m, Ca1, Ca2
		skłon rampy	facja marglistą	wapnie bezteksturalne i z laminami ilu i mułowca, wapienie margliste, wapienie gruziowe, dolomity mikrytowe, załone	mszywoly	Ca1, Ca2, Ca3
	laguna węglanowa		facja onkolitowa	wapnie i dolomity onkolitowe, bezteksturalne i laminowane item		Ca1
			facja organodetyczyzna	dolomity wapienie z wkładki mułowca, grudy anhydrytu	mszywoly, ramienionogi	
	izolowana płycina węglanowa		plytsza	dolomity z fauną, smugi ilowca i wkładki mułowca piaszczystego, lokalnie onkody i muszłowce, w mułowcu warstwowania równoległe i skośne	ramienionogi, mszywoly	Ca2
			głębsza	dolomity laminowane i smugowane item, wkładki mułowca i lokalnie piły		
basen hypersalinarny siarczanowy	platforma/bariera siarczanowa	trzon/szczyt	anhydryty bezteksturalne, białe i szare, lokalnie smugowane item		A1d, A1g, A2, A3	
		skłon	anhydryty białe i szare, bezteksturalne, laminowane i smugowane item i dolomitem			
	laguna siarczanowa		anhydryt gruziowy, wkładki dolomitu i ilowca			
basen hypersalinarny chlorkowy	otwarty basen siarczanowy		anhydryty szare i białe, gęsto laminowane item i dolomitem, drobnokrystaliczne		A2 (?), A3 (?)	
	laguna solna		sól kamienna szarozielona i różowawa, z anhydrytem i item		Na1, Na2	
	otwarty basen chlorkowy płytki		sól kamienna szara i biała, różnokryształiczna, ze skupieniami anhydrytu, przereczysta		Na1, Na2, Na3	
	otwarty basen chlorkowy głęboki		sól kamienna szara i biała, równo- i różnokryształiczna, ze skupieniami anhydrytu, dość rytmiczna laminacja równoległa laminami anhydrytu, przereczysta		Na1, Na2	

Ryc. 1. Słownik i cechy środowisk depozycji dla utworów cechsztynu z obszaru basenu lubelskiego

Fig.1. Dictionary and characteristics of lithofacial environments for Zechstein deposits from the Lublin Basin

Opracowany słownik litofacjalny umieszczono w strukturach bazy danych Centralnej Bazy Danych Geologicznych (CBDG <http://geoportal.pgi.gov.pl>) (**Ryc. 2**). Podczas realizacji zadania "Modelowanie budowy geologicznej basenów sedymentacyjnych Polski – etap II Blok Gorzowa" opracowano także moduł bazy CBDG, biorąc pod uwagę uwarunkowania paleogeograficzne poszczególnych pięter chronostratygraficznych na analizowanym obszarze (**Ryc. 3**).



Ryc. 2. Okno dialogowe bazy danych CBDG do określenia poziomów litofacjalnych

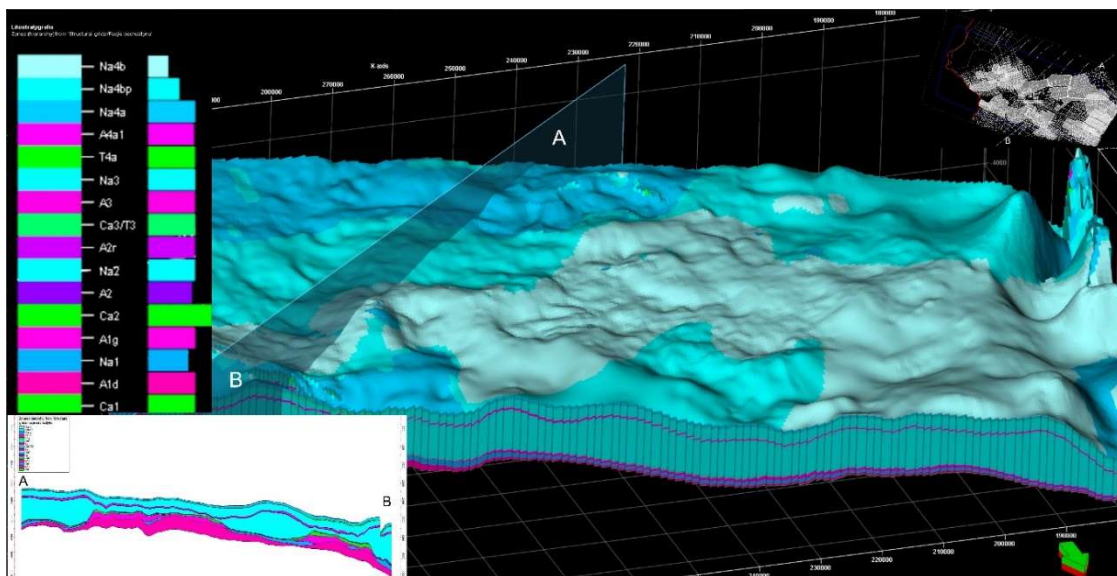
Fig. 2. Interface database CBDG for the determinate of lithofacial levels

Srodowisko	System depozycyjny	Asocjacja	Strefa asociacji	facja	Uwagi
łądowe	bagienne				
łądowe	bagienne i jeziorne				
łądowe	eoliczne				
łądowe	fluwialno-deltowe	anastomozujące/playa/stożki napływowe			
łądowe	jeziorne				
łądowe	playa				
łądowe	rzeczne	korytowe			
łądowe	rzeczne	pozakorytowe/równi zalewowej			
łądowe	stożek napływowy	dystalny			
łądowe	stożek napływowy	proksymalny			
łądowo-morskie	barierowo-lagunowe	o obniżonym zasoleniu	bagna i jeziora		
łądowo-morskie	barierowo-lagunowe	o podwyższonym zasoleniu			
łądowo-morskie	brzegowe	marginalnomorski system węglanowo-kwasowy			
łądowo-morskie	brzegowe	sebha			
łądowo-morskie	brzegowe	strefa międzypływowa			dodane AFO
łądowo-morskie	deltowe	front delty			
łądowo-morskie	deltowe	prodelta			
łądowo-morskie	deltowe	prodelta/równia deltowa			
łądowo-morskie	deltowe	równia deltowa	bagna i jeziora		
łądowo-morskie	deltowe	równia deltowa	kanal rozprwadzający		
łądowo-morskie	deltowe	równia deltowa/bagna nadbrzeżne	bagna i jeziora		
łądowo-morskie	deltowe	równia deltowa/bagna nadbrzeżne	kanal rozprwadzający		
łądowo-morskie	estuariowe	delty estuariowe			
łądowo-morskie	estuariowe	kanaly niżejplywowe			
łądowo-morskie	estuariowe	niżej pływowe grzbiety piaszczyste			
łądowo-morskie	estuariowe	równia mieszana			
łądowo-morskie	estuariowe	równia mulowa			

Ryc. 3. Przykład słownika litofacjalnego opracowanego do budowy modelu 3D bloku Gorzowa

Fig.3. An example of a lithofacial dictionary developed for used 3D model of the Gorzów block

Opracowana systematyka w postaci informacji o litofacjach, zawarta w słownikach, umożliwiła przeprowadzanie korelacji i interpretacji horyzontów modelu, w szczególności tam gdzie występują braki materiału rdzeniowego. Przestrzenny obraz propagacji poszczególnych facji jest wyliczony w siatce przestrzennej GRID (Ryc. 4), gdzie każda poszczególna komórka siatki ma nadawana informację o litofacji. Bryłę modelu 3D można wizualizować także w postaci serii przekrojów i map ścięcia. Więcej informacji na stronie: <https://geo3d.pgi.gov.pl/pl/pokrywa-osadowa-bloku-gorzowa>.



Ryc. 4. Grid przedstawiający propagację facji w cechszynie wraz z przekrojem AB i mapą lokalizacyjną z zaznaczonymi liniami sejsmicznymi – kolory przedstawiają następstwo poszczególnych facji - model bloku Gorzowa – Petrel Shlumberger

Fig. 4. Grid with facies propagation in Zechstein with cross-section AB and location map model3D of Gorzów block - Petrel Shlumberger

The 3D geological model integrates all available geological data. There are stored in the cell grid. Each cell contains spatial information and other properties such as depositional environment (lithofacies). For this 3D model, we create a predefined database table. It has a hierarchical structure, adapted both to the resolution of data and its lithological interpretation. The interpretation is based on the borehole cores and borehole logs. This scheme allows it to be filled with detailed and very coarse data on the sedimentary environment. It provides a correlation between boreholes with different levels of recognition. The dictionary is now part of the Central Geological Database.

Abstrakt będzie opublikowany w formie artykułu w Przeglądzie Solnym 2023

Full text published in Salt Review 2023

LITERATURA/BIBLIOGRAPHY:

- CZAPOWSKI G., CHEŁMIŃSKI J., MAŁOLEPSZY Z., NOWACKI Ł., 2017. Rozwój sedymentacji utworów ewaporatowych cechszynu na obszarze rowu mazursko-lubelskiego (SE Polska). Przegląd Solny (Salt Review), Rocznik Polskiego Stowarzyszenia Górnictwa Solnego, 2017, t. 13, s. 75-93.
- 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

XXVI Międzynarodowe Sympozjum Solne International Salt Symposium



Firmy i instytucje
Companies and institutions

XXVI Międzynarodowe Sympozjum Solne International Salt Symposium



1	Ministerstwo Aktywów Państwowych
2	Agencja Rozwoju Przemysłu
3	Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica
4	CFT POLSKA Sp. z o.o.
5	CIECH Soda Polska S. A.
6	DEEP.KBB GmbH
7	Eiger Energy Engineering
8	Fundacja "Polska Sól"
9	Gas Storage Poland Sp. z o.o
10	GWE POL-BUD Sp. z o.o.
11	IGSMiE PAN
12	Independent Consultant
13	Institute of Geology & Geochemistry of Combustible Minerals NANU
14	Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN
15	Instytut Nauk Geologicznych PAN
16	K+S Polska Sp. z o.o.
17	K2O Potash Corp. Pty
18	KGHM CUPRUM Sp. z o.o. Centrum Badawczo-Rozwojowe
19	KGHM Cuprum Sp. z.o.o. CB-R
20	KGHM Metraco S.A.
21	KGHM Polska Miedź S.A.
22	KGHM Polska Miedź S.A. Oddział Zakłady Górnicze Polkowice-Sieroszowice
23	Kopalnia Soli "Kłodawa" S.A.
24	Kopalnia Soli "Wieliczka" S.A.
25	Kukialka Consulting Ltd.
26	Muzeum Żup Krakowskich Wieliczka
27	OBRGSCH CHEMKOP SP. Z O.O.
28	Okręgowy Urząd Górniczy w Poznaniu

