

XXIX

MIĘDZYNARODOWE SYMPOZJUM SOLNE

INTERNATIONAL SALT SYMPOSIUM

QUO VADIS SAL

POLSKIE BIAŁE ZŁOTO:
OD SOLNICZKI DO MAGAZYNÓW ENERGII
– ROLA SOLNICTWA W XXI WIEKU

POLISH WHITE GOLD:
FROM SALT SHAKERS TO ENERGY STORAGE
– THE ROLE OF SALT INDUSTRY IN THE 21 ST CENTURY

BYDGOSZCZ, 15-17 PAŹDZIERNIKA 2025



SOLINO
GRUPA **ORLEN**

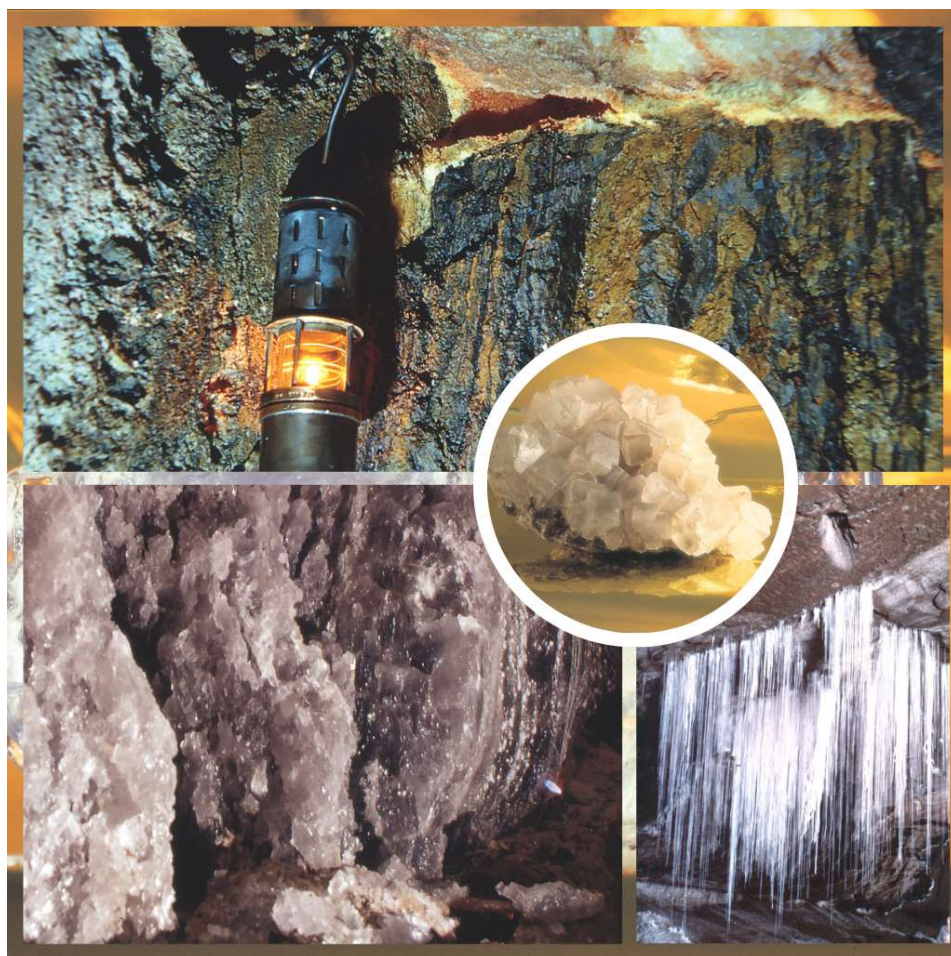


www.psgs.agh.edu.pl



sympozjumsolne@gmail.com

XXIX Międzynarodowe Sympozjum Solne International Salt Symposium



QUO VADIS SAL

BYDGOSZCZ, 15-17.10.2025

Polskie białe złoto: od solniczki do magazynów energii –
rola solnictwa w XXI wieku

*Polish white gold: from salt shakers to energy storage –
the role of salt industry in the 21 st century*

XXIX Międzynarodowe Sympozjum Solne International Salt Symposium



Zakres tematyczny / *Symposium Topics:*

Tematy przewodnie:

- **Kawernowe magazyny energii** – strategiczne bezpieczeństwo mediów energetycznych w kontekście kryzysów i transformacji energetycznej:
 - magazyny węglowodorów;
 - podziemne magazyny wodoru i powietrza;
- Kompleksy solne jako składowiska odpadów z energetyki jądrowej;
- **Polska sól na globalnym rynku** – konkurencyjność, innowacje i nowe kierunki rozwoju;
- **Sole potasowo-magnezowe i kamienne** – perspektywy wydobycia i przetwórstwa.

Zagadnienia uzupełniające:

- Pierwiastki krytyczne w utworach solnych – potencjał surowcowy Europy;
- Nowoczesne metody rozpoznania i eksploatacji złóż soli;
- Wyzwania środowiskowe i geomechaniczne;
- Europejskie szlaki solne – historia, turystyka, dziedzictwo;
- Aktualne zmiany legislacyjne w gospodarce zasobami solnymi.

Leading topics:

- **Cavern energy storage** – *strategic security of energy media in the context of energy crises and transformation:*
 - *hydrocarbon storage;*
 - *underground hydrogen and air storage;*
- **Salt complexes as nuclear waste storage sites;**
- **Polish salt on the global market** – *competitiveness, innovation, and new directions of development;*
- **Potassium-magnesium and rock salts** – *prospects for extraction and processing.*

Supplementary issues:

- *Critical elements in salt formations – raw material potential of Europe;*
- *Modern methods of recognising and exploiting salt deposits;*
- *Environmental and geomechanical challenges;*
- *European salt routes – history, tourism, heritage;*
- *Current legislative changes in the management of salt resources.*

XXIX Międzynarodowe Sympozjum Solne International Salt Symposium



Organizatorzy / The Organizers



Polskie Stowarzyszenie Górnictwa Solnego



Inowrocławskie Kopalnie Soli „Solino” S.A.

Partnerzy / The Partners



KGHM Polska Miedź S.A.



Kopalnia Soli „Kłodawa” S.A.



Kopalnia Soli „Wieliczka” S.A.



CFT Polska sp. z o.o.



Sandvik Polska Sp. z o.o.



Uponor Infra Sp. z o.o.

XXIX Międzynarodowe Sympozjum Solne International Salt Symposium



Patronat honorowy / Honorary Patronage

Minister Klimatu i Środowiska

Minister of Climate and Environment

Prezes Wyższego Urzędu Górniczego

President of the State Mining Authority

Komitety Naukowy / Scientific Committee

dr hab. Stanisław Burliga – Uniwersytet Wrocławski

dr hab. Grzegorz Czapowski – PIG-PIB Warszawa

dr hab. inż. Katarzyna Cyran – AGH w Krakowie

dr hab. inż. Tomasz Toboła – AGH w Krakowie

Komitety Organizacyjny / Organizing Committee

dr hab. inż. Wacław Andrusikiewicz, PSGS / AGH w Krakowie

mgr inż. Wojciech Kotlarek, IKS „Solino” S.A.

mgr inż. Grażyna Meisel, PSGS

dr inż. Justyna Nowińska-Jarzębińska, PSGS

mgr inż. Paulina Cyran, PSGS / OBRGSCHEM „CHEMKOP” Sp. z o.o. / AGH w Krakowie

mgr inż. Maria Szydło, PSGS / IKS „Solino” S.A.

Redakcja tomu konferencyjnego / Editors

mgr inż. Paulina Cyran, PSGS / OBRGSCHEM „CHEMKOP” Sp. z o.o. / AGH w Krakowie

PROGRAM SYMPOZJUM 2025
SYMPOSIUM PROGRAMME 2025

Środa, 15.10.2025 Wednesday, 15.10.2025		
14:00 – 16:00	Rejestracja uczestników Sympozjum w Hotelu „Pod Orłem” w Bydgoszczy <i>Registration of participants for the Symposium at the „Pod Orłem” Hotel in Bydgoszcz</i>	
14:00 – 15:45	Obiad <i>Lunch</i>	
16:00 – 16:20	Uroczyste otwarcie konferencji, powitanie uczestników i Gości przez: Gospodarza – Prezesa Zarządu Inowrocławskich Kopalni Soli „Solino” S.A. Organizatora – Prezesa Polskiego Stowarzyszenia Górnictwa Solnego <i>Official opening of the conference, welcoming of participants and Guests by: The Host – President of the Management Board of Inowrocław Salt Mines „Solino” S.A. The Organizer – President of the Polish Association of Salt Mining</i>	
16:20 - 18:00 - SESJA PLENARNA PLENARY SESSION Sole potasowo-magnezowe i kamienne – perspektywy wydobywania i przetwórstwa <i>Potassium-magnesium and rock salts – prospects for mining and processing</i> Europejskie szlaki solne – historia, turystyka, dziedzictwo <i>European salt routes – history, tourism, heritage</i>		
16:20 – 16:40	WOJCIECH KOTLAREK Sól to esencja życia <i>Salt is the essence of life</i>	16
16:40 – 17:00	Dr. STEFAN SCHLAG The European salt market in a challenging economic environment <i>Europejski rynek soli w trudnym otoczeniu gospodarczym</i>	22
17:00 – 17:20	MICHAEL BEER, MICHAŁ ŻYWIECKI Potash Salts Exploration and Appraisal Operations Challenges <i>Wyzwania w zakresie eksploracji i oceny zasobów soli potasowych</i>	30
17:20 – 17:40	MONIKA DZIOBEK – MOTYKA Nowy Szlak Kulturowy Rady Europy „Europejski Szlak Dziedzictwa Solnego” <i>The new Cultural Route of the Council of Europe „European Salt Heritage Route”</i>	35
17:40 – 18:00	AGNIESZKA WOLAŃSKA, MARIOLA KACZOR Solne rzeźby wielickich górników w Kraju Kwitnącej Wiśni <i>Salt sculptures of Wieliczka miners in the Land of the Rising Sun</i>	41

18:00 – 19:00	Sprawozdanie z wyprawy naukowej Tunezja’2025 Report from the Tunisia ’2025 scientific expedition Nadzwyczajne Walne Zebranie Członków PSGS Extraordinary General Meeting of PSMA Members	
19:00	Kolacja Dinner	
Czwartek, 16.10.2025 Thursday, 16.10.2025		
09:00 - 11:00 - I SESJA REFERATOWA Ist ORAL SESSION Wysady solne Salt domes		
09:00 – 09:20	GRZEGORZ CZAPOWSKI, MARTA HODBOD, LESZEK SKOWROŃSKI, JAROSŁAW ZACHARSKI Poduszki solne północno-zachodniej i centralnej Polski jako poziomy izolacyjne wystąpienie węglowodorów Salt pillows of north-western and central Poland as isolation horizons of hydrocarbons concentrations	44
09:20 – 9:40	JOANNA JAWORSKA Zbliżniaczenia deformacyjne w ewaporatach czap wysadów solnych Mogilna i Goleniowa Deformation Twinning in Evaporites from the Cap-rocks of the Mogilno and Goleniów Salt Diapirs	45
9:40 – 10:00	AGNIESZKA PLUCIŃSKA, MIRELLA KROWIARZ, KRZYSZTOF WACHOWSKI Litostrukturalne zróżnicowanie czapy wysadu solnego złoża soli kamiennej Mogilno I Lithostructural variability of the caprock of the Mogilno I salt deposit	48
10:00 – 10:20	PATRYK BLADUSIAK, TOMASZ OPERACZ, KAMIL PAWELEC Wysady solne Lubień i Łanięta, a geotermia niskotemperaturowa – wpływ na dynamikę termiczną wód podziemnych Lubień and Łanięta salt domes and low-temperature geothermal energy – impact on the thermal dynamics of groundwater	49
10:20 – 10:40	KRZYSZTOF BUKOWSKI, HUBERT KIERSNOWSKI Współczesny diapiryzm formacji solnych Ormuz (Iran) i Ara (Oman) – analogie do ewolucji cechsztyńskich wysadów solnych Niżu Polskiego Contemporary diapirism of the Hormuz (Iran) and Ara (Oman) salt formations – analogies to the evolution of the zechstein salt domes of the Polish Lowlands	53

10:40 – 11:00	JONAS HASE, ROBERT NEUMEISTER 3D Geological Modeling for Decision Making: Addressing Intracrustal Complexity <i>Modelowanie geologiczne 3D na potrzeby podejmowania decyzji: uwzględnianie złożoności wewnętrznej</i>	55
11:00 – 11:30	Przerwa kawowa i sesja posterowa <i>Coffee break and Poster Session</i>	
11:30 - 13:10 - II SESJA REFERATOWA IInd ORAL SESSION Aktualne zmiany legislacyjne w gospodarce zasobami solnymi <i>Current legislative changes in the management of salt resources</i> Wyzwania środowiskowe i geomechaniczne <i>Environmental and geomechanical challenges</i>		
11:30 - 11:50	MARTA SOKOŁOWSKA, EDYTA MAJER Zasady dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich na potrzeby podziemnego bezziarnistego magazynowania i składowania – poradnik państwowej służby geologicznej <i>Guidelines for engineering-geological conditions assessment for geological storage and disposal purposes</i>	59
11:50 - 12:10	GRZEGORZ BARTŁOMIEJCZAK, DAMIAN KURDEK Wyzwania regulacyjne i prawne w zagospodarowaniu wyrobisk solnych: od planów wypełniania pustek do koncesji na podziemne składowanie odpadów w Kopalni Soli „Kłodawa” S.A. <i>Regulatory and Legal Challenges in the Management of Salt Workings: From Void Backfilling Plans to a Concession for Underground Waste Storage at the „Kłodawa” Salt Mine S.A.</i>	63
12:10 - 12:30	WACŁAW ANDRUSIKIEWICZ, MICHAŁ KOWALSKI, KATARZYNA CYRAN Wybrane zagadnienia z podziemnego składowania odpadów w kopalniach soli kamiennej <i>Selected issues in underground waste storage in rock salt mines</i>	64
12:30 – 12:50	STANISŁAW BURLIGA Strefy kruchej deformacji skał cechsztyńskiej serii solnej – zagrożenia dla magazynów i składowisk lokowanych w strukturach solnych <i>Brittle deformation zones in Zechstein (upper Permian) salt rocks – threats for repositories and disposals located in salt structures</i>	66
12:50 – 13:10	TOMASZ TOBOŁA, KATARZYNA CYRAN, MICHAŁ KOWALSKI Mikro-wytrzymałość kryształów halitu <i>Micro-strength of halite crystals</i>	68
13:15 – 14:15	Obiad <i>Lunch</i>	

14:30 - 16:30 - III SESJA REFERATOWA**IIIrd ORAL SESSION**

Kawernowe magazyny energii – strategiczne bezpieczeństwo mediów energetycznych
w kontekście kryzysów i transformacji energetycznej
*Cavern energy storage – strategic security of energy media in the context of energy crises and
transformation*

Wyzwania środowiskowe i geomechaniczne
Environmental and geomechanical challenges

14:30 – 14:50	EDYTA ZALEWSKA Odporność infrastruktury krytycznej w dobie niestabilności klimatycznej i geopolitycznej – czas na redefinicję podejścia? <i>Resilience of critical infrastructure in an era of climate and geopolitical instability – time to redefine our approach?</i>	69
14:50 – 15:10	KRZYSZTOF POLAŃSKI Kawerny jako podziemne magazyny wodoru – kluczowe zagadnienia <i>Caverns as underground hydrogen storage – key issues</i>	75
15:10 – 15:30	MARTA ADAMUSZEK, MICHAŁ SŁOTWIŃSKI, MARCIN DĄBROWSKI Wpływ mechanicznego uwarstwienia pokładu soli na stabilności kawern solnych <i>The influence of mechanical stratigraphy of salt beds on the stability of rock salt caverns</i>	76
15:30 – 15:50	PIOTR MROZIŃSKI, MIROSŁAW M. MAZUR Innowacyjna technologia wydobywania soli z komór solankowych znajdujących się w końcowych interwałach eksploatacji lub w których zakończono wydobywanie <i>Innovative technology of salt rock mining from brine caverns in last intervals of leaching or caverns where exploitation has been terminated</i>	79
15:50 – 16:10	MARIUSZ CHROMIK, TOMASZ KUBACKA Pomiary geometryczne kawern zlokalizowanych podczas prowadzenia prac wiertniczych <i>Geometric measurements of caverns detected during drilling operations</i>	81
16:10 – 16:30	STANISŁAW BRAŃKA, SEBASTIAN BRAŃKA Sposób zapobieżenia przed katastrofą górniczą w kopalni z jednoczesną ochroną środowiska rzeczno przed katastrofalnym zasalaniem <i>A method of preventing a mining disaster in a mine while simultaneously protecting the river environment from catastrophic salinization</i>	84
16:30 – 17:00	Przerwa kawowa i sesja posterowa <i>Coffee break and Poster Session</i>	

17:00 - 18:20 - IV SESJA REFERATOWA IVth ORAL SESSION Europejskie szlaki solne – historia, turystyka, dziedzictwo <i>European salt routes – history, tourism, heritage</i>		
17:00 – 17:20	DAMIAN KURDEK Analiza wieloletnich przemieszczeń pionowych powierzchni terenu nad kopalnią soli w Kłodawie <i>Analysis of long-term vertical displacements of the ground surface above the Kłodawa salt mine</i>	85
17:20 – 17:40	AGNIESZKA PRYTEK Interpretacja wybranych map geologicznych ze zbioru kartograficznego Muzeum Żup Krakowskich Wieliczka <i>Interpretation of selected geological maps from the cartographic collection of the Cracow Saltworks Museum in Wieliczka</i>	86
17:40 – 18:00	JERZY PRZYBYŁO, RAFAŁ ZADAK, DANIEL KUMORKIEWICZ Przegląd badań fizykochemicznych przeprowadzonych od XVIII wieku do dzisiejszych czasów w kopalniach soli „Wieliczka” i Bochnia <i>Review of physicochemical studies carried out from the XVIII Century to the present day in the „Wieliczka” and Bochnia Salt Mines</i>	90
18:00 – 18:20	HENRYK PASZCZA Od soli do węgla – historyczne związki Wieliczki z Jaworzniem <i>From salt to coal – the historical links between Wieliczka and Jaworzno</i>	96
18:20 – 18:40	Podsumowanie części referatowej Sympozjum <i>Summary of the paper part of the Symposium</i>	
20:00 – 01:00	Niespodzianka Prezesa <i>The President's Surprise</i> Biesiada Górnicza <i>Miner's Feast</i>	
Piątek, 17.10.2025 Friday, 17.10.2025		
9:00 – 13:00	Warsztaty terenowe (dla zainteresowanych): <i>Field workshops (for those interested):</i> „Zielona twarz” kopalni odkrywkowej – rozwiązania środowiskowe na przykładzie Zakładu Górniczego „Kujawy” (kopalnia wapienia) <i>The „green face” of an open-pit mine – environmental solutions on the example of the Kujawy Mining Plant (limestone mine)</i> lub / or zwiedzanie Bydgoszczy <i>Sightseeing in Bydgoszcz</i>	
13:30 – 14:30	Obiad, zakończenie Sympozjum i wyjazd uczestników <i>Lunch, departure of participants</i>	

POSTERY
POSTERS

MARTA HODBOD Sole potasowo-magnezowe w Polsce – perspektywy rozwoju i wyzwania przyszłości <i>Potassium and magnesium salts in Poland – development prospects and future challenges</i>	101
KATARZYNA BAJDA Zróźnicowanie własności mechanicznych zuba brunatnego z kopalni soli Kłodawa <i>Variability of mechanical properties of brown zuber from the Kłodawa salt mine</i>	103
ŁUKASZ NOWACKI, GRZEGORZ CZAPOWSKI, JACEK CHEŁMIŃSKI, LESZEK SKOWROŃSKI, MARTA HODBOD, MICHAŁ MICHNA Charakterystyka występowania ewaporatowych wydzieliń litostratygraficznych cechsztynu na obszarze modelu niecki szczecińskiej <i>Characteristics and occurrence of Zechstein evaporites in the area of the Szczecin Trough model</i>	105
JACEK CHEŁMIŃSKI, ŁUKASZ NOWACKI, ANNA GŁOWACKA, MIROSŁAW LUDWINIAK, JAN SZYMAŃSKI Wykorzystanie pakietu oprogramowania Geostar przy pracach kartograficznych i dokumentowaniu struktur geologicznych <i>Application of GEOSTAR9SMGP software for cartography and documentation of geological structures</i>	107
ANDRIY POBEREZHSKY, OKSANA STUPKA Historia górnictwa soli kamiennej na zachodzie Ukrainy <i>History of rock salt mining in Western Ukraine</i>	109

XXIX Międzynarodowe Sympozjum Solne International Salt Symposium



Streszczenia referatów

Abstracts of oral presentations

w kolejności wystąpień

in order of presentation

SÓL TO ESENCJA ŻYCIA

SALT IS THE ESSENCE OF LIFE

Wojciech KOTLAREK¹

¹ Inowrocławskie Kopalnie Soli „SOLINO” S.A., ul. Świętego Ducha 26a, 88-100 Inowrocław,
e-mail: Wojciech.Kotlarek@solino.pl

Każdego roku ludzkie ciało potrzebuje kilku kilogramów chlorku sodu, czyli soli kuchennej.

Sól między innymi wspomaga prawidłowe działanie naszego układu nerwowego, mięśni i ścięgien, umożliwiając przepływ prądu elektrycznego.

Ma właściwości antyseptyczne, dzięki czemu zabija bakterie.

Do momentu wynalezienia współczesnych lodówek sól była główną metodą konserwowania żywności.

A jednak bardzo rzadko zastanawiamy się nad naszą zależnością od soli.

Pozwólcie mi Państwo na przedstawienie kilku informacji, zabawnych, poważnych, niezwykłych, o których mało kto wie, mało kto pamięta, a dotyczących związku człowieka i soli w aspekcie historycznym.

Anglia

Wszyscy znamy tak niesamowity obiekt jak krąg w Stonehenge. Powstał on ponad 4000 lat temu i jest świadectwem wynalazczości i niezwyklej intelektualnej wyobraźni i umiejętności człowieka.

Okazało się, a o tym mało kto wie, że kilkanaście lat temu angielscy archeolodzy znaleźli gliniane misy, i metodą datowania radiowęglowego ustalili że mają one niemal 6000 lat. Okazało się, że misy służyły do wyrobu sera, a jak wiadomo potrzeba dużo soli aby wyprodukować ser. Następne odkrycia archeologiczne doprowadziły do odkrycia całej serii pieców, wręcz do linii produkcyjnej soli. Okazało się że ponad tysiąc lat przed budową Stonehenge ludność z okolic miejsca o nazwie Boulba zajmowała się wytwórstwem soli i handlem solą na masową skalę

Czyli: prawie sześć tysięcy lat temu ktoś schodził klifami na plażę (w środkowej części wschodniej Anglii), czerpał wodę morską, czekał aż woda odparuje, a następnie zanosił solankę na górę. Ktoś inny zbierał opał do pieców, ktoś doglądał bydła mlecznego. To były początki zamiany zasobów naturalnych w produkt, który można sprzedać lub wymienić.

Chiny

Rządzące Chinami dynastie opodatkowały handel solą już w VII wieku p.n.e.

Ponad 2000 lat temu powstał chiński traktat *Guanzi* na temat polityki. Pozwólcie Państwo, że przeczytam jeden cytat z tego traktatu: „Gdyby wprowadzono podatek pogłówny od wszystkich dorosłych i dzieci, to wzbudziłoby to powszechny sprzeciw, ale gdy wprowadzi się podatek od soli, przyniesie to władcy stokrotnie większe zyski, a lud nie będzie się mógł przed nim uchylić. Na tym polega zarządzanie finansami”.

W Chinach już wtedy istniały regulacje dotyczące: rozmiaru patelni do odparowywania wody, dzienne normy produkcyjne, pełna kontrola dystrybucyjna oraz pełna kontrola sprzedażowa.

W III wieku naszej ery handel solą dawał Chinom 90% dochodu państwa.

Rzym i okolice

Legioniści Imperium Rzymskiego otrzymywali żółd, ale również otrzymywali racje soli. Przydział, od którego pochodzi angielskie wyrażenie „*salary*”, czyli wynagrodzenie.

Autostrada SS4, łącząca Rzym z Porto d'Ascoli została zbudowana na starożytnej rzymskiej Via Salaria – drodze solnej.

Mamy rok 523. Dawnym cesarstwem zachodniorzymskim rządził Ostrogoci. Ich kanclerz, Kasjodor, pisze do Wenecjan: „Całą energię spożywacie na polach solnych, to w istocie na nich zasada się wasz dobrobyt oraz wasza zdolność do nabywania rzeczy, których sami nie posiadacie. Albowiem istnieją być może ludzie, którym niepotrzebne jest złoto, ale nie ma takich którzy nie pragnęliby soli”.

Cytat historyka dotyczący Wenecji: „Pomiędzy XIV a XVI wiekiem, w okresie kiedy Wenecja była czołowym portem dla zbóż i przypraw, od 40 do 50 procent tonażu towarów importowanych do Wenecji stanowiła sól. Cała sól musiała przejść przez biuro soli, Camera Salis. Biuro to wydawało licencje, które dyktowały handlarzom nie tylko ile soli mogli eksportować, ale także dokąd i za jaką cenę”.

Czyli biznes solny utrzymywał majestatyczne budynki Wenecji oraz utrzymywał system hydrauliczny, który chronił miasto przed zalaniem. Tak więc to, co możemy dzisiaj podziwiać w Wenecji zostało sfinansowane poprzez handel solą.

Podsumowując, to już moja uwaga: 6000 lat temu na klifach w Boulby sól była produktem, który zainspirował tamtejszą społeczność do eksperymentów z produkcją masową. W weneckiej lagunie sól stała się fundamentem gospodarki opartej na handlu.

Francja

W przedrewolucyjnej Francji istniał podatek od soli zwany „*gabelle*”, ale istniał również obowiązek kupowania 7 kilogramów soli – nazwano to „*sel du devoir*” – obowiązek solny. Kary za uchylanie się od płacenia tego podatku były proste: tortury, więzienie albo galery. Podatek był jednym z głównych przyczyn wybuchu rewolucji francuskiej. W 1790 roku podatek został głośno i triumfalnie zniesiony. W 1806 Napoleon po cichu go przywrócił.

USA

Podczas amerykańskiej wojny o niepodległość, brytyjskie okręty wojenne ostrzeliwały saliny na wybrzeżach. W trakcie wojny secesyjnej marynarka wojenna Unii przechwytywała idące na południe dostawy żywności i soli, wojska Unii wyszukiwały warzelnie soli i je niszczyły.

XIX wiek

Obecnie Tajwańczycy zapraszają zagranicznych dygnitarzy do swoich fabryk półprzewodników. Pokazują w ten sposób swoją potęgę w tym obszarze.

Podobny manewr zastosował król Wielkiej Brytanii. W 1844 roku zaprosił do siebie cara Mikołaja I. Został zawieziony do kopalni Old Marston w Cheshire, gdzie w solnych katakumbach odbył się wystawny bankiet na cześć rosyjskiego władcy. To był pokaz potęgi Zjednoczonego Królestwa w obszarze wydobywania i przetwórstwa soli.

Ameryka Południowa

Na peruwiańskiej pustyni Atacama w latach 60-tych XIX wieku odkryto złoża soli. Sól niezwykle cenne, bo oprócz klasycznego chlorku sodu występują tam również inne sole: azotany, jodany, siarczany i chlorki.

Saletry (azotany azotowe, potasowe, amonowe) mają podwójnie niezwykle ważną cechę: są przydatne do wytworzenia prochu strzelniczego oraz do produkcji nawozów stymulujących rozwój roślin. Dla wszystkich stało się jasne, że są one w tym momencie historii jednym z najważniejszych surowców na

świecie. Z tego też powodu w 1879 r. rozpoczęła się wojna pomiędzy Chile, Peru i Boliwią, zarówno o złoża jak i o miejsce eksportu tych produktów, czyli o port Antofagasta, należący do Boliwii. Rezultatem tej kilkuletniej wojny (nazywanej wojną saletrową) było pozbawienie Boliwii dostępu do Oceanu Spokojnego, przejście przez Chile portu Antofagasta oraz sporej części peruwiańskiej strefy wydobywania soli.

XX wiek

Na początku 1930 roku Mahatma Gandhi powiedział: „System brytyjski wydaje się zaprojektowany, by wycisnąć życie z indyjskiego chłopca. Nawet sól której potrzebuje do życia jest opodatkowana tak, aby największy ciężar spadł na niego. Uważam ten podatek za najbardziej niegodziwy z wszystkich, patrząc z punktu widzenia człowieka ubogiego”.

Między 12 marca a 6 kwietnia 1930 roku odbył się „Marsz solny” – akt zorganizowany przeciw władzom kolonialnym w Indiach, które stosując monopol sprzedawały sól po zawyżonych cenach. Marsz wyruszył z miejscowości Sabarmati i szedł od wioski do wioski. Zyskał ogromne poparcie chłopów, którzy organizowali wiece, a nawet zbiorowe modlitwy. Po przebyciu 390 km, uczestnicy marszu dotarli do miejscowości Dandi na wybrzeżu morza. Gandhi, aby zachęcić Hindusów do omijania przepisów solnych i w miarę możliwości zaopatrywania się na własną rękę, u kresu marszu, nad brzegiem morza w mieście Dandi, symbolicznie odparował dla siebie garść soli. Gandhiego aresztowano po dotarciu protestujących do rządowych magazynów soli. Oprócz Gandhiego aresztowano również kierownictwo Indyjskiego Kongresu Narodowego, a w następnych miesiącach od 60 do 90 tys. osób podejrzewanych o udział w marszu.

Sól dała rolnikom i rybakom dodatkowy parametr: czas. Złowione ryby nie musiały być sprzedane jutro. Mięso można było peklować i sprzedawać choćby i za rok. Mleko można było zamienić w ser, który również nie musiał być sprzedany natychmiast.

Obecnie sól jest podstawą wielu przemysłów, głównie chemicznego i farmaceutycznego. Czym będzie sól w niedalekiej przyszłości? Któż to wie ?

Wszystkie powyższe informacje czerpałem z różnych pozycji książkowych, głównym źródłem było opracowanie Eda Conwaya „*Material World. A Substantial Story of Our Past and Future*”, 2023.

Słowa kluczowe: sól w życiu człowieka, historia soli

Every year, the human body requires several kilograms of sodium chloride, or table salt.

Among other things, salt supports the proper functioning of our nervous system, muscles, and tendons by enabling the flow of electrical current.

It has antiseptic properties, thus killing bacteria.

Until the invention of modern refrigerators, salt was the primary method of preserving food. Yet, we rarely consider our dependence on salt. Allow me to present some information, funny, serious, and unusual, that few people know or remember, concerning the historical connection between humans and salt.

England

We all know of such an incredible structure as the Stonehenge circle. It was created over 4,000 years ago and is a testament to human inventiveness, extraordinary intellectual imagination, and skill.

It turned out, and few people know this, that a dozen or so years ago, English archaeologists found clay bowls and, using radiocarbon dating, determined they were almost 6,000 years old. It turned out, the bowls were used for making cheese, and as we know, cheese requires a lot of salt. Subsequent archaeological discoveries led to the discovery of a whole series of ovens, practically a salt production line. It turned out that over a thousand years before the construction of Stonehenge, the people of the area around a place called Boulba were engaged in salt production and trade on a massive scale.

That is: almost six thousand years ago, someone descended the cliffs to the beaches (in central eastern England), scooped up seawater, waited for the water to evaporate, and then carried the brine up the mountain. Someone else collected fuel for the ovens, and someone else tended the dairy cattle. These were the beginnings of transforming natural resources into a product that could be sold or bartered.

China

China's ruling dynasties taxed the salt trade as early as the 7th century BCE.

Over 2,000 years ago, the Chinese treatise Guanzi was written on politics. Allow me to read a quote from this treatise: "If a poll tax were introduced for all adults and children, it would arouse widespread opposition, but if a salt tax is introduced, the ruler's profits will be a hundredfold, and the people will be unable to avoid it. This is financial management".

In China, regulations already existed at that time regarding the size of evaporation pans, daily production quotas, complete control over distribution, and complete control over sales.

In the 3rd century AD, the salt trade generated 90% of China's state income.

Rome and the surrounding area

Legionaries of the Roman Empire received pay, but also received salt rations. This allocation is the origin of the English term "salary".

The SS4 highway, connecting Rome with Porto d'Ascoli, was built on the ancient Roman Via Salaria – the salt road.

The year is 523. The former Western Roman Empire is ruled by the Ostrogoths. Their chancellor, Cassiodorus, writes to the Venetians: "You consume all your energy in the salt fields; in fact, it is on them that your prosperity and your ability to acquire things you do not possess yourselves depend. For there may be people who have no need of gold, but there are none who do not desire salt".

A quote from a historian regarding Venice: "Between the 14th and 16th centuries, when Venice was a leading port for grains and spices, 40 to 50 percent of the tonnage of goods imported into Venice was salt. All salt had to pass through the salt office, the Camera Salis. This office issued licenses that dictated to traders not only how much salt they could export, but also where and at what price.

The salt business, therefore, sustained Venice's majestic buildings and maintained the hydraulic system that protected the city from flooding. Thus, what we can admire in Venice today was financed by the salt trade.

In summary, here's my point: 6,000 years ago, on the cliffs of Boulby, salt was a product that inspired the local community to experiment with mass production. In the Venetian lagoon, salt became the foundation of an economy based on trade.

France

In pre-revolutionary France, there was a salt tax called the "gabelle," but there was also an obligation to buy 7 kilograms of salt - this was called the "sel du devoir" - the salt tax. The penalties for evading this tax were simple: torture, imprisonment, or the galleys. The tax was one of the main causes of the French Revolution. In 1790, the tax was resoundingly and triumphantly abolished. In 1806, Napoleon quietly reinstated it.

USA

During the American Revolutionary War, British warships shelled salt pans along the coast. During the Civil War, the Union Navy intercepted food and salt shipments heading south, and Union troops sought out and destroyed saltworks.

19th Century

Currently, the Taiwanese invite foreign dignitaries to their semiconductor factories, demonstrating their power in this area.

The King of Great Britain employed a similar tactic. In 1844, he invited Tsar Nicholas I to his home. He was taken to the Old Marston mine in Cheshire, where a lavish banquet was held in the salt catacombs in honor of the Russian ruler. This was a demonstration of the United Kingdom's power in salt mining and processing.

South America

In the Peruvian Atacama Desert, salt deposits were discovered in the 1860s. These salts are unusual because, in addition to the classic sodium chloride, other salts are also found there: nitrates, iodates, sulfates, and chlorides. Saltpeters (nitrogen, potassium, and ammonium nitrates) have a doubly important property: they are useful for the production of gunpowder and for the production of fertilizers that stimulate plant growth.

It became clear to everyone that at that moment in history, salt was one of the most important raw materials in the world. This led to a war between Chile, Peru, and Bolivia in 1879, both over the deposits and the export destination for these products, the Bolivian port of Antofagasta. The result of this several-year war (known as the Saltpeter War) was the deprivation of Bolivia of access to the Pacific Ocean, Chile's seizure of the port of Antofagasta, and a large portion of the Peruvian salt-producing zone.

20th Century

In the early 1930s, Mahatma Gandhi said: "The British system seems designed to squeeze the life out of the Indian peasant. Even the salt he needs for subsistence is taxed so that the heaviest burden falls on him. I consider this tax the most iniquitous of all, from the point of view of the poor".

Between March 12 and April 6, 1930, the "Salt March" took place – an organized act against the colonial authorities in India, who were using a monopoly to sell salt at inflated prices. The march began in Sabarmati and proceeded from village to village. It gained enormous support from peasants, who organized rallies and even mass prayers. After traveling 390 km, the marchers reached the coastal town of Dandi. To encourage Indians to circumvent salt regulations and, where possible, supply themselves, Gandhi symbolically evaporated a handful of salt for himself at the seaside in Dandi. Gandhi was arrested after the protesters reached government salt warehouses. In addition to Gandhi, the leadership of the Indian National Congress was also arrested, and in the following months, between 60,000 and 90,000 people suspected of participating in the march were arrested.

Salt gave farmers and fishermen an additional parameter: time. The fish caught didn't have to be sold tomorrow. Meat could be cured and sold even after a year. Milk could be turned into cheese, which also didn't have to be sold immediately.

Currently, salt is the foundation of many industries, primarily chemical and pharmaceutical. What will salt be like in the near future? Who knows?

I gathered all the above information from various books, the main source being Ed Conway's "The Material World: A Substantial Story of Our Past and Future", 2023.

Keywords: *salt in human life, history of salt*

EUROPEJSKI RYNEK SOLI W TRUDNYM OTOCZENIU GOSPODARCZYM

THE EUROPEAN SALT MARKET IN A CHALLENGING ECONOMIC ENVIRONMENT

Dr. Stefan SCHLAG

Salt Market Information, Spinnereiplatz 1, 8041 Zürich, Switzerland,

e-mail: stefanschlag@saltmarketinfo.com

The European economic environment

The business environment has been difficult for the European chemical industry in the past 2 decades. The difficult conditions for the European chemical industry reflect on the European salt market, since about half of the salt in Europe is consumed in the chemical industry (Fig. 1).

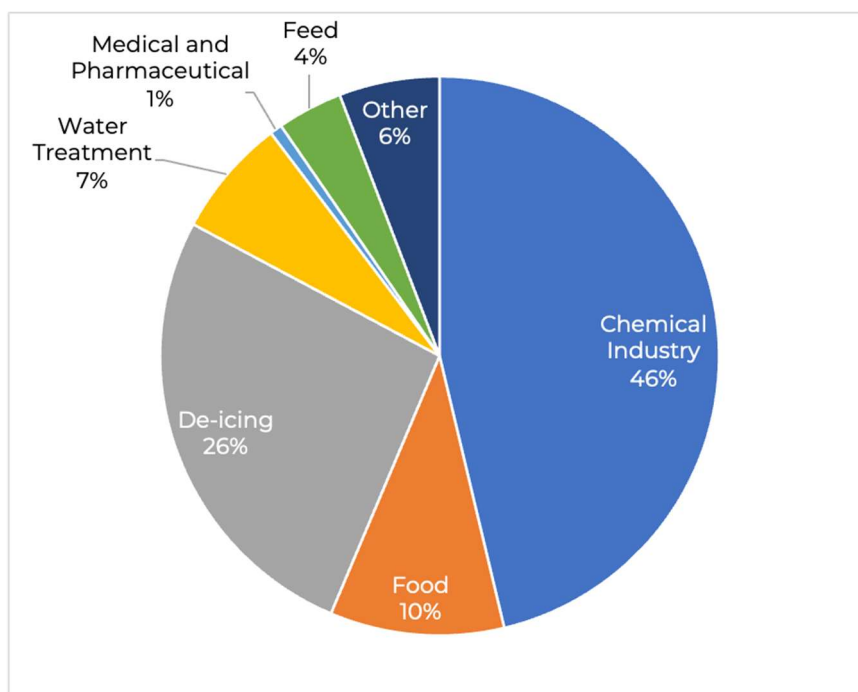


Fig. 1. Breakdown of European salt consumption by main end-uses (Source: Salt Market Information)

Fig. 1. Podział zużycia soli w Europie według głównych zastosowań końcowych (źródło: Salt Market Information)

Energy prices are high. The price of natural gas in Europe is multiples of the price in the US (Fig. 2).

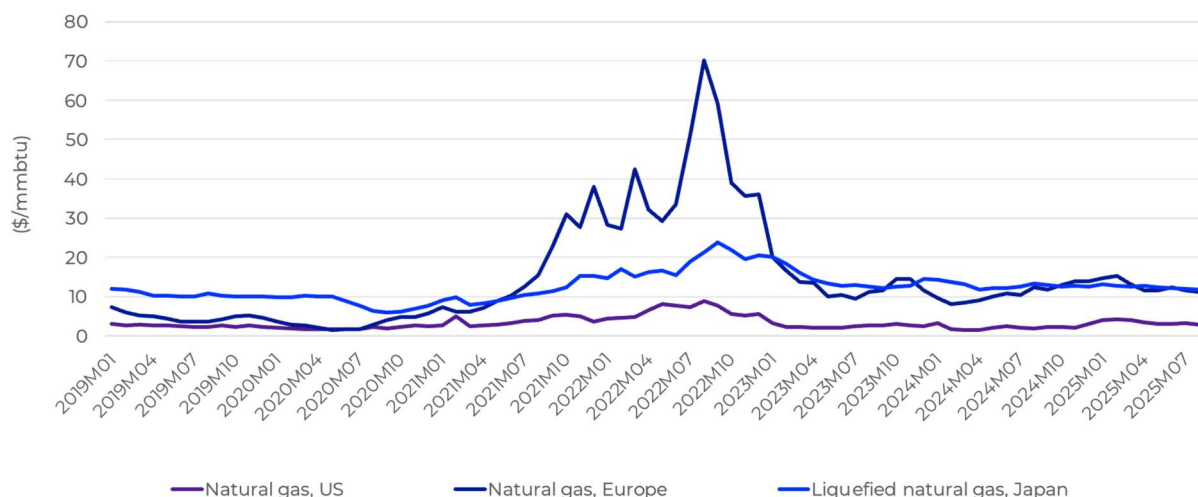


Fig. 2. Comparison of natural gas prices in the US, Japan, and Europe (Source: World Bank)

Fig. 2. Porównanie cen gazu ziemnego w USA, Japonii i Europie (źródło: Bank Światowy)

The cost for the compensation of CO₂ is also among the highest in the world (**Fig. 3**), and Europe is also known for its challenging administrative and political environment for the chemical industry. It is a widespread idea among European politician that basic chemicals should be produced outside Europe.

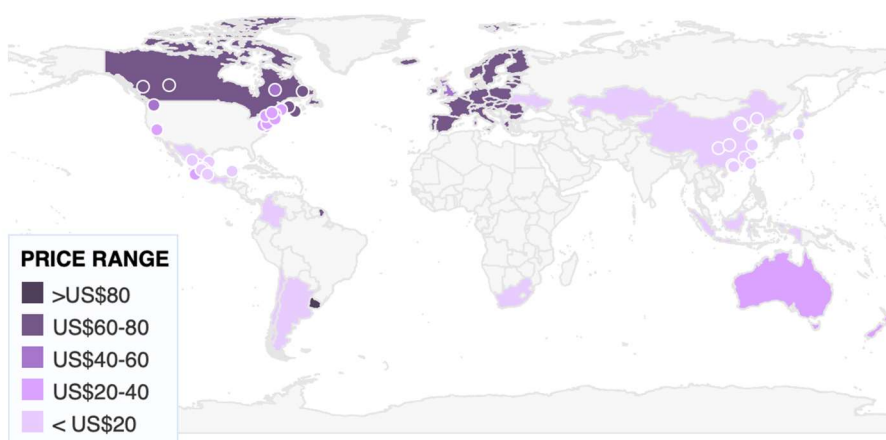


Fig. 3. CO₂ compensation cost comparison (Source: Cefic)

Fig. 3. Porównanie kosztów rekompensaty emisji CO₂ (źródło: Cefic)

As a result, the share of the European chemical industry in the global chemical market decreased from 28% in 2003 to 13% in 2023 (**Fig. 4**).

EU27 share of global chemical market

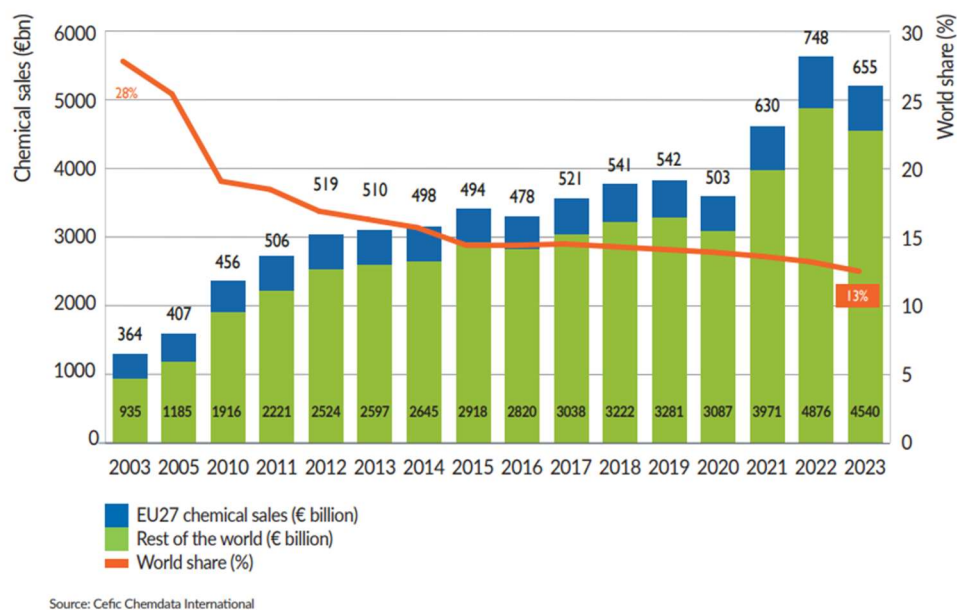


Fig. 4. Share of EU Chemical sales in the global chemical market
Fig. 4. Udział sprzedaży chemikaliów UE w światowym rynku chemicznym

The European chlor-alkali industry was particularly hard hit by the European business environment. Following the gas price shock with the Russian attack on Ukraine, its output decreased by about 20% (**Fig. 5**). Recent plant closures suggest that the loss will be permanent.

- Shutdowns of chlor-alkali plants in France (Vencorex, Arkema)
- Lower production in Botlek with closure of downstream products
- Lower production with Ineos shutdown of chloromethane at Tavaux
- Lower production with Ineos shutdown of PO at Dormagen
- Announced shutdown of Dow, Schkopau in Germany end of 2027

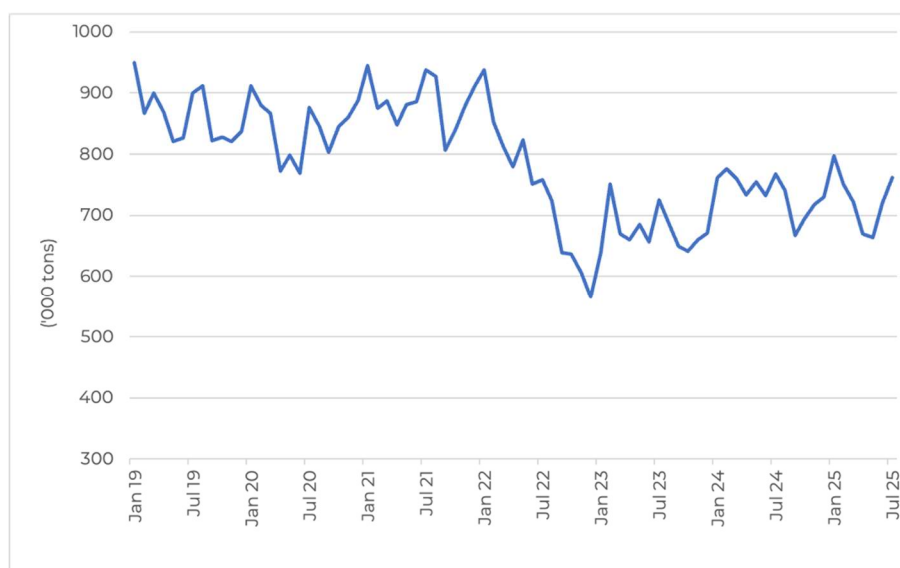


Fig.5. Monthly European chlorine production (Source: Eurochlor)
Fig. 5. Miesięczna produkcja chloru w Europie (Źródło: Eurochlor)

The production decrease of synthetic soda ash in Europe was also significant (**Fig. 6**).

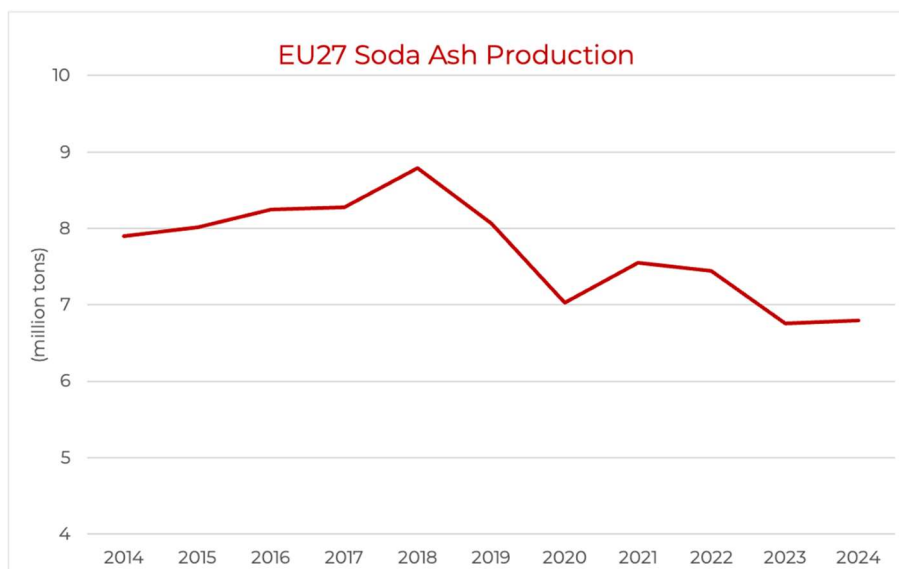


Fig. 6. European production of synthetic soda ash (Source: Eurostat Prodcorn)

Fig. 6. Produkcja syntetycznej sody kalcynowanej w Europie (Źródło: Eurostat Prodcorn)

High energy prices, and cost of CO₂ compensation led to a lack of competitiveness for producers of synthetic soda ash. So far only plants in Poland and the UK were closed, but more plant closures could follow.

The European salt market

Salt consumption decreased substantially as a consequence of the reduced demand from the main consumption segments in the chemical industry (**Fig. 7**).

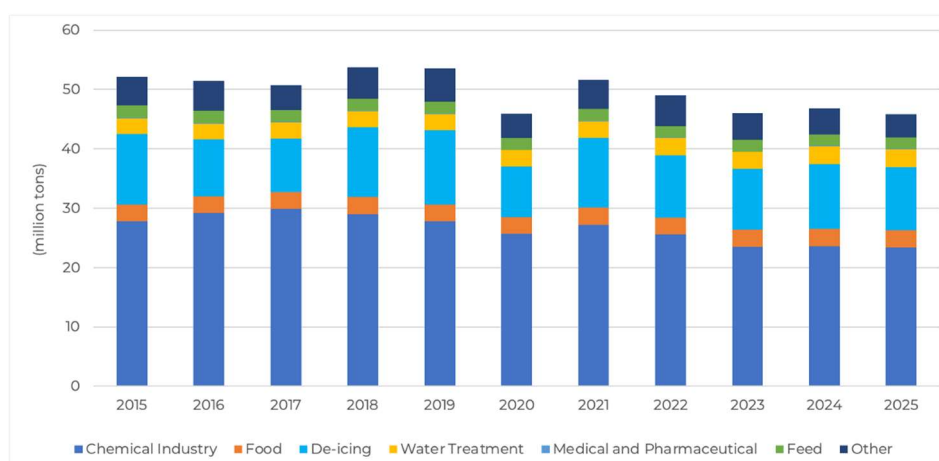


Fig. 7. European salt consumption in main end-use segments

Fig. 7. Konsumpcja soli w Europie w głównych segmentach użytkowników końcowych

The chart also shows the fluctuations of salt consumption as a result of more or less severe winter conditions.

The following chart (**Fig. 8**) summarizes characteristic data that provide an idea of the overall state of the European salt market.

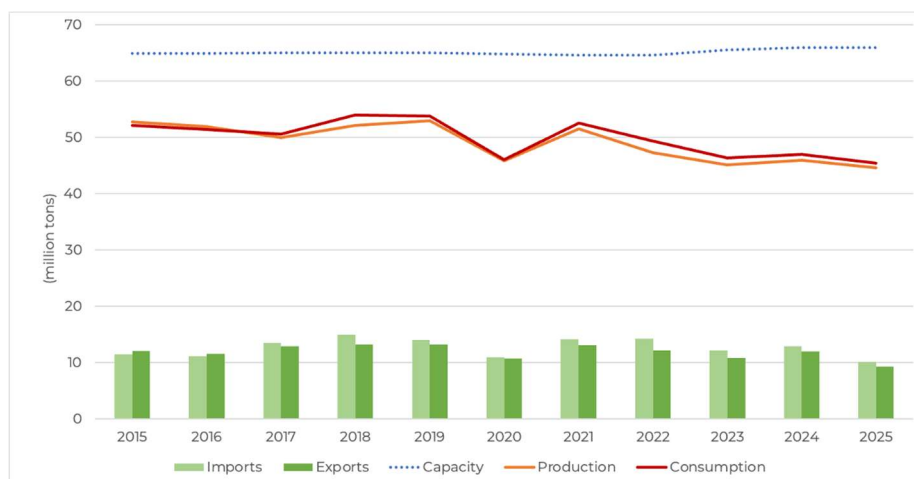


Fig. 8. Salient statistics of the European salt market

Fig. 8. Najważniejsze statystyki europejskiego rynku soli

The production capacity has been fairly constant over the past years, at around 65 million tonnes. Despite fluctuations of production capacity of sea salt plants with weather conditions, it is largely sufficient to satisfy the European salt demand. Import – and export volumes are similarly in the order of 10 million tons. For the obvious reason of relatively high logistics cost, most of the traded volumes are across the borders of neighboring countries, and only small volumes are traded overseas. Production and consumption volumes are also similar, and the decreasing trend of both is clearly visible.

In a context of decreasing capacity utilization rates, it may surprise that prices increased on the average of the past ten years (**Fig. 9**).

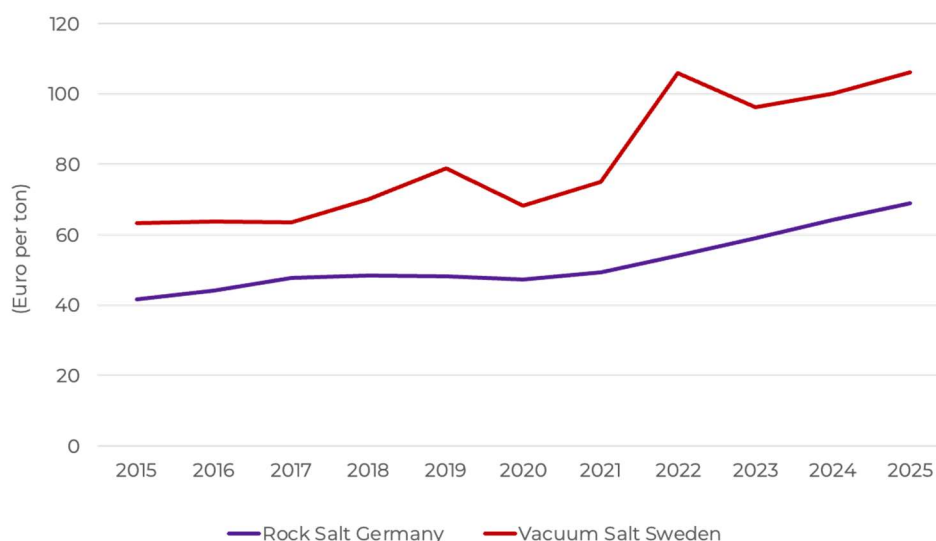


Fig. 9. European salt prices from 2015 to 2025

Fig. 9. Ceny soli w Europie w latach 2015–2025

Producers had to pass higher cost of production and logistic on to their client. In addition, competition in some market segments is limited as a result of the relatively large share of transportation cost in the overall delivered cost.

Outlook

Salt consumption in Europe is expected to stagnate, or to slowly decline. With the closure of chlor-alkali, and downstream production capacity, salt consumption in the chemical industry is not expected to recover much from its low following the peak of the natural gas price in 2022/2023. Also in de-icing, another important market segments demand is expected to remain stagnant or slowly decline. The number of winter days with temperatures below the freezing point is forecast to decline (**Fig. 10**).

Efforts towards a more efficient use of de-icing salt are also lowering demand. Increasing consumption of de-icing salt was observed in many European countries as a result of improved winter service, including the de-icing of less frequented roads, and de-icing of roads over a more extended time range.

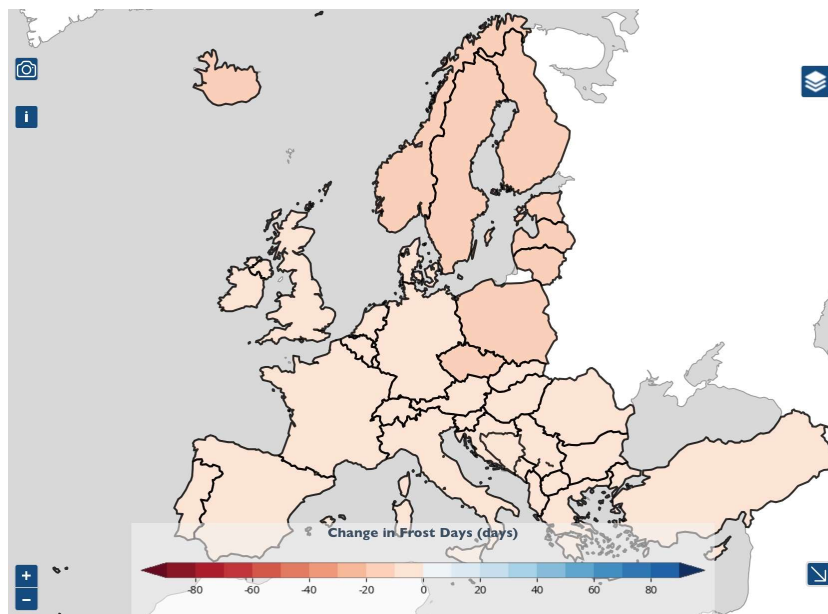


Fig. 10. Projected decline of frost days in European countries from 2011 to 2040

Fig. 10. Prognozowany spadek liczby dni przymrozkowych w krajach europejskich w latach 2011–2040

European health authorities are trying to reduce the “per day per person” uptake of food salt to get towards the salt consumption limits that are recommended by the world health organization. The effort is counterbalanced by the trend towards higher consumption of processed food with inherently higher salt content.

Salt consumption in animal feeding has been declining in past years, in line with lower numbers of farm animals (**Fig. 11**).

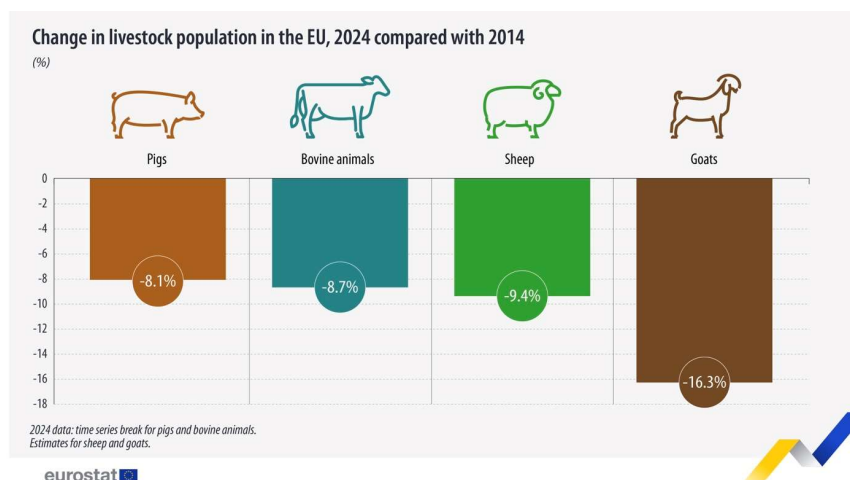


Fig. 11. Decline of farm animal numbers in Europe from 2014 to 2024

Fig. 11. Spadek liczby zwierząt gospodarskich w Europie w latach 2014–2024

The trend is expected to continue in the next years because of changing eating habits and increasing competition from lower priced extra-European imports.

Keywords: salt market, salt consumption, future of salt production

Europejskie otoczenie gospodarcze

W ciągu ostatnich 2 dekad europejski przemysł chemiczny borykał się z trudnościami w otoczeniu biznesowym. Trudne warunki panujące w europejskim przemyśle chemicznym odbijają się na europejskim rynku soli, ponieważ około połowa soli w Europie jest zużywana w przemyśle chemicznym (**Fig. 1**).

Ceny energii są wysokie. Cena gazu ziemnego w Europie jest wielokrotnością ceny w USA (**Fig. 2**).

Koszt rekompensaty emisji CO₂ należy również do najwyższych na świecie (**Fig. 3**), a Europa znana jest z trudnego otoczenia administracyjnego i politycznego dla przemysłu chemicznego.

Wśród europejskich polityków powszechny jest pogląd, że podstawowe chemikalia powinny być produkowane poza Europą. W rezultacie udział europejskiego przemysłu chemicznego w globalnym rynku chemicznym spadł z 28% w 2003 r. do 13% w 2023 r. (**Fig. 4**).

Europejski przemysł chloro-alkaliczny został szczególnie dotknięty przez europejskie otoczenie biznesowe. Po szoku cenowym związanym z rosyjskim atakiem na Ukrainę, jego produkcja spadła o około 20% (**Fig. 5**).

Niedawne zamknięcia zakładów sugerują, że strata ta będzie trwała:

- zamknięcie zakładów chloro-alkalicznych we Francji (Vencorex, Arkema);
- niższa produkcja w Botlek z powodu zamknięcia produktów końcowych;
- niższa produkcja z powodu zamknięcia przez Ineos instalacji chlorometanu w Tavaux;
- niższa produkcja z powodu zamknięcia przez Ineos instalacji PO w Dormagen;
- zapowiedziane zamknięcie zakładów Dow i Schkopau w Niemczech do końca 2027 r.

Spadek produkcji syntetycznej sody kalcynowanej w Europie był również znaczący (**Fig. 6**). Wysokie ceny energii i koszty kompensacji emisji CO₂ doprowadziły do braku konkurencyjności producentów syntetycznej sody kalcynowanej. Do tej pory zamknięte zostały tylko zakłady w Polsce i Wielkiej Brytanii, ale wkrótce może dojść do kolejnych zamknięć.

Europejski rynek soli

Zużycie soli znacznie spadło w wyniku zmniejszonego popytu ze strony głównych segmentów konsumpcji w przemyśle chemicznym (**Fig. 7**). Wykres przedstawia również wahania zużycia soli w wyniku mniej lub bardziej surowych warunków zimowych.

Poniższy wykres (**Fig. 8**) podsumowuje charakterystyczne dane, które dają obraz ogólnej sytuacji na europejskim rynku soli.

Moce produkcyjne były w ostatnich latach dość stabilne i wynosiły około 65 milionów ton. Pomimo wahań mocy produkcyjnych zakładów produkujących sól morską w zależności od warunków pogodowych, są one w dużej mierze wystarczające, aby zaspokoić europejski popyt na sól. Wolumeny importu i eksportu utrzymują się na podobnym poziomie, rzędu 10 milionów ton. Z oczywistego powodu, jakim są stosunkowo wysokie koszty logistyki, większość wolumenów obrotu odbywa się poza granicami krajów sąsiednich, a jedynie niewielkie ilości są przedmiotem obrotu za granicą. Wolumeny produkcji i konsumpcji są również zbliżone, a tendencja spadkowa w obu przypadkach jest wyraźnie widoczna. W kontekście malejącego wykorzystania mocy produkcyjnych, zaskakujący może być wzrost cen w ujęciu średniorocznym w ciągu ostatnich dziesięciu lat (**Fig. 9**). Producenci musieli przerzucić wyższe koszty produkcji i logistyki na swoich klientów. Ponadto konkurencja w niektórych segmentach rynku jest ograniczona ze względu na stosunkowo duży udział kosztów transportu w całkowitych kosztach dostawy.

Perspektywy

Oczekuje się, że zużycie soli w Europie pozostanie na stałym poziomie lub będzie powoli spadać. Wraz z zamknięciem sektora chloro-alkalicznego i ograniczeniem zdolności produkcyjnych, zużycie soli w przemyśle chemicznym nie odbije się znacząco od niskiego poziomu po szczycie cen gazu ziemnego w latach 2022/2023. Również w przypadku odladzania, kolejnego ważnego segmentu rynku, popyt prawdopodobnie pozostanie na stałym poziomie lub będzie powoli spadał. Przewiduje się spadek liczby dni zimowych z temperaturami poniżej zera (**Fig. 10**). Wysiłki na rzecz bardziej efektywnego wykorzystania soli do odladzania również obniżają popyt. Wzrost zużycia soli do odladzania zaobserwowano w wielu krajach europejskich w wyniku poprawy warunków zimowych, w tym odladzania mniej uczęszczanych dróg i odladzania dróg w dłuższym okresie.

Europejskie organy ds. zdrowia starają się zmniejszyć dzienne spożycie soli spożywczej na osobę, aby osiągnąć limity spożycia soli zalecane przez Światową Organizację Zdrowia. Działania te są równoważone przez trend wzrostu spożycia żywności przetworzonej o wyższej zawartości soli.

Spożycie soli w żywieniu zwierząt spadało w ostatnich latach, co jest zgodne z malejącą liczbą zwierząt hodowlanych (**Fig. 11**). Oczekuje się, że trend ten utrzyma się w kolejnych latach ze względu na zmieniające się nawyki żywieniowe i rosnącą konkurencję ze strony tańszych produktów importowanych spoza Europy.

Słowa kluczowe: rynek soli, zużycie soli, przyszłość produkcji soli

WYZWANIA PRAC POSZUKIWAWCZYCH I ROZPOZNAWCZYCH ZA ZŁOŻAMI SOLI POTASOWYCH

POTASH SALTS EXPLORATION AND APPRAISAL CHALLENGES

Michael BEER¹, Michał M. ŻYWIECKI¹

¹ K₂O Potash Corp. Ltd., Melbourne, Australia

e-mails: mbeer@k2opotashcorp.com, mzywiecki@k2opotashcorp.com

Prace poszukiwawcze i rozpoznawcze za złożami soli potasowych mają typową dla różnych złóż etapowość, ale równocześnie specyfikę wynikającą z ich geologicznego występowania.

W zdecydowanej większości bada się i następnie wydobywa złoża pokładowe soli potasowych, gdyż te w diapirach posiadają dużą wewnętrzną komplikację wewnątrz strukturalną.

Wyzwania w operacjach można opisać jako formalne oraz techniczne i dotyczą one z pewnymi regionalnymi różnicami dowolnej formacji solnej na świecie.

Wyzwania formalne

Wyzwania formalne stanowią podstawę dla podjęcia decyzji inwestycyjnej. W zależności od kraju, rządy państw są bardzo otwarte na inwestycje w złoża lub pilnują monopolu już istniejących kopalń zarówno państwowych jak i prywatnych.

W naszym kraju trzy sytuacje prawne komplikują właściwe tempo postępu inwestycji.

W trakcie procedowania przez regulatora wniosków koncesyjnych, bardzo ważnym elementem jest przedstawienie gwarancji finansowych wykazujących posiadanie przez daną firmę, już na tym etapie, odpowiednich środków finansowych pokrywających całość zadeklarowanych prac poszukiwawczych i rozpoznawczych. Niezależnie czy koncesja ma trwać 5 czy 15 lat. Jest to element istotny przy ocenie wniosku koncesyjnego, zwłaszcza gdy pojawia się w procedurze „open door” wniosek konkurencyjny innej firmy.

Kolejna, to niejasność w możliwości procedowania wniosków koncesyjnych złożonych nawet na częściowo podobny teren, ale na inną kopalinę dodatkowo zalegającą na innej głębokości. Funkcjonuje to pomiędzy różnymi grupami kopalni, np. ropa i gaz a surowce chemiczne i metale, ale już w obrębie tych drugich nie ma jasnego stanowiska regulatora.

Kolejna, to trudność w dostępie do archiwalnej informacji geologicznej. Istniejąca forma płacenia za dane geologiczne, często bardzo dużych kwot, wiele milionów złotych, bardzo skutecznie zniechęca inwestorów do tematycznego złożowego penetrowania naszego kraju. Również dane będące własnością Skarbu Państwa, a przechowywane w firmach państwowych, pomimo formalnej ich dostępności, często nie są przekazywane.

Wyzwania lokalne

Przy dużej świadomości polskiego społeczeństwa nie ma prostych nawet programów informacyjnych, o tym jak ważną i oczywistą aktywnością są prace poszukiwawcze i rozpoznawcze złóż kopalni, następnie z ich wydobywaniem.

Nowym zjawiskiem, przykładowo, jest sprawdzanie przez gminy czy nawet pojedynczych mieszkańców danej gminy, zdolności finansowej firmy złożowej. Promocja świata bez kopalni wprowadza dezinformację, że wszystko da się wyprodukować w zasadzie bez surowców, przynajmniej w tą stronę zmierza plan UE.

Niestety też zjawiskiem utrudniającym prace poszukiwawczo-rozpoznawcze i to na różnych etapach jest aktywność organizacji ekologicznych, które często w swoim rozmachu już zaczynają blokować budowy farm wiatrowych czy fotowoltaicznych.

Wyzwania ekonomiczne

Podstawą tych czynników jest popyt na sole potasowe, czyli dwa główne rodzaje mineralnych nawozów naturalnych SOP (Sulphate of Potash = K_2SO_4), a przede wszystkim MOP (Muriate of Potash = KCl).

Na świecie stopniowo zmniejszają się obszary upraw, a populacja Homo Sapiens rośnie. Ze względu na wojnę na Ukrainie, korekcie uległy kierunki dostaw zwłaszcza dominującego w 90% na rynkach MOP. Bardzo intensywne zaangażowanie polityki w ekonomię, przykładowo stworzyło pakt z krajami Mercosur i konieczność dużego wzrostu dostaw MOP z Rosji i Białorusi, zwłaszcza do Argentyny i Brazylii.

Ciekawą obserwacją jest różnica w cenie MOP na rynku europejskim, gdy w Europie zachodniej mamy około USD330/tonę, a w Polsce około USD450/tonę.

Polski przemysł potrzebuje rocznie 800 tys. – 1 mln ton MOP. Duże zakłady chemiczne firm takich jak Grupa Azoty Police czy Grupa PBI sprowadzają ten produkt z Niemiec, czy nawet Kanady.

Stąd też inwestowanie w poszukiwanie, rozpoznawanie i wydobywanie soli potasowych w Polsce prognozuje się jako korzystne ekonomicznie.

Wyzwania techniczne

Ten punkt stanowi całą grupę wyzwań zaczynającą się od materiałów archiwalnych do stosowanych technik i formy ich stosowania.

➤ Badania laboratoryjne

Podstawą opisu złoża jest rozpoznanie minerałów go budujących. Często trudność występuje już na etapie pobrania próbek, gdzie nie następuje przecięcie rdzenia wiertniczego. Odstęp zaś poboru próbek np. co 10 cm lub 3 cale może powodować sukcesywne zakłamywanie wyników zarówno zawyżanie jak i zaniżanie ilości zasobów. Analizy minerałów soli potasowych też nie są badaniami standardowymi i laboratoria często nie posiadają wzorców, a stosują wartości defaultowe znajdujące się w danym oprogramowaniu. Laboratoria same wtedy przyznają, że pomiar jest raczej półilościowy np. w zakresie błędów 5-25% zawartości danego minerału.

➤ Badania sedymentologiczne

Sole potasowe i ich główny złożowy typ występujący w Polsce, czyli sylwinity (sylwin z halitem) wieku górny perm, są efektem chemicznych procesów sedymentacyjnych w zbiorniku ewaporatowym i potem zmian diagenetycznych tych minerałów.

Analiza sedymentologiczno-facjalna ich sekwencji jest bardzo ważnym i dokładnym narzędziem, razem z innymi metodami, do wyznaczania bogatych stref złożowych soli potasowych.

➤ Badania geofizyki otworowej

Podstawową geofizyczną krzywą otworową bardzo przydatną do detekcji zwłaszcza sylwinitów jest profilowanie gamma. Sondowanie to było wykonywane już od kilkadziesiąt lat, gdyż wzbudza i pokazuje wzbogacenia osadów/skał torem, uranem i potasem. Obecnie nowoczesne profilowanie gamma-spectral daje oddzielnie krzywe zawartości tych wspomnianych pierwiastków. Niestety często dobór płuczki wiertniczej powoduje, że mierzone są składniki tejże płuczki, a nie spodziewanego pierwiastka będącego elementem poszukiwanego minerału.

➤ Badania sejsmiczne

Bardzo istotną metodą poszukiwawczo-rozpoznawczą są badania sejsmiczne, oczywiście najlepiej 3D. Sole potasowe charakteryzują się dużą różnicą właściwości akustycznych w stosunku do soli kamiennych. W związku z tym, aby nie stracić, poprzez różnice plastyczności, otworów wiertniczych, takie prace

obliczeniowe są częste w basenach szelfowych Brazylii czy Zatoki Meksykańskiej. Na potrzeby wizualizacji przestrzennego występowania soli potasowych takie kalibracje są skuteczne.

Umożliwia to wizualizacje realnego występowania soli potasowych w trój-wymiarze, a nie interpolowanie lub prognozowanie pomiędzy otworami wiertniczymi, co najczęściej jest stosowane przy obliczaniu zasobów i daje często duże różnice w stosunku do prawdziwego ich rozprzestrzenienia.

➤ Raporty złożowe

Raporty złożowe, w środowisku międzynarodowym uważane jako niezależne, czyli obiektywne CPR (Competent Person Report), JORC (Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources, and Ore Reserves) oraz prawie takiej samej wagi raporty Służby Geologicznej danego kraju nie stanowią też wartości „ostatecznej”.

Podstawą przynajmniej poprawności na danym etapie prac poszukiwawczych czy rozpoznawczych takich obliczeń zasobów, jest doświadczenie danej osoby = „competent person”. Osoba taka, czyli firma/zespół powinien posiadać wiedzę szeregu metod geologicznych i obliczania zasobów.

Doświadczenia pokazują, że uważane za renomowane firmy wykonujące takie raporty, korzystają z pracowników, którzy nigdy nie odbyli wizyty w kopalni soli kamiennej czy potasowej.

Niestety rynki inwestycyjne uznają „renomę” danej tego typu firmy jako gwarancję treści takiego raportu i wykazanej wielkości zasobów soli potasowych.

Jednak, geologii-natury oszukać się nie da.

Słowa kluczowe: sole potasowe, wyzwania prac poszukiwawczych i rozpoznawczych, zysk

Exploration and appraisal works for potassium salt deposits typically involve several stages, but at the same time has specific characteristics resulting from their geological occurrence.

The vast majority of potassium salt deposits are explored and then mined, opposite to those in diapirs, which have a highly complex internal structure.

The challenges in operations can be described as formal and technical, and they apply to any salt formation in the world, with some regional differences.

Formal challenges

Formal challenges form the basis for investment decisions. Depending on the country, governments are either very open to investment in deposits or they protect the monopoly of existing mines, both state-owned and private.

In our country, three legal situations complicate the proper investment progress.

When the regulator is processing concession applications, it is very important to present financial guarantees demonstrating that the company already has at this stage, sufficient financial resources to cover all of the declared exploration and appraisal works. Regardless of whether the concession is to last 5 or 15 years. This is an important element in the assessment of a concession application, especially when a competing application from another company appears in the “open door” procedure.

Another issue is the lack of clarity regarding the possibility of processing concession applications submitted even for a partially similar area, but for a different mineral deposit located at a different depth. This applies to different groups of resources, e.g., oil and gas versus chemical raw materials and metals, but even within the latter group, the regulator's position is unclear.

Another issue is the difficulty in accessing archival geological information. The existing form of payment for geological data, often involving very large sums of money, many millions of zlotys, very effectively discourages investors from exploring our country's deposits.

Furthermore, data owned by the state treasury and stored in state-owned companies is often not disclosed, despite being formally available.

Local challenges

Despite the high level of awareness among the Polish public, there are no simple information programs about the importance and obviousness of mineral exploration and appraisal works, followed by mining.

A new phenomenon, for example, is the verification by municipalities or even individual residents of a given municipality of the financial capacity of a mining company. The promotion of a world without minerals introduces misinformation that everything can be produced without raw materials, at least according to the EU plan.

Unfortunately, another phenomenon that hinders exploration and appraisal works at various stages is the activity of environmental organizations, which, in their zeal, are already beginning to block the construction of wind farms and photovoltaic farms.

Economic challenges

These factors are based on the demand for potassium salts, i.e., the two main types of mineral fertilizers: SOP (Sulphate of Potash = K_2SO_4) and, above all, MOP (Muriate of Potash = KCl).

Cropped areas are gradually decreasing worldwide, while the population of *Homo sapiens* is growing. Due to the war in Ukraine, supply routes have been adjusted, especially for MOP, which dominates 90% of the market. Very intense political involvement in the economy has, for example, led to the creation of a pact with the Mercosur countries and the need for a large increase in MOP supplies from Russia and Belarus, especially to Argentina and Brazil.

An interesting observation is the difference in the price of MOP on the European market, where in Western Europe it is around USD 330/ton, and in Poland around USD 450/ton.

Polish industry needs 800,000 - 1 million tons of MOP annually. Large chemical plants such as Grupa Azoty Police and Grupa PBI import this product from Germany or even Canada.

Therefore, investing in the exploration, identification, and mining of potassium salts in Poland is predicted to be economically beneficial.

Technical challenges

This point represents a whole group of challenges, ranging from archival materials to the techniques used and the forms in which they are applied.

➤ Laboratory analytics

The basis for describing a deposit is the identification of the mineral(s) that compose it. Difficulties often arise at the sampling stage, where the drill core is not cut. Sampling intervals of, for example, every 10 cm or 3 inches can cause successive distortion of the results, both overestimating and underestimating the amount of resources. Potassium salt mineral analyses are also not standard tests, and laboratories often do not have equipment calibration standards, but use default values found in the software. The laboratories themselves then admit that the measurement is rather semi-quantitative, e.g., within a margin of error of 5-25% of the content of a given mineral.

➤ Sedimentological studies

Potassium salts and their main deposit type found in Poland, i.e., Sylvinites (Sylvine with Halite) of the Upper Permian age, are the result of chemical sedimentation processes in an evaporite basin and subsequent diagenetic changes in these minerals.

Sedimentological and facies analysis of their sequences are a very important and accurate tool, together with other methods, for determining rich potassium salt deposit zones.

➤ **Well geophysical logging**

Gamma rays logging is a basic geophysical well curve that is very useful for detecting Sylvinite in particular. This type of surveying has been carried out for several decades, as it detects and shows enrichments of sediments/rocks with thorium, uranium, and potassium. Currently, modern gamma-spectral well logging provides separate curves for the content of these elements. Unfortunately, the choice of drilling mud often results in the measurement of the components of the mud rather than the expected element that is part of the mineral being sought.

➤ **Seismic surveys**

Seismic surveys, preferably 3D, are a very important exploration and appraisal methods. Potassium salts are characterized by a large difference in acoustic properties compared to rock salts. Therefore, in order not to lose drilling wells due to differences in elasticity, such calculations are common in the off-shore basins of Brazil and the Gulf of Mexico. Such calibrations are effective for the purposes of visualizing the spatial occurrence of potassium salts.

This allows for the visualization of the actual occurrence of potassium salts in three dimensions, rather than interpolation or forecasting between wells, which is most often used in resource calculations and often results in large differences from their actual distribution.

➤ **Resources Reports**

Resources reports, considered independent, i.e., objective CPR (Competent Person Report), JORC (Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources, and Ore Reserves) in the international environment, and reports of the Geological Service of a given country, which are of almost equal importance, are not “final” either.

The basis for the correctness of such resource calculations at a given stage of exploration or appraisal works is the experience of a given person = “competent person.” Such a person, i.e., a company/team, should have knowledge of a range of geological methods and resource calculation methods.

Experience/observations show that companies considered reputable for producing such reports employ staff who have never visited a single rock salt or potash mine.

Unfortunately, investment markets recognize the “reputation” of such companies as a guarantee of the content of such reports and the demonstrated size of potash resources.

However, the nature of geology cannot be deceived.

Keywords: potash salts, exploration-appraisal operations, profit conditions

NOWY SZLAK KULTUROWY RADY EUROPY „EUROPEJSKI SZLAK DZIEDZICTWA SOLNEGO”

THE NEW CULTURAL ROUTE OF THE COUNCIL OF EUROPE “EUROPEAN SALT HERITAGE ROUTE”

Monika DZIOBEK-MOTYKA¹

¹ Muzeum Żup Krakowskich Wieliczka, m.dziobek@muzeum.wieliczka.pl

Od lat osiemdziesiątych XX wieku Rada Europy, we współpracy z Komisją Europejską i Parlamentem Europejskim, promuje w Europie tworzenie szlaków kulturowych. Szlaki te mają reprezentować różne wątki europejskiej pamięci, historii i dziedzictwa, podkreślać jednocześnie zarówno wspólną tożsamość, jak i różnorodność współczesnej Europy. O kierunkach rozwoju szlaków decyduje Komitet Statutowy, skupiający ministrów kultury i turystyki z 41 krajów europejskich, które podpisały tzw. Poszerzone Porozumienie Częściowe w sprawie Szlaków Kulturowych (EPA). Natomiast doradztwem i certyfikacją szlaków zajmuje się Europejski Instytut Szlaków Kulturowych (EICR) z siedzibą w Luksemburgu. Pierwszym szlakiem kulturowym Rady Europy, certyfikowanym w 1987 roku był doskonale już znany „Szlak Pielgrzymkowy do Santiago de Compostella”. Od tamtej pory powstało w Europie już 49 certyfikowanych szlaków. Dotyczą one różnych wątków historii, sztuki, religii chrześcijańskiej, czy też najważniejszych artystów i twórców europejskich. Jest to np. Szlak Hanzy, Szlak Wikingów, Szlak Mozarta, Szlak Prehistorycznej Sztuki Naskalnej, Szlak Cystersów itp. Dopiero w 2019 roku certyfikowany został pierwszy szlak, związany z przemysłem – Europejski Szlak Dziedzictwa Przemysłowego (ERIH), a nikt do tej pory nie pokusił się o stworzenie w Europie sieci, związanej z produkcją soli. A produkcja soli rozwijała się przecież w Europie przez tysiące lat i była bardzo ważnym aspektem jej rozwoju. Do tej pory w Europie w tematyce solnej, tworzone były tylko sieci o charakterze lokalnym, krajowym lub regionalnym i żadna z tych sieci nie stała się szerzej znanym certyfikowanym Szlakiem Kulturowym Rady Europy.



Muzeum Żup Krakowskich od 2023 roku promuje i rozwija w Europie ideę utworzenia dużego szlaku kulturowego, skupiającego historyczne ośrodki produkcji soli w Europie z możliwie największej ilości krajów europejskich, od zachodu po wschód i od północy po dalekie południe. Jest to również ważne z tego powodu, że dotychczas żaden ośrodek z Polski nie stworzył od podstaw szlaku kulturowego. Miejsca z Polski są na razie tylko członkami różnych szlaków. Stąd też wielkie wsparcie dla tej idei Departamentu Współpracy Zagranicznej polskiego Ministerstwa Kultury i Dziedzictwa Narodowego.

W tworzeniu szlaku Muzeum skupia się na historycznych kopalniach soli, salinach i warzelniach śródlądowych, a także salinach morskich, które zostały otwarte dla turystów i które prezentują im swoje dziedzictwo za pomocą muzeum, ekspozycji, czy podczas zwiedzania na trasie turystycznej. Biorąc te kryteria pod uwagę, potencjał szlaku w Europie szacowany jest na ok. 80 miejsc. Regulamin Szlaków Kulturowych Rady Europy zezwala na członkostwo w sieci również ośrodków położonych tuż poza granicami Europy np. w Azji Mniejszej i na północnym wybrzeżu Afryki, gdzie znajdują się ciekawe, starożytne ośrodki produkcji soli np. w Turcji, Azerbejdżanie czy Izraelu. Zakłada się również współpracę z szeroko znanymi turystycznymi kopalniami i muzeami soli na innych kontynentach np. w USA, Kanadzie, Kolumbii, Japonii czy Pakistanie. Niestety, z powodu wojny, ciekawe ośrodki produkcji soli w Ukrainie, Białorusi i Rosji nie będą mogły przystąpić do szlaku, przynajmniej na razie.

Pierwszym projektem, zrealizowanym przez Muzeum Żup w tym temacie, była organizacja jesienią 2023 roku wystawy planszowej pt. „Historyczne ośrodki produkcji soli w Europie” prezentującej 18 ośrodków solnych z 15 krajów. Została ona przygotowana we współpracy z tymi ośrodkami i już wtedy wstępnie 20 ośrodków zadeklarowało przystąpienie do szlaku. Wystawa została zaprezentowana na Forum Doradczym Szlaków Kulturowych Rady Europy w Łodzi w Polsce we wrześniu 2023. Przy tej okazji projekt został omówiony z władzami Instytutu Szlaków Kulturowych w Luksemburgu i spotkał się z dużym zainteresowaniem.

W latach 2024 – 2026 hiszpańsko-angielska edycja tej wystawy prezentowana była, jest i będzie w turystycznych ośrodkach produkcji soli na terenie Hiszpanii – w Kopalni Góra Solna Cardona oraz Muzeum Soli w L'Escali w Katalonii, w Salinie Anana w Kraju Basków, w mieście Sigüenza w Kastylii-La Manchy czy też w salinie nadmorskiej Torrevieja. W latach 2023 – 2025 Muzeum Żup realizowało również inny projekt wystawienniczy w 5 turystycznych kopalniach soli w Rumunii, prezentując tam wielką 30-planszową wystawę pt. „Salina Wielicka”. Inny projekt bilateralny to udział w czerwcu 2024 roku 30-osobowej reprezentacji Muzeum w Świątce Soli w m. Cardona w Hiszpanii jako „gość specjalny”. Muzeum zaprezentowało tam dawne rzemiosła, związane z warzelnictwem i górnictwem soli, zorganizowało zajęcia edukacyjne i sesję naukową. Projekt był też promowany w ważnych historycznych solnych ośrodkach w Austrii, Niemczech, Szwajcarii i Portugalii.



Kolejnym krokiem była organizacja w Wieliczce Forum Inauguracyjnego Szlaku Kulturowego, które Muzeum Żup Krakowskich zorganizowało w dniach 6-8 czerwca 2025. Na to pierwsze spotkanie przyszłych członków szlaku przybyli przedstawiciele 26 podmiotów z 11 krajów. Każdy ośrodek miał możliwość zaprezentowania się w swoim referacie, a także poznania kopalń w Wieliczce i Bochni. Odbity się również warsztaty robocze, na których omówiono szereg zagadnień, związanych z organizacją sieci. Wszyscy uczestnicy zgodzili się na rejestrację szlaku w Wieliczce oraz przegłosowali nową, oficjalną nazwę szlaku: „Europejski Szlak Dziedzictwa Solnego”. Inne ważne punkty warsztatów to: statut federacji, władze szlaku, finansowanie, plan działań za 3 lata, proces certyfikacji etc. Goście Forum wzięli również udział w imprezie plenerowej „Święto soli” na Zamku Żupnym w Wieliczce oraz w wernisażu wystawy „Piękno soli”, prezentującej okazy soli z różnych ośrodków europejskich.



Pod koniec 2025 roku planowana jest rejestracja w polskim sądzie Związku Stowarzyszeń, którego siedzibą będzie Zamek Żupny w Wieliczce. Ramy funkcjonowania tego związku/szlaku kulturowego określi polska Ustawa o Stowarzyszeniach oraz Regulamin Szlaków Kulturowych, stworzony w Brukseli i Luksemburgu. Zgodnie ze statutem Związku, nad którym prace jeszcze trwają, członkiem szlaku będzie mogła zostać instytucja lub firma, państwowa lub prywatna, stowarzyszenie lub fundacja, prezentujące zwiedzającym swoje solne dziedzictwo, jak również spółki zajmujące się produkcją soli. Członkami szlaku nie będą mogły być osoby fizyczne i samorządy. Szlak będzie miał swojego Prezydenta, Komitet Sterujący składający się z kilku (5-10) przedstawicieli ośrodków solnych oraz Komitet Naukowy, do którego zaproszeni zostaną europejscy specjaliści w tematyce dziedzictwa solnego Europy, głównie naukowcy z europejskich uczelni.



Potencjał szlaku jest ogromny, a jego działalność przewidziana jest na wiele lat. Można ją podzielić na kilka ważnych obszarów: współpraca naukowa, współpraca w zakresie edukacji społeczeństw Europy o solnym dziedzictwie, promocja i cross-promocja turystyczna, pomoc w organizacji projektów inwestycyjnych.

Współpraca naukowa ośrodków solnych będzie polegała na organizacji wspólnych badań i wymianie informacji w zakresie badań naukowych: geologicznych, mineralogicznych, archeologicznych i archeologii przemysłowej, historycznych, ekonomicznych, etnograficznych, medycznych, antropologicznych, z obszaru sztuki, kultury materialnej i niematerialnej oraz szeregu innych badań interdyscyplinarnych. Zakłada się wymianę biblioteczną między ośrodkami, redakcję i publikację wielotomowej wielojęzycznej

monografii „Dzieje soli w Europie”, współpracę przy publikacji monografii tematycznych, przewodników, albumów czy słowników. Zakłada się również współpracę przy organizacji wystaw czasowych i wymianę eksponatów muzealnych. Co roku w różnych ośrodkach organizowane będą konferencje, warsztaty i seminaria, na których spotykać się będą członkowie szlaku i specjaliści z zewnątrz. Spotkaniom towarzyszyć będą wizytacje techniczne i szkoleniowe. W trakcie spotkań członkowie będą dzielić się wiedzą praktyczną i doświadczeniami związanymi z zarządzaniem i organizacją turystyki w ośrodkach. Planowana jest też organizacja dłuższych stażów szkoleniowych dla pracowników ośrodków za granicą, również w oparciu o programy Erasmus. Planowana jest wymiana wiedzy w zakresie organizacji projektów edukacyjnych dla różnych grup wiekowych (dzieci, seniorów, osób z niepełnosprawnościami), a także spotkania i prelekcje organizowane online.

Sztandarowym projektem kulturalnym będzie współpraca przy organizacji imprez plenerowych „Święto Soli”, przeznaczonych dla szerokich rzesz odbiorców. Na takich jednodniowych lub dwudniowych imprezach tysiące zwiedzających poznają dawne rzemiosła związane z solą. W ramach szlaku ośrodki będą łatwiej mogły wspólnie kreować i realizować projekty artystyczne: muzyczne, teatralne, audiowizualne, których motywem przewodnim będzie sól. Planowana jest też współpraca kulturalna z innymi szlakami kulturowymi Rady Europy, ośrodkami badawczymi, uczelniami i innymi niecertyfikowanymi szlakami i sieciami, związanymi z solą.

Dzięki szlakowi zorganizowana zostanie wspólna promocja historycznych ośrodków produkcji soli za pomocą mediów elektronicznych – wspólna strona www prezentująca wszystkie ośrodki szlaku – ich opisy, zdjęcia i informacje praktyczne. Szlak będzie miał swoje konta na portalach społecznościowych i będzie aktywnie przeprowadzał kampanie informacyjne w mass-mediach, współpracując z touroperatorami, agencjami turystycznymi, twórcami przewodników, blogerami podróżniczymi i influencerami.

W miarę możliwości szlak ułatwi współpracę ośrodków w zakresie projektów inwestycyjnych. Będą to konsultacje, doradztwo i pomoc w odbudowie, renowacji lub rewitalizacji zabytkowych budynków salinarnych, wzajemna pomoc w pozyskiwaniu funduszy na ten cel, pomoc i konsultacje w zakresie konserwacji zabytkowych urządzeń i ciągów technologicznych, doradztwo w zakresie organizacji nowych funkcji w ośrodkach np. lecznictwa w oparciu o sól i solanki, rozwój sprzedaży usług i towarów czy wzajemna sprzedaż produktów.

Pierwsze 3 lata działalności szlaku w latach 2025-2028 będą służyły nawiązaniu współpracy ośrodków i wzajemnemu poznaniu się, określeniu czego poszczególne ośrodki oczekują od szlaku i jaki może być ich wkład. Podjęte zostaną również czynności w celu przygotowania i zgłoszenia wniosku o certyfikację szlaku do Instytutu Szlaków w Luksemburgu, a następnie przeprowadzenie udanej certyfikacji.

Since the 1980s, the Council of Europe, in cooperation with the European Commission and the European Parliament, has promoted the creation of cultural routes in Europe. These routes are intended to represent various threads of European memory, history, and heritage, highlighting both the shared identity and the diversity of contemporary Europe. The Statutory Committee, comprising the ministers of culture and tourism from 41 European countries that have signed the Enlarged Partial Agreement on Cultural Routes (EPA), determines the directions for the development of the routes. The European Institute of Cultural Routes (EICR), based in Luxembourg, provides advice and certifies the routes. The first Council of Europe cultural route, certified in 1987, was the now well-known "Pilgrimage Route to Santiago de Compostela." Since then, 49 certified routes have been established in Europe. They address various themes of history, art, the Christian religion, and the most important European artists and creators. These include the Hansa Route, the Viking Route, the Mozart Route, the Prehistoric Rock Art Route, the Cistercian Route, and others. The first industry-related route, the European Route of Industrial Heritage (ERIH), was certified only in 2019, and until now, no one has attempted to create a network in Europe related to salt production. Salt production has, after all, developed in Europe for thousands of years and has been a crucial aspect of its development. Until now, only local, national, or regional networks have been established in Europe for salt-related activities, and none of these networks has become a widely recognized, certified Cultural Route of the Council of Europe.

Since 2023, the Kraków Saltworks Museum has been promoting and developing the idea of creating a major cultural route in Europe, bringing together historic salt production centers in Europe from as many countries as possible, from west to east and from north to the far south. This is also important because, to date, no Polish center has created a cultural route from scratch. The Polish sites are currently members of various routes. Hence the strong support for this idea from the Department of International Cooperation of the Polish Ministry of Culture and National Heritage.

In developing the route, the Museum is focusing on historic salt mines, inland saltworks, and saltworks, as well as marine saltworks that have been opened to tourists and present their heritage through museums, exhibitions, and guided tours. Taking these criteria into account, the route's potential in Europe is estimated at approximately 80 sites. The Council of Europe Cultural Routes Regulations also allow for membership in the network of centers located just outside Europe, such as in Asia Minor and the northern coast of Africa, where interesting, ancient salt production centers are located, such as in Turkey, Azerbaijan, and Israel. Collaboration with well-known tourist salt mines and museums on other continents, such as the USA, Canada, Colombia, Japan, and Pakistan, is also planned. Unfortunately, due to the war, the interesting salt production centers in Ukraine, Belarus, and Russia will not be able to join the route, at least for now.

The first project implemented by the Saltworks Museum on this topic was the organization of a board exhibition in the fall of 2023 entitled "Historic Salt Production Centers in Europe," presenting 18 salt centers from 15 countries. It was prepared in collaboration with these centers, and at that time, 20 centers had already declared their intention to join the route. The exhibition was presented at the Advisory Forum on Cultural Routes of the Council of Europe in Łódź, Poland, in September 2023. At that time, the project was discussed with the authorities of the Institute of Cultural Routes in Luxembourg and met with considerable interest.

From 2024 to 2026, the Spanish-English edition of this exhibition was, is, and will be presented in tourist salt production centers across Spain – at the Cardona Salt Mine and the Salt Museum in L'Escala in Catalonia, the Anana Salt Mine in the Basque Country, the town of Sigüenza in Castile-La Mancha, and the Torrevieja coastal salt mine. From 2023 to 2025, the Saltworks Museum also implemented another exhibition project in five tourist salt mines in Romania, presenting a large 30-panel exhibition entitled "Wieliczka Salt Mine." Another bilateral project involved the participation of a 30-person representative of the Museum in the Salt Festival in Cardona, Spain, as a "special guest" in June 2024. The Museum presented historical crafts related to salting and mining, and organized educational activities and a scientific session. The project was also promoted in important historical salt centers in Austria, Germany, Switzerland and Portugal.

The next step was the organization of the Inaugural Cultural Route Forum in Wieliczka, which the Kraków Saltworks Museum organized from June 6-8, 2025. Representatives from 26 entities from 11 countries attended this first meeting of the future members of the route. Each center had the opportunity to present its presentation and learn about the Wieliczka and Bochnia mines. Workshops were also held, during which a number of issues related to the organization of the network were discussed. All participants agreed to register the route in Wieliczka and voted on the new, official name of the route: "European Salt Heritage Route." Other highlights of the workshop included the federation's statute, the route's authorities, financing, a three-year action plan, the certification process, and more. Forum guests also attended the "Salt Festival" outdoor event at the Wieliczka Saltworks Castle and the opening of the "Beauty of Salt" exhibition, showcasing salt specimens from various European centers.

The Association of Associations, headquartered at the Wieliczka Saltworks Castle, is scheduled to register with a Polish court by the end of 2025. The framework for the operation of this association/cultural route will be defined by the Polish Act on Associations and the Regulations on Cultural Routes, developed in Brussels and Luxembourg. According to the Association's statute, which is still being developed, members of the route will be eligible for public or private institutions or companies, associations or foundations, presenting their salt heritage to visitors, as well as companies engaged in salt production. Individuals and local governments will not be eligible for membership. The route will have a President, a Steering Committee consisting of several (5-10) representatives of salt centers, and a Scientific Committee, to which European experts in the field of Europe's salt heritage, primarily scientists from European universities, will be invited.

The route's potential is enormous, and its operations are expected to last for many years. These can be divided into several important areas: scientific cooperation, cooperation in educating European societies about the salt heritage, tourism promotion and cross-promotion, and assistance in organizing investment projects.

Scientific cooperation between the salt centers will involve joint research and the exchange of information in the fields of geological, mineralogical, archaeological, industrial archaeological, historical, economic, ethnographic, medical, anthropological, art, material and immaterial culture, and a range of other interdisciplinary studies. Library exchanges between the centers are planned, as well as the editing and publication of a multi-volume, multilingual monograph entitled "The History of Salt in Europe," and collaboration on the publication of thematic monographs, guidebooks, albums, and dictionaries. Collaboration in organizing temporary exhibitions and exchanging museum exhibits is also planned. Annual conferences, workshops, and seminars will be held at various centers, bringing together members of the route and external specialists. These meetings will be accompanied by technical and training visits. During these meetings, members will share practical knowledge and experiences related to tourism management and organization at the centers. Longer training internships for center staff abroad are also planned, including through Erasmus programs. An exchange of knowledge is planned in the field of organizing educational projects for various age groups (children, seniors, people with disabilities), as well as meetings and lectures organized online.

A flagship cultural project will be collaboration in organizing the "Salt Festival" outdoor events, intended for a wide audience. These one- or two-day events will allow thousands of visitors to learn about ancient salt-related crafts. The route will make it easier for centers to collaborate and implement artistic projects—musical, theatrical, and audiovisual—with salt as a central theme. Cultural collaboration is also planned with other Council of Europe cultural routes, research centers, universities, and other uncertified salt-related routes and networks.

The route will facilitate joint promotion of historic salt production centers using electronic media, including a shared website showcasing all the route's centers, including descriptions, photos, and practical information. The route will have its own social media accounts and will actively conduct mass media information campaigns, collaborating with tour operators, travel agencies, guidebook creators, travel bloggers, and influencers.

Where possible, the route will facilitate cooperation between centers on investment projects. This will include consultations, advice, and assistance in the reconstruction, renovation, or revitalization of historic saltworks buildings, mutual assistance in raising funds for this purpose, assistance and consultations in the conservation of historic equipment and technological lines, advice on the organization of new functions in centers, such as salt and brine-based treatment, the development of sales of services and goods, and the cross-selling of products.

The first three years of the route's operation, from 2025 to 2028, will serve to establish cooperation between the centers and help them get to know each other, defining what each center expects from the route and what their contribution can be. Steps will also be taken to prepare and submit the route certification application to the Luxembourg Routes Institute, and then successfully complete the certification process.

SOLNE RZEŻBY WIELICKICH GÓRNIKÓW W KRAJU KWITNĄCEJ WIŚNI

SALT SCULPTURES BY WIELICZKA MINERS IN THE LAND OF THE CHERRY BLOSSOM

Agnieszka WOLAŃSKA¹, Mariola KACZOR²

¹ Kopalnia Soli „Wieliczka” S.A., Park Kingi 1, 32-020 Wieliczka, e-mail: agnieszka.wolanska@kopalnia.pl

² Kopalnia Soli „Wieliczka” Turystyka Sp. z o. o., Park Kingi 10, 32-020 Wieliczka,
e-mail: mariola.kaczor@kopalnia.pl

Na wyspie Yumeshima, w Osace od kwietnia do połowy października br., trwa święto pełne barw, niezwykłości i atrakcji z całego świata. W ramach Expo 2025 prezentują się wystawcy z ponad 160 krajów, a łączna szacowana liczba zwiedzających wystawę może osiągnąć 28 mln.

Kopalnia Soli „Wieliczka” znalazła się w zaszczytnym gronie przedsiębiorstw i instytucji reprezentujących Polskę na Expo 2025 w Japonii. W dniach 10-16 sierpnia br., podczas tygodnia Województwa Małopolskiego, uczestnikiem przedsięwzięcia była wielicka kopalnia, a warsztat górników-rzeźbiarzy był jedną z głównych atrakcji. Japończycy zachwycają się solą kamienną tym mocniej, że znają głównie sól morską.



Fot. 1. Pawilon Polska, Expo 2025, Osaka, Japonia (fot. Adrian Stykowski)

Fig. 1. Pavilion of Poland, Expo 2025, Osaka, Japan (photo by Adrian Stykowski)

Japończycy darzą swoje dziedzictwo kulturowe i przyrodnicze wyjątkowym szacunkiem. Na Liście UNESCO znajduje się ponad 20 japońskich miejsc i obiektów reprezentujących zarówno odległe epoki, np. zabytkowy zespół Kioto, jak i historię nowożytną, np. Pomnik Pokoju w Hiroshimie. Interesujący jest wpis Fuji, którą uznano dziedzictwem ze względu na walory widokowe oraz wpływ góry na japońską sztukę.

Im mniej, tym więcej – tak można w wielkim skrócie opisać estetykę zen. Japończycy wysoko cenią naturalne surowce, ich oryginalną barwę, fakturę. W pawilonie Polski byli zafascynowani solnymi rzeźbami, które powstawały podczas warsztatów. Górniczy-rzeźbiarze postanowili połączyć polski

surowiec z dalekowschodnimi inspiracjami. Wybrali symboliczne i ważne dla Japończyków motywy: samuraja, zapaśników sumo oraz sakurę, czyli kwiat wiśni.

Ozdobą pawilonu Polski była solna Korona Bolesława Chrobrego. Unikatową rzeźbę zaprojektował i wykonał wielicki górnik-rzeźbiarz Jan Banaś. Obiekt składa się z różnych rodzajów soli: z zielonej, miodowej i spizowej.



Fot. 2. Solna Korona Bolesława Chrobrego

Fig. 2. *The Salt Crown of Bolesław the Brave*

Po zakończeniu Tygodnia Małopolski na Expo w Osace, solna korona została przekazana na ekspozycję tokijskiego Muzeum Tytoniu i Soli. Dołączyła do dzieł sztuki, które nasi artyści stworzyli w roku 2014. Wtedy na Daleki Wschód wyeksponowaliśmy m.in. ważącą 800 kg figurę św. Kingi, wyrzeźbioną przez górnika Marka Stachurę.

Solne rzeźby wykonane przez wielickich górników były eksponowane na Wystawach Światowych już w XIX wieku, natomiast w Japonii po raz pierwszy w 2005 roku, podczas Expo w prefekturze Aichi. Wystawcy z całego świata skoncentrowali się wokół hasła ówczesnego Expo - „Mądrości natury”. Absolutnie niezwykle wiklinowy pawilon Polski, a w nim grota solna wraz z żyrandolem, ozdobionym solą kryształową, przyciągał rzesze, zafascynowanych zwiedzających. Opowieść o Polsce osnuto wokół Fryderyka Chopina i jego muzyki oraz solnych rzeźb z Kopalni Soli „Wieliczka”: św. Kingi, Skarbnika i ważącego ponad 5 kg solnego serca.

Tradycja rzeźbienia w soli przez wielickich górników jest wciąż kontynuowana, a dzięki mecenatowi zarządu Kopalni Soli „Wieliczka” jest ważną częścią górniczego dziedzictwa.

Słowa kluczowe: sól, rzeźbiarstwo w soli, górnik-rzeźbiarz, kopalnia soli „Wieliczka”, Expo2025, Osaka

On Yumeshima Island in Osaka, from April until mid-October this year, a festival full of colours, unique experiences, and attractions from around the world is taking place. Expo 2025 has brought together exhibitors from more than 160 countries, and the total estimated number of visitors is expected to reach 28 million.

The “Wieliczka” Salt Mine is among the companies and institutions representing Poland at Expo 2025 in Japan. Between 10–16 August 2025, during the Lesser Poland Week, the sculptor miners’ workshop was one of the main attractions. The Japanese are particularly fascinated by rock salt, as they are more familiar with sea salt.

The Japanese hold their cultural and natural heritage in exceptional esteem. More than 20 Japanese sites and monuments are inscribed on the UNESCO World Heritage List, representing both distant eras, such as the Historic Monuments of Ancient Kyoto, and modern history, such as the Hiroshima Peace Memorial. Particularly interesting is the inscription of Mount Fuji, recognised for its scenic beauty and its influence on Japanese art.

“Less is more” – this phrase aptly summarises Zen aesthetics. The Japanese highly value natural materials, their original colours and textures. In the Polish Pavilion, they were captivated by the salt sculptures created during the workshops. The miner-sculptors decided to combine the Polish material with Far Eastern inspirations, choosing motifs symbolic and meaningful to the Japanese: a samurai, sumo wrestlers, and sakura – the cherry blossom.

The highlight of the Polish Pavilion was the salt Crown of King Bolesław the Brave, a unique sculpture designed and crafted by Wieliczka miner-sculptor Jan Banaś. The piece was made from different types of salt: green, honey, and bronze.

After the Lesser Poland Week at Expo in Osaka, the salt crown was donated to the Tobacco and Salt Museum in Tokyo. It joined works of art created by Polish artists in 2014, when, among others, an 800-kilogram statue of St. Kinga, sculpted by miner Marek Stachura, was sent to the Far East.

Salt sculptures created by the Wieliczka miners had already been exhibited at World Expositions in the 19th century, and in Japan for the first time in 2005, during Expo in Aichi Prefecture. At that time, exhibitors from all over the world gathered under the theme “Nature’s Wisdom.” The extraordinary wicker Polish Pavilion, featuring a salt grotto and a chandelier decorated with crystal salt, attracted crowds of fascinated visitors. The story of Poland was presented through the music of Fryderyk Chopin and the salt sculptures from the “Wieliczka” Salt Mine: St. Kinga, the Treasurer, and a salt heart weighing more than 5 kilograms.

Keywords: salt, salt sculpting, miner-sculptor, “Wieliczka” Salt Mine, Expo2025, Osaka

PODUSZKI SOLNE PÓŁNOCNO-ZACHODNIEJ I CENTRALNEJ POLSKI JAKO POZIOMY IZOLACYJNE WYSTĄPIENIE WĘGLOWODORÓW

SALT PILLOWS OF NORTH-WESTERN AND CENTRAL POLAND AS ISOLATION HORIZONS OF HYDROCARBONS CONCENTRATIONS

Grzegorz CZAPOWSKI¹, Marta HODBOD¹, Leszek SKOWROŃSKI¹, Jarosław ZACHARSKI¹

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

Poduszki i pokłady solne stanowią doskonałe poziomy izolujące dla nagromadzeń węglowodorów w zbiornikowych skałach podścielających.

Lokalizacja w pobliżu i w obrębie struktur solnych (1 pokład i 20 poduszek solnych) przejawów obecności węglowodorów (100 otworów wiertniczych i 25 udokumentowanych złóż węglowodorów) w utworach podścielających kompleksy solne cechsztynu w NW i centralnej Polsce, wskazuje możliwość pełnienia przez niektóre z tych struktur roli izolacyjnej dla potencjalnych nagromadzeń węglowodorów. Te struktury to 8 poduszek solnych (Wysoka Kamieńska 2, Stargard Szczeciński-Maszewo, Szczecinek, Potczyn Zdrój 1, Czaplinek=Potczyn Zdrój 2, Człuchów, Szubin i Strzelce Krajeńskie-Toruń=Orzełek-Koronowo-Toporzyska) oraz pokład najstarszej soli kamiennej (Na1) w rejonie Darłowa.

Słowa kluczowe: poduszki solne, poziomy izolacyjne, nagromadzenia węglowodorów, NW i centralna Polska

Salt pillows and seams became the perfect isolation horizons for hydrocarbons concentrations within the bottom reservoir rocks.

Location of hydrocarbons evidences (100 boreholes and 25 registered hydrocarbons deposits) nearby and within the salt structures (one salt seam and 20 salt pillows) from NW and central Poland area suggested that some of such structures could be isolation barriers for suspected hydrocarbons concentrations within the rocks underlying the salt complexes. Such structures are as follows: 8 salt pillows (Wysoka Kamieńska 2, Stargard Szczeciński-Maszewo, Szczecinek, Potczyn Zdrój 1, Czaplinek=Potczyn Zdrój 2, Człuchów, Szubin i Strzelce Krajeńskie-Toruń=Orzełek-Koronowo-Toporzyska) and the seam of Oldest Halite (Na1) near Darłowo.

Keywords: salt pillows, isolation horizons, hydrocarbons concentrations, NW and central Poland

Referat będzie opublikowany w formie artykułu w Przeglądzie Solnym 2025

Full text will be published in Salt Review 2025

ZBLIŹNIACZENIA DEFORMACYJNE W EWAPORATACH CZAP WYSADÓW SOLNYCH MOGILNA I GOLENIOWA

DEFORMATION TWINNING IN EVAPORITES FROM THE CAP-ROCKS OF THE MOGILNO AND GOLENIÓW SALT DIAPYRS

Joanna JAWORSKA¹

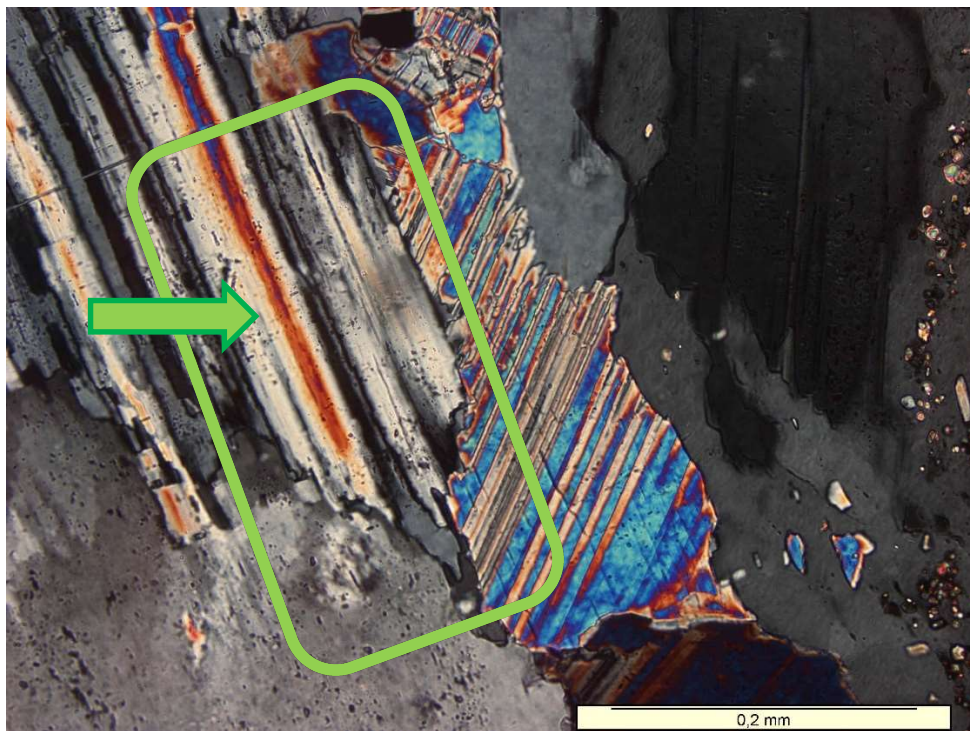
¹ Instytut Geologii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, ul. B. Krygowskiego 12, Poznań
e-mail: veronika@amu.edu.pl

W czapach wysadów solnych Mogilna i Goleniowa zaobserwowano występowanie anhydrytów ze zbliżnieniami deformacyjnymi (**Fot. 1 i 2**). Zbliżnienia deformacyjne są formą deformacji plastycznych zależną od temperatury (Passchier and Trouw, 2005). W badaniach eksperymentalnych przeprowadzonych przez Müllera et al. (1981) oraz Zulaufa et al. (2010) zbliżnienia w anhydrycie udało się zaobserwować dopiero wówczas, kiedy próbki poddano temperaturze rzędu 345-350°C przez okres kilku – kilkadziesiąt dni, co odpowiada tempu odkształceń ($\dot{\epsilon}$) rzędu 10^{-6} – 10^{-7} s⁻¹.

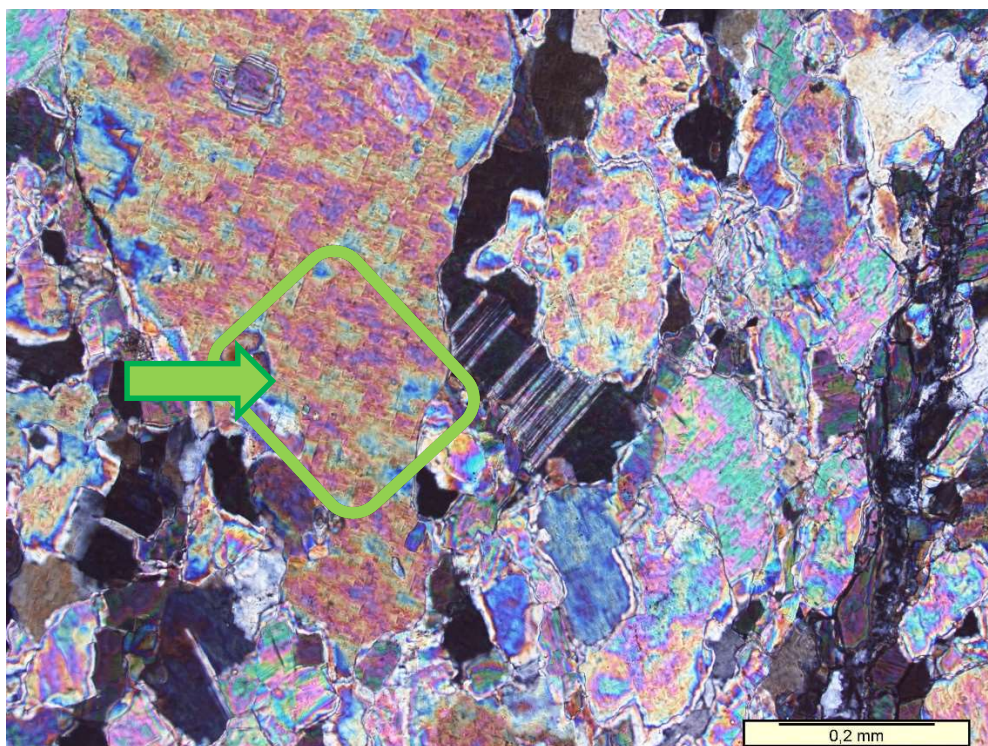
Obecność zbliżnień w anhydrytach w czapach obu wysadów solnych (Goleniowa jak i Mogilna) jest o tyle ciekawa, że w samych czapach nie mogły zostać wygenerowane temperatury nawet zbliżone do 300°C. Spąg czapy wysadu solnego Goleniowa znajduje się na głębokości ok. 900 m, a spąg czapy wysadu Mogilna – na głębokości ok. 250 m, co przy średnim stopniu geotermicznym dla głębokości ok. 1000 m daje wartość rzędu 30-35°C. Dodatkowo temperatury w stropie permu dolnego – skałach macierzystych dla obu wysadów solnych – na Niżu Polskim w rejonie Goleniowa osiągają ok. 120-130°C, a w rejonie Mogilna – ok. 170-180°C (Górecki et al., 2006).

Powyższe obserwacje jednoznacznie wskazują, że zbliżnienia deformacyjne w anhydrycie powstają w znacznie niższych temperaturach niż 350°C, nawet rzędu 120°C. Kluczowym czynnikiem sprzyjającym ich powstaniu w niższych temperaturach jest założenie tempa odkształceń ($\dot{\epsilon}$) na poziomie 10^{-11} – 10^{-15} s⁻¹. To jest założenie, że procesy geologiczne, które sprzyjały deformacjom plastycznym i formowaniu zbliżnień deformacyjnych, trwały znacznie dłużej (tzn. dziesiątki-setki tysięcy lat) niż te przyjęte w eksperymentach (kilkanaście-kilkadziesiąt dni).

Słowa kluczowe: anhydryt, zbliżnienia deformacyjne, czapa, wysad solny



Fot. 1. Zbliżniaczenia deformacyjne w anhydrycie; czapa wysadu solnego Mogilna
Fig. 1. Deformation twinning in anhydrite; the cap-rock of the Mogilno Salt Diapir



Fot. 2. Zbliżniaczenia deformacyjne w anhydrycie; czapa wysadu solnego Goleniowa
Fig. 2. Deformation twinning in anhydrite; the cap-rock of the Goleniów Salt Diapir

In the cap-rocks of the Mogilno and Goleniów Salt Diapirs, the occurrence of anhydrites with deformation twinning has been observed (Fig. 1 and 2). Deformation twinning is a form of plastic deformation controlled by temperature (Passchier and Trouw, 2005).

Experimental studies conducted by Müller et al. (1981) and Zulauf et al. (2010) demonstrated that twinning in anhydrite could only be induced when samples were subjected to temperatures of approximately 345–350 °C over a period of several to several dozen days, corresponding to strain rates ($\dot{\epsilon}$) on the order of 10^{-6} – 10^{-7} s⁻¹.

The occurrence of deformation twins in anhydrites within the cap-rocks of both diapirs (Goleniów and Mogilno) is particularly intriguing, as the cap rocks themselves could not have attained temperatures anywhere near 300 °C.

The base of the Goleniów cap-rock lies at a depth of ca. 900 m, while that of Mogilno is situated at a depth of ca. 250 m. Considering an average geothermal gradient at depths around 1000 m, the expected temperature is only 30–35 °C. Furthermore, temperatures in the top of the Lower Permian—the source rocks of both salt diapirs—in the Polish Lowlands reach approximately 120–130 °C in the Goleniów region and 170–180 °C in the Mogilno region (Górecki et al., 2006).

These observations clearly demonstrate that deformation twinning in anhydrite can develop at significantly lower temperatures than 350 °C, potentially as low as ~120 °C. A key factor facilitating the formation of deformation twins under such lower thermal conditions is the assumption of strain rates ($\dot{\epsilon}$) on the order of 10^{-11} – 10^{-15} s⁻¹. This implies that the geological processes promoting crystal-plastic deformation and twinning persisted over much longer timescales (tens to hundreds of thousands of years) compared to laboratory experiments, which lasted only several to several dozen days.

Keywords: anhydrite, deformation twinning, cap-rock, salt diapir

LITERATURA / REFERENCES:

- Górecki W. (red.), Hajto M. et al., 2006. Atlas zasobów geotermalnych formacji paleozoicznej na Niżu Polskim. AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie. Ministerstwo Środowiska, NFOŚiGW w Warszawie. Druk GOLDRUK (www.goldruk.com.pl). ISBN 978-83-88927-14-0. 240 p.
- Muller W.H., Schmidt S.M., Briegel U., 1981. Deformation experiments on anhydrite rocks of different grain sizes: rheology and microfabric. *Tectonophysics*, 78: 527–543.
- Passchier C.W., Trouw R.A.J., 2005. Microtectonics. 2nd edition. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg. 366 p.
- Zulauf G, Zulauf J., Bornemann O., Brenker F.E., Höfer H.E., Peinl M., Woodland A.B., 2010. Experimental deformation of a single-layer anhydrite in halite matrix under bulk constriction. Part 2: Deformation mechanisms and the role of fluids. *Journal of Structural Geology*, 32, 3: 264–277.

LITOSTRUKTURALNE ZRÓŻNICOWANIE CZAPY WYSADU SOLNEGO ZŁOŻA SOLI KAMIENNEJ MOGILNO I

Agnieszka PLUCIŃSKA¹, Mirella KROWIARZ¹, Krzysztof WACHOWSKI¹

¹ Inowrocławskie Kopalnie Soli „SOLINO” S.A., ul. Św. Ducha 26a, 88-100 Inowrocław,
e-mail: agnieszka.plucinska@solino.pl, mirella.krowiarz@solino.pl, krzysztof.wachowski@solino.pl

Czapa wysadu solnego jest ośrodkiem geologicznym o skomplikowanych cechach litostrukturalnych. Jako integralny element wysadu solnego warunki i zależności panujące w czapie przekładają się bezpośrednio na warunki planowania i prowadzenia eksploatacji złoża. Szczegółowe rozpoznanie geologiczne i hydrogeologiczne stanowi fundament do optymalnego monitorowania prowadzonej działalności na złożu i zabezpieczenia w sytuacjach awaryjnych.

Słowa kluczowe: czapa wysadu, złożo Mogilno I, wysad solny, residuum, diapir, gips, anhydryt, utwory ilaste, mineralizacja wód, monitoring kopalni soli, bezpieczeństwo eksploatacji

The salt dome cap is a geological structure with complex lithostructural features. As an integral element of the salt dome, the conditions and interdependencies within the cap directly impact the planning and operation of the deposit. Detailed geological and hydrogeological exploration provides the foundation for optimal monitoring of deposit operations and emergency response.

Keywords: salt dome cap, Mogilno I deposit, salt dome, residue, diapir, gypsum, anhydrite, clay formations, water mineralization, salt mine monitoring, operational safety

Referat będzie opublikowany w formie artykułu w Przeglądzie Solnym 2025

Full text will be published in Salt Review 2025

WYSADY SOLNE LUBIEŃ I ŁANIĘTA, A GEOTERMIA NISKOTEMPERATUROWA – WPŁYW NA DYNAMIKĘ TERMICZNĄ WÓD PODZIEMNYCH

LUBIEŃ AND ŁANIĘTA SALT DOMES AND LOW-TEMPERATURE GEOTHERMAL ENERGY – IMPACT ON THE THERMAL DYNAMICS OF GROUNDWATER

Patryk BLADUSIAK^{1,2}, Tomasz OPERACZ¹, Kamil PAWELEC¹

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

² Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków,
e-mail: patbladusiak@agh.edu.pl

Obszar badawczy zlokalizowany jest w centralnej Polsce, w obrębie basenu cechsztyńskiego. Obiektami badań są wysady solne Łanięta i Lubień – permskie struktury solne, które przebijają utwory mezozoiczne i wpływają na warunki geotermalne w swoim otoczeniu (Bujakowski, Tarkowski, 2001; Czapowski, Bukowski, 2010). Struktury te znajdują się w północno-wschodniej części Wysoczyzny Kujawskiej, w obrębie antyklinorium kujawsko-pomorskiego, który jest częścią antyklinorium środkowopolskiego (Chetmiński i in., 2016). Wysady solne są jedną z przyczyn występowania anomalii temperaturowych (Hudec, Jackson, 2007; Mottaghy i in., 2011; Ondrak i in., 1998).

Badania terenowe zostały przeprowadzone przez Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy w celu określenia wpływu wysadów solnych na warunki hydrogeologiczne. Wykorzystano urządzenie Levellogger 5 firmy Solinst, umożliwiające bardzo dokładną rejestrację temperatury wód podziemnych (z dokładnością do 0,001 °C). Analiza zmian termicznych wód zwykłych w otoczeniu wysadów pozwoliła na ocenę ich wpływu na lokalny potencjał płytkiej geotermii.

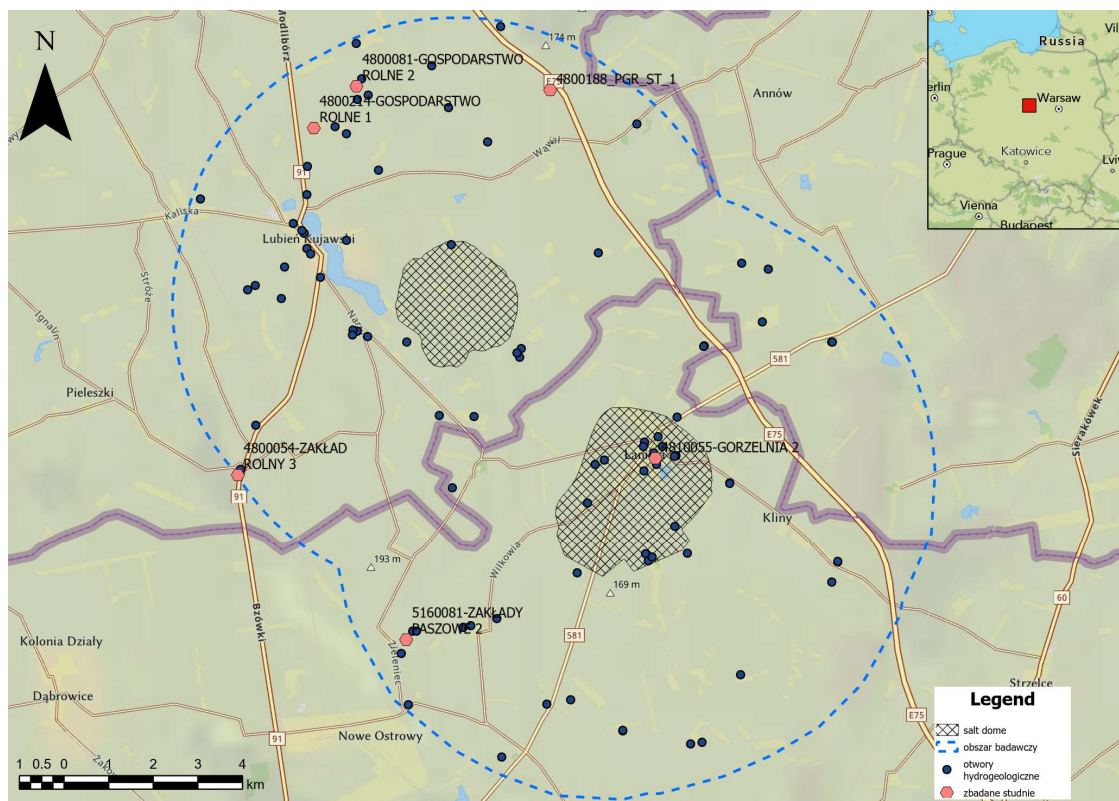
Do badań wytypowano istniejące otwory hydrogeologiczne o głębokości powyżej 30 m p.p.t., położone w odległości do 5 km od hipotetycznej strefy oddziaływania wysadów. W otworach nieuzbrojonych, w których stan techniczny umożliwia prowadzenie badań, wykonywano profilowanie temperaturowe. Pomiar realizowano w pełnym zakresie głębokości otworu – od zwierciadła wody do jego dna – z rejestracją zmian temperatury w funkcji głębokości. Podczas prac terenowych sprawdzono 55 otworów, z czego w 7 możliwe było wykonanie profilowania temperaturowego, a w 10 kolejnych – ograniczano się do pomiaru punkowego temperatury w próbce wody pobranej z otworu.

Uzyskane wyniki umożliwiły określenie zakresu anomalii temperaturowych na badanym obszarze. Rezultaty badań pozwoliły na ocenę i wskazanie możliwości wykorzystania potencjału energetycznego badanego obszaru przy zastosowaniu geotermii niskotemperaturowej.

Podziękowania

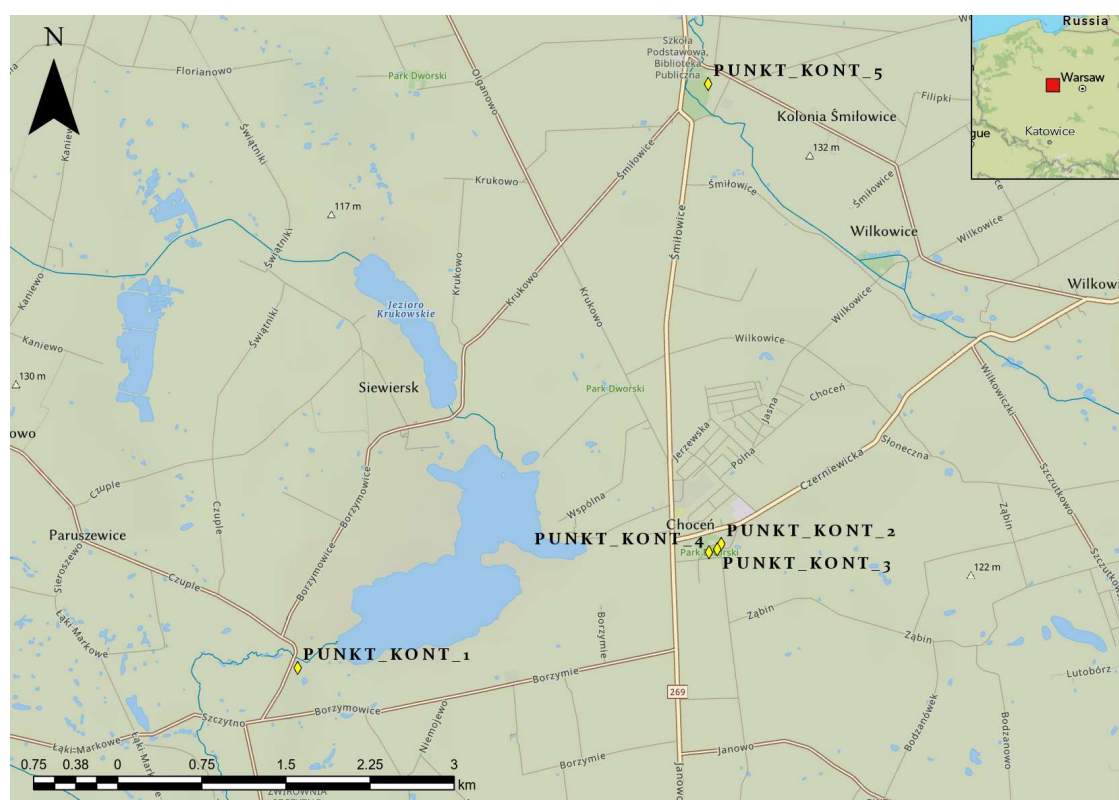
Badania nad wpływem wysadów solnych na wody zwykłe zostały zrealizowane w ramach projektu finansowanego z subwencji MNiSW.

Słowa kluczowe: geotermia niskotemperaturowa, cechsztyń, wody zwykłe, anomalie temperaturowe, krzywe temperaturowe



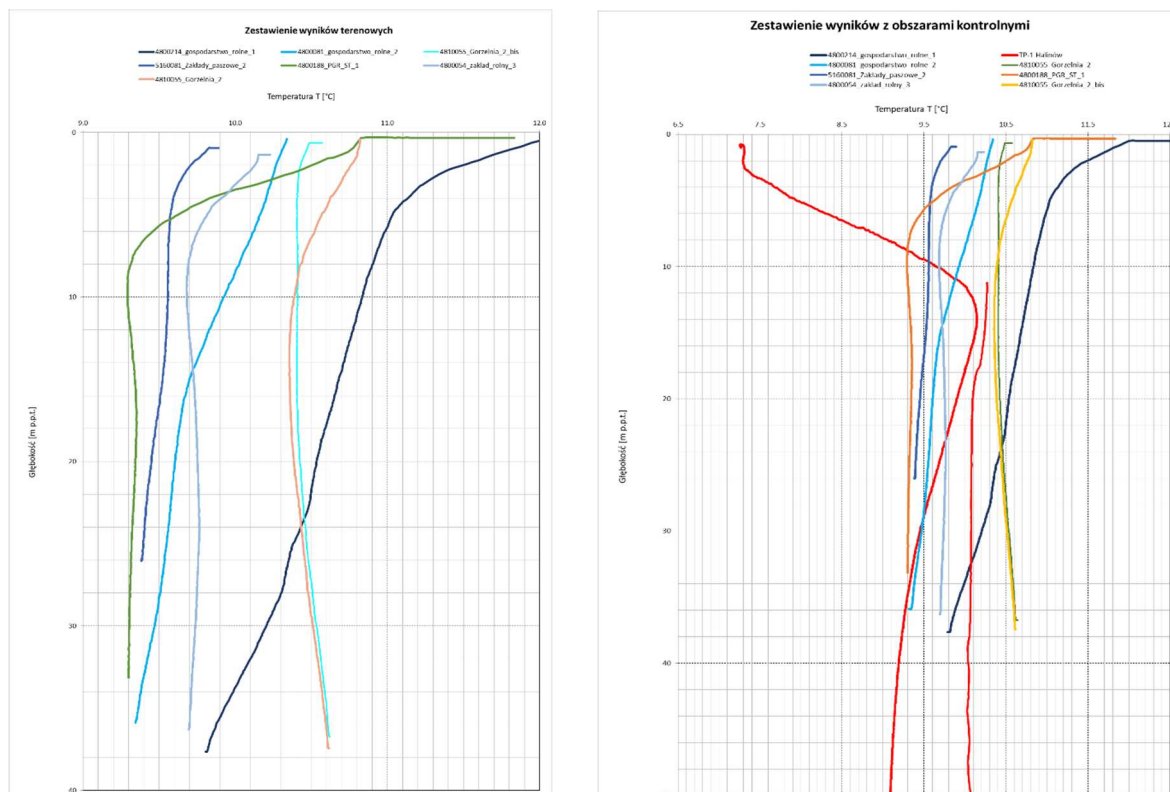
Ryc. 1. Obszar badań ze studniami o głębokości powyżej 30 metrów

Fig. 1. Study area with water wells deeper than 30 meters



Ryc. 2. Obszar kontrolny

Fig. 2. Control area



Ryc. 3. a) Krzywe temperaturowe otworów w obrębie potencjalnego oddziaływania wysadów solnych; b) Zestawienie krzywych temperaturowych z obszaru z potencjalnym oddziaływaniem wysadu solnego z krzywymi temperaturowymi z obszarów kontrolnych i otworu TP-1 Halinów (Kłonowski, Żeruń, 2024) (bez oddziaływania wysadów solnych)

Fig. 3. a) Temperature curves of wells in the area of potential impact of salt domes; b) Comparison of temperature curves from the area with potential impact of salt domes with temperature curves from control areas and TP-1 Halinów well (Kłonowski, Żeruń, 2024) (without impact of salt domes)

The study area is located in central Poland, within the Zechstein Basin. The objects of research are the Łanięta and Lubień salt diapirs – Permian salt structures that pierce Mesozoic formations and influence the geothermal conditions in their surroundings (Bujakowski, Tarkowski, 2001). These structures are situated in the north-eastern part of the Kujawy Upland, within the Kujawy–Pomerania anticlinorium (the part of Mid-Polish Trough) (Chetmiński et al., 2016; Czapowski, Bukowski, 2010). Salt domes are one of the causes of temperature anomalies (Hudec, Jackson, 2007; Mottaghy et al., 2011; Ondrak et al., 1998).

Field investigations were carried out by the Polish Geological Institute – National Research Institute to determine the impact of the salt diapirs on hydrogeological conditions. A Levellogger 5 device (Solinst) was used, enabling highly accurate groundwater temperature registration (with an accuracy of 0.001°C). The analysis of thermal variations in fresh groundwater around the diapirs made it possible to assess their influence on the local shallow geothermal potential.

The study involved existing hydrogeological boreholes with depths exceeding 30 m b.g.l., located up to 5 km from the diapirs' impact zone. Temperature profiling was performed in unfinished wells whose technical condition allowed for research. Measurements were taken across the full depth range of the well – from the water table to the bottom – recording temperature changes as a function of depth. During fieldwork, 55 boreholes were inspected, of which 7 allowed for temperature profiling, while 10 others were limited to spot temperature measurements of water samples collected from the well.

The obtained results allowed for the determination of the extent of temperature anomalies in the study area. The study results allowed for the assessment and identification of the potential for exploiting the energy potential of the study area using low-temperature geothermal energy.

Acknowledgements

The research on the influence of salt diapirs on fresh groundwater was conducted as part of a project funded by the Ministry of Science and Higher Education.

Keywords: low-temperature geothermal energy, Zechstein, fresh groundwater, thermal anomalies, temperature curves

LITERATURA / REFERENCES:

- BUJAKOWSKI W., TARKOWSKI R., 2001. Thermal characteristics of the rock mass in the area of salt domes. *Przegląd Górniczy* 57 (10): 15–20.
- CHEŁMIŃSKI J., CZAPOWSKI G., MAŁOLEPSZY Z., NOWACKI Ł., ROSOWIECKA O., STĘPIEŃ U., 2016. Integracja wgłębnych danych geologicznych i geofizycznych w celu uszczegóławiania budowy geologicznej wysadów solnych na przykładzie wysadu Łanięta. *Przegląd Solny* 12: 98–113.
- CZAPOWSKI G., BUKOWSKI K., 2010. Geology and resources of salt deposits in Poland: the state of the art. *Geological Quarterly* 54: 509–518.
- HUDEC M.R., JACKSON M.P., 2007. Terra infirma: Understanding salt tectonics. *Earth-Science Reviews* 82 (1–2): 1–28.
- KŁONOWSKI M.R., ŻERUŃ M., 2024. Shallow subsurface temperature at the selected locations in Poland. *Proceedings of the 49th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*, Stanford University, Stanford, CA, USA, 12–14 February 2024.
- MOTTAGHY D., PECHNIG R., VOGT C., 2011. The geothermal project Den Haag: 3D numerical models for temperature prediction and reservoir simulation. *Geothermics* 40: 199–210.
- ONDRAK R., WENDEROTH F., SCHECK M., BAYER U., 1998. Integrated geothermal modeling on different scales in the Northeast German basin. *Geologische Rundschau* 87: 32–42.

WSPÓŁCZESNY DIAPIRYZM FORMACJI SOLNYCH ORMUZ (IRAN) I ARA (OMAN) - ANALOGIE DO EWOLUCJI CECHSZTYŃSKICH WYSADÓW SOLNYCH NIŻU POLSKIEGO

CONTEMPORARY DIAPIRISM OF THE HORMUZ (IRAN) AND ARA (OMAN) SALT FORMATIONS - ANALOGIES TO THE EVOLUTION OF THE ZECHSTEIN SALT DOMES OF THE POLISH LOWLANDS

Krzysztof BUKOWSKI¹, Hubert KIERSNOWSKI²

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

² Państwowy 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 największych kompleksów soli kamiennej na świecie powstawał około 550 milionów lat temu, od późnego neoproterozoiku (ediakaru) do wczesnego kambriu. Ewaporaty formowały się wzdłuż krawędzi Gondwany, obejmując m.in. obszary dzisiejszego Iranu, Iraku, Zatoki Perskiej, Omanu, Kataru, Pakistanu i północnych Indii.

Obecnie w rejonie pasa fałdowo-nasuwczego Zagros (Iran) uformowanego w wyniku zderzenia płyty arabskiej z płytą euroazjatycką występuje ponad 200 struktur solnych, z czego, kilkadziesiąt pod dnem Zatoki Perskiej. Część tych struktur solnych (wysadów), powstała w efekcie stresu tektonicznego oraz efektu izostatycznego bezpośrednio w obrębie aktywnego orogenu Gór Zagros, część na przedpolu orogenu, w obszarze Zatoki Perskiej. Osobną grupę stanowią wysady solne związane ze stresem tektonicznym związanym z obszarem nasunięcia ofiolitów i ich przedpola, oraz wysady powstałe praktycznie wyłącznie w wyniku ciśnienia izostatycznego i hydrostatycznego skał nadkładu.

W rejonie gór Zagros, oprócz stromo wyniesionych diapirów odstaniających się na powierzchni terenu, występują również charakterystyczne „lodowce solne” (namaiker) powstałe w wyniku poziomego, grawitacyjnego przemieszczania się soli na powierzchni. Prezentowane przykłady współczesnych form geomorfologicznych pochodzą m.in. z wysadu Jashak (południowo-zachodni Iran), dwóch wysadów zlokalizowanych na wyspach Zatoki Perskiej oraz pięciu z obszaru Omanu. W Omanie na powierzchnię przebija się siedem diapirów podobnego wieku (ediakar) należących do formacji solonośnej Ara. W ich obrębie występują przewarstwienia (do 150 m) skał węglanowych typu *stringers*, które często pełnią funkcję skały macierzystej dla złóż ropy naftowej. Współcześnie można je obserwować na powierzchni, gdzie w czapach wysadów tworzą brekcjowe pokrywy lub występują w postaci wyniesionych fragmentów ławic, które budują izolowane wzgórza (dżebele).

Dzięki temu, że wiele diapirów solnych soli w Iranie i Omanie odstania się bezpośrednio na powierzchni, możliwe jest prowadzenie szczegółowych obserwacji procesów geomorfologicznych, w tym wpływu klimatu, prowadzących do powstawania brekcji z nierozpuszczalnych skał czy też rozwoju krasu solnego. Możliwe jest także prowadzenie ciągłej rejestracji aktywności tektonicznej i dynamiki wynoszenia się wysadów, a wyniki tych badań mogą znaleźć zastosowanie do interpretacji budowy wewnętrznej wysadów soli wieku cechsztyńskiego na obszarze Niżu Polskiego. Przykładowo w polskim basenie cechsztyńskim (w tzw. strefie TESZ) zdefiniowano poduszki solne z podobnymi „porwakami” (*stringers*) składających się z pakietów węglanowo-anhydrytowych (Ca1-A1d) inkorporowanych w obręb przemieszczających się soli. Struktury te rozpoznane w rejonie solnej poduszki Szubina nie mają jednak znaczenia ekonomicznego.

Słowa kluczowe: sole formacji Hormuz, sole formacji Ara, sole cechsztyńskie, diapiry solne, wysady soli

One of the world's largest rock salt complexes formed approximately 550 million years ago, from the late Neoproterozoic (Ediacaran) to the early Cambrian. Evaporites formed along the margin of Gondwana, encompassing areas such as present-day Iran, Iraq, the Persian Gulf, Oman, Qatar, Pakistan, and northern India.

Currently, the Zagros fold-and-thrust belt (Iran), formed by the collision of the Arabian plate with the Eurasian plate, contains over 200 salt structures, several dozen of which are located beneath the Persian Gulf. Some of these salt structures (diapirs) were formed as a result of tectonic stress and isostatic effects directly within the active Zagros Mountains orogen, while others were formed on the foreland of the orogen, in the Persian Gulf area. A separate group consists of salt domes related to tectonic stress associated with the area of ophiolite overthrust and their foreland, as well as domes formed almost exclusively as a result of isostatic and hydrostatic pressure of the overburden rocks.

In the Zagros Mountains region, in addition to steeply elevated diapirs exposed at the surface, there are also characteristic "salt glaciers" (namaiker), formed by the horizontal, gravitational movement of salt across the surface. The examples of contemporary geomorphological features presented here come from, among others, the Jashak diapir (southwestern Iran), two diapirs located on the Persian Gulf islands, and five diapirs from the Oman region. In Oman, seven diapirs of similar age (Ediacaran) belonging to the Ara salt-bearing formation protrude to the surface. Within them are interbedded (up to 150 m) carbonate stringers, which often act as source rock for oil deposits. These can be observed at the surface today, forming breccia covers in the diapir caps or occurring as elevated fragments of beds that form isolated hills (jebels).

Due to the fact that many salt diapirs in Iran and Oman are exposed directly at the surface, it is possible to conduct detailed observations of geomorphological processes, including the influence of climate, leading to the formation of breccias from insoluble rocks or the development of salt karst. Continuous recording of tectonic activity and the dynamics of diapir uplift is also possible, and the results of these studies can be applied to interpreting the internal structure of Zechstein-age salt diapirs in the Polish Lowlands. For example, in the Polish Zechstein Basin (in the so-called TESZ zone), salt pillows with similar "stringers" have been identified, consisting of carbonate-anhydrite packages (Ca1-A1d) incorporated into the migrating salts. However, these structures, identified in the Szubin Pillow area, are of no economic significance.

Keywords: Hormuz salt formation, Ara salt formation, Zechstein salt formation, salt diapirs, salt domes

MODELOWANIE GEOLOGICZNE 3D NA POTRZEBY PODEJMOWANIA DECYZJI: UWZGLĘDNIANIE ZŁOŻONOŚCI WEWNĄTRZSOLNEJ

3D GEOLOGICAL MODELING FOR DECISION MAKING: ADDRESSING INTRASALT COMPLEXITY

Jonas HASE¹, Robert NEUMEISTER¹

¹ DEEP.KBB GmbH, Eyhauser Allee 2a, 26160 Bad Zwischenahn, Germany

e-mail: jonas.hase@deep-kbb.de, robert.neumeister@deep-kbb.de

Abstract: Geological 3D modeling offers a powerful framework for integrating geological data such as borehole data, petrophysical data, geophysical data and spatial data to generate the basis for the realistic interpretation of salt deposits. For cavern construction, such models enable precise delineation of salt boundaries between suitable and unsuitable salt for the construction of caverns, the identification of geological risk horizons such as potash layers and the prediction of cavern geometry based on structural features. By visualizing complex geometries and simulating construction scenarios, 3D models improve risk assessment, optimize cavern design, and support compliance with safety and regulatory requirements. This data-driven approach facilitates transparent communication among engineers, geologists, and decision-makers, ultimately reducing uncertainty and enhancing the long-term performance of salt cavern projects. To illustrate this approach, two case studies demonstrate the practical application of 3D modeling for site-specific and field-scale challenges.

Intro

Subsurface salt bodies exhibit a wide spectrum of geometries and intrasalt structures, ranging from stratiform bedded sequences to highly deformed diapiric or domal structures. In certain sedimentary basins, complex tectono-sedimentary histories have produced transitional settings where bedded evaporites are locally mobilized into domal structures, resulting in complex intrasalt geometries. The approach aims to achieve a precise understanding of this geological framework to provide accurate information of the structural stability for both cavern-specific locations and broader field-scale site assessments. This knowledge is essential, as it directly influences the ideal cavern placement, cavern construction, and the associated operational risks.

In bedded salt, the original stratification of various evaporitic lithologies is generally preserved, reflecting laterally consistent depositional conditions over large distances. This continuity often results in broadly similar layering patterns both basin-wide and on regional scale, while interbeds of anhydrite, shale, or other evaporitic facies locally influence mechanical anisotropy, creep behavior, and the occurrence of impurity zones. Domal salt, in contrast, is characterized by halokinetic deformation, disruption of the original layering, and the development of strong, sometimes isoclinal folding with steep or overturned flanks. An accurate representation of the geology in both settings is essential for delineating the boundaries for cavern development to access the targeted layers, anticipating heterogeneity in geomechanical properties, and identifying potential pathways for fluid migration.

Geological 3D modeling offers a tool for robust decision-making, by integrating different data sets from e.g. borehole data, petrophysical data, geophysical data, and spatial data into a coherent model of the intrasalt structures as well as salt deposit geometry.

Methods / Data

The construction of a robust geological 3D model relies on the integration of a wide range of input parameters, of both lithological and structural data. An accurate representation of these parameters is critical for capturing the spatial variability and internal structure of salt formations, whether bedded or domal. Some of the key parameters considered in geological 3D models are the following.

Data for the Lithological Interpretation

Lithological interpretation along the wells forms the foundation of the model and is derived from multiple sources:

- *Drill cores and cuttings: Direct sampling provides high-resolution insight into mineralogical composition and texture.*
- *Petrophysical measurements: Petrophysical logs such as gamma ray, density, photoelectric effect, neutron porosity and others are used to interpret the geology in the wells in detail. With these measurements geologists are able to determine the lithological boundaries in each well.*
- *Geochemical analyses: Bromide concentrations in Halite are used to determine the evaporation degree in the evaporation cycle of the salt, with that the relative age of the layer and its distance to the next evaporation cycle. While cavern development and analyses of the brine composition reveals information on the leached salt units, which can be used to refine the model for further applications.*

Data for the Structural Interpretation

Structural parameters are used to determine the geometry of the salt deposit and the intrasalt structures. Some selected parameters include:

- *Core measurements: Dip and dip direction data from cores provide a local structural context.*
- *Ground Penetrating Radar (GPR): Offers high-resolution imaging of phase boundaries in the surrounding of the well. These can be used for the large-scale structural interpretation and the determination of the salt dome flanks.*
- *Geophysical logs (e.g., Imager logs): Facilitate detailed structural mapping along the borehole, also including small-scale faults and fractures.*
- *Echometric cavern surveying: In fields with existing caverns, the sonar surveys can be used for the structural interpretation, as the cavern geometry follows the geology in which it is developed.*

These lithological and structural data sets, with a strong focus on the specific challenges of salt geology, are subsequently combined within a 3D modeling software: Borehole data are interpolated and correlated with structural data, allowing for the construction of lithological boundaries inside and outside of the salt body as well as the external shape of the salt body. This integrated model is able to depict both, the lateral continuity of bedded sequences as well as the complex geometries of domal salt structures. By doing this it is able to provide a quantitative basis for subsequent risk assessment, cavern design, and operational planning.

Case Studies: Application and Interpretation of 3D Models

Building on the data for structural interpretation, the following case studies demonstrate how the integrated 3D model is applied to address site-specific and field-scale challenges. These examples illustrate (1) the practical value of the modeling approach for optimizing cavern placement in addition to 2D well site data and (2) minimizing both operational and abandonment risks.

The first case shows why a geological 3D model is needed to analyze the surrounding geology of a well. Even though conventional borehole measurements are a key tool in geology for characterizing the surrounding rock, the practical experience shows that detailed logs alone do not always provide the resolution needed in the surrounding of the well to ensure the construction of a technically reliable cavern. The following example case clearly illustrates these limitations.

Both gamma ray (GR) and sonic measurements were performed in a borehole (Figure 1A). Neither log showed any anomalies that would indicate lithological heterogeneity. Based on this data, it was assumed that the borehole was located in a homogeneously developed halite interval, so that a low-risk solution mining process was expected. However, after the start of the solution mining process the cavern developed in an unexpected shape. Instead of a uniformly shaped structure, significant back pockets formed in both the northern and southern directions (Figure 1B). The morphology of the cavern thus deviated significantly from the predicted cylindrical geometry. An accompanying analysis of the cavern brine provided the key information, that the chemical composition showed significant potassium content, which clearly indicated the dissolution of a potash seam. Since no corresponding signal had been identified in the original log, it had to be assumed that although the borehole had not directly intersected the seam, it had passed in close proximity to it, standing at a saiger angle. This potash seam was subsequently intersected laterally during the solution mining process and gradually dissolved. Only the subsequent creation of a high-resolution 3D geological model allowed for the precise reconstruction of the geological situation. For this purpose further boreholes in the surrounding area were analyzed and correlated with each other in order to initially reconstruct a 2D section (Figure 1C) and based on this the exact three-dimensional course of the seam (Figure 1D). With the help of this 3D model, it was possible to identify high-risk areas for further drilling in the field and prevent future failed wells.

Technically, however, a 3D model could also help with caverns that have already been completed. Using a 3D model as a decision-making tool, it would be possible to decide how a cavern should be abandoned, hereby again setting the focus on e.g. potash seams for potential brine pathways.

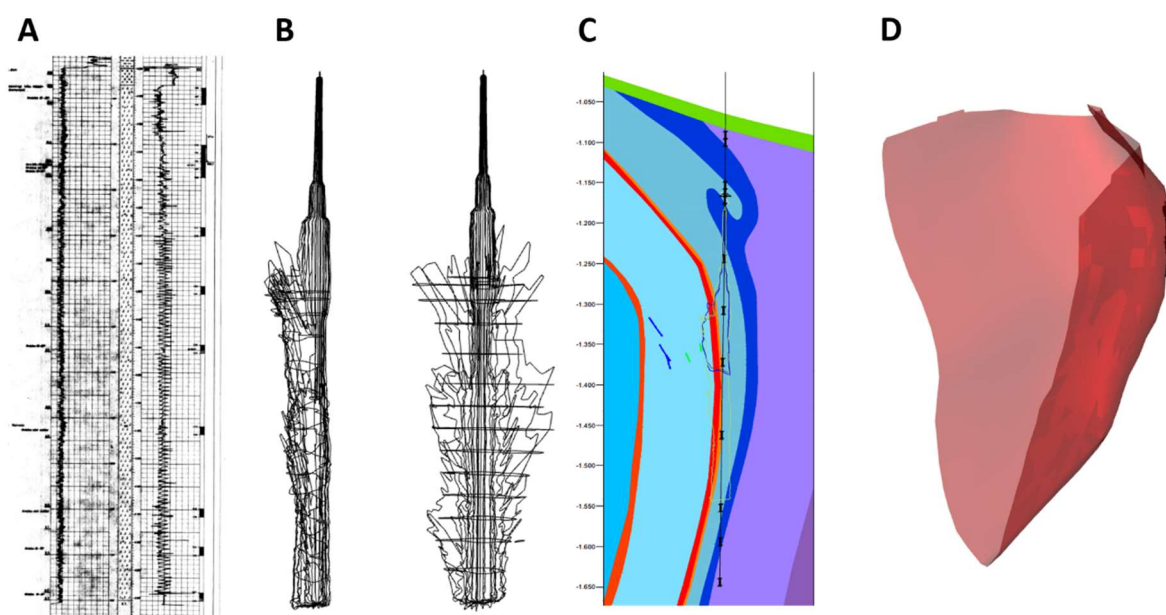


Fig. 1. (A) shows the GR (left) and sonic log (right), both indicating mostly rock salt, (B) shows the final cavern after leaching, (C) shows the structural interpretation in a 2D section, with (D) showing the cavern including the steeply dipping potash anticline in its direct proximity

While in the first example conventional borehole measurements and the 3D model only provide retrospective indications of undesirable geological structures, the early integration of comprehensive data into a geological 3D model can significantly reduce the risk of failed wells. An example from a project in Germany illustrates how a preventive approach successfully avoided the failure of a planned drilling operation (Fig. 2).

New storage wells were to be planned in an existing cavern field. The aim was to define the landing points as precisely as possible so that the subsequent cavern would not touch any critical formations, especially no potash seams. The customer specified a preferred target area in the salt structure where the next well was to be drilled. Based on a large number of geological data sets including data from drilling, logging and cavern surveys, a high-resolution 3D model of the entire field was created (Figure 2). This model

showed a prominent, steeply dipping potash seam in the area specified by the client, located in close proximity to the planned drilling path. The early availability of the 3D model enabled to redesign the borehole. Using deviated drilling, the well path was adjusted so that it landed in a geologically safe part of the salt structure. This eliminated the risk of unwanted intersections and created the basis for the development of a technically safe cavern.

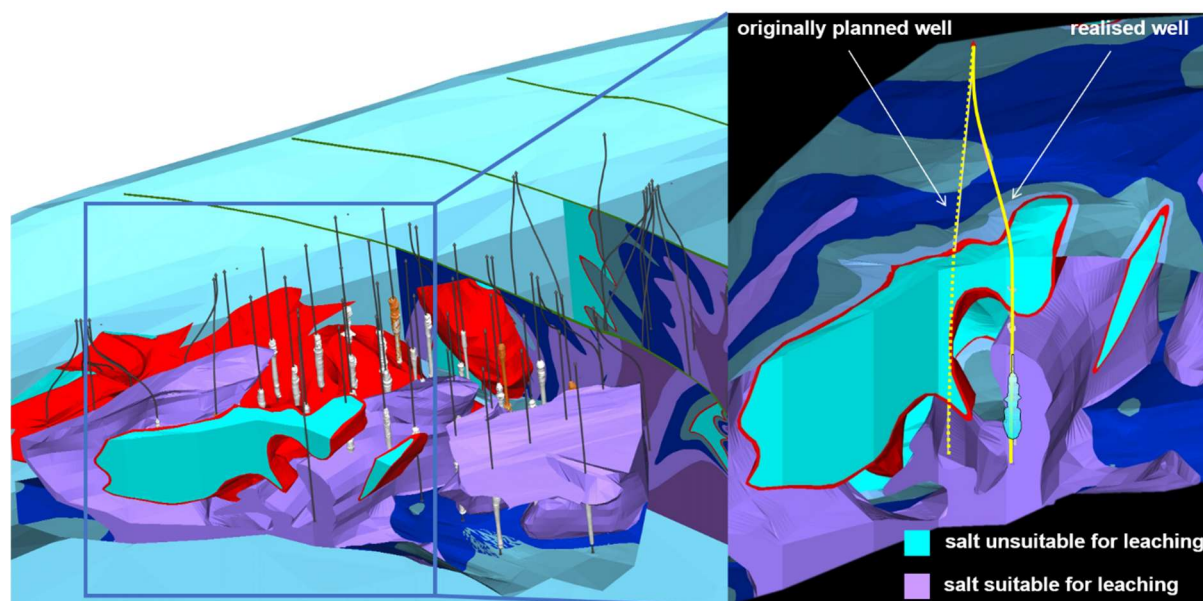


Fig. 2. Screenshot of the 3D model including the cavern field and various 2D sections. On the right the originally planned well (dotted yellow line) intersecting the potash seam twice and the in the end realised well (solid yellow line) and the cavern constructed in completely suitable salt

Conclusion

The presented case studies clearly illustrate the critical role of 3D geological modeling as a decision-making tool in cavern development. In the first case, the absence of anomalies in conventional well logs led to a misinterpretation of the subsurface, which only became evident after severe lateral leaching occurred. In contrast, the second case demonstrates how the integration of extensive geological data into a high-resolution 3D model enabled the early identification of a hazardous potash seam, allowing the well trajectory to be proactively adjusted. These contrasting outcomes highlight that while well logs provide essential input data, their full value unfolds only when embedded within a spatially consistent three-dimensional framework. 3D modeling not only reconstructs complex subsurface conditions retrospectively but, more importantly, acts as a predictive instrument that supports informed operational decisions. By enabling early risk identification, optimized well placement, and more reliable cavern design, 3D models transform geological complexity from a source of uncertainty into a manageable factor within the planning process.

Keywords: Geological 3D Modeling, Salt caverns, Salt geology, Structural geology, Risk assessment, Intra Salt Modeling

Słowa kluczowe: Modelowanie geologiczne 3D, Kawerny solne, Geologia solna, Geologia strukturalna, Ocena ryzyka, Modelowanie wewnątrzsolne

ZASADY DOKUMENTOWANIA WARUNKÓW GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKICH NA POTRZEBY PODZIEMNEGO BEZZBIORNIKOWEGO MAGAZYNOWANIA I SKŁADOWANIA – PORADNIK PAŃSTWOWEJ SŁUŻBY GEOLOGICZNEJ

GUIDELINES FOR ENGINEERING-GEOLOGICAL CONDITIONS ASSESSMENT FOR GEOLOGICAL STORAGE AND DISPOSAL PURPOSES

Marta SOKOŁOWSKA^{1*}, Edyta MAJER¹

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Jagiellońska 76, 03-301 Warszawa

*e-mail: msoko@pgi.gov.pl

W referacie zostanie zaprezentowany jeden z najnowszych poradników państwowej służby geologicznej pt.: „Zasady dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich na potrzeby podziemnego bezzbiornikowego magazynowania i składowania” (z wyłączeniem odpadów promieniotwórczych) opracowany w 2023 roku. Poradnik został sfinansowany całkowicie ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej. Poradnik można pobrać ze strony https://geoportal.pgi.gov.pl/atlas_y_gi/publikacje.

Poradnik ten skierowany jest głównie do geologów inżynierskich sporządzających dokumentację geologiczno-inżynierską na potrzeby podziemnego bezzbiornikowego magazynowania substancji lub podziemnego składowania odpadów w górotworze, a także do projektantów, inwestorów oraz przedstawicieli administracji geologicznej. Jego celem jest wdrażanie dobrych praktyk do sporządzania dokumentacji geologiczno-inżynierskich na potrzeby podziemnego bezzbiornikowego magazynowania i składowania wymienionych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Rozporządzenie..., 2016).

Poradnik podzielono na 2 części. **Część pierwsza** to synteza podstawowych informacji na temat podziemnego bezzbiornikowego magazynowania substancji i podziemnego składowania odpadów. **Część drugą** stanowią rekomendacje dotyczące wykonywania i sprawdzania dokumentacji geologiczno-inżynierskiej w odniesieniu do obowiązujących przepisów i dobrych praktyk z uwzględnieniem roli dokumentacji geologiczno-inżynierskiej w procesie inwestycyjnym.

W pierwszej części poradnika przedstawiono krótką charakterystykę struktur geologicznych i formacji przydatnych do prowadzenia takiej działalności, w tym: formacje złóż węglowodorów, formacje wodonośne, formacje skalne słaboprzepuszczalne oraz formacje złóż węgla kamiennego (**Fig. 1**).

Wprowadzono także podział obiektów podziemnych z uwzględnieniem pochodzenia zbiornika (naturalny lub antropogeniczny) oraz rodzaju formacji przeznaczonej do składowania/magazynowania (**Fig. 2**). Każdy z typów został scharakteryzowany pod kątem wad i zalet ich stosowania oraz zasad pracy obiektu.

W poradniku poświęcono także uwagę zagadnieniom związanym z czynnikami i kryteriami oceny lokalizacji obiektów podziemnych. Na podstawie zebranej literatury zestawiono czynniki i kryteria wpływające na wybór lokalizacji podziemnych bezzbiornikowych magazynów substancji i podziemnych składowisk odpadów, w tym: geologiczne, techniczne, ekonomiczne, środowiskowe, społeczne, polityczne, administracyjno-prawne. W poradniku skupiono się przede wszystkim na czynnikach geologicznych i aspektach prawnych.

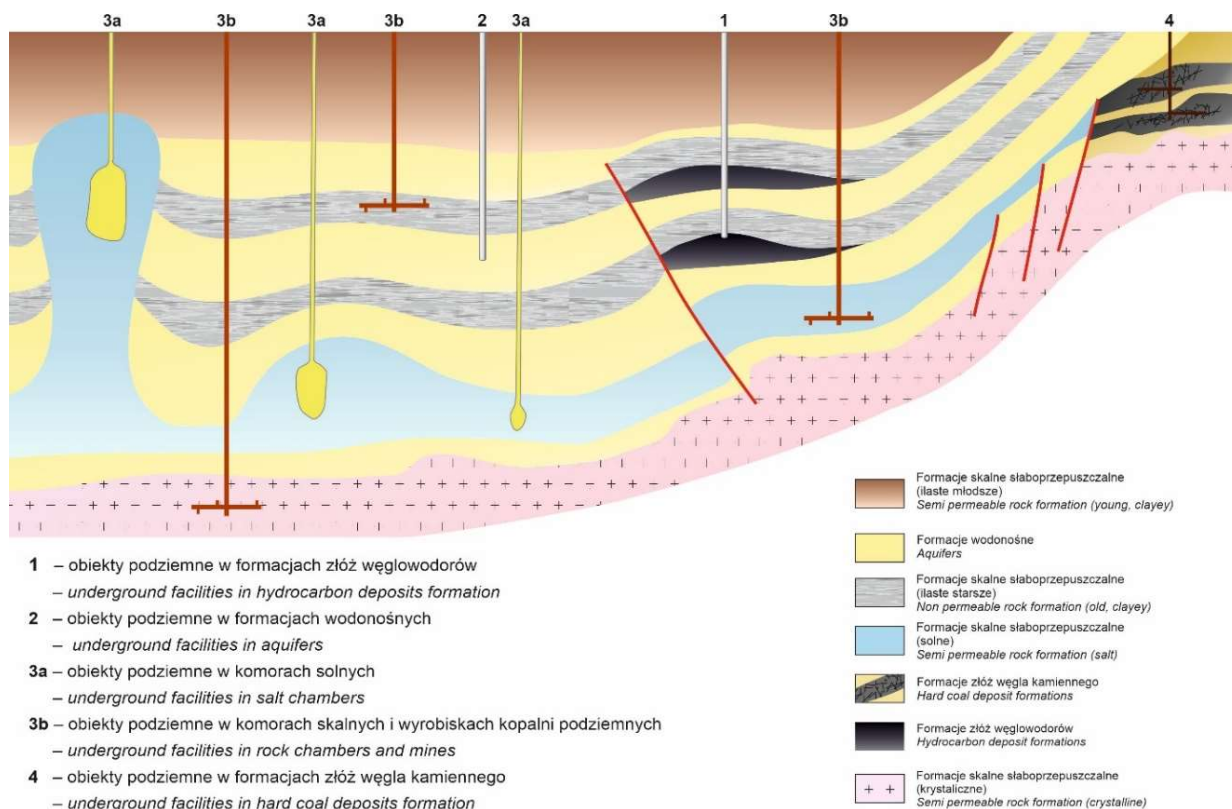


Fig. 1. Rodzaje obiektów podziemnych na tle struktur geologicznych i formacji perspektywicznych dla magazynowania i składowania (Sokołowska, Majer, 2024)

Fig. 1. Types of underground facilities in different geological structures and formations suitable for geological storage

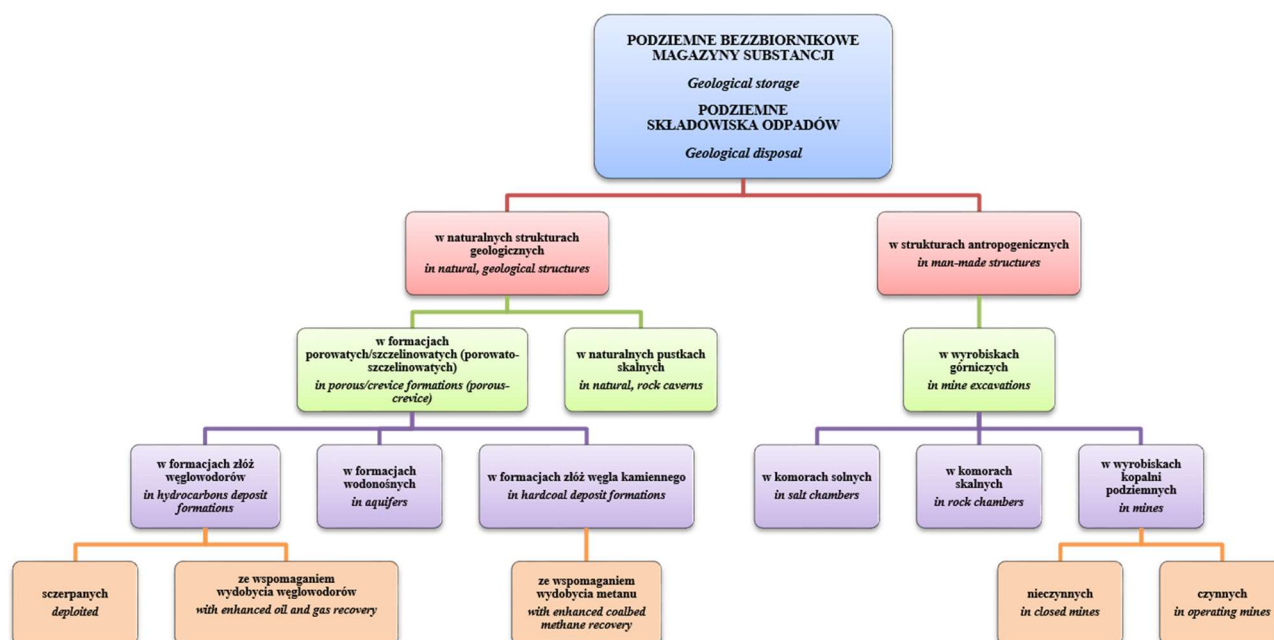


Fig. 2. Rodzaje podziemnych magazynów substancji i podziemnych składowisk odpadów (Sokołowska, Majer, 2024)

Fig. 2. Types of underground storage and underground disposal

Drugą część poradnika poświęcono w całości zagadnieniom związanym z dokumentowaniem geologiczno-inżynierskim, czyli opracowywaniem wymaganych prawem dokumentacji geologiczno-inżynierskich. Zaproponowano schemat czynności niezbędnych do wykonania w procesie dokumentowania geologiczno-inżynierskiego (**Fig. 3**) i podkreślono, że zakres rozpoznania geologicznego należy uzależnić od ilości i jakości danych archiwalnych oraz aktualnego stopnia zagospodarowania górotworu.

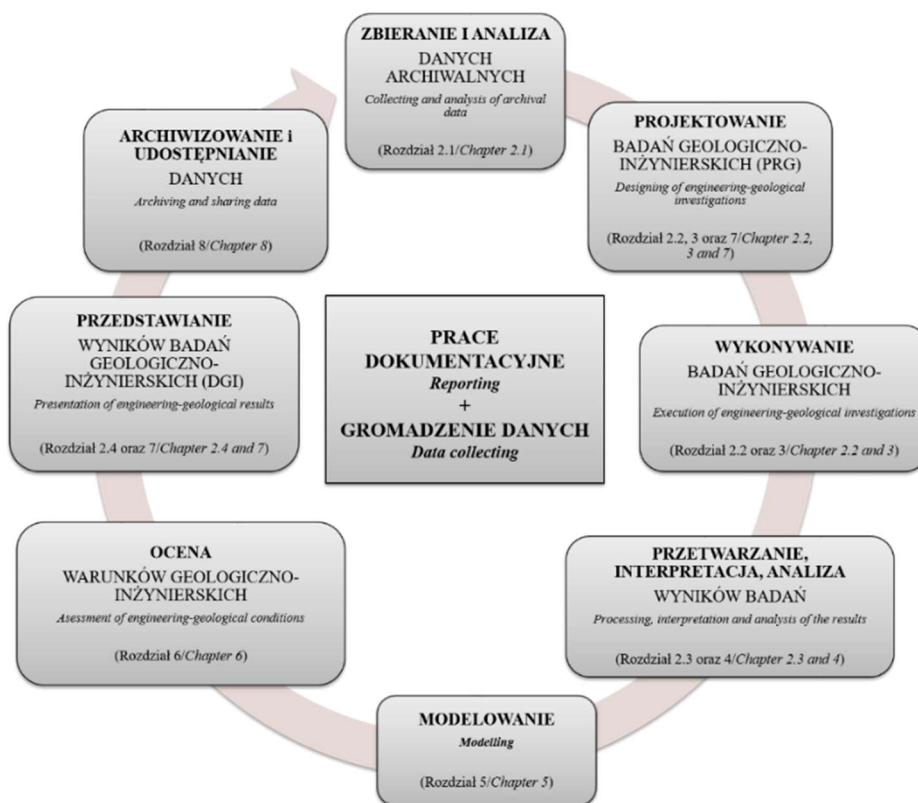


Fig. 3. Zakres prac dokumentacyjnych dla obiektu podziemnego (wszystkie numery rozdziałów dotyczą cz. II poradnika) (Sokołowska, Majer, 2024)

Fig. 3. Scope of documentation activities for the underground facility (all numbers of chapters refer to part II of the guide)

Każdy z etapów został w poradniku szczegółowo opisany. Poświęcono także osobny rozdział zagadnieniom związanym z modelowaniem numerycznym ze szczególnym uwzględnieniem magazynowania i składowania w formacjach solnych. W dalszej części poradnika omówiono zasady oceny warunków geologiczno-inżynierskich. Dużą uwagę poświęcono w poradniku zagadnieniom związanym z gromadzeniem danych geologiczno-inżynierskich z wykorzystaniem systemu informacji przestrzennej GIS do gromadzenia danych geologiczno-inżynierskich.

Słowa kluczowe: składowanie geologiczne, magazynowanie geologiczne, masyw skalny, warunki geologiczno-inżynierskie, dokumentacja geologiczno-inżynierska

Adnotacja:

Publikacja powstała w ramach zadań państwowej służby geologicznej i została sfinansowana ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.

Autorami poradnika są: dr Edyta Majer¹, dr Marta Sokołowska¹, dr Zbigniew Frankowski¹, dr Marta Adamuszek¹, dr hab. Grzegorz Czapowski¹, dr Joanna Fajfer¹, Prof. dr hab. Marek Jarosiński¹, mgr Krzysztof Majer¹, mgr Monika Szabłowska¹, mgr Izabela Samel¹, dr inż. Adam Wójcicki¹, dr Sławomir Mazurek¹, mgr Joanna Roszkowska-Remin¹, mgr Michał Cyglicki¹, prof. dr hab. inż. Waldemar Korzeniowski², dr Dominik Łukasiak³, mgr inż. Ewa Jagoda¹. Przy opracowaniu poradnika współpracowali także: Prof. dr hab. inż. Michał Malinowski⁴, mgr Tomasz Bąk¹, mgr Malwina Judkowiak¹, mgr Anna Stawicka¹ i mgr inż. Grzegorz Ryżyński¹.

Eksperckiego wsparcia przy opracowaniu publikacji udzieli konsultanci: prof. dr hab. Joanna Pinińska³, mgr Jarosław Zacharski¹, mgr Marta Wągorodzka⁵ oraz mgr Tobiasz Traczyk⁴. Pracę zrecenzowali: dr hab. Paweł Łukaszewski³, dr hab. inż. Henryk Woźniak² oraz dr hab. Piotr Zawrzykraj³.

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy

² Akademia Górniczo – Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie

³ Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii

⁴ Fińska Służba Geologiczna (Geological Survey of Finland)

⁵ Operator Gazociągów Przesyłowych GAZ-SYSTEM S.A.

Abstract

The guide described in presentation is a collection of information and recommendations on geological and engineering conditions assessment for geological storage and disposal (excluding radioactive wastes). It is addressed primarily to engineering geologists, designers, investors and representatives of geological administration. The guide gives recommendations on establishing geological and engineering conditions in different types of geological formations and presents a good practice in preparing geological and engineering documentation in accordance with Polish Geological and Mining Law. This guide is next in the publishing series of guidelines of geological and engineering conditions assessment, available on the website https://geoportal.pgi.gov.pl/atlas_y_gi/publikacje.

The guide was financed by the National Fund for Environmental Protection and Water Management.

Keywords: geological disposal, geological storage, rock massif, engineering-geological conditions, engineering-geological documentation

WYZWANIA REGULACYJNE I PRAWNE W ZAGOSPODAROWANIU WYROBISK SOLNYCH: OD PLANÓW WYPEŁNIANIA PUSTEK DO KONCESJI NA PODZIEMNE SKŁADOWANIE ODPADÓW W KOPALNI SOLI "KŁODAWA" S.A.

REGULATORY AND LEGAL CHALLENGES IN THE MANAGEMENT OF SALT WORKINGS: FROM VOID BACKFILLING PLANS TO A CONCESSION FOR UNDERGROUND WASTE STORAGE AT THE "KŁODAWA" SALT MINE S.A.

Grzegorz BARTŁOMIEJCZAK¹, Damian KURDEK¹

¹ Kopalnia Soli „Kłodawa” S.A., Aleja 1000-lecia 2, 62-650 Kłodawa

Kopalnia Soli „Kłodawa” S.A. podjęła działania mające na celu zagospodarowanie wyrobisk solnych poprzez budowę instalacji do odzysku odpadów, w tym niebezpiecznych. Wstępne analizy geomechaniczne oraz badania technologiczne potwierdziły techniczną możliwość realizacji przedsięwzięcia, co umożliwiło przygotowanie raportu o oddziaływaniu na środowisko. Procedura ta napotkała jednak liczne trudności formalne, w tym konieczność opracowania dodatkowych aneksów oraz uzupełnień. Postępowanie zostało zawieszone, a główne zastrzeżenia administracyjne dotyczyły mieszania odpadów niebezpiecznych, utraty statusu odpadu oraz braku sporządzonej dokumentacji hydrogeologicznej.

W odpowiedzi Spółka zainicjowała nowe przedsięwzięcie, budowę Podziemnego Składowiska Odpadów, które prowadzone będzie zgodnie z przepisami prawa geologicznego i górniczego. Obecnie realizowane są prace nad dokumentacją hydrogeologiczną i geologiczno-inżynierską, stanowiącymi podstawę dla uzyskania koncesji.

Doświadczenia Kopalni Soli „Kłodawa” S.A. wskazują na znaczące wyzwania regulacyjne i prawne związane z zagospodarowaniem wyrobisk solnych w Polsce. W toku prowadzonych działań Spółka wystąpiła również z propozycjami zmian w ustawie Prawo geologiczne i górnicze oraz aktach wykonawczych, co wpisuje się w szerszy proces legislacyjny nowelizacji przepisów dotyczących gospodarki odpadami w podziemnych wyrobiskach górniczych.

Słowa kluczowe: odpady, podziemne składowanie, przepisy prawa

The “Kłodawa” Salt Mine S.A. undertook activities aimed at the utilization of salt workings through the construction of an installation for waste recovery, including hazardous waste. Preliminary geomechanical analyses and technological studies confirmed the technical feasibility of the project, which made it possible to prepare an environmental impact assessment report. However, this procedure encountered numerous formal difficulties, including the need for additional annexes and supplementary documentation. The proceedings were suspended, with the main administrative objections concerning the mixing of hazardous waste, the issue of loss of waste status, and the absence of approved hydrogeological documentation.

In response, the Company initiated a new undertaking – the construction of an Underground Waste Repository – to be carried out in accordance with the Geological and Mining Law. At present, work is underway on hydrogeological and geological-engineering documentation, which constitute the basis for obtaining a concession.

The experience of the “Kłodawa” Salt Mine S.A. highlights significant regulatory and legal challenges associated with the management of salt workings in Poland. In the course of these activities, the Company has also submitted proposals for amendments to the Geological and Mining Law and related executive acts, which aligns with the broader legislative process of revising regulations concerning waste management in underground mining workings.

Keywords: waste, underground storage, legal regulations

WYBRANE ZAGADNIENIA Z PODZIEMNEGO SKŁADOWANIA ODPADÓW W KOPALNIACH SOLI KAMIENNEJ

SELECTED ISSUES IN UNDERGROUND WASTE STORAGE IN ROCK SALT MINES

Wacław ANDRUSIKIEWICZ¹, Michał KOWALSKI¹, Katarzyna CYRAN¹

¹ AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Inżynierii Łądowej i Gospodarki Zasobami, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, e-mail: andrus@agh.edu.pl, kcyran@agh.edu.pl, kowalski@agh.edu.pl

Koncepcja składowania odpadów w kopalniach soli kamiennej polega na wykorzystaniu podziemnych wyrobisk, które powstały podczas eksploatacji złoża do celów przemysłowych innych niż wydobywanie soli. Komercyjne składowanie odpadów w wyrobiskach kopalnianych jest z sukcesem realizowane w Niemczech czy Wielkiej Brytanii. Jedną z opcji jest podsadzanie wyeksploatowanych wyrobisk mieszaniną sporządzoną na bazie odpadów stałych.

W celu zbadania wpływu podsadzania komór na stan naprężenia górotworu solnego oraz deformacje i osiadanie powierzchni przeprowadzono analizę numeryczną w kilkunastu wariantach. Warianty różniły się kolejnością i stopniem wypełniania komór eksploatacyjnych. Analizowany wycinek górotworu solnego obejmował układ komór w czterech kolumnach i trzech rzędach, usytuowanych na głębokości od 750 do 800 m. Czas symulacji numerycznych obejmował okres 10 000 lat. Analizy numeryczne przeprowadzono z wykorzystaniem metody różnic skończonych w programie FLAC3D.

Wyniki analiz numerycznych wskazują na korzystny wpływ wypełnienia na stateczność górotworu, ograniczając tempo zaciskania komór i skalę deformacji w porównaniu do wariantu bez wypełnienia. Dodatkowo stwierdzono, że obecność wypełnienia stabilizuje stan naprężenia, przyspieszając proces wyrównania obciążeń w górotworze. Wszystkie analizowane warianty wskazują na stopniowe zaciskanie komór, najsilniej widoczne na głębokości 800 m. W wariantcie bez wypełnienia osiadanie terenu osiągnęło wartość 1,3 m po 10 000 lat, natomiast zastosowanie pełnego wypełnienia zredukowało tę wartość do około 25%. Warianty częściowego wypełnienia komór również przyniosły ograniczenie osiadania powierzchni terenu. Natomiast, warianty asymetryczne tj. wypełnienie tylko jednej kolumny lub rzędu, charakteryzowały się niewielką redukcją osiadania terenu.

Analiza podkreśla kluczową rolę równomiernego rozmieszczenia wypełnienia komór w odbudowie równowagi naprężeń w górotworze solnym oraz w minimalizacji osiadania powierzchni. Warianty asymetryczne, mimo częściowego wypełnienia, są znacznie mniej efektywne i nie gwarantują odpowiedniej stabilizacji górotworu. Opisane wyniki analiz numerycznych mają zastosowanie w planowaniu podziemnego składowania odpadów oraz zapewnienia długoterminowej stateczności i bezpieczeństwa.

Słowa kluczowe: podziemne składowanie odpadów, wypełnianie komór, stateczność wyrobisk kopalnianych

The concept of waste storage in rock salt mines involves utilizing underground excavations created during the exploitation of the salt deposit for industrial purposes other than salt extraction. Commercial waste storage in mine excavations is successfully implemented in Germany and the United Kingdom. One option is filling depleted excavations with a mixture prepared based on solid wastes.

To investigate the impact of filling chambers on the stress state of the salt rock mass, as well as deformations and surface subsidence, a numerical analysis was conducted in several variants. The variants differed in the sequence and degree of chamber filling. The analysed section of the salt rock mass included a chamber arrangement in four columns and three rows, located at depths from 750 to 800 m. The numerical simulation time covered a period of 10,000 years. The numerical analyses were performed using the finite difference method in the FLAC3D software.

The results of the numerical analyses indicate a beneficial effect of filling on the stability of the rock mass, limiting the rate of chamber closure and the scale of deformations compared to the variant without filling. Additionally, it was found that the presence of filling stabilizes the stress state, accelerating the process of load equalization in the rock mass. All analysed variants show gradual chamber closure, most pronounced at a depth of 800 m. In the variant without filling, the land subsidence reached 1.3 m after 10,000 years, while the application of full filling reduced this value to about 25%. Variants with partial chamber filling also resulted in a reduction of surface subsidence. However, asymmetric variants, such as filling only one column or row, were characterized by minimal reduction in land subsidence.

The analysis emphasizes the key role of uniform distribution of chamber filling in restoring stress equilibrium in the salt rock mass and minimizing surface subsidence. Asymmetric variants, despite partial filling, are significantly less effective and do not guarantee adequate rock mass stabilization. The described results of numerical analyses have applications in planning underground waste storage and ensuring long-term stability and safety.

Keywords: *underground waste storage, chamber filling, stability of mine excavations*

STREFY KRUCHEJ DEFORMACJI SKAŁ CECHSZTYŃSKIEJ SERII SOLNEJ – ZAGROŻENIA DLA MAGAZYNÓW I SKŁADOWISK LOKOWANYCH W STRUKTURACH SOLNYCH

BRITTLE DEFORMATION ZONES IN ZECHSTEIN (UPPER PERMIAN) SALT ROCKS – THREATS FOR REPOSITORIES AND DISPOSALS LOCATED IN SALT STRUCTURES

Stanisław BURLIGA¹

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

Sole kamienne posiadają optymalne własności fizyczne i chemiczne do lokowania w ich obrębie magazynów substancji użytecznych i odpadów. Wynika to głównie z ich niskiej porowatości oraz odizolowania skałami słabo przepuszczalnymi od warstw wodonośnych. Korzystna jest również łatwość rekryształizacji halitu przy wzroście ciśnień, temperatur czy wilgotności, która przeciwdziała kruchej deformacji skały. Jednakże serie solne nie są litologicznie jednorodne, gdyż zawierają przewarstwienia innych skał.

W przypadku cechsztyńskiej serii solnej sole kamienne przewarstwione są skałami ilastymi, węglanowymi, siarczanowymi oraz solami potasowo-magnezowymi. Oczywista jest odmienność własności geomechanicznych każdego z tych typów skał. Kompetentne warstwy skał ilastych, dolomitów i anhydritów podczas deformacji uległy spękanu, zeszcelinowaniu i budinażowi, przez co stanowią główne drogi kopalnej i potencjalnej migracji gazów i roztworów w obrębie górotworu solnego. W przypadku zubrów, które rozważane są głównie jako potencjalne środowisko lokowania odpadów radioaktywnych i niebezpiecznych, styl deformacji zależny jest od pierwotnych cech skał. Podczas gdy w zubrach warstwowych spękania i zeszcelinowanie powszechne są w obrębie warstewek bogatszych w minerały ilaste, w zubrach bezstrukturalnych ich skala obejmuje całe ławice. Strefowa krucha deformacja udokumentowana została również w obrębie kompleksów soli kamiennych, w których występują przewarstwienia soli potasowo-magnezowych. Różnice reologiczne między skałami powodują w takich układach zeszcelinowanie warstwy soli kamiennej ze względu na poślizgi międzywarstwę i lokalne zmiany ciśnienia porowego wywoływane przemianami fazowymi minerałów. Podobnie wzrost ciśnienia porowego prowadzi do kruchej deformacji warstw soli kamiennych w strefach występowania węglowodorów oraz uwięzionych gazów.

W ogólnym ujęciu krucha deformacja skał serii solnej jest strefowa i zależna od geometrii wielkoskalowych struktur tektonicznych i lokalnego zróżnicowania litologicznego. Bez szczegółowej analizy strukturalnej górotworu, nie można zaprojektować bezpiecznej lokalizacji komór magazynowych i składowiskowych, ani określić zagrożeń wymagających eliminacji i monitoringu. Strefowość kruchej deformacji wskazuje ponadto, że w modelowaniach geomechanicznych nie można bazować na jednorodności górotworu, gdyż w przypadku cechsztyńskiej serii solnej, górotwór jest wysoce heterogeniczny pod względem litologicznym i własności geomechanicznych.

Słowa kluczowe: cechsztyń, sól kamienna, deformacja krucha, magazynowanie węglowodorów, składowanie odpadów, zagrożenia naturalne

Rock salt has optimal physical and chemical properties for hydrocarbon and gas storage and waste disposal. This is primarily due to its low porosity and isolation from aquifers by poorly permeable rocks. Halite's ease of recrystallization under increased pressure, temperature, or humidity is also beneficial, preventing brittle deformation of the rock. However, salt series are not lithologically homogeneous, as they contain interlayers of other rock types.

In the case of the Zechstein salt series, various types of rock salt are interbedded with clay, carbonate, sulfate, and potassium-magnesium salts. The distinct geomechanical properties of each of these rock types are evident. Competent layers of clay, dolomite, and anhydrite rocks were fractured, fractured, and boudinaged during deformation, thus constituting the main pathways for fossil and potential migration of gases and solutions within the salt rock mass. In the case of clayey salts, which are primarily considered as potential environments for radioactive and hazardous waste disposal, the deformation style depends on the original rock characteristics. While in layered clayey salts fractures and fissures are common within layers richer in clay minerals, in structureless clayey salts, they occur on a scale encompassing entire beds. Zonal brittle deformation has also been documented within rock salt complexes containing interbedded potassium-magnesium salts. Rheological differences between these rock types cause fracturing in the rock salt layer due to interlayer slip and local pore pressure changes induced by mineral phase transformations. Similarly, increased pore pressure leads to brittle deformation of rock salt layers in zones containing hydrocarbons and tight gases.

In general, brittle deformation of the salt series rocks is zonal and dependent on the geometry of large-scale tectonic structures and local lithological diversity. Without a detailed structural analysis of the rock salt complex, it is impossible to design safe locations for storage chambers, repositories or disposals, nor to identify threats requiring elimination and monitoring. The zonation of brittle deformation also indicates that geomechanical modelling cannot base on the homogeneity of the rock mass, as in the case of the Zechstein salt series, the rock salt complex is highly heterogeneous in terms of lithology and geomechanical properties.

Keywords: Zechstein, rock salt, brittle deformation, hydrocarbon storage, waste disposal, natural threats

MIKRO-WYTRZYMAŁOŚĆ KRYSTAŁÓW HALITU

MICRO-STRENGTH OF HALITE CRYSTALS

Tomasz TOBOŁA¹, Katarzyna CYRAN², Michał KOWALSKI²

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

² AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Inżynierii Lądowej i Gospodarki Zasobami, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, e-mail: kcyran@agh.edu.pl, kowalski@agh.edu.pl

Celem pracy było zbadanie mechanizmów deformacji i wytrzymałości naturalnych monokryształów halitu w warunkach jednoosiowego ściskania z jednoczesną obserwacją mikroskopową. Badania przeprowadzono na próbkach pochodzących z wysadów solnych Góra i Kłodawa. Wyniki wykazały dużą zmienność parametrów mechanicznych. Próbki z granicami między kryształami halitu zawierającymi płaskie inkluzje fluidalne cechowały się niższą wytrzymałością, natomiast obecność anhydrytu na tych granicach podnosiła jej wartość. Pojedyncze kryształy osiągały wartości powyżej 20 MPa, z maksimum 50 MPa. Pierwszym objawem podczas jednoosiowego ściskania było pojawianie się dwójtomności indukowanej naprężeniem, występujące już przy 0,6–15,4% wytrzymałości próbki. Wskazuje ona na początek plastycznej deformacji. W próbkach z pierwotną dwójtomnością zmiany te pojawiały się przy niższych naprężeniach, co może świadczyć o wcześniejszych deformacjach tektonicznych. W dalszej kolejności obserwowano zaczerwienienia na granicach halit–anhydryt oraz gwałtowne powstawanie spękań wzdłuż płaszczyzn krystalograficznych. Uzyskane wyniki rozszerzają dotychczasowy stan wiedzy, uwzględniając mikrostrukturalne efekty deformacji i zniszczenia halitu w warunkach kontrolowanego obciążania.

Słowa kluczowe: mikro-wytrzymałość monokryształów halitu, dwójtomność indukowana naprężeniem i naturalna, odkształcenia plastyczne

The aim of this study was to investigate the deformation mechanisms and strength of natural halite monocrystals under uniaxial compression with simultaneous observation under the microscope. The research was conducted on samples from the Góra and Kłodawa salt domes. The results showed significant variability in mechanical parameters. Samples with grain boundaries containing flat fluid inclusions exhibited lower strength, whereas the presence of anhydrite at these boundaries increased its value. Single crystals achieved strength values above 20 MPa, with a maximum of 50 MPa. The first sign during uniaxial compression was the appearance of stress-induced birefringence, occurring at 0.6–15.4% of the sample's strength. This indicates the onset of plastic deformation. In samples with pre-existing birefringence, these changes appeared at lower stresses, which may suggest prior tectonic deformations. Subsequently, darkening at the halite–anhydrite boundaries and rapid formation of fractures along crystallographic planes were observed. The obtained results expand the current state of knowledge, considering the microstructural effects of deformation and failure of halite under controlled loading conditions.

Keywords: micro-strength of halite monocrystals, stress-induced and natural birefringence, plastic strains

Referat będzie opublikowany w formie artykułu w Przeglądzie Solnym 2025

Full text will be published in Salt Review 2025

ODPORNOŚĆ INFRASTRUKTURY KRYTYCZNEJ W DOBIE NIESTABILNOŚCI KLIMATYCZNEJ I GEOPOLITYCZNEJ – CZAS NA REDEFINICJĘ PODEJŚCIA?

RESILIENCE OF CRITICAL INFRASTRUCTURE IN AN ERA OF CLIMATE AND GEOPOLITICAL INSTABILITY – TIME TO REDEFINE OUR APPROACH?

Edyta ZALEWSKA¹

¹ Uponor Infra Sp. z o.o., e-mail: edyta.zalewska@georgfischer.com

W ostatnich latach bardzo dużo mówi się o zmianach klimatu. Temat ten stanowi przedmiot licznych konferencji i debat. Jednak czy rzeczywiście wypracowaliśmy odpowiednie narzędzia wspierające podejmowanie decyzji przy doborze rozwiązań do budowy infrastruktury krytycznej? Czy przeprowadzamy analizy wielokryterialne z uwzględnieniem odporności kinetycznej, zanim przejdziemy do fazy projektowania?

Co warto zrobić, by zminimalizować ryzyko awarii?

W obliczu rosnącej liczby zagrożeń – zarówno naturalnych, jak i wynikających z działalności człowieka – zapewnienie niezawodności nowobudowanej infrastruktury staje się priorytetem. Aby skutecznie minimalizować ryzyko awarii, nie możemy kierować się tylko początkowymi kosztami inwestycji. Kluczowe jest myślenie długoterminowe, oparte na trwałości oraz odporności naszej infrastruktury, również obliczu zmieniającego się klimatu. Zachęcam do korzystania z „Poradnika weryfikacji inwestycji pod względem wpływu na klimat i adaptacji do zmian klimatu w okresie programowania UE 2021-2027”, wydanego przez Ministerstwo Klimatu i Środowiska [1]. Dokument zawiera zalecenia dotyczące inwestycji finansowanych z Funduszy Unii Europejskiej, jednak warto korzystać z niego również w szerszym zakresie.

Wdrożenie procedury oceny ekonomicznej wg kryterium LLCA (Long Live Cost Analyse)

W Polsce wciąż zbyt rzadko analizujemy koszty inwestycji w ujęciu pełnego cyklu jej życia. Tymczasem kraje takie jak Stany Zjednoczone czy Wielka Brytania już od lat stosują narzędzia oceny efektywności inwestycji uwzględniające koszty eksploatacji, utrzymania i utylizacji. Państwa te zdecydowały się na modyfikację kryteriów wyboru wykonawców robót budowlanych, ponieważ przetargi oparte wyłącznie na najniższej cenie prowadziły do drastycznego obniżenia jakości zarówno materiałów, jak i wykonania prac [2]. Przykładowo, „kongres w USA poprawką do ustawy z 1948 r. o przetargach na inwestycje publiczne wprowadził zasady wyboru projektanta oparte na wyborze zespołu projektującego według kryterium jakości QBS – Quality, Based Selection (wybór według jakości). Zasady te udoskonalono i przyjęto metodę uwzględniającą ocenę zarówno jakości, jak i koszty projektu budowlanego: QBC – Quality and Cost – Based Selection QCBS (wybór wg jakości i kosztów). Została ona wprowadzona między innymi przez Bank Światowy” [2]. Inwestorzy mają zatem obowiązek przeprowadzać ocenę efektywności inwestycji w kontekście trwałości i jakości infrastruktury od momentu rozpoczęcia budowy do dnia jej likwidacji.

Technologia PE Uponor sprawdzona w warunkach powodzi

Podejmując decyzje przy wyborze technologii bardzo ważne są referencje potwierdzone przez innych inwestorów z wieloletniej, bezawaryjnej pracy, również w trudnych warunkach. Przykładem świadectwa, że systemy PE Uponor są w stanie przetrwać powódź jest wystąpienie Sądeckich Wodociągów podczas konferencji IGWP zorganizowanej podczas targów WOD-KAN w 2022 roku [3]. W 2010 roku przez Nowy Sącz przeszły dwie fale powodziowe, które spowodowały szereg zniszczeń. Między innymi doszło do zerwania mostu stalowego, a woda wymyła denne zabezpieczenie głównego kolektora DN1400 PE doprowadzającego ścieki do oczyszczalni, co spowodowało jego wyniesienie ponad lustro wody. Z relacji

pracowników wodociągów wynika, że byli przekonani, iż dojdzie do przerwania ciągłości pracy kolektora, co skutkowałoby wyciekami ścieków do środowiska. Okazało się jednak, że kolektor PE Weholite, połączony metodą spawania ekstruzyjnego, nie uległ rozszczelnieniu. Po ustąpieniu powodzi został ponownie posadowiony (**Rys. 1**) i pracuje nieprzerwanie do dziś – obecnie trwa jego 30. rok eksploatacji.



Rys. 1. Ponowne posadowienie kolektora PE DN1400 w Nowym Sączu po ustąpieniu powodzi
(fot. Kazimierz Kudlik) [7]

Fig. 1. Reinstallation of the DN1400 PE collector in Nowy Sącz after the flood subsided
(photo: Kazimierz Kudlik) [7]

Odporność kinetyczna – infrastruktura krytyczna a działania wojenne i sabotażowe

W świetle sytuacji za wschodnią granicą coraz większą uwagę zwracamy na tzw. odporność kinetyczną infrastruktury. Przykład z Doniecka, gdzie w 2014 roku kanały burzowe z rur PE Uponor przetrwały bombardowania lotniska i stanowiły ukrycia dla żołnierzy ukraińskich [4] dowodzi ich niezwyklej odporności kinetycznej tj. odporności na wybuchy. Rysunek 2 przedstawia zdjęcie zbombardowanego lotniska w Doniecku. Powyższe doświadczenia zapoczątkowały prace nad rozwojem schronów na bazie rur polietylenowych [5]. Schron wykonany z rury PE Weholite został poddany serii prób wybuchowych, odpowiadających oddziaływaniu ładunków o masie 10 kg TNT, detonowanych zarówno na powierzchni, jak i w gruncie bezpośrednio przy konstrukcji (rysunek 4). Instalacja schronu na głębokości ponad 1,0 m poniżej poziomu terenu umożliwiła ocenę jego odporności na złożone oddziaływanie fal uderzeniowych w gruncie (ang. *shockwave loading*), dynamiczne parcie gruntu oraz odpowiedź wewnątrz np. przyspieszenia, deformacje konstrukcji oraz poziom hermetyzacji w czasie rzeczywistym. Badania te wykonane zgodnie z normą obronną NO-02-A116:2012 (kategoria C5) oraz międzynarodowymi standardami NATO, w tym STANAG 2280, 4549, 2288, 2895 i AEP-55 wykazały, że konstrukcje z rur PE Uponor zachowują integralność nawet w ekstremalnych warunkach. Nie zaobserwowano trwałych odkształceń (powyżej 0,005 m, przy bazie 3,0 m) po serii detonacji, a konstrukcje wykazały odporność na wybuchy ładunków odpalanych w odległości 2 m od obiektu. Uzyskane wyniki potwierdzają, że tego typu rozwiązania można z powodzeniem stosować nie tylko w infrastrukturze krytycznej, ale również w obszarach obrony cywilnej i wojskowej.



Rys. 2. Zniszczony port lotniczy, Donieck 21.01.2015 r. (fot. Igor Ivanov – AP) [12]
Fig. 2. Destroyed airport, Donetsk, 21 January 2015 (photo: Igor Ivanov – AP) [12]



Rys. 3. Detonacja ładunku w odległości 2 m od schronu DN3000 z rury PE Weholite (fot. Pelter)
Fig. 3. Detonation of a charge at a distance of 2 m from a DN3000 shelter made of Weholite PE pipe (photo: Pelter)

Odporność rurociągów PE na trzęsienia ziemi i inne obciążenia dynamiczne

Polska coraz częściej doświadcza ekstremalnych zjawisk pogodowych, takich jak powodzie błyskawiczne. Dlatego tak istotne jest, by nowoprojektowana infrastruktura była odporna na obciążenia dynamiczne. Przykładem skrajnych obciążeń, jakie mogą oddziaływać na infrastrukturę, są trzęsienia ziemi. Odporność rurociągów PE na obciążenia i ruchy gruntu została potwierdzona w 1995 roku, podczas dramatycznego trzęsienia ziemi w Kobe w Japonii. Po tym kataklizmie, w wyniku którego zginęło 6 000 osób, a 440 000 domów zostało zniszczonych, firma Osaka Gas przeprowadziła analizę stanu sieci gazowej [6]. Stwierdzono wówczas liczne uszkodzenia rurociągów żeliwnych i stalowych, natomiast nie odnotowano żadnych awarii w części sieci wykonanej z PE. Po tej analizie rury PE zyskały ogromną popularność w Japonii i innych obszarach, na których występują trzęsienia ziemi. Również podczas kolejnych ośmiu trzęsień ziemi nie zaobserwowano żadnych uszkodzeń rurociągów PE, co zostało zaprezentowane podczas jednej z konferencji w Las Vegas [7].

Trwałość, kontrola, gwarancja – klucz do niezawodnej infrastruktury

W dobie gwałtownych zmian klimatycznych oraz rosnącego ryzyka konfliktów, odpowiedzialne planowanie i dobór technologii to nie tylko kwestia efektywności, lecz przede wszystkim bezpieczeństwa – zarówno ludzi, jak i zasobów. Dlatego powinniśmy dążyć do wypracowania transparentnych narzędzi opartych na analizie kosztów pełnego cyklu życia (LLCA), uwzględniających również pracę systemów w warunkach przeciążenia wynikających np. ze skutków zmian klimatycznych. Zanim jednak takie narzędzia staną się standardem, pomocna może być wielokryterialna analiza rozwiązań, przeprowadzana jeszcze na etapie preselekcji rozwiązań, uwzględniająca trwałość materiałów w różnych warunkach pracy. Wszystkie te działania mogą znacząco zwiększyć niezawodność inwestycji, również w kontekście postępujących zmian klimatycznych.

Słowa kluczowe: infrastruktura krytyczna, Long Live Cost Analyse, odporność na powódzie, odporność kinetyczna, odporność na trzęsienia ziemi

In recent years, there has been a lot of talk about climate change. This topic has been the subject of numerous conferences and debates. However, have we really developed the right tools to support decision-making when selecting solutions for the construction of critical infrastructure? Do we carry out multi-criteria analyses that take kinetic resilience into account before moving on to the design phase?

What can be done to minimise the risk of failure?

In the face of a growing number of threats, both natural and man-made, ensuring the reliability of newly built infrastructure is becoming a priority. In order to effectively minimise the risk of failure, we cannot be guided solely by the initial investment costs. It is essential to think long-term, based on the durability and resilience of our infrastructure, also in the face of a changing climate. I encourage you to use the "Guide to verifying investments in terms of their impact on the climate and adaptation to climate change in the EU programming period 2021-2027", published by the Ministry of Climate and Environment [1]. The document contains recommendations for investments financed by European Union funds, but it is also worth using it in a broader context.

Implementation of the economic assessment procedure according to the LLCA (Long Live Cost Analysis) criterion

In Poland, we still too rarely analyse investment costs in terms of the full life cycle. Meanwhile, countries such as the United States and the United Kingdom have been using investment effectiveness assessment tools that take into account operating, maintenance and disposal costs for years. These countries decided to modify the criteria for selecting contractors for construction works because tenders based solely on the lowest price led to a drastic reduction in the quality of both materials and workmanship [2]. For example, "the US Congress, by amending the 1948 Public Works Contracting Act, introduced rules for selecting designers based on the selection of a design team according to the QBS (Quality Based Selection) criterion. These rules were refined and a method was adopted that takes into account both the quality and cost of a construction project: QBC – Quality and Cost-Based Selection on QCBS (selection based on quality and cost). It was introduced, among others, by the World Bank" [2]. Investors are therefore required to assess the effectiveness of investments in terms of the durability and quality of infrastructure from the start of construction to the date of its decommissioning.

Uponor PE technology proven in flood conditions

When making decisions about the choice of technology, references confirmed by other investors from many years of trouble-free operation, even in difficult conditions, are very important. An example of testimony that Uponor PE systems are able to withstand flooding is the presentation by Sądeckie

Wodociągi during the IGWP conference organised during the WOD-KAN trade fair in 2022 [3]. In 2010, two flood waves passed through Nowy Sącz, causing a number of damages. Among other things, a steel bridge was broken and the water washed away the bottom protection of the main DN1400 PE collector supplying sewage to the treatment plant, which caused it to rise above the water level. According to waterworks employees, they were convinced that the continuity of the collector's operation would be interrupted, which would result in sewage leaking into the environment. However, it turned out that the PE Weholite collector, connected by extrusion welding, did not leak. After the flood subsided, it was re-installed (Figure 1) and has been operating continuously ever since – it is now in its 30th year of service.

Kinetic resistance – critical infrastructure and acts of war and sabotage

In light of the situation beyond our eastern border, we are paying increasing attention to the so-called kinetic resilience of infrastructure. An example from Donetsk, where in 2014 storm drains made of Uponor PE pipes survived the bombing of the airport and provided shelter for Ukrainian soldiers [4], proves their extraordinary kinetic resistance, i.e. resistance to explosions. Figure 2 shows a photo of the bombed airport in Donetsk. These experiences initiated work on the development of shelters based on polyethylene pipes [5]. A shelter made of Weholite PE pipe was subjected to a series of explosion tests, corresponding to the impact of 10 kg TNT charges, detonated both on the surface and in the ground directly next to the structure (Figure 4). The installation of the shelter at a depth of more than 1.0 m below ground level made it possible to assess its resistance to the complex effects of shockwave loading in the ground, dynamic soil pressure and the response inside, e.g. acceleration, structural deformation and the level of sealing in real time. These tests were performed in accordance with defence standard NO-02-A116:2012 (category C5) and international NATO standards, including STANAG 2280, 4549, 2288, 2895 and AEP-55, showed that structures made of Uponor PE pipes maintain their integrity even under extreme conditions. No permanent deformation (above 0.005 m, at a base of 3.0 m) was observed after a series of detonations, and the structures demonstrated resistance to explosions of charges detonated at a distance of 2 m from the object. The results confirm that such solutions can be successfully used not only in critical infrastructure, but also in civil and military defence areas.

Resistance of PE pipelines to earthquakes and other dynamic loads

Poland is increasingly experiencing extreme weather events, such as flash floods. That is why it is so important for newly designed infrastructure to be resistant to dynamic loads. Earthquakes are an example of extreme loads that can affect infrastructure. The resistance of PE pipelines to loads and ground movements was confirmed in 1995 during the dramatic earthquake in Kobe, Japan. After this disaster, which killed 6,000 people and destroyed 440,000 homes, Osaka Gas conducted an analysis of the condition of the gas network [6]. Numerous damages to cast iron and steel pipelines were found, while no failures were reported in the part of the network made of PE. Following this analysis, PE pipes became extremely popular in Japan and other areas prone to earthquakes. No damage to PE pipelines was observed during the next eight earthquakes, as presented at a conference in Las Vegas [7].

Durability, control, guarantee – the key to reliable infrastructure

In an era of rapid climate change and growing risk of conflict, responsible planning and technology selection are not only a matter of efficiency, but above all of safety – both for people and resources. Therefore, we should strive to develop transparent tools based on life cycle cost analysis (LLCA), which also take into account the operation of systems under overload conditions resulting, for example, from the effects of climate change. However, before such tools become standard, a multi-criteria analysis of solutions, carried out at the pre-selection stage, taking into account the durability of materials in different operating conditions, may be helpful. All these measures can significantly increase the reliability of investments, also in the context of progressive climate change.

Keywords: critical infrastructure, Long Live Cost Analyse, flood resilience, kinetic resilience, earthquake resilience

LITERATURA / REFERENCES:

- [1] Poradnik weryfikacji inwestycji pod względem wpływu na klimat i adaptacji do zmian klimatu w okresie programowania UE 2021-2027, Ministerstwo Klimatu i Środowiska. www.gov.pl/web/klimat/poradnik-weryfikacji-inwestycji-pod-wzgle-dem-wplywu-na-klimat-i-adaptacji-do-zmian-klimatu-w-okresie-programowania-ue-2021-2028
- [2] Efektywność Inwestycji a postępowanie przetargowe, Jerzy Kubiszewski, Inżynier Budownictwa, 03.2010 <https://inzynierbudownictwa.pl/efektywnosc-inwestycji-a-postepowanie-przetargowe/>
- [3] Infrastruktura wodociągowo-kanalizacyjna a skutki zmian klimatycznych, Kazimierz Kudlik, kierownik Działu Badań i Rozwoju, Sąddeckie Wodociągi Sp. z o.o. Nagranie z Konferencji #must have branży wod-kan: Wodociągowcy Wodociągowcom: Technologie dla małych, średnich i dużych przedsiębiorstw wod-kan, 11.05.2022. www.youtube.com/watch?v=yeEM31cRt0s&t=109s
- [4] Донецкий аэропорт защищают киборги! Donieckie lotnisko bronią cyborgi!, (Архив) Политика / Мнения, 26.09.2014 13:24. www.obozrevatel.com/blogs/60943-donetskij-aeroport-zaschischayut-kiborgi.htm
- [5] Nowoczesne i innowacyjne schrony dla ludności cywilnej, Pelter. <https://pelter.pl/>
- [10] Performance of Pipes During Earthquakes Conference Plastic Pipes XV, Vancouver 2010, Autor: Camille George Rubeiz, Plastic Pipes Institute, USA. www.pe100plus.com/PPCA/2010-Vancouver-Conference-15.html
- [7] Polyethylene pipeline performance against earthquake, H. Omuro, T. Himono, Proceedings of the 19th Plastic Pipes Conference PPXIX September 24-26, 2018, Las Vegas, Nevada. www.plasticpipe.org/common/Uploaded%20files/1-PPI/Divisions/Municipal%20and%20Industrial/Division%20Publications/Potable%20Water/Earthquake/HidekiOmuroTomokazuHimono2018PolyethylenePipelinePerformanceAgainstEarthquakePPXIXL A.pdf

KAWERNY JAKO PODZIEMNE MAGAZYNY WODORU – KLUCZOWE ZAGADNIENIA

CAVERNS AS UNDERGROUND HYDROGEN STORAGE - KEY ISSUES

Krzysztof POLAŃSKI¹

¹ AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków,
e-mail: polanski@agh.edu.pl

¹ AGH University of Krakow, Drilling, Oil and Gas Faculty, Mickiewicza Av. 30, 30-059, Krakow,
e-mail: polanski@agh.edu.pl

Wykorzystanie Kawernowych Podziemnych Magazynów w złożach soli do magazynowania energii pod różną postacią jest znane i rozpatrywane od wielu lat. Jeśli chodzi o wielkoskalowe magazynowanie to magazyny te uznawane są za jedne z lepszych, jeśli chodzi o magazynowanie krótko- i średnioterminowe. Przy stale rosnącym udziale Odnawialnych Źródeł Energii (OZE) w bilansie energetycznym krajów UE poszukiwane są możliwości zmagazynowania dużych ilości energii elektrycznej pochodzącej z OZE. Przyczyną tego jest brak możliwości korelacji produkcji energii w OZE z aktualnym zapotrzebowaniem na energię w sieci. Jedną z koncepcji na magazynowanie nadwyżek energii elektrycznej pochodzącej z OZE jest jej zamiana na energię pod postacią wodoru - produkcja wodoru w elektrolizerach zasilanych nadwyżkami energii elektrycznej. Dzięki przechowywaniu w kawernach solnych, możliwe jest jej zmagazynowanie pod postacią wodoru zarówno w krótkich jak i dłuższych okresach czasowych. Ponieważ w najbliższych kilkudziesięciu latach to one mają szansę odegrać istotną rolę w transformacji energetycznej naszego kraju pomagając bilansować sieci elektroenergetyczne zasilane z Odnawialnych Źródeł Energii. Jednak należy zauważyć, że budowa kawernowego magazynu energii w postaci wodoru i późniejsza jego eksploatacja stanowi wyzwanie zarówno technologiczne jak i ekonomiczne. W artykule przeanalizowano i wskazano najistotniejsze aspekty konieczne do rozwiązania na etapie planowania koncepcyjnego związane z wykorzystaniem kawern solnych jako magazynu energii w postaci wodoru w Polsce.

Słowa kluczowe: kawerny solne, magazynowanie energii, magazynowanie wodoru, energia z OZE

Underground storage caverns in salt deposits used to store energy in various forms has been known and considered for many years. In large-scale storage, these storage facilities are considered among the best for short- and medium-term storage. With the ever-increasing share of renewable energy sources (RES) in the energy mix of EU countries, opportunities to store large amounts of electricity from RES are being sought. This is due to the inability to correlate energy production from RES with current electric grid demand. One approach to storing surplus electricity from RES is to convert it into hydrogen – producing hydrogen in electrolyzers powered by the surplus electricity. Storage in salt caverns allows for hydrogen storage for both short and long periods. In the coming decades, they have the potential to play a significant role in Poland's energy transformation, helping to balance electricity grids powered by renewable energy sources. However, it should be noted that the construction of a hydrogen energy storage cavern and its subsequent operation poses both a technological and economic challenge. This article analyzes and identifies the most important aspects that must be addressed at the conceptual planning stage for the use of salt caverns as hydrogen energy storage in Poland.

Keywords: salt caverns, energy storage, hydrogen storage, energy from RES

Referat będzie opublikowany w formie artykułu w Przeglądzie Solnym 2025

Full text will be published in Salt Review 2025

WPŁYW MECHANICZNEGO UWARSTWIENIA POKŁADU SOLI NA STABILNOŚCI KAWERN SOLNYCH

THE INFLUENCE OF MECHANICAL STRATIGRAPHY OF SALT BEDS ON THE STABILITY OF ROCK SALT CAVERNS

Marta ADAMUSZEK¹, Michał SŁOTWIŃSKI¹, Marcin DĄBROWSKI¹

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

Rosnące zapotrzebowanie na wielkoskalowe magazynowanie energii i gazu sprzyja rozwojowi technologii wykorzystujących kawerny solne, które uznawane są za rozwiązanie strategiczne ze względu na stosunkowo niskie koszty eksploatacji substancji oraz wysoki poziom bezpieczeństwa. Przydatność kawern do celów magazynowych zależy od szeregu kryteriów, w tym odpowiednich parametrów geometrycznych kawerny (wielkości, kształtu i głębokości posadowienia) oraz korzystnych właściwości mechanicznych soli kamiennej. Na charakterystykę mechaniczną formacji solnych wpływają nie tylko właściwości samej soli kamiennej i jej zmienność, ale także obecność przewarstwień innych skał takich jak anhydryty, skały ilaste, czy sole potasowe.

W ramach prowadzonych badań, przeprowadzono analizę wpływu mechanicznego uwarstwienia pokładu solnego na stabilność kawerny solnej (**Fig. 1A**), porównując trzy scenariusze budowy wewnętrznej serii ewaporatowej: (I) model z jednorodnymi własnościami soli kamiennej, (II) model dwuwarstwowy z różnymi typami soli oraz (III) model z przewarstwieniem anhydrytu (**Fig. 1B**). Dla każdego scenariusza zbadano trzy warianty geometrii kawern: (A) asymetryczny kształt, w którym kawerna rozszerza się u podstawy (o średnicy od 40 do 60 m), (B) symetryczną formę cygarową (o średnicy 40 m) oraz (C) kształt, w którym kawerna rozszerza się w górnej części (o średnicy od 40 do 60 m) (**Fig. 1C**). Badania prowadzono z wykorzystaniem autorskich modeli numerycznych opartych na metodzie elementów skończonych zaimplementowanej w środowisku MATLAB. Skupiono się przede wszystkim na analizie tempa konwergencji kawern. W obliczeniach przyjęto, że dominującym mechanizmem deformacji jest pełzanie dyfuzyjne, odpowiadające długoterminowemu zachowaniu soli przy maksymalnym wypełnieniu kawerny i niskich naprężeniach dyferencjalnych. W celu uchwycenia różnic między scenariuszami skoncentrowano się na bezpośredniej odpowiedzi mechanicznej związanej z kształtem kawern, bez uwzględniania długoterminowego, zależnego od czasu, zachowania skał ani parametrów eksploatacyjnych kawern.

Uzyskane wyniki pozwoliły określić dolną granicę tempa konwergencji dla różnych scenariuszy uwarstwienia i geometrii kawern (**Fig. 2**). Analiza wykazała, że mechaniczne uwarstwienie serii ewaporatowej może znacząco wpływać na tempo zaciskania się kawern. Optymalizacja geometrii kawerny uwzględniająca zmienności reologicznej w obrębie profilu litologicznego stanowią kluczowe czynniki zmniejszające tempo konwergencji i poprawiające długoterminową stabilność kawern.

Słowa kluczowe: kawerny solne, podziemne magazyny, modelowanie numeryczne, mechaniczne uwarstwienie

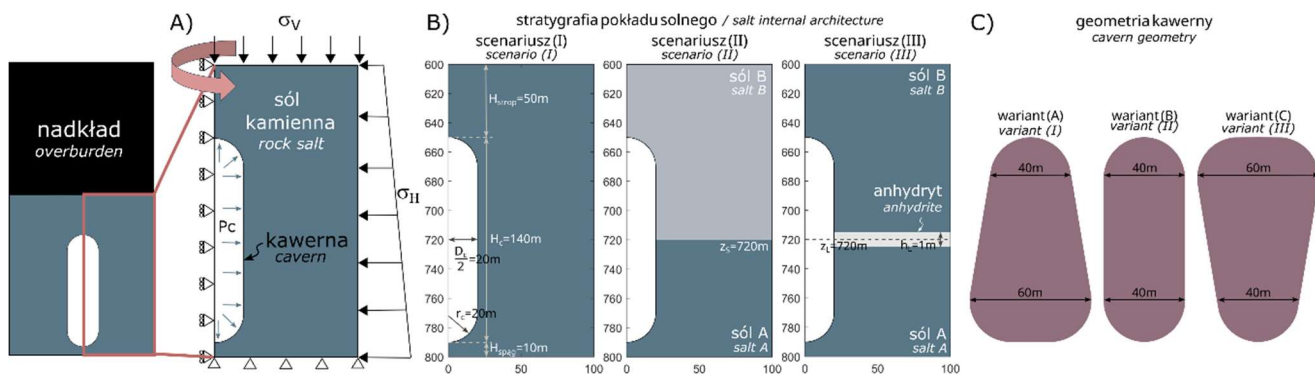


Fig. 1. Geometria pokładu solnego i kawerny solnej oraz warunki brzegowe modelu numerycznego
Fig. 1. Geometry and boundary conditions of the salt cavern model

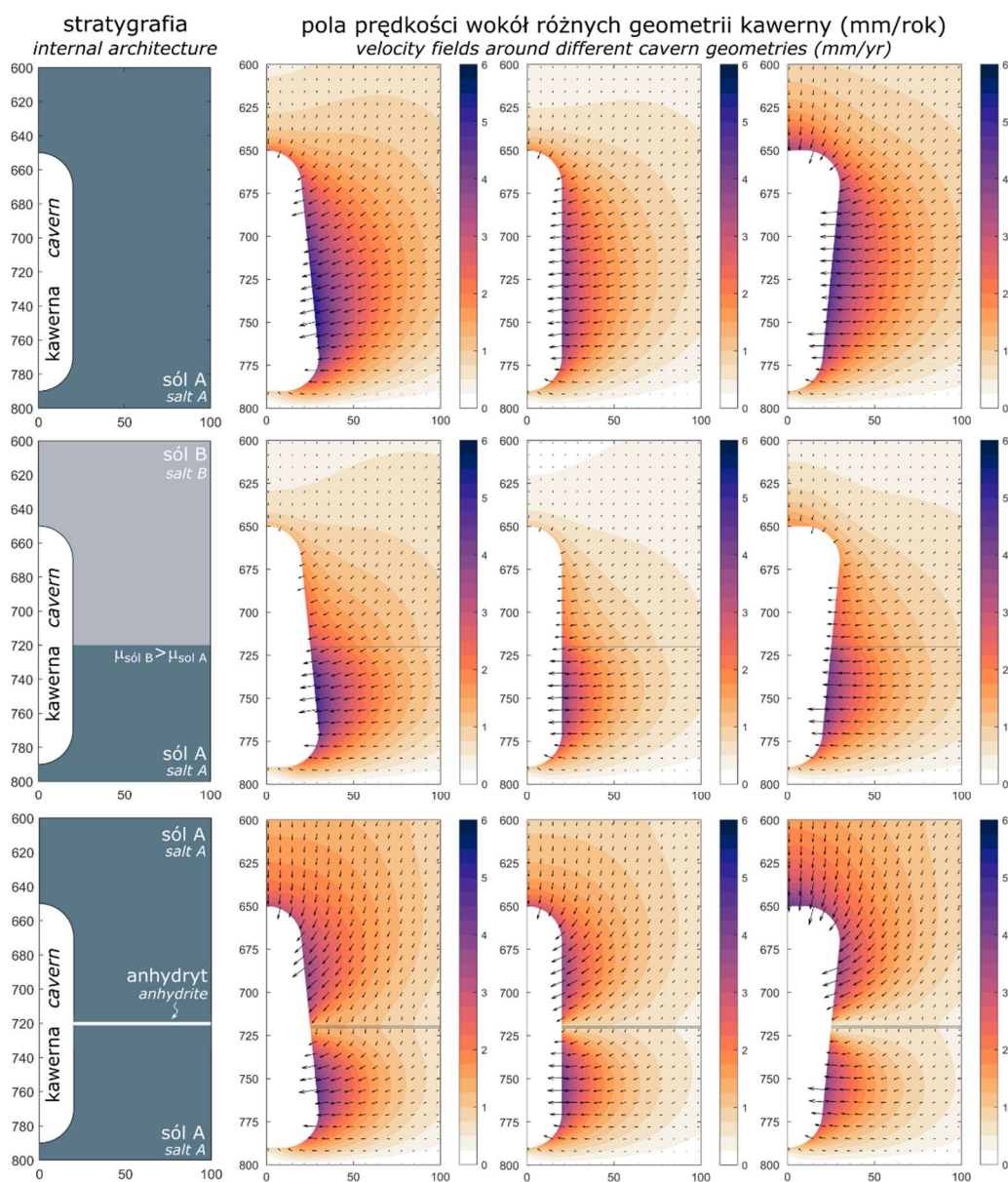


Fig. 2. Wyniki modelowania numerycznego pokazujące pola prędkości deformacji dla trzech wariantów uwarstwienia pokładu solnego oraz różnych geometrii kawerny
Fig. 2. Results of numerical modelling showing velocity fields around salt caverns with different geometries

The growing demand for large-scale energy and gas storage facilitates the development of technologies utilizing salt caverns, which are considered a strategic solution due to their relatively low operating costs and high level of safety. The suitability of caverns for storage purposes depends on a number of criteria, including appropriate geometric parameters of the cavern (size, shape, and depth) as well as favourable mechanical properties of rock salt. The mechanical behaviour of salt formations are influenced not only by the properties and variability of the rock salt itself, but also by the presence of interbeds of other rocks such as anhydrite, claystone, or potash salts.

*We carried out an analysis to assess the impact of mechanical stratigraphy of the salt bed on the stability of a salt cavern (**Fig. 1A**), by comparing three scenarios of evaporite series internal structure: (I) a model with homogeneous properties of rock salt, (II) a two-layer model with different salt types, and (III) a model with an anhydrite interbed (**Fig. 1B**). For each scenario, three cavern geometries were examined: (A) an asymmetric shape widening at the base (diameter ranging from 40 to 60 m), (B) a symmetric cigar-shaped form (diameter 40 m), and (C) an asymmetric shape widening at the top (diameter ranging from 40 to 60 m) (**Fig. 1C**). The study was conducted using our own axisymmetric mechanical codes developed in MATLAB, which are based on the Finite Element Method (FEM). The focus was primarily on analyzing the convergence rate of the caverns. In the study, we assumed that the dominant deformation mechanism is diffusive creep, representing the long-term behavior of salt under conditions of maximum cavern filling and low differential stresses. To capture the differences between scenarios, the analysis concentrated on the direct mechanical response related to cavern geometry, without accounting for long-term time-dependent rock behavior or operational parameters of the caverns.*

*The results enabled the determination of the lower bound of convergence rates for different stratigraphic scenarios and cavern geometries (**Fig. 2**). The analysis demonstrated that the mechanical stratigraphy of the evaporite series can significantly influence the rate of cavern closure. Optimization of cavern geometry that accounts for rheological variability within the lithological profile constitutes a key factor in reducing convergence rates and enhancing the long-term stability of caverns.*

Keywords: salt caverns, underground storage, numerical modelling, mechanical stratification

INNOWACYJNA TECHNOLOGIA WYDOBYCIA SOLI Z KOMÓR SOLANKOWYCH ZNAJDUJĄCYCH SIĘ W KOŃCOWYCH INTERWAŁACH EKSPLOATACJI LUB W KTORYCH ZAKOŃCZONO WYDOBYCIE

INNOVATIVE TECHNOLOGY OF SALT ROCK MINING FROM BRINE CAVERNS IN LAST INTERVALS OF LEACHING OR CAVERNS WHERE EXPLOITATION HAS BEEN TERMINATED

Piotr MROZIŃSKI, Mirosław M. MAZUR

Eksploatacja soli metodą otworową wymaga bardzo kosztownych badań rozpoznania złoża, a następnie wykonania wierceń udostępniających złożu do ługowania oraz podłączenia otworu z infrastrukturą powierzchniową. Ze względu na określoną objętość wysadów solnych często najlepsze partie złóż są już wyeksploatowane i występują problemy z lokalizacją kolejnych trafionych otworów. Prezentowane przez autorów nowatorskie rozwiązanie pozwala w dużym stopniu poprawić tę sytuację. Znaczące zwiększenie stopnia wykorzystania złóż wysadowych można uzyskać poprzez powrót do eksploatacji w komorach, których zakończono eksploatację lub znajdujących się w końcowej jej fazie. Wydobywana solanka handlowa może posłużyć jako surowiec dla przemysłu chemicznego a także do wyłaczania węglowodorów ciekłych z komór magazynowych.

Istotą nowatorskiego rozwiązania jest zastosowanie do ługowania w wyeksploatowanych komorach eksploatacyjnych jednej kolumny rur wolnowiszącej i praca w obiegu prawym. W proponowanej technologii olej izolujący usytuowany będzie w rejonie i powyżej cementacji ostatnie cementowanej kolumny rur. Woda do komory tłoczona będzie poprzez jedną zapuszczoną kolumnę wolnowiszącą, a solanka na powierzchnię będzie transportowana poprzez przestrzeń pierścieniową powstałą z ostatnią cementowaną rurą w górotworze solnym. Zastosowanie tej technologii pozwala na znaczne zwiększenie zdolności produkcyjnej solanki w wybranych komorach, zwiększenie wskaźnika wykorzystania złoża i poprawę efektywności wydobytej solanki, w tym także dużą poprawę jednostkowej energochłonności. Zgodnie z aktualną wiedzą i nowymi narzędziami można zweryfikować grubość filarów międzykomorowych dla XX wiecznej przyjętej siatki osi otworów. Proponowana przez autorów implementacja nowej technologii poprzedzona zostanie szeregiem czynności niezbędnych dla uzyskania bezpiecznego i kontrolowanego procesu pozyskania solanki, w tym przede wszystkim geomechaniczne modelowania 3D, analizę filarów międzykomorowych, rozługowań, połączeń i osiadań terenu. Na bieżąco prowadzona będzie kontrola technologii procesu. Zastrzeżono dwie cechy znamienne dla opisywanej technologii: pozyskanie solanki przy pomocy jednej kolumny rur ługowniczych oraz dostosowany do tej metody reżim operacji olejowych.

Nowatorska technologia może zostać zastosowana w wyselekcjonowanych komorach, w których w stosunku do Projektu Zagospodarowania Złoża (PZZ) istnieją niedobrane zasoby, bądź regularność kształtu komory dobrze rokuje na możliwość rozsądnego zwiększenia danych w PZZ wymiary komór.

Well leaching of salt rock requires very expensive deposit recognition, then costly drilling of wells and finally connection with surface leaching infrastructure. Taking into account limited volume of salt domes where usually the best parts of deposit are already taken out, problem of successful location of next wells is encountered. Presented technology may change this situation. Significant improvement of deposit utilisation factor might be achieved by undertaking renewed exploitation in caverns where leaching has been terminated or which are being in last stages of exploitation. Gained saturated brine might be used as raw material for chemical industry or to extrude liquid hydrocarbons from storage caverns.

Innovating leaching technology consists of using the single free hanging pipe column and working in direct circulation. In proposed solution blanket oil will be situated in the vicinity or above casing shoe of last cemented in salt pipe column. Water will be pumped into the cavern by single free hanging pipe

column and brine will be transported to the surface through ring between external wall of this column and cementation. Implementing of this technology significantly extends brine production capacity, improves the deposit utilisation factor and raises economic results of exploitation, including diminishing the quantity of energy used. According to up-to-date knowledge and contemporary calculating tools, dimensions of protective pillars and shelves could be verified for existing pattern of leaching wells and cavern true shapes. New technology introduction will be preceded by procedures assuring safe and controlled process of brine production, including first of all geomechanical modeling 3D, analysis of pillars, leached out fragments of deposit and surface subsidence. Two features characterising new technology: using the single free hanging pipe column and adequate blanket operations regime have been stipulated in patent pending.

The technology may be used in carefully selected caverns where salt rock quantity to be exploited given in Deposit Development Design (DDD) exceeds truly leached out salt rock or regular shapes of cavern give chance for reasonable extending the cavern dimensions.

POMIARY GEOMETRYCZNE KAWERN ZLOKALIZOWANYCH PODCZAS PROWADZENIA PRAC WIERTNICZYCH

GEOMETRIC MEASUREMENTS OF CAVERNS DETECTED DURING DRILLING OPERATIONS

Mariusz CHROMIK¹, Tomasz KUBACKA¹

¹ Ośrodek Badawczo Rozwojowy Górnictwa Surowców Chemicznych CHEMKOP Sp. z o.o.

ul. J. Wybickiego 7, 31-261 Kraków,

e-mail: mariusz.chromik@chemkop.pl, tomasz.kubacka@chemkop.pl

Podczas wykonywania prac wiertniczych możliwe jest natrafienie na komory, którymi mogą być naturalne kawerny krasowe, kawerny powstałe w warstwach soli, a także nieudokumentowane wyrobiska komorowe i korytarzowe. W zależności od ich rozmiarów i specyfiki, mogą one stanowić źródło zagrożeń zawałowych prowadzących do deformacji górotworu i powierzchni, a także negatywnie wpływać na dalszy proces wiercenia lub nawet doprowadzić do awarii. Jednym ze sposobów likwidacji takich struktur jest ich podsadzanie – np. metodą „na sucho” lub „na mokro” (Palarski, 1996). Problemem pozostaje jednak brak wiedzy o rozmiarach i kształcie komory, co uniemożliwia określenie potrzebnej ilości materiału podsadzkowego oraz wybór optymalnej technologii podsadzania pod względem technicznym i ekonomicznym.

W rozwiązaniu tego problemu pomocne są otworowe pomiary geofizyczne. Do otworu wprowadza się specjalistyczne narzędzia, które umożliwiają określenie rozmiarów wykrytej komory. Stosuje się tu zarówno standardowe metody geofizyki otworowej, jak kamera otworowa, telewizor akustyczny czy kawernomierz, jak i metody niestandardowe, np. echometrię ultradźwiękową standardowo wykorzystywaną w pomiarach echometrycznych kawern solnych.

Metody wizualne, takie jak kamera otworowa, pozwalają na ocenę stanu technicznego otworu oraz lokalizację interwału, w którym występuje komora. W zależności od medium wypełniającego otwór, zasięg widoczności urządzenia wgłębnego wynosi od kilkunastu centymetrów do około jednego metra. Kamera nie dostarcza jednak informacji o odległości od ściany – te można uzyskać dzięki telewizorowi akustycznemu, wykorzystującemu fale ultradźwiękowe wysokiej częstotliwości. Umożliwia on identyfikację szczelin i kawern w otworze, lecz jedynie do wielkości kilkudziesięciu centymetrów i tylko w otworach wypełnionych cieczą (Williams, Johnson, 2004).

Do pomiarów średnicy większych struktur stosuje się kawernomierze mechaniczne, działające zarówno w otworach wypełnionych cieczą, jak i gazem. Urządzenia te, wyposażone w ruchome ramiona, pozwalają na określenie średnicy otworu do ok. 70 cm, a po przedłużeniu ramion – nawet do 1,5 m. Istnieją również kawernomierze wielkośrednicowe, umożliwiające pomiar średnicy do 2 m (Chau i in., 2019). Choć nie pozwalają one na pełne zobrazowanie dużych kawern, dostarczają cennych informacji o głębokości stropu i spągu oraz o tym, czy komora wykracza poza ich zakres pomiarowy.

Najbardziej kompleksowe wyniki daje metoda echometryczna, wykorzystująca echosondę ultradźwiękową. Urządzenie to mierzy odległość od ściany komory na podstawie czasu powrotu odbitego sygnału (Hasselkus, Reitze, 2012). Znając prędkość rozchodzenia się fali ultradźwiękowej w danym medium możemy dokładnie określić odległość urządzenia od powierzchni odbijającej. Dzięki obrotowej i uchylnej głowicy umożliwia odwzorowanie kształtu i rozmiarów kawern w trzech wymiarach. Echosonda pozwala na pomiary w otworach o średnicach już od 4”, do głębokości nawet 2500 m, a największy zasięg uzyskuje w kawernach wypełnionych cieczą (ponad 100 m) lub gazem o podwyższonym ciśnieniu. Oprócz wymiarów rejestruje także temperaturę i prędkość fali ultradźwiękowej w badanym medium (Chau, Kubacka, 2022).

Pomiary wykonuje się w dwóch trybach: pionowym (podczas zapuszczania i wyciągania sondy) oraz poziomym (rotacja sondy na określonej głębokości). Wynikiem są echogramy, które po interpretacji dają

trójwymiarowy obraz komory, zorientowany względem północy magnetycznej. Na ich podstawie można określić m.in. położenie stropu i spągu, promień ekwiwalentny, promienie minimalne i maksymalne, a także objętość komory.

Dzięki głowicy uchyłnej możliwe jest opomiarowanie stref trudniej dostępnych, np. części stropowej czy spągowej. Połączenie pomiarów pionowych, poziomych i uchylnych pozwala na uzyskanie kształtu komory zbliżonego do rzeczywistego. Okresowe wykonywanie pomiarów echometrycznych pozwala na rejestrację zmian zachodzących w komorze oraz na monitorowanie postępów jej podszadzenia.

Metoda echometryczna ma jednak ograniczenia – prostoliniowy przebieg fali (w ośrodku jednorodnym) powoduje, że fragmenty zasłonięte przez inne części komory pozostają niewidoczne. Mimo to pozostaje ona najbardziej efektywnym narzędziem do pomiarów kawern o dużych rozmiarach. Można ją stosować zarówno w otworach pod ciśnieniem hydrostatycznym, jak i wysokim ciśnieniem głowicowym, przy użyciu specjalistycznych śluz ciśnieniowych. Istnieje także możliwość poboru próbek medium wypełniającego komorę do dalszych analiz laboratoryjnych.

Pomiary echometryczne pozwalają określić kształt i rozmiary komór znajdujących się poza zasięgiem standardowych metod. Mogą być stosowane do badania kawern naturalnych, wyrobisk górniczych oraz komór udostępnionych otworami wiertniczymi. Dane geometryczne uzyskane w ten sposób są niezbędne przy ich likwidacji, a także przy analizie zagrożeń i ewidencjonowaniu wykrytych kawern.

Słowa kluczowe: echosonda, kawerna, odwiert, kawernomierz, kamera otworowa, telewizor akustyczny

During drilling operations, it is possible to encounter chambers, which may be natural karst caverns, caverns formed in salt layers, or undocumented chamber and corridor excavations. Depending on their size and characteristics, they can pose a risk of collapse, leading to deformation of the rock mass and surface, negatively impacting the subsequent drilling process, or even leading to failure. One method of eliminating such structures is backfilling – for example, using "dry" or "wet" methods (Palarski, 1996). However, the lack of knowledge about the chamber's size and shape remains a problem, preventing the determination of the required amount of backfill material and the selection of the optimal backfilling technology from both technical and economic perspectives.

Geophysical well logging surveys are helpful in solving this problem. Specialized tools are inserted into the borehole to determine the size of the detected cavern. Standard well geophysical methods, such as a borehole camera, acoustic televiwer, or caliper are used, as well as non-standard methods, such as sonar measurements typically used in echometric measurements of salt caverns.

Visual methods, such as borehole cameras, allow for the assessment of the technical condition of the borehole and the location of the cavern interval. Depending on the medium filling the borehole, the visibility range of the downhole device ranges from several centimeters to approximately one meter. However, the camera does not provide information on the distance from the wall – this can be obtained using an acoustic televiwer, which uses high-frequency ultrasonic waves. It allows for the identification of fractures and caverns in the borehole, but only up to several dozen centimeters in size and only in fluid-filled boreholes (Williams, Johnson, 2004).

Mechanical caliper, operating in both fluid-filled boreholes and gas-filled boreholes, are used to measure the diameter of larger structures. These devices, equipped with movable arms, allow for the determination of borehole diameters up to approximately 70 cm, and with extensions, up to 1.5 m. Large-diameter calipers are also available, capable of measuring diameters up to 2 m (Chau et al., 2019). Although they do not allow for complete imaging of large caverns, they provide valuable information about the depth of the roof and floor and whether the chamber exceeds their measurement range.

The most comprehensive results are obtained using an echometric method, using an sonar tools - ultrasonic echosounder. This device measures the distance from the chamber wall based on the return time of the reflected signal (Hasselkus, Reitze, 2012). Knowing the propagation velocity of the ultrasonic wave in each medium, we can precisely determine the device's distance from the reflecting surface.

Thanks to its rotating and tilting head, it allows for the mapping of the shape and size of caverns in three dimensions. The echosounder allows for measurements in boreholes with diameters starting from 4" and extending to depths of up to 2500 m, with its greatest range achieved in caverns filled with liquid (over 100 m) or high-pressure gas. In addition to geometry, it also records the temperature and velocity of the ultrasonic wave in the tested medium (Chau, Kubacka, 2022).

Measurements are performed in two modes: vertical (during probe insertion and retrieval) and horizontal (probe rotation at a specific depth). The results are echograms, which, after interpretation, provide a three-dimensional image of the chamber, oriented relative to magnetic north. These echograms can be used to determine, among other things, the position of the roof and floor, the equivalent radius, the minimum and maximum radius, and the chamber volume. The tilting head allows for measurement of more difficult-to-access areas, such as the roof or floor. The combination of vertical, horizontal, and tilting measurements allows for the chamber's shape. Periodic echometric measurements allow for the recording of changes occurring within the chamber and monitoring of its propagation progress.

The echometric method, however, has limitations – the rectilinear waveform (in a homogeneous medium) causes sections obscured by other parts of the chamber to remain invisible. Despite this, it remains the most effective tool for measuring large caverns. It can be used in both hydrostatic and high-pressure wellhead, using specialized pressure control unit (PCE). It is also possible to collect samples of the medium filling the chamber for further laboratory analysis using special sampler tools.

Echometric measurements allow for the determination of the shape and size of cavern located beyond the reach of standard methods. They can be used to examine natural caverns, mine workings, and chambers accessed through drilling. The geometric data obtained in this way is essential for their closure, as well as for hazard analysis and the recording of detected caverns.

Keywords: sonar, cavern, borehole, caliper, borehole camera, acoustic televiewer

LITERATURA / REFERENCES:

- CHAU, N. D., KUBACKA, T., FIGARSKI, M., 2019. Możliwości zastosowania echosondy „CHEMKOP” i kawernomierza wielkośrednicowego do badania kawern podziemnych. *Przegląd Górniczy*, 75, nr 4:1- 7
- CHAU, N.D. KUBACKA, T., 2022. Monitorowanie kawern solnych wykorzystywanych jako magazyny węglowodorów ciekłych i gazowych za pomocą echosondy ultradźwiękowej. *GEOPETROL 2022: Wyzwania dla sektora naftowego i gazowniczego*: Zakopane, Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy: 235-245
- HASSELKUS F., REITZE A., 2012. Sonar surveying of caverns and 3d modelling of entire cavern fields. *Geology, Geophysics & Environment*, 38 nr. 2: 251–262
- PALARSKI J., 1996. Ocena szczelności podszadania wyrobisk przez otwory wiertnicze. *Zeszyty naukowe Politechniki Śląskiej, Górnictwo*, 232, nr 1354
- WILLIAMS, J. H., JOHNSON, C. D., 2004. Acoustic and optical borehole-wall imaging for fractured-rock aquifer studies. *Journal of Applied Geophysics*, 55, nr 1-2: 151-159

SPOSÓB ZAPOBIEŻENIA PRZED KATASTROFĄ GÓRNICZĄ W KOPALNI Z JEDNOCZESNĄ OCHRONĄ ŚRODOWISKA RZECZNEGO PRZED KATASTROFALNYM ZASALANIEM

A METHOD OF PREVENTING A MINING DISASTER IN A MINE WHILE SIMULTANEOUSLY PROTECTING THE RIVER ENVIRONMENT FROM CATASTROPHIC SALINIZATION

Stanisław BRAŃKA¹, Sebastian BRAŃKA²

¹ e-mail: brankabey@gmail.com

² Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie, ul. Rakowicka 27, 31-510 Kraków, e-mail: brankas@uek.krakow.pl

Artykuł określa źródła zasalania wód podziemnych wypompowywanych z kopalni węgla Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW) oraz z kopalni KGHM Polska Miedź. Wody te praktycznie w całości zrzucane są do cieków wodnych dorzeczy Odry (KGHM i GZW) oraz Wisły (GZW), przekraczając zasolenie w okresach niżówkowych dopuszczalne dla wód słodkich (500 mg/dm³) niekiedy w przypadku Odry (2022 r.) w sposób katastrofalny. Oprócz środowiska wodnego niszczeniu ulegają złoża soli kamiennej w wyniku sztucznie wytworzonego niekontrolowanego krasu solnego. Zjawisko to prowadzi do odkształceń – osiadań powierzchni terenu (szkody górnicze) niekiedy potencjalnie katastrofalnych. Uszkodzeniu mogą ulec również tubingi w szybach w obrębie warstw solnych, co może grozić zatopieniem kopalni.

Artykuł w swojej konkluzji przedstawia stosunkowo proste rozwiązanie jak można uniknąć skutków tego niekontrolowanego ługowania złóż solnych (krasu solnego), tak w GZW jak i w KGHM, w stosunku do powierzchni, infrastruktury kopalnianej oraz środowiska wodnego.

Słowa kluczowe: Górnośląskie Zagłębie Węglowe, KGHM Polska Miedź, złoża solne, kras solny, katastrofa górnicza, wody pokopalniane

This article identifies the sources of salinity in groundwater pumped from coal mines in the Upper Silesian Coal Basin (Polish: GZW) and the KGHM Polska Miedź mines. Virtually all of this water is discharged into the watercourses of the Oder (KGHM and GZW) and Vistula (GZW) river basins, exceeding the permissible salinity for freshwater (500 mg/dm³) during low-flow periods, sometimes catastrophically in the case of the Oder (2022). In addition to the aquatic environment, rock salt deposits are being damaged as a result of artificially created, uncontrolled salt karst. This phenomenon leads to deformations – subsidence of the ground surface (mining damage), sometimes potentially catastrophic. Tubing in shafts within salt layers may also be damaged, which could threaten the mine with flooding.

The article concludes by presenting a relatively simple solution on how to avoid the consequences of this uncontrolled leaching of salt deposits (salt karst), both in the Upper Silesian Coal Basin and in KGHM mines, in relation to the surface, mine infrastructure and the aquatic environment.

Keywords: Upper Silesian Coal Basin, KGHM Polska Miedź, salt deposits, salt karst, mining disaster, post-mining waters

ANALIZA WIELOLETNICH PRZEMIESZCZEŃ PIONOWYCH POWIERZCHNI TERENU NAD KOPALNIĄ SOLI W KŁODAWIE

ANALYSIS OF LONG-TERM VERTICAL DISPLACEMENTS OF THE GROUND SURFACE ABOVE THE KŁODAWA SALT MINE

Damian KURDEK¹

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

W artykule zaprezentowano wyniki wieloletnich obserwacji przemieszczeń pionowych powierzchni terenu nad Kopalnią Soli „Kłodawa” S.A., prowadzonych w oparciu o sieć niwelacyjną funkcjonującą od lat 50. XX wieku. Analiza obejmuje zarówno ujęcie długookresowe, jak i szczegółowe opracowanie danych z ostatnich lat, co pozwoliło na określenie kierunków i dynamiki deformacji w różnych przedziałach czasowych. Na podstawie zgromadzonych wyników zidentyfikowano dwa główne obszary obniżenia. Większa niecka kształtuje się nad rejonem aktualnej eksploatacji pola nr 2, natomiast druga, mniejsza, związana jest z dawną eksploatacją pola nr 1. Pozostałe pola eksploatacyjne nie wytapiają jednoznacznej niecki obniżeniowej. Obserwacje wskazują na kontynuację procesów osiadania w obecnych nieckach, przy czym nie stwierdzono powstawania nowych lokalnych form obniżeniowych. Badania dowodzą, że obecnie przemieszczenia powierzchni nie generują zagrożeń w postaci nachyleń czy odkształceń przekraczających wartości I kategorii terenu górniczego. Podkreślono konieczność dalszego monitoringu oraz dbałość o utrzymanie sieci obserwacyjnej, której gęstość i wiarygodność determinują jakość interpretacji rozkładu pola przemieszczeń. Ponadto zwrócono uwagę na możliwość wykorzystania danych European Ground Motion Service jako dodatkowego źródła informacji o obniżeniach powierzchni na terenach górniczych, a szczególnie na terenach pogórniczych.

Słowa kluczowe: pomiary przemieszczeń, deformacje, sieć obserwacyjna, analiza

The article presents the results of long-term observations of vertical displacements of the ground surface above the 'Kłodawa' Salt Mine S.A., conducted on the basis of a leveling network that has been in operation since the 1950s. The analysis covers both a long-term perspective and a detailed study of data from recent years, which has made it possible to determine the directions and dynamics of deformations in different time intervals. Based on the collected results, two main subsidence areas have been identified. The larger trough is developing above the current exploitation area of field no. 2, while the second, smaller one is associated with past exploitation of field no. 1. Other mining fields do not show a clearly defined subsidence trough. Observations indicate the continuation of subsidence processes in the existing troughs; however, no new local subsidence forms have been detected. Research demonstrates that the current ground movements do not pose risks in the form of inclinations or deformations exceeding the values of Category I mining areas. The necessity of continued monitoring has been emphasized, as well as the importance of maintaining the observation network, whose density and reliability determine the quality of the interpretation of the displacement field distribution. Additionally, attention has been drawn to the potential use of data from the European Ground Motion Service as an additional source of information on surface subsidence in mining areas, particularly in post-mining zones.

Keywords: displacement measurements, deformations, observation network, analysis

Referat będzie opublikowany w formie artykułu w Przeglądzie Solnym 2025

Full text will be published in Salt Review 2025

INTERPRETACJA WYBRANYCH MAP GEOLOGICZNYCH ZE ZBIORU KARTOGRAFICZNEGO MUZEUM ŻUP KRAKOWSKICH WIELICZKA

INTERPRETATION OF SELECTED GEOLOGICAL MAPS FROM THE CARTOGRAPHIC COLLECTION OF THE CRACOW SALTWORKS MUSEUM IN WIELICZKA

Agnieszka PRYTEK¹

¹ Muzeum Żup Krakowskich Wieliczka, 32-020 Wieliczka ul. Zamkowa 8, e-mail: a.prytek@muzeum-wieliczka.pl

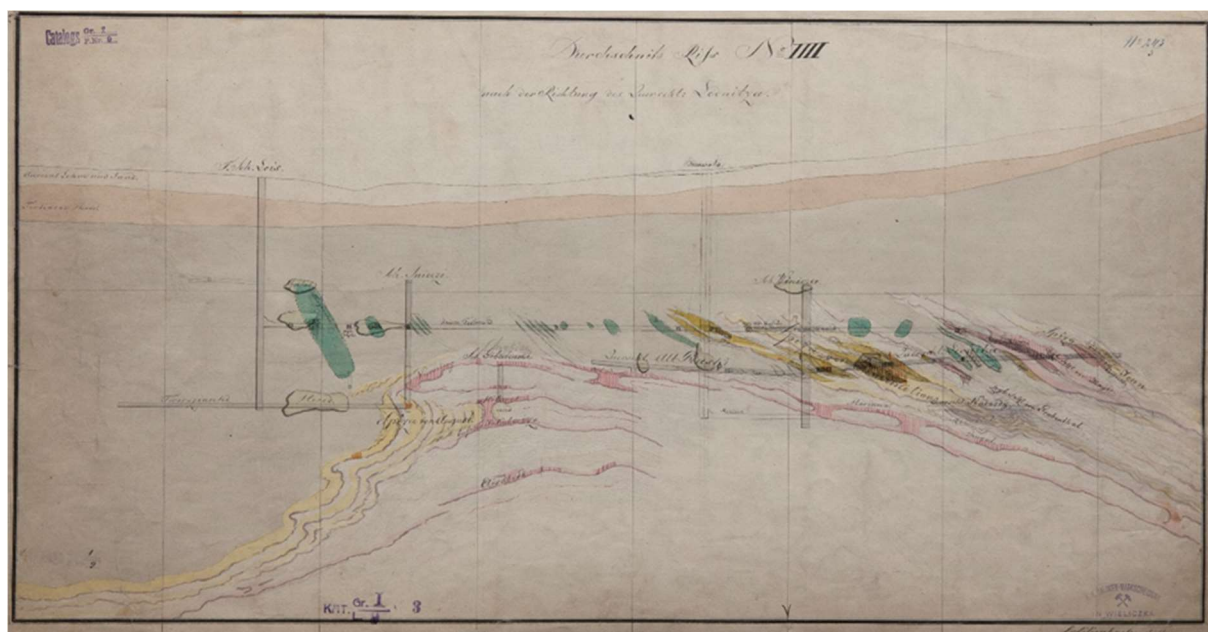
Celem opracowania jest interpretacja wybranych map geologicznych pochodzących ze zbioru kartograficznego Muzeum Żup Krakowskich Wieliczka. W 1956 r. został powołany zespół kartograficzny w związku z przekazaniem do muzeum wielickiego archiwaliów z Oddziału Miernictwa Kopalni Soli w Wieliczce oraz z Archiwum Wydziału Gospodarki Komunalnej w Wieliczce. Obecnie zbiór liczy 4202 pozycje, w tym 3167 numerów inwentarzowych. Został on podzielony na trzy zasadnicze grupy tematyczne: mapy górnicze, mapy powierzchniowe oraz tzw. varia – pozostałe dokumenty. Ich zakres chronologiczny obejmuje prawie 350 lat, począwszy od pierwszych planów Marcina Germana z 1638 r., poprzez okres zaboru austriackiego (1772–1918), aż po mapy XX-wieczne. Warto podkreślić, że ponad 70% zbioru przypada na okres austriackiej administracji. Rosnące zapotrzebowanie na sól i intensyfikacja jej wydobywania sprawiły, że niezbędne stawało się dysponowanie aktualnymi planami kopalni wielickiej. Cały zbiór kartograficzny pod względem techniki wykonania dzieli się na dwie grupy: pierwsza to mapy rękopiśmienne (ok. 90%), druga – miedzioryty i litografie. Mapy te stanowią nie tylko zapis rozwoju górnictwa, lecz także ewolucji technik mierniczych. Pierwsze proste metody kartograficzne stosowane w żupie wielickiej polegały na pomiarach długości i szerokości wrębów przy użyciu lasek i sznurów mierniczych, aż po zastosowanie zaawansowanych instrumentów geodezyjnych, takich jak busole (od XVI w.) czy teodolity (od 1858 r.). Miernicy saliny wielickiej, dzięki obserwacjom i pomiarom dokonywanym w wyrobiskach solnych, tworzyli kolorowe mapy i przekroje. Warto zauważyć, że już w XIV w., za żupnika Porinusa, prowadzono pomiary wykorzystywane do wyliczeń pracy akordowej górników, a w XVI w. wprowadzono jednostki miar, takie jak łatr i sążeń. W kolejnych stuleciach udoskonalano metody pomiaru, w tym orientację wyrobisk względem powierzchni poprzez tworzenie sieci trójkątów i pomiary longimetryczne. Najcenniejszą i najbardziej rozbudowaną część kolekcji stanowią mapy górnicze, wśród których szczególnie miejsce zajmują XIX-wieczne mapy geologiczne. Odegrały one kluczową rolę w kształtowaniu pierwszych teorii geologicznych dotyczących budowy złoża soli kamiennej w Wieliczce. W tym okresie rozpoczęto również opracowywanie pierwszych przekrojów i profili geologicznych, które przedstawiały nie tylko zapadanie warstw, ale także stanowiły próbę wyjaśnienia genezy wielickiego złoża soli. Postępujące roboty górnicze, prowadzone na różnych poziomach kopalni, umożliwiały dostęp do nowych partii złoża, co z kolei pozwalało na systematyczne uzupełnianie i aktualizowanie istniejących map oraz opracowywanie coraz bardziej precyzyjnych przekrojów geologicznych. Mapy te uwzględniały m.in. zróżnicowanie typów soli – takich jak sól zielona, biała czy szara – oraz ich rozmieszczenie w obrębie złoża. W początkowym okresie oznaczenia warstw geologicznych nie były jeszcze ujednolicone – kolory i symbole stosowano w sposób dowolny. Z biegiem czasu mapy geologiczne zaczęły pełnić nie tylko funkcję praktycznego narzędzia pracy górników, ale także stawały się cennym źródłem wiedzy naukowej.

Znajomość budowy geologicznej złoża determinowała kierunki rozwoju kopalni i była niezbędna przy planowaniu dalszych robót górniczych. Kluczowym elementem tego procesu było systematyczne dokumentowanie przestrzennego rozmieszczenia soli oraz skał towarzyszących. Wśród autorów map znajdują się wybitni kartografowie, tacy jak Wawrzyniec Kaczwiński, Karol Lill von Lilienbach, czy Andrzej Fischer. Ich prace nie tylko dokumentują topografię wyrobisk, ale również odzwierciedlają poziom wiedzy geologicznej oraz rozwój praktyk inżynierskich. Dobrym przykładem dokładności i staranności, z jaką tworzone dawne mapy górnicze, jest mapa z końca XIX w., opracowana przez Juliana Niedźwiedzkiego i Romana Sapińskiego (rys.2). Mapa ta przedstawia przestrzenny zasięg złoża wielickiego w przekroju poprzecznym – od granicy północnej do południowej – na linii dawnego szybu Józefa (współcześnie

Kościuszką), od powierzchni aż do poziomu VI. Zawiera również przekrój geologiczny na linii szybu *Franz Josef* (współcześnie *Regis*), na którym zaznaczono bryły soli zielonej, sole pokładowe oraz skały towarzyszące. Geologiczne mapy górnicze dokumentowały nie tylko budowę złożeń, ale również zmieniające się metody eksploatacji, lokalizację komór solnych oraz kierunki prowadzenia robót górniczych.

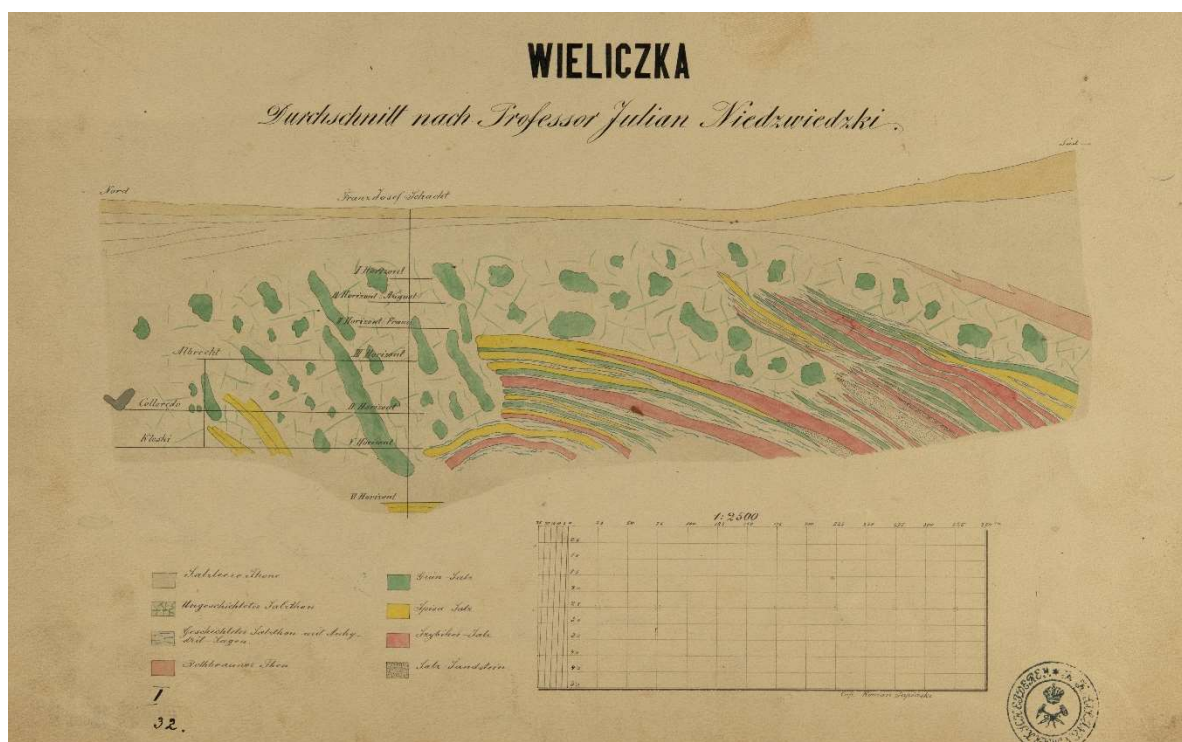
Dzięki analizie map możliwe jest dziś odtworzenie nie tylko przebiegu prac górniczych, ale także zmieniającego się sposobu postrzegania i organizowania przestrzeni podziemnej. Z końca XVIII w. pochodzi wzmianka o potrzebie ujednolicenia nazewnictwa wyrobisk – pierwszy krok ku standaryzacji danych geograficznych i dokumentacyjnych. Kolekcja map geologicznych Muzeum Żup Krakowskich stanowi świadectwo rozwoju nauk przyrodniczych, technicznych i kartograficznych w Polsce i Europie Środkowej. Ich interpretacja dostarcza nie tylko informacji o przeszłości kopalni, lecz także narzędzi do ochrony i popularyzacji dziedzictwa górniczego. Są cennym materiałem źródłowym do badań interdyscyplinarnych: geologicznych, historycznych, urbanistycznych, a także konserwatorskich. Mapy te pełniły i nadal pełnią rolę nie tylko dokumentacyjną, lecz także praktyczną i edukacyjną – stanowią zatem łącznik między dawną wiedzą techniczną a współczesnymi działaniami konserwatorskimi, muzealnymi i badawczymi.

Słowa kluczowe: kopalnia soli, geologia, kartografia, mapy



Ryc. 1. Przekrój poprzeczny w kierunku poprzeczni Lednica „Durchschnitts Riss No III nach der Richtung des Querschl: Lednitza”, Karol Lill von Lilienbach, 1824 r., MŻKW, nr inw. VII/16

Fig. 2. Cross-section in the direction of the Lednica crosscuts "Durchschnitts Riss No III nach der Richtung des Querschl: Lednitz", Karol Lill von Lilienbach, 1824, CSMW, inv. no. VII/16



Ryc. 2. Złoże wielickie w przekroju poprzecznym /granica północna i południowa/ na linii szybu dziennego Józef od powierzchni do poziomu VI, „Wieliczka Durchschnitt nach der Professor Julian Niedzwiedzki”, Julian Niedźwiedzki, Roman Sapiński, koniec XIX w., MŻKW, nr inw. VII/88.

Fig. 2. The Wieliczka deposit in cross-section /northern and southern boundary/ on the line of the Józef day shaft from the surface to level VI, "Wieliczka Durchschnitt nach der Professor Julian Niedzwiedzki", Julian Niedźwiedzki, Roman Sapiński, late 19th century, CSMW, inv. no. VII/88

The aim of this study is to interpret selected geological maps from the cartographic collection of the Cracow Saltworks Museum in Wieliczka. In 1956, a cartographic team was set up in connection with the transfer to the Wieliczka Museum of archival material from the Wieliczka Salt Mine Surveying Department and the Wieliczka Municipal Department Archives. The collection currently has 4202 items, including 3167 inventory numbers. It is divided into three main thematic groups: mining maps, surface maps and so-called varia - other documents. Their chronological range covers almost 350 years, from the first plans by Martin Germanus in 1638, through the period of the Austrian Partition (1772-1918), to 20th-century maps. It is noteworthy that more than 70% of the collection falls during the Austrian administration. The increasing demand for salt and the intensification of its extraction made it essential to have up-to-date plans for the Wieliczka mine. The entire cartographic collection is divided into two groups in terms of production technique: the first is manuscript maps (approximately 90%) and the second is copperplates and lithographs. These maps not only provide a record of the development of mining, but also of the evolution of surveying techniques. The first simple cartographic methods used at the Wieliczka Salt Mine consisted of measuring the length and cuts using sticks and surveying ropes, up to the use of advanced surveying instruments such as compasses (from the 16th century) and theodolites (since 1858). The surveyors of the Wieliczka salt mine created colour maps and cross-sections through observations and measurements taken in the salt excavations. It is worth noting that as early as the 14th century, under the management of Porinus, there were measurements used to calculate the piecework of miners, and in the 16th century units of measurement such as the lachter and the fathom were introduced. In the following centuries, measurement methods were refined, including the orientation of excavations in relation to the surface through the creation of triangular networks and longimetric measurements. The most valuable and extensive part of the collection consists of mining maps, among which 19th-century geological maps occupy a special place. They played a key role in shaping the first geological theories on the structure of the Wieliczka rock salt deposit. It was also during this period that the first cross-sections and geological

profiles began to be compiled, showing not only the collapse of strata, but also attempting to explain the genesis of the Wieliczka salt deposit. The progressing mining works, carried out at various levels of the mine, allowed access to new portions of the deposit, which in turn made it possible to systematically supplement and update existing maps and develop increasingly precise geological cross-sections. These maps took into account, among other things, the diversity of salt types - such as green, white or grey salt - and their distribution within the deposit. In the early days, the designations of geological strata were not yet standardised - colours and symbols were used freely. Over time, geological maps began to serve not only as a practical tool for miners but also became a valuable source of scientific knowledge.

Knowledge of the geological structure of the deposit determined the mine's development directions and was essential in planning further mining works. A key element of this process was the systematic documentation of the spatial distribution of salt and associated rocks. Among the authors of the maps are prominent cartographers such as Wawrzyniec Kaczwiński, Karol Lill von Lilienbach and Andrzej Fischer. Their work not only documents the topography of the excavations but also reflects the level of geological knowledge and the development of engineering practices. A good example of the accuracy and care with which old mining maps were created is the late 19th century map produced by Julian Niedźwiedzki and Roman Sapinski (fig.2). This map shows the spatial extent of the Wieliczka deposit in cross-section - from the northern boundary to the southern boundary - along the line of the former Józef shaft (now Kościuszko), from the surface down to level VI. It also includes a geological cross-section along the line of the Franz Josef shaft (now Regis), on which lumps of green salt, seam salts and associated rocks are marked. Geological mining maps documented not only the structure of the deposit, but also the changing mining methods, the location of salt chambers and the directions of mining operations.

Thanks to map analysis, it is now possible to reconstruct not only the course of mining operations, but also the changing perception and organisation of underground space. A reference to the need to standardise the naming of excavations dates from the late 18th century - the first step towards standardising geographical and documentary data. The geological map collection of the Cracow Saltworks Museum is a testimony of the development of natural, technical and cartographic sciences in Poland and Central Europe. Their interpretation provides not only information about the mine's past, but also tools to protect and popularise the mining heritage. They are valuable source material for interdisciplinary research: geological, historical, urban planning, as well as conservation. These maps have had, and continue to have, not only a documentary role, but also a practical and educational one - thus providing a link between past technical knowledge and contemporary conservation, museum and research activities.

Keywords: salt mine, geology, cartography, maps

PRZEGLĄD BADAŃ FIZYKOCHEMICZNYCH PRZEPROWADZONYCH OD XVIII WIEKU DO DZISIEJSZYCH CZASÓW W KOPALNIACH SOLI „WIELICZKA” I BOCHNIA

REVIEW OF PHYSICOCHEMICAL STUDIES CARRIED OUT FROM THE XVIII CENTURY TO THE PRESENT DAY IN THE "WIELICZKA" AND BOCHNIA SALT MINES

Jerzy PRZYBYŁO¹, Rafał ZADAK², Daniel KUMORKIEWICZ¹

¹ Kopalnia Soli „Wieliczka” S.A. Park Kingi 1, 32-020 Wieliczka, e-mail: jerzy.przybyto@kopalnia.pl, daniel.kumorkiewicz@kopalnia.pl

² Muzeum Żup Krakowskich Wieliczka, ul. Zamkowa 8, 32-020 Wieliczka, e-mail: r.zadak@muzeum.wieliczka.pl

Kopalnia Soli „Wieliczka” powszechnie kojarzy się z zabytkiem kultury materialnej, w gronie specjalistów postrzegana jest jako istotny obiekt przyrodniczy. Współcześnie akcentowane są tradycje górnicze, wielickie podziemne sacrum oraz tradycje górniczej sztuki, głównie rzeźbiarskiej. Całe stulecie był to jednak istotny dla gospodarki państwa zakład przemysłowy. Wielicka kopalnia oraz złoża soli wzbudzały także zainteresowanie świata nauki, z uwagi na możliwości wykonywania w niej naukowych doświadczeń oraz zastosowania przydatnych dla eksploatacji złoża metod badawczych. Fizyka i chemia zagościły w kopalniach wielickiej, a także bocheńskiej już w XVIII wieku.

Wśród najstarszych znanych badań możemy przytoczyć doświadczenia barometryczne Christiana Gottlieba Schobera wykonane w kopalniach w Wieliczce i Bochni w 1743 oraz 1746 roku. W 1746 roku wykonał również doświadczenia z zakresu mechaniki newtonowskiej. Wyniki swych badań opublikował w *Hamburgisches Magazin der gesammelte Schriften zum Unterricht und Vergnügen aus der Naturforschung und den angenehmen Wissenschaften überhaupt*. oraz w książce *Versuch einer Theorie von den Ueberwuch*. Są one niemal zapomnianym epizodem w rozwoju nauk ścisłych w Polsce.

Kolejne badania, które przeprowadzono w wielickiej kopalni dotyczyły pola magnetycznego ziemi. Geofizyka jako dyscyplina naukowa zaczęła kształtować się w XVIII i XIX wieku. Rozwijała się głównie tam, gdzie istniały obserwatoria astronomiczne. Krakowskie obserwatorium zostało otwarte 1 maja 1792 roku. Całe następne dziesięciolecie wykonywano w nim badania m. in. pola magnetycznego Ziemi. W wielickiej kopalni w 1848 roku pomiary magnetyczne przeprowadził dyrektor Obserwatorium Praskiego Karl Kreil. W 1889 roku Daniel Wierzbicki z obserwatorium krakowskiego, z inicjatywy Komisji Fizjograficznej Akademii Umiejętności, ponownie wykonał badania pola magnetycznego zarówno w wielickich podziemiach, jak również na powierzchni.

W I połowie XIX w., w kopalniach w Wieliczce i Bochni znakomity geolog Ludwik Zejszner dokonał serii pomiarów barometrycznych i geotermicznych, a wyniki swych badań opublikował w opracowaniach *Barometrische Messungen in der Salz Grube in Wieliczka* wydane w Berlinie w 1841 roku oraz *Pomiary barometryczne żupy bocheńskiej w miesiącu marcu 1843*.

W tym samym okresie badania nad mikroklimatem podziemi wielickich wraz z oznaczeniami chemizmu wód kopalnianych wykonał Feliks Boczkowski, będący tutejszym lekarzem salinarnym. Badając górników zauważył korzystny wpływ mikroklimatu kopalni na układ oddechowy oraz inne schorzenia. W 1826 roku rozpoczął leczenie pacjentów kąpielami solankowymi, a po kilkunastu latach otworzył w Wieliczce Zakład Kąpiei Solankowych. Swoje doświadczenia zawarł w książce *O Wieliczce pod względem historyi naturalnej, dziejów i kąpiei* (Bochnia, 1843) oraz w innych publikacjach naukowych.

W lipcu i sierpniu 1918 roku Ludwik Antoni Birkenmajer wykonał pomiary grawimetryczne w bocheńskiej kopalni. Rozważał pomiary w Wieliczce lub Bochni. W sprawozdaniu z nich napisał: *Obie nasze głębsze kopalnie, zarówno wielicka jak i bocheńska, pod względem grawimetrycznym działają na badacza jednako pociągająco*. Pod wpływem rad profesora Władysława Szajnochy i ze względu na większą głębokość bocheńskiej saliny zdecydował się na pomiary w Bochni.

W drugiej dekadzie XX w., Niemiec Ludger Mintrop opracował pierwszy sejsmograf, który nadawał się do użytku w terenie, a w 1919 roku opatentował metodę określania struktur warstw skalnych przy użyciu tego urządzenia. Była to sejsmika refrakcyjna. W 1921 roku był współzałożycielem firmy „Sejsmos” z Hanoweru. W rejonie Wieliczki, w Baryczy odkryto pod koniec XIX wieku warstwy soli, będące zachodnią kontynuacją złoży Wielickiego. Teren wykupiła firma „Solway” z myślą o pozyskiwaniu solanek dla swej produkcji. Z odwierconych otworów 1A i 1B tylko ten drugi trafił w złoże. Aby określić granice złoży w rejonie Baryczy firma „Sejsmos” z Hanoweru wykonała tam w 1923 roku badania sejsmiczne. Były to pionierskie badania prowadzone niemal równolegle do podobnych w USA.

Pierwsze prace poszukiwawcze we wschodnim rejonie wielickiego złoży wykonane zostały w latach 1883-1893. W ramach tych działań odwiercono otwór badawczy Nr IV, zlokalizowany w Sułkowie na tzw. Zwółce. Otwór osiągnął głębokość 426.85 m. i przewiercił pokłady solne o miąższości 22 m, nie przebił jednak serii solnej. W 1928 roku dr Georg Beck wykonał serię pomiarów geotermicznych na wschód od otworu Nr IV. Polegały one na umieszczeniu w specjalnie wykonanych otworach czułych termometrów. Odwiercano otwory w głębokości 2 m i umieszczano w nich bardzo precyzyjne termometry. Na podstawie pomiarów G. Beck wykreślił mapy złoży w rejonie Sułkowa. Według profesora Antoniego Gawła, który dość sceptycznie odnosił się do tej metody, kontury złoży wg G. Becka odbiegają swoim kształtem i rozciągłością od parametrów zalegania złoży. Późniejsze po pracy dr Becka badania geofizyczne wschodniego rejonu złoży prowadzone w latach 30, 40 i 50 XX w. objęły m.in. pomiary grawimetryczne, wykonane przez Stanisława Pawłowskiego w latach 1937-1939, czy pomiary magnetyczne, wykonane przez Bronisława Bańskiego z Państwowego Instytutu Geologicznego w latach 1937-1938, obejmujące po części rejon Wieliczki. W 1950 roku wykonano pomiary elektryczno-oporowe, przez P.P.G. Krosno na obszarze ciągnącym wzdłuż brzegu Karpat od Wieliczki przez Gdów, Bochnię, Brzesko aż do Wojnicza. Rozpoznanie złoży metodami geofizycznymi i wiertniczymi umożliwiło podjęcie eksploatacji jego wschodniej partii.

Końcowe lata XIX wieku i pierwsze dekady wieku XX to gwałtowny rozwój fizyki i powstanie fizyki jądrowej. Znany francuski fizyk prof. Pierre Auger stwierdził, że do badań promieniowania kosmicznego pod ziemią idealnie nadaje się kopalnia soli „Wieliczka”. Przygotowano aparaturę i ustawiono ją pod ziemią, między innymi w komorze *Sienkiewicza* (współcześnie komora *Warszawa*). Rozpoczęte podziemne pomiary przerwał wybuch wojny. W czasie niemieckiej administracji kopalnię urządzenia zostały zniszczone. Po zakończeniu działań wojennych krakowscy fizycy powrócili do idei badań promieniowania kosmicznego w podziemiach wielickiej kopalni. Doświadczenia w kopalni trwały około roku, zakończono je w 1949 roku. Rezultaty badań opublikowano w renomowanym *Physical Review*. Praca wyjaśniająca efekt Barnothy’ego cieszyła się dużym uznaniem w świecie fizyków i była wielokrotnie cytowana.

Od lat 60. XX w., prowadzone są systematyczne badania składu chemicznego wycieków kopalnianych. Obecnie każdy z wycieków jest opróbowywany co najmniej dwa razy w roku. Wykonuje się dla nich uproszczone analizy chemiczne. Szczegółowe badania chemizmu prowadzone są dla wód uznanych za lecznicze z wycieku WVII-16 w komorze Layer 2 oraz otworu piezometrycznego PZ-3.

W 1973 r., profesor Andrzej Zuber zapoczątkował badania izotopowe wód w kopalni „Wieliczka”. Obejmowały analizy zawartości trytu ^3H , radiowęglu ^{14}C i ^{13}C oraz składu izotopowego wód ($\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^2\text{H}$) w wyciekach kopalnianych. W przeciągu 52 lat wykonano około 1000 analiz prób wód pobranych z około 100 miejsc doływów wód do kopalni. Większość analiz została wykonana na zlecenie Kopalni w Międzyresortowym Instytucie Fizyki i Techniki Jądrowej AGH, noszącym obecnie miano Wydziału Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH. Metody izotopowe w znacznej mierze przyczyniły się do identyfikacji pochodzenia doływów wód do kopalni. Przydatne okazały się również badania izotopowe ciekłych inkluzji, czyli wód pochodzących z okresu formowania kryształów i uwieczonych w mikroprzestrzeniach kryształów halitu pozwoliły między innymi na określenie warunków, w jakich powstawała szata naciekowa Grot Kryształowych. Metody izotopowe były wykorzystane również do datowania wieku bezwzględnego powstania osadów solnych. Metodą potasowo-argonową ($\text{K}^{40}/\text{Ar}^{40}$) oraz argonowo-argonową ($\text{Ar}^{40}/\text{Ar}^{39}$) oznaczano wiek radiometryczny minerałów występujących w tufitach, które osadziły się w serii solnej. Wiek ten określono na 13,6 milionów lat.

W otworowej kopalni „Barycz” od połowy lat 70. XX wieku prowadzono do zakończenia eksploatacji pomiary komór ługowniczych metodą echosondy.

W lipcu 2012 roku pracownicy Ośrodka Badawczo-Rozwojowego Górnictwa Surowców Chemicznych „Chemkop” sp. z o.o. przeprowadzili badania, metodą echosondy, pustek wypełnionych dużymi kryształami halitu nawierconych jednym z otworów podsadzkowych – tak zwanej Nowej Groty Kryształowej. W ich wyniku stwierdzono obecność w górotworze struktury w postaci szczeliny o zmiennej rozciągłości i szerokości.

Zastosowanie w kopalni znalazły również pomiary ultradźwiękowe, które już w 1954 roku wykonane zostały przez Zakład Elektroakustyki Politechniki Warszawskiej. Posługując się skonstruowaną specjalnie do tego celu aparaturą pomierzono zasięg impulsów fali o częstotliwości 66 kHz w różnych rodzajach soli oraz zbadano warunki, w których występują odbicia tych impulsów na skutek niejednorodności badanego ośrodka.

W 1983 roku Krakowskie Przedsiębiorstwo Geodezyjne - Pracownia Teledetekcji wykonało w kopalni badania georadarowe. Celem badań były próby lokalizacji krawędzi wyrobisk poeksploatacyjnych w zespole ługowni otworowych Appelshoffen na poziomie V oraz badania skorupy solnej w komorze Maria Teresa II. Badania prowadzono metodą radarową SIR (*Subsurface Interface Radar*) oraz w celu określenia możliwych spękań skorupy solnej metodą termowizyjną.

Pod koniec XX w., w kopalni realizowano międzynarodowy projekt badawczy „Copernicus”. W projekcie uczestniczyli między innymi pracownicy Zakładu Geofizyki AGH. Celem projektu było zbadanie możliwości wykorzystania nowoczesnych metod geofizycznych do lokalizacji zaburzeń górotworu utrudniających proces eksploatacji. W projekcie szczególny nacisk położono na zastosowanie metody georadarowej. Przykładowo w kaplicy Św. Kingi wykonano kilkanaście profili georadarowych.

W latach 2023-2024 firma „WIDMO Spectral Technologies” przeprowadziła testowe pionierskie badania georadarowe w wielickiej kopalni i na powierzchni przy użyciu nowoczesnego georadaru spektralnego.

Po 2000 r., wykonywano zarówno na powierzchni jak i w wyrobiskach podziemnych szereg badań grawimetrycznych i mikrograwimetrycznych. Przykładowo na przelomie lat 2021/2022 Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych Spółka z o.o. z Krakowa wykonało mikrograwimetryczne pomiary wokół szybu Kinga na poziomie I pod powierzchnią ziemi i na powierzchni terenu. Łącznie pomierzono 178 punktów powierzchniowych i 78 punktów podziemnych. Celem wykonanych prac było określenie stanu górotworu nad i w otoczeniu zabytkowych wyrobisk w centralnej części miasta Wieliczki, w aspekcie zagrożenia wodnego i zawalowego.

Istotne są również badania znacznikowe wód wycieków kopalnianych. W 2023 roku pracownicy Wydziału Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH przeprowadzili w kopalni badania znacznikowe mające za zadanie określić ewentualny kontakt hydrauliczny i określające go parametry przepływu pomiędzy komorą Tworzyjanki zlokalizowaną na III poziomie kopalni, a najbliższymi jej wyciekami. Znacznikiem była uranina. Uzyskane wyniki potwierdziły zasilanie analizowanych wycieków solanką pochodzącą z zawodnionej komory.

Wielicka kopalnia co najmniej od połowy XVIII wieku wzbudzała zainteresowanie badaczy i naukowców nauk ścisłych. Niebagatelne znaczenie miała tu sława i renoma kopalni oraz bliskie położenie Krakowa, znanego ośrodka akademickiego. Spore znaczenie miała też w tej materii kopalnia Bochnia.

Duże znaczenie dla prowadzonych badań miały też problemy z rozpoznaniem złoża kosztownymi wierceniami wschodniej i zachodniej (w rejonie Baryczy) części wielickiego złoża, katastrofy wodne w komorze Layer 2 (Fornalska 2) oraz w poprzeczni Mina, a także zawał komór w polu Pagory kopalni Barycz. Część prowadzonych badań wynikała z aktualnie obowiązujących przepisów górniczych, sanitarnych, ochrony powierzchni i ochrony środowiska.

Kopalnia była też ważnym poligonem do prowadzenia pionierskich prac badawczych fizykochemicznych, w tym badań promieniowania kosmicznego, izotopowych, elektroakustycznych czy georadarowych.

Słowa kluczowe: Wieliczka, Bochnia, kopalnia soli, sól, badania fizykochemiczne

The Wieliczka Salt Mine is commonly associated with a relic of material culture; among specialists it is seen as an important natural site. Today, mining traditions, the Wieliczka underground sacrum and the traditions of mining art, mainly sculpture, are emphasised. However, it has been a vital industrial site for the state's economy for a whole century. The Wieliczka mine and the salt deposit also attracted the interest of the scientific world because of the possibilities of performing scientific experiments there and of applying research methods useful for the exploitation of the deposit. Physics and chemistry came to the mines of Wieliczka, as well as those of Bochnia, as early as the 18th century.

Among the oldest known studies, we can cite the barometric experiments of Christian Gottlieb Schober performed in the mines of Wieliczka and Bochnia in 1743 and 1746. He also performed experiments in Newtonian mechanics in 1746. He published the results of his research in *Hamburgisches Magazin der gesammelte Schriften zum Unterricht und Vergnügen aus der Naturforschung und den angenehmen Wissenschaften überhaupt* and in the book *Versuch einer Theorie von den Ueberwuch*. They are an almost forgotten episode in the development of science in Poland.

Another study that was carried out at the Wieliczka mine concerned the earth's magnetic field. Geophysics, as a scientific discipline, began to take shape in the 18th and 19th centuries. It developed mainly in the places with astronomical observatories. The Cracow observatory was opened on 1 May 1792. Throughout the following decades, the research concerning the earth's magnetic field was performed there. In the Wieliczka mine in 1848, magnetic measurements were carried out by Karl Kreil, director of the Prague Observatory. In 1889, Daniel Wierzbicki of the Cracow Observatory, on the initiative of the Physiographic Commission of the Academy of Arts and Sciences, again carried out magnetic field research both in the Wieliczka underground and on the surface.

In the first half of the 19th century, in the mines of Wieliczka and Bochnia, the eminent geologist Ludwik Zejszner carried out a series of barometric and geothermal measurements and published the results of his research in *Barometrische Messungen in der Salz Grube in Wieliczka*, published in Berlin in 1841, and *Pomiary barometryczne żupy bocheńskiej w miesiącu marcu 1843*.

In the same period, research into the microclimate of the Wieliczka underground, together with determinations of the chemistry of the mine waters, was carried out by Feliks Boczkowski, who was the local saltworks doctor. Examining the miners, he noted the beneficial effects of the mine's microclimate on the respiratory system and other conditions. In 1826, he began treating patients with brine baths, and after a dozen years or so, he opened the Wieliczka Brine Bath Facility. He included his experiences in the book *O Wieliczce pod względem historii naturalnej, dziejów i kąpieli* (Bochnia, 1843) and in other scientific publications.

In July and August 1918, Ludwik Antoni Birkenmajer took gravimetric measurements in the Bochnia mine. He considered taking the measurements either in Wieliczka or Bochnia. In his report he wrote: Both of our deeper mines, Wieliczka and Bochnia, gravimetrically have an equally appealing effect on the researcher. Influenced by the advice of Professor Władysław Szajnocha and due to the greater depth of the Bochnia saltworks, he decided to take measurements in Bochnia.

In the second decade of the 20th century, Ludger Mintrop, a German, developed the first seismograph that was suitable for field use, and in 1919 patented a method for determining the structures of rock layers using this device, the method was called seismic refraction. In 1921, he co-founded the Hanover-based company "Sejsmos". In the Wieliczka area, in Barycz, layers of salt were discovered in the late 19th century as a western continuation of the Wieliczka deposit. The land was purchased by the "Solway" company with the intention of extracting brine for its own production. Of the holes 1A and 1B drilled, only the latter hit the deposit. In order to determine the limits of the deposit in the Barycz area, the "Sejsmos" company from Hanover carried out a seismic survey there in 1923. This was pioneering research conducted almost parallel to similar one in the USA.

The first exploration work in the eastern region of the Wieliczka deposit was carried out between 1883 and 1893. As part of these activities, research borehole No. IV was drilled, located in Sułków on the so-called Zwólka. The hole reached a depth of 426.85 m and drilled 22 m thick salt seams but did not penetrate the salt series. In 1928, Dr Georg Beck made a series of geothermal measurements east of hole No. IV. These involved placing sensitive thermometers into specially made holes. Holes were drilled 2 m deep and very precise thermometers were placed in them. Based on the measurements, G. Beck drew maps of the

deposit in the Sułków area. According to Professor Antoni Gawet, who was rather sceptical about this method, the contours of the deposit mapped by G. Beck deviate in shape and extension from the deposit's parameters. Geophysical surveys of the eastern part of the deposit carried out in the 1930s, 1940s and 1950s, following Dr Beck's work, included gravimetric measurements carried out by Stanisław Pawłowski in 1937-1939, and magnetic measurements carried out by Bronisław Bański of the State Geological Institute in 1937-1938, covering part of the Wieliczka area. In 1950 an electrical and resistance survey was carried out, by P.P.G. Krosno in an area stretching along the edge of the Carpathian Mountains from Wieliczka through Gdów, Bochnia, Brzesko to Wojnicz. Reconnaissance of the deposit by geophysical and drilling methods has made it possible to start mining the eastern part of the deposit.

The final years of the 19th century and the first decades of the 20th century saw the rapid development of physics and the emergence of nuclear physics. Renowned French physicist Prof. Pierre Auger said that the Wieliczka Salt Mine is ideally suited for the study of cosmic radiation underground. The apparatus was prepared and set up underground, including in the Sienkiewicz chamber (now the Warszawa chamber). Underground surveys that had begun were interrupted by the war. During the German administration of the mine, the equipment was destroyed. After the end of hostilities, Cracow physicists returned to the idea of studying cosmic radiation in the underground of the Wieliczka mine. The experiments at the mine lasted about a year and were completed in 1949. The results of the research were published in the renowned *Physical Review*. The paper explaining the Barnothy effect was highly acclaimed in the world of physicists and has been cited many times.

Since the 1960s, systematic studies of the chemical composition of mine seeps have been carried out. Currently, each seep is sampled at least twice a year. Simplified chemical analyses are performed on them. Detailed chemistry examinations are being carried out for waters deemed to be therapeutic from seep WVII-16 in Layer 2 chamber and piezometric hole PZ-3.

In 1973, Professor Andrzej Zuber initiated isotopic studies of the water in the Wieliczka mine. This included analyses of tritium ^3H , radiocarbon ^{14}C and ^{13}C and the isotopic composition of water ($\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$) in mine seeps. Approximately 1,000 analyses of water samples taken from around 100 mine tributary sites were carried out over a 52-year period. Most of the analyses were performed on behalf of the Mine at the Interdepartmental Institute of Physics and Nuclear Technology of the AGH University, now called the Department of Physics and Applied Computer Science of the AGH University. Isotopic methods have made a significant contribution to identifying the origin of mine tributaries. Isotopic studies of liquid inclusions, i.e. water originating from the period of crystal formation and trapped in the microspaces of the halite crystals, were also useful in determining, among other things, the conditions under which the flowstone cover of the Crystal Grottoes was formed. Isotopic methods were also used to date the absolute age of the formation of the salt sediments. The potassium-argon ($\text{K}^{40}/\text{Ar}^{40}$) and argon-argon ($\text{Ar}^{40}/\text{Ar}^{39}$) methods were used to determine the radiometric age of minerals present in tuffites that were deposited in the salt series. The age was determined to be 13.6 million years.

In the Barycz borehole mine since the mid-1970s, echo sounder measurements of the dissolving chambers were carried out until the end of operations.

In July 2012, employees of the Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Górnictwa Surowców Chemicznych "Chemkop" sp. z o.o. carried out a survey, using the echo sounder method, of voids filled with large halite crystals drilled into one of the backfill holes - the so-called New Crystal Cave. These revealed the presence of a fracture-like structure of varying extent and width in the rock mass.

Ultrasonic measurements were also used in the mine, which were made as early as 1954 by the Electroacoustics Department of the Warsaw University of Technology. Using a purpose-built apparatus, the range of the 66 kHz wave pulses was measured in different types of salt and the conditions under which reflections of these pulses occur due to the inhomogeneity of the test medium were investigated.

In 1983, the Cracow Surveying Company - Teledetection Laboratory carried out a GPR survey at the mine. The aim of the research was to try to locate the edges of the post-mining pits in the Appelshoffen open pit salt dissolving complex on level V and to study the salt crust in the Maria Teresa II chamber. Investigations were carried out using the Subsurface Interface Radar (SIR) method and, to identify possible salt crust cracks, by thermal imaging.

At the end of the 20th century, the international research project "Copernicus" was carried out at the mine. Among others, staff from the Department of Geophysics of the AGH University participated in the project. The aim was to investigate the possibility of using modern geophysical methods to locate rock mass disturbances that impede the mining process. The project has placed particular emphasis on the use of GPR. For example, in the chapel of St. Kinga, more than a dozen GPR profiles were taken.

Between 2023 and 2024, the company "WIDMO Spectral Technologies" conducted test pioneering GPR surveys in the Wieliczka mine and on the surface using a state-of-the-art spectral GPR.

After 2000, a number of gravimetric and microgravimetric surveys were carried out both on the surface and in underground workings. For example, at the end of 2021/2022, Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych Spółka z o.o. of Cracow took microgravimetric measurements around the Kinga shaft at Level I below ground and on the ground surface. A total of 178 surface points and 78 underground points were measured. The objective of the work carried out was to determine the condition of the rock mass above and in the vicinity of the historic workings in the central part of the town of Wieliczka, in terms of water and cave-in hazard.

Tracer studies of mine seepage waters are also important. In 2023, staff from the Department of Physics and Applied Computer Science of the AGH University conducted tracer studies in the mine to determine the possible hydraulic contact and the flow parameters defining it between the Tworzyjanka chamber located on level III of the mine and the nearest seeps. The tracer used was uranine. The results obtained confirmed the supply of the analysed seeps with brine from the submerged chamber.

The Wieliczka mine has aroused the interest of researchers and scientists since at least the mid-18th century. The fame and reputation of the mine, as well as the close proximity of Cracow, a well-known academic centre, played a significant role. The Bochnia mine was also of considerable importance in this regard.

Also of great importance for the ongoing research were problems with the exploration of the deposit by costly drilling of the eastern and western (in the Barycz area) parts of the Wieliczka deposit, water disasters in the Layer 2 chamber (Fornalska 2) and in the Mina crosscut, as well as the collapse of chambers in the Pagory field of the Barycz mine. Part of the research carried out was due to current mining, sanitary, surface protection and environmental regulations.

The mine was also an important testing ground for pioneering physicochemical research work, including cosmic radiation, isotopic, electroacoustic or GPR studies.

Keywords: *Wieliczka, Bochnia, Salt mine, salt, physicochemical studies*

OD SOLI DO WĘGLA – HISTORYCZNE ZWIĄZKI WIELICZKI Z JAWORZNIEM

FROM SALT TO COAL – HISTORICAL CONNECTIONS BETWEEN WIELICZKA AND JAWORZNO

Henryk PASZCZA¹

¹ emerytowany Dyrektor Katowickiego Oddziału Agencji Rozwoju Przemysłu S.A.

e-mail: hpaszcza@gmail.com

Przez wiele wieków przemysł wydobywczy był jednym z głównych czynników współtworzących i kształtujących krajobraz kulturowy danego regionu. Przez całe stulecia, wydobywanie soli i węgla było źródłem bogactwa kraju i materialnym fundamentem kultury.

O ile historia wydobywania soli w Polsce datuje się na XIII wiek, to wydobywanie węgla rozpoczęło kilka wieków później. Pierwotnie na Dolnym Śląsku, później w Zagłębiu Krakowskim.

Pierwsza wzmianka o węglu kamiennym z jaworznickiej okolicy, pochodzi z 1640 r. Jest to pierwsza wzmianka o eksploatacji węgla w jaworznickiej okolicy, która od wieków należała do biskupiego klucza majątkowego w Sławkowie i Lipowcu. Pomimo tak wczesnych czasów nie doszło za biskupich czasów, do rozpoczęcia wydobywania na szeroką skalę górnictwa węglowego.

W połowie XVIII wieku zwiększyło się dopiero znaczenie węgla jako opatu. Król Stanisław August Poniatowski, w ramach prowadzonej polityki gospodarczej, powołał tzw. Komisję Kruszcową, która miała kierować pracami poszukiwawczymi za użytecznymi kopalniami.

Znaleziono pokłady węgla kamiennego we wsi Szczakowa. Decyzję o podjęciu eksploatacji węgla w tym miejscu podjęto dnia 17 grudnia 1766 r. Inspektorem kopalni został Hans August Knoblauch, Johann Rudolf Knorr został mianowany majstrem, a Christian Wilhelm Friese sekretarzem.

Bieżąca eksploatacja przebiegała bez większych kłopotów. Kopalnia posiadała odpowiednie zasoby i osiągała dobre wyniki.

To przedsięwzięcie górnicze było pierwszą polską kopalnią węgla kamiennego i jedną z pierwszych w Europie.

Kolejną próbę uruchomienia wydobywania węgla w jaworznickiej okolicy podjął w 1790 r. Aleksander Romiszewski, dzierżawca tych terenów. Od tego czasu należy datować rozwój wydobywania węgla w jaworznickich kopalniach.

W wyniku trzeciego rozbioru Polski w 1795 r. ziemia jaworznicka przeszła pod władanie Austrii. Austriacy szybko zorientowali się w korzyściach jakie może im przynieść rozwój przemysłu wydobywczego węgla kamiennego i rozpoczęli jego wzmożone wydobywanie, które w 1800 r. osiągnęło poziom 4345 ton. Dalszy rozwój górnictwa węglowego w Jaworznie następował zarówno w okresie Księstwa Warszawskiego jak i w okresie Rzeczypospolitej Krakowskiej do 1846 r.

Po upadku Powstania Krakowskiego, cesarz Austrii ogłosił oficjalne w manifestie w dniu 17 listopada 1846 r. wcielenie Rzeczypospolitej Krakowskiej do monarchii habsburskiej. Rzeczpospolita Krakowska przestała istnieć.

Omówione powyżej zmiany polityczne nie przeszkodziły górnictwu węglowemu. Każdy kolejny rząd wykazywał zainteresowanie i troskę o rozwój jaworznickich kopalń, które były własnością skarbową. Podobnie było w 1946 r., kiedy Austriacy po raz drugi przejęli ziemię jaworznicką. Utworzono oddzielne przedsiębiorstwo, do którego należały trzy kopalnie węgla „Fryderyk August”, „Jacek”, „Niedzieliska”, kilka kopalń galmanu, cynkownie w Niedzieliskach oraz ałunownia w Jaworznie. Dla kierowania zakładami stworzono zarząd kopalń i hut na czele którego stał Walentin Turner, który z kolei podlegał Dyrekcji Salinarnej w Wieliczce.

Tak bowiem urządzono organizację, że jaworznicke cynkownie i kopalnie węgla podporządkowano kierownictwu górnictwa salinarnego w Wieliczce.

Oprócz kopalń i hut w Jaworznie, wielkie władze salinarne administrowały w tym okresie także innymi przedsiębiorstwami górniczymi i hutniczymi, takimi jak: kopalnia siarki w Swoszowicach, kuźnie zakopiańskie, lasy państwowe.

W XIX wieku, w skład wielickiego gremium salinarnego wchodził: Naczelnik - Administrator saliny, Inspektor Górniczy i w jednej osobie asesor Sądu Górniczego, adiunkt Inspekcji Górniczej, buchalter, inspektor gospodarczy, markszajder i trzech szichtmajstrzy. Z początkiem lat 40 XIX wieku, doszli do tego grona stopniowo szichtmajstrzy-adiunkci i od 1850 r. pojawili się po raz pierwszy budowniczy salinarny (Salinen-Baumeister).

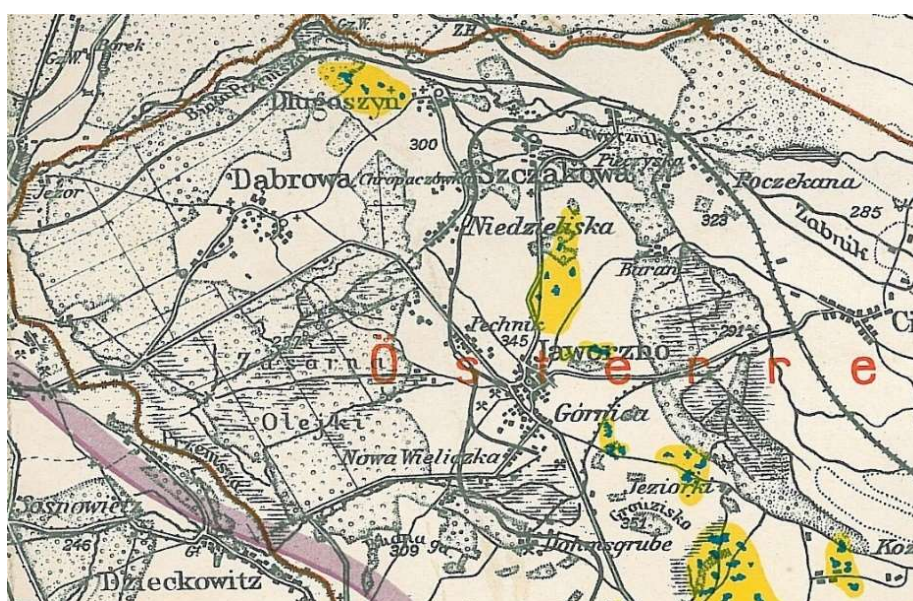
Głównym miejscem administracji przedsiębiorstwa solnego w tym okresie był Wielicki Zamek Żupny. Był, on siedzibą zarządu przedsiębiorstwa solnego od XIII w. do 1945 r.

W 1846 r., kiedy Zarządowi Salinarnemu powierzono nadzór nad jaworzniczymi kopalniami węgla, funkcję naczelnika pełnił Josef von Russegger. Objął on funkcję naczelnika w dniu 03. 06. 1846 r. Między 15 VI a 1 XI 1850 r. funkcję Naczelnika Saliny wielickiej (i zarazem zwierzchnika obu salin - wielickiej i bocheńskiej) pełnił L. Kaczwiński (Kaczvinsky). W dniu 11.11.1850 r. cesarz mianował Karla Wokurkę „Dyrektorem górniczym salinarnym i leśnym”. Następnymi Naczelnikami Saliny Wielickiej byli: Johan von Geramb, Karol Balasils, Adolf Gil oraz J. Leo.

Na początku 1847 r., po przejęciu kopalń i hut pod zarząd salinarny w Wieliczce, wydawało się, że rysują się świetne perspektywy dla rozwoju jaworzniczego przemysłu. Pracowały obie cynkownie, uruchomiono ałunownię, kopalnie miały zapewniony zbyt węgla.

Dla zapewnienia odpowiedniej ilości rąk do pracy, władze austriackie planowały powiększenie Domu Pracy w Jaworznie. Zrealizowano pierwszą migrację górników z Wieliczki. W czerwcu 1847 r. zorganizowano grupę 50 górników, których zwerbowało w Wieliczce i jesienią przybyli oni do Jaworzna. Byli to prawie mężczyźni stanu wolnego, których zakwaterowano w jaworzniczej austerii (domu zajezdnym). W tym celu poddano ją generalnej modernizacji.

Na podstawie ksiąg metrykalnych można stwierdzić, że wielu z tych przybyszów założyło w Jaworznie rodziny, otrzymali mieszkania w kolonii górniczej, od nich właśnie nazwanej Wieliczka Nowa. Tym samym wiele jaworzniczych rodzin pochodzi od górników z Wieliczki, którzy w 1847 r., zdecydowali się opuścić Wieliczkę i znaleźli swoje miejsce w Jaworznie.



Rys.1. Wycinek mapy okolic Jaworzna z dzielnicą Nowa Wieliczka z 1912 r.

Fig.1. Excerpt from a 1912 map of the Jaworzno area, including the Nowa Wieliczka district

Z perspektywy czasu wydaje się, ściągnięcie górników do pracy z Wieliczki do Jaworzna było tylko krokiem epizodycznym, który jednak nie pozwolił na dalszy rozwój przemysłu wydobywczego w Jaworznie. Podporządkowanie kopalń pod zarząd salinarny, doprowadziło do całkowitej degradacji górnictwa w Jaworznie, co znacząco odbiło się na wydobywaniu. O ile w 1846 r. wydobywanie węgla w jaworznińskich kopalniach wynosiło 34 tys. ton, to po 25 latach, w 1871 r. wydobywanie wyniosło tylko 41 tys. ton. Oznaczało to zahamowanie górnictwa węglowego w Jaworznie. Po działaniach Zarządu Salinarnego z Wieliczki, pozostała w Jaworznie jedynie nazwa dzielnic. Wg danych z 1886 r. Jaworzno składało się z dzielnic: Jaworzno, Pechnik, Nowa Wieliczka, Kolonia i Niedzieliska. Na tak określonym terenie były 602 budynki i mieszkało na stałe 5131 osób, z tego posługujący się językiem polskim – 4897 osób.

Jeszcze w 1912 r. na mapach katastralnych Jaworzna, występuje jako dzielnica Nowa Wieliczka. Dzisiaj ta nazwa nie figuruje w spisie dzielnic Jaworzna a i najstarsi mieszkańcy nie pamiętają, że taka dzielnica była kiedyś w ich mieście.

Słowa kluczowe: górnictwo solne, kopalnie węglowe, Zarząd Salinarny, Zamek Żupny

For many centuries, the mining industry was one of the main factors that contributed to and shaped the cultural landscape of a given region. For centuries, salt and coal mining were the source of the country's wealth and the material foundation of its culture.

In the mid-18th century, coal became a more important fuel. King Stanisław August Poniatowski, as part of his economic policy, established the so-called The Mineral Commission, which was to direct the search for useful minerals.

Coal deposits were found in the village of Szczakowa. The decision to mine coal in this location was made on 17 December 1766.

The current operation was without major problems. The mine had the right resources and was performing well. This mining venture was the first Polish hard coal mine and one of the first in Europe.

Another attempt to start coal mining in the Jaworzno area was made in 1790 by Aleksander Romiszewski, the leaseholder of these lands. The development of coal mining in Jaworzno mines can be dated from that time.

As a result of the third partition of Poland in 1795, the Jaworzno area came under Austrian rule. Austrians quickly realized the benefits that the development of the hard coal mining industry could bring them and began to increase its extraction.

A separate company was created in Jaworzno, which included three coal mines "Fryderyk August", "Jacek", "Niedzieliska", several galena mines and zinc smelters in Niedzieliska and alum works. A mining and smelting board was created to manage the facilities, headed by Valentin Turner, who in turn reported to the Wieliczka Saltworks Directorate.

That's how the organization was set up, that the Jaworzno zinc works, and coal mines were subordinated to the management of the salt mining in Wieliczka

The main location of the salt company's administration during this period was Wieliczka Żupny Castle. It was the headquarters of the salt company from the 13th century until 1945.

At the beginning of 1847, after the salt mines and factories were taken over by the Wieliczka salt administration, it seemed that there were excellent prospects for the development of the Jaworzno industry. Both galvanizing plants were working, the alum plant was started, and the mines had a guaranteed coal market.

To ensure a sufficient number of workers, the Austrian authorities planned to expand the Labor House in Jaworzno. The first migration of miners from Wieliczka has been completed. In June 1847, a group of 50 miners was organized, recruited in Wieliczka, and they arrived in Jaworzno in the fall. They were unmarried men mostly, who were housed in the Jaworzno inn (a tavern). For this purpose, it underwent a general modernization.

Based on the parish records, it can be stated that many of these newcomers established in Jaworzno families they received apartments in a mining colony, which was named Wieliczka Nowa. Many families in Jaworzno are descended from miners from Wieliczka who decided to leave in 1847 and found a new home in Jaworzno.

As late as 1912, Nowa Wieliczka was still shown on cadastral maps of Jaworzno as a district. Today, this name does not appear in the list of districts of Jaworzno, and even the oldest residents do not remember that such a district once existed in their city.

Keywords: salt mining, coal mines, Salt Administration, Żupny Castle

LITERATURA / REFERENCES:

- MARIA LEŚ-RUNICKA (2002), Dzieje Górnictwa Węgla Kamiennego w Jaworznie 1767-2002,
- MARIA LEŚ-RUNICKA (2017), Historia Jaworzna w XIX wieku,
- MARIA LEŚ- RUNICKA (2001), Średniowieczne Dzieje Jaworzna,
- MARIA LEŚ_RUNICKA (2000), Stulecie miasta Jaworzna. Historia powstania miejskich aglomeracji.
- JERZY JAROS (1984), Słownik historyczny kopalń węgla kamiennego na ziemiach polskich,
- MARIA LEŚ -RUNICKA (2012), Dzieje Jaworzna w XIX wieku. Kto był pierwszy,
- STANISŁAW PROKSA, Dzieje przemysłu w Jaworznie,
- Karte der nutzbaren Lagerstätten Deutschlands z 1912r.,
- ŁUKASZ WALCZY, Kadra urzędnicza w salinach Wieliczki i Bochni w latach 1810-1918 r.,
- KLEMENTYNA OCHNIAK-DUDEK. Zamek Żupny w Wieliczce. - Historia i architektura.

XXIX Międzynarodowe Sympozjum Solne International Salt Symposium



Streszczenia posterów *Abstracts of posters*

SOLE POTASOWO-MAGNEZOWE W POLSCE – PERSPEKTYWY ROZWOJU I WYZWANIA PRZYSZŁOŚCI

POTASSIUM AND MAGNESIUM SALTS IN POLAND – DEVELOPMENT PROSPECTS AND FUTURE CHALLENGES

Marta HODBOD¹

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

Sole potasowo-magnezowe odgrywają kluczową rolę w rolnictwie jako składnik nawozów mineralnych. Ich przyszłość postrzegana przez pryzmat rosnącego zapotrzebowania na żywność, jest powiązana z koniecznością zrównoważonego nawożenia potasem oraz poszukiwaniem i efektywnym wykorzystaniem zasobów naturalnych. Zasadnicze aspekty to m.in. konieczność uzupełniania potasu w glebie, zwłaszcza w związku z potencjalnym wyczerpywaniem się zasobów tego pierwiastka, a także rozwój technologii wydobywania i aplikacji nawozów, aby zminimalizować ich straty i negatywny wpływ na środowisko. Zapotrzebowanie na potas stale rośnie, szczególnie w krajach rozwijających się, gdzie intensyfikuje się produkcję żywności. Równocześnie prowadzone są badania nad alternatywnymi źródłami potasu, np. z popiołów roślinnych (Chahande i in., 2024; Oleszek i in., 2022), jednak wciąż są to niszowe rozwiązania. Globalny rynek soli potasowych jest silnie skoncentrowany – ponad 80% światowej produkcji pochodzi z kilku krajów: Kanady, Rosji, Białorusi i Chin. Jednak w ostatnich latach rynek ten doświadczył znaczących zakłóceń, głównie w wyniku sankcji nałożonych na Białoruś i Rosję po inwazji na Ukrainę. Spowodowało to wzrost cen i konieczność szukania alternatywnych źródeł surowca.

W Polsce istnieje potencjał do rozpoznania i eksploatacji własnych złóż soli potasowych i potasowo-magnezowych (Czapowski i in., 2020; Czapowski i in., 2023, Czapowski, Hodbod, 2023), co mogłoby wpłynąć na bezpieczeństwo zaopatrzenia w ten surowiec. Po udokumentowaniu złóż w rejonie Zatoki Puckiej w latach 60-tych i 70-tych oraz złoża Kłodawa 1, gdzie sole potasowe stanowią kopalinę towarzyszącą soli kamiennej i były eksploatowane w niewysokich ilościach pod koniec XX w., niewiele działo się w zakresie poszukiwania i rozpoznawania kolejnych wystąpień. Dopiero w ostatnich latach pojawiły się perspektywy na rozwój sektora potasowego w Polsce. W czerwcu i lipcu 2024 roku Minister Klimatu i Środowiska przyznał dwie koncesje na poszukiwanie i rozpoznawanie złóż soli potasowych i potasowo-magnezowych na obszarze przedsudeckim. Natomiast w czerwcu 2025 roku zatwierdził nową dokumentację złoża polihality Mioszyno (rejon Zatoki Puckiej), aktualizującą zasoby udokumentowane w ubiegłym wieku. Jest ona efektem prac prowadzonych przez spółkę KGHM S.A. w ramach koncesji poszukiwawczo-rozpoznawczej uzyskanej w 2014 roku. Czy w świetle powyższych wydarzeń nasz kraj może w przyszłości uniezależnić się częściowo od importu i rozwinąć własny segment wydobywania soli potasowo-magnezowych?

Słowa kluczowe: sole potasowo-magnezowe, potencjał złożowy, alternatywne źródła dostaw

Potassium and magnesium salts play a key role in agriculture as a component of mineral fertilizers. Their future, seen through the lens of increasing global food demand, is linked to the need for sustainable potassium fertilization as well as the search for and efficient use of natural resources. Key aspects include the necessity of replenishing potassium in the soil, especially given the potential depletion of this element's resources, and the development of extraction and fertilizer application technologies to minimize losses and reduce environmental impact. The demand for potassium continues to grow, particularly in developing countries where food production is intensifying. At the same time, research is being conducted into alternative sources of potassium, such as from plant ash (Chahande et al., 2024; Oleszek et al., 2022), although these remain niche solutions. The global potash market is highly concentrated - more than 80%

of global production comes from just a few countries: Canada, Russia, Belarus, and China. However, in recent years this market has experienced significant disruptions, mainly due to sanctions imposed on Belarus and Russia following the invasion of Ukraine. This has led to price increases and the need to search for alternative sources of the raw material.

Poland has the potential to explore and exploit domestic deposits of potassium and potassium-magnesium salts (Czapowski et al., 2020; Czapowski et al., 2023; Czapowski & Hodbod, 2023), which could enhance the country's supply security. After deposits were documented in the Puck Bay region in the 1960s and 1970s, and at the Kłodawa 1 site, where potassium salts occur alongside rock salt and were extracted in small quantities at the end of the 20th century, there has been little activity in exploring of further occurrences. Only in recent years have prospects emerged for developing the potash sector in Poland. In June and July 2024, the Minister of Climate and Environment granted two licenses for the exploration of potassium and potassium-magnesium salt deposits in the Fore-Sudetic region. Then, in June 2025, the ministry approved new documentation for the Mieroszyno polyhalite deposit (Puck Bay region), updating resources documented in the last century. This is the result of work carried out by the company KGHM S.A. under an exploration license obtained in 2014.

In light of these developments, could Poland partially reduce its reliance on imports and develop its own potassium-magnesium salt mining sector in the future?

Keywords: potassium-magnesium salts, deposit potential, alternative supply sources

LITERATURA / REFERENCES:

- Chahande S.B., Badole W.P., Mandavgane S.A., Deshmukh A.V., 2024. Utilization of biomass briquette ash as source of potassium to sunflower and its effect on soil properties. *International Journal of Advanced Biochemistry Research*, 8(2): 374-377.
- Czapowski G., Bukowski K., Mazurek S., 2020. Sól kamienna i sole potasowo-magnezowe. W: (red.) Szamatek i in. Bilans perspektywicznych zasobów kopalin Polski wg stanu na 31.12.2018 r. Wyd. PIG-PIB, Warszawa.
- Czapowski G., Hodbod M., Skowroński L., Sobień K., 2023. Pokładowe wystąpienia soli potasowo-magnezowych w południowo-zachodniej Polsce – potencjał złożowy. *Przegląd Geologiczny*, 71 (6): 321-331.
- Czapowski G., Hodbod M., 2023. Obszar przedsudecki zagłębieniem potasowym w Polsce. *Przegląd Solny*, 17: 25-38.
- Oleszek S., Shiota K., Chen M., Takaoka M., 2022. Effective Separation and Recovery of Manganese and Potassium from Biomass Ash by Solvent Extraction. *ACS Omega*, 7: 20155–20164.

ZRÓŻNICOWANIE WŁASNOŚCI MECHANICZNYCH ZUBRA BRUNATNEGO Z KOPALNI SOLI KŁODAWA

VARIABILITY OF MECHANICAL PROPERTIES OF BROWN ZUBER FROM THE KŁODAWA SALT MINE

Katarzyna BAJDA¹

¹ Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Inżynierii Łądowej i Gospodarki Zasobami,
Katedra Geomechaniki, Budownictwa i Geotechniki, e-mail: kgurdak@agh.edu.pl

Zubry permskie – skały solno-ilaste o zróżnicowanej budowie i składzie mineralnym – stanowią istotny, lecz wciąż słabo rozpoznany element litologiczny formacji cechsztyńskich Europy Środkowej. Ich występowanie w Polsce, Niemczech oraz innych krajach związanych sugeruje potencjalnie szerokie znaczenie zarówno dla geologii strukturalnej, jak i dla górnictwa podziemnego. Literatura wykazuje istotny deficyt danych dotyczących ich właściwości mechanicznych oraz wpływu składu mineralnego na zachowanie tych skał pod obciążeniem.

Celem niniejszego badania była litologiczna klasyfikacja próbek zubrowych pozyskanych z wysadu solnego Góra, a także określenie zależności między wytrzymałością na jednoosiowe ściskanie, a zawartością części nierozpuszczalnych w ich składzie. Ustalono trzy podstawowe typy petrologiczne: Zuber brunatny z iłowcem szarym i żyłami soli włóknistej, zuber brunatny z iłowcem szarym oraz warstwowany zuber brunatny. Do analizy wybrano sześć reprezentatywnych próbek. Dla każdej z nich przeprowadzono testy wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie, a następnie wykonano analizy geochemiczne w celu określenia procentowego udziału składników nierozpuszczalnych.

Wyniki wykazały korelację między zawartością części nierozpuszczalnych, a wytrzymałością mechaniczną. W większości przypadków próbki o wyższej zawartości nierozpuszczalnych komponentów wykazywały wyższe wartości wytrzymałościowe, co może świadczyć o stabilizującym wpływie tych składników na mikrostrukturę skały. Analiza wewnątrzgrupowa (dla danego typu petrologicznego) potwierdziła, zubry brunatne wykazują wzrost wytrzymałości wraz ze wzrostem udziału części nierozpuszczalnych, co może mieć znaczenie w ocenie zachowania się tych skał w warunkach eksploatacji górniczej. Jedynym wyjątkiem od powyżej opisanej zależności jest typ petrologiczny zuba brunatnego z szarym iłowcem, gdzie wraz ze wzrostem procentowej zawartości części nierozpuszczalnych, wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie spadała.

W oparciu o uzyskane rezultaty zaplanowano kontynuację badań z wykorzystaniem technik mikrostrukturalnych, a także analizę mineralogiczną i petrograficzną próbek. Dalsze prace obejmą również identyfikację inkluzji i zanieczyszczeń oraz ich wpływu na parametry mechaniczne. W szerszej perspektywie przewiduje się porównanie uzyskanych danych z wynikami badań próbek pochodzących z innych cechsztyńskich złóż solnych, co umożliwi lepsze zrozumienie uwarunkowań litologicznych i geomechanicznych formacji zubrowych.

Słowa kluczowe: zuber permski, skały solno-ilaste, cechsztyń

Permian zuber – salt-clay rocks with a diverse structure and mineral composition – are an important, but still poorly recognized lithological element of the Cechsztyń formations of Central Europe. Their occurrence in Poland, Germany and other related countries suggests a potentially broad significance for both structural geology and underground mining. The literature shows a significant deficit of data on their mechanical properties and the influence of mineral composition on the behaviour of these rocks under load.

The aim of this study was to lithological classification of zuber samples obtained from salt mine in Kłodawa, as well as to determine the relationship between the strength to uniaxial compression and the content of insoluble parts in their composition. Three basic petrological types have been identified: brown zuber with grey clay and veins of fibre salt, brown zuber with grey clay and layered brown zuber. Six representative samples were selected for analysis. For each of them, uniaxial compressive strength tests were carried out, followed by geochemical analyses to determine the percentage of insoluble components.

The results showed a correlation between the content of insoluble parts and mechanical strength. In most cases, samples with a higher content of insoluble components showed higher strength values, which may indicate a stabilizing effect of these components on the microstructure of the rock. Intragroup analysis (for a given petrological type) confirmed that brown zuber shows an increase in strength with an increase in the proportion of insoluble parts, which may be important in assessing the behavior of these rocks in mining conditions. The only exception to the above-described relationship is the petrological type of brown zuber with gray clay, where with the increase in the percentage of insoluble parts, the strength to uniaxial compression decreased

Based on the results obtained, it is planned to continue the research using microstructural techniques, as well as mineralogical and petrographic analysis of the samples. Further work will also include the identification of inclusions and contaminants and their impact on mechanical parameters. In a broader perspective, it is planned to compare the obtained data with the results of studies of samples from other Cechsztyń salt deposits, which will enable a better understanding of the lithological and geomechanical conditions of zuber formations.

Keywords: Permian zuber, salt-clay rocks, Cechsztyń

LITERATURA / REFERENCES:

- Tomassi-Morawiec, H., Wachowiak, J., Czapowski, G., 2019, Geochemia i wykształcenie skał zubrowych górnego permu (cechsztyń) z obszaru Polski. Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego, 477: 69-122

CHARAKTERYSTYKA WYSTĘPOWANIA EWAPORATOWYCH WYDZIELEŃ LITOSTRATYGRAFICZNYCH CECHSZTYNU NA OBSZARZE MODELU NIECKI SZCZECIŃSKIEJ

CHARACTERISTICS AND OCCURRENCE OF ZECHSTEIN EVAPORITES IN THE AREA OF THE SZCZECIN TROUGH MODEL

Łukasz NOWACKI¹, Grzegorz CZAPOWSKI¹, Jacek CHEŁMIŃSKI^{1*},
Leszek SKOWROŃSKI¹, Marta HODBOD¹, Michał MICHNA¹

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

*e-mail: jche@pgi.gov.pl

Podczas prac przy budowie modelu 3D budowy geologicznej obszaru niecki szczecińskiej przeprowadzono analizę występowania utworów ewaporatowych – obejmujących siarczany i sole młodsze permu (cechsztyn) w ponad 300 otworach wiertniczych wykonanych na obszarze objętym modelowaniem. Korzystano z uaktualnionych zasobów danych Centralnej Bazy Danych Geologicznych (CBDG), zweryfikowanych przez Leszka Skowrońskiego.

W poniższym zestawieniu przedstawiono poszczególne wydzielania litostratygraficzne, dotyczące utworów ewaporatowych, w obrębie profilu cechsztynu na obszarze Polski, wykorzystując terminologię zastosowaną przez R. Wagnera (1995). Ponieważ określa ona nieformalne jednostki litostratygraficzne – nie ustalono dotąd formalnie ich rangi – stąd używanie terminu "wydzielenie" Czapowski (2018). Poszczególne wydzielania, zostały przypisane poszczególnym sukcesjom litologicznym cechsztynu (cyklotemom i subcyklotemom), rejestrującym powtarzające się cyklicznie zmiany środowiskowe (cykle depozycyjne) podczas formowania się utworów cechsztynu w Polsce.

Po przeanalizowaniu profili otworów wiertniczych wydzielono osady należące do cyklotemów od PZ1 do PZ4(PZ4e).

Cyklotem PZ1 (*werra*) zawiera 6 ewaporatowych wydzieleń litostratygraficznych: 5 siarczanowych i 1 solne. Utwory solne reprezentowane są przez najstarszą sól kamienną (Na1) która może być lokalnie rozdzielona siarczanowym wydzieleniem anhydrytu śródsolnego (A1s) na część dolną (Na1d) i górną (Na1g). Siarczanom odpowiadają wydzielania anhydrytu dolnego (A1d) i górnego (A1g), lokalnie występujących anhydrytu śródsolnego (A1s) i brekcji anhydrytowej (A1Br). Gdy w sukcesji cyklotemu PZ1 brak jest soli i występują tylko siarczany bez możliwości ich rozdzielania na wymienione wydzielania to określa się takie utwory terminem „anhydryt werra” (A1). Pominęto tu lokalnie występujące w NE Polsce utwory chlorkowych soli potasowo-magnezowych, określane terminem najstarsza sól potasowa (K1) (Czapowski i in., 2023).

Cyklotem PZ2 (*stassfurt*) zawiera 5 ewaporatowych wydzieleń litostratygraficznych: 2 siarczanowe i 3 solne. Utwory solne reprezentowane są przez starszą sól kamienną (Na2), starszą sól potasową (K2) i starszą sól kamienną kryjącą (Na2r). Siarczanom odpowiadają wydzielania anhydrytu podstawowego (A2) i anhydrytu kryjącego (A2r).

Cyklotem PZ3 (*leine*) zawiera 6 ewaporatowych wydzieleń litostratygraficznych: 3 siarczanowe i 3 solne. Utwory solne reprezentowane są przez młodszą sól kamienną (Na3), która może być lokalnie rozdzielona siarczanowym wydzieleniem anhydrytu śródsolnego (A3s) na część dolną (Na3d) i górną (Na3g), młodszą sól potasową (K3) i specyficzne utwory młodszej soli kamiennej zailonej (Na3t), określane terminem „zuber brunatny” (Tomassi-Morawiec i in., 2019). Siarczanom odpowiadają wydzielania anhydrytu głównego (A3) i lokalnie występujących anhydrytu śródsolnego (A3s) i anhydrytu stropowego (A3r/A3g).

W przypadku cyklotemu PZ4 (*aller*) podział wydzieleń jest bardziej złożony. Na terenie Polski wyróżniono w nim 5 sukcesji litologicznych, określane jako subcyklotemy – od PZ4a do PZ4e, odpowiadających

cyklotemowym sukcesjom z obszaru Niemiec (Wagner, 1995) - z których 2 najstarsze (PZ4a i PZ4b) zawierają ewaporaty natomiast 3 młodsze (PZ4c, PZ4d i PZ4e) reprezentowane są przez specyficzne facje zubrowe (Wagner, 1995).

During the construction of a 3D model of the geological structure of the Szczecin Trough, an analysis of the occurrence of evaporite formations—including sulfates and salts of the younger Permian (Zechstein)—was conducted in over 300 boreholes drilled in the modeled area. Updated data from the Central Geological Database (CBDG), verified by Leszek Skowroński, was used.

The following table presents individual lithostratigraphic units related to evaporite formations within the Zechstein section in Poland, using the terminology used by R. Wagner (1995). Because this designation describes informal lithostratigraphic units, their rank has not yet been formally established—hence the use of the term "unit" by Czapowski (2018). Individual units were assigned to specific Zechstein lithological successions (cyclothemes and subcyclothemes), which record recurring environmental changes (depositional cycles) during the formation of the Zechstein formations in Poland.

After analyzing the borehole profiles, sediments belonging to cyclothemes PZ1 to PZ4 (PZ4e) were identified.

Cyclothem PZ1 (Werra) contains six evaporite lithostratigraphic units: five sulfate units and one salt unit. The salt units are represented by the Oldest Halite (Na1), which can be locally separated by a sulfate unit of intrasalt anhydrite (A1s) into a lower (Na1d) and upper (Na1g) part. Sulfates correspond to the Lower Anhydrite (A1d) and Upper Anhydrite (A1g) anhydrite precipitates, locally occurring intrasalt anhydrite (A1s), and Anhydrite Breccia (A1Br). When the PZ1 cyclothem succession lacks salt and only sulfates occur without the possibility of separating them into the aforementioned precipitates, such formations are referred to as "Werra Anhydrite" (A1). Locally occurring potassium-magnesium chloride salt formations in NE Poland, referred to as the Oldest Potash (K1), are omitted here (Czapowski et al., 2023).

PZ2 cyclothem (Stassfurt) contains five evaporite lithostratigraphic precipitates: two sulfate and three salt. The salt formations are represented by Older Halite (Na2), Older

Potash (K2), and Older Screening Halite (Na2r). Sulfates correspond to precipitates of Basal Anhydrite (A2) and Screening Anhydrite (A2r).

The PZ3 (Leine) cyclothem contains six evaporite lithostratigraphic precipitates: three sulfate and three salt. The salt formations are represented by Younger Halite (Na3), which can be locally separated by a sulfate precipitate of intrasalt anhydrite (A3s) into lower (Na3d) and upper (Na3g) parts, Younger Potash (K3), and specific formations of Younger Clay Halite (Na3t), termed "Brown Zuber" (Tomassi-Morawiec et al., 2019). Sulphates correspond to the Main Anhydrite (A3) and locally occurring intrasalt anhydrite (A3s) and top anhydrite (A3r/A3g).

In the case of the PZ4 (Allerian) cyclothem, the classification of the units is more complex. In Poland, five lithological successions, referred to as subcyclothemes, have been distinguished – from PZ4a to PZ4e, corresponding to the cyclothem successions from Germany (Wagner, 1995). The two oldest (PZ4a and PZ4b) contain evaporites, while the three younger ones (PZ4c, PZ4d, and PZ4e) are represented by specific zubr facies (Wagner, 1995).

WYKORZYSTANIE PAKIETU OPROGRAMOWANIA GEOSTAR PRZY PRACACH KARTOGRAFICZNYCH I DOKUMENTOWANIU STRUKTUR GEOLOGICZNYCH

APPLICATION OF GEOSTAR9SMGP SOFTWARE FOR CARTOGRAPHY AND DOCUMENTATION OF GEOLOGICAL STRUCTURES

Jacek CHEŁMIŃSKI^{1*}, Łukasz NOWACKI¹, Anna GŁOWACKA¹, Mirosław LUDWINIAK¹,
Grzegorz CZAPOWSKI¹, Jan SZYMAŃSKI²

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

² Soft-Project, 51-616 Wrocław ul. Parkowa 25, e-mail: poczta@soft-projekt.com.pl

Baza danych GEOSTAR9SMGP jest publicznie dostępnym zasobem danych dokumentacyjnych dostarczającą podstawowe informacje geologiczne związane z przypowierzchniową budową geologiczną Polski, przeznaczonej do różnego typu opracowań geologicznych, środowiskowych, itp.

W założeniu, odbiorcami zgromadzonych danych, podobnie jak i arkuszy Szczegółowej mapy geologicznej Polski w skali 1:50 000 jest administracja publiczna, przedsiębiorstwa geologiczne, instytuty naukowe i wyższe uczelnie.

Dzięki cyfrowemu opracowaniu, uporządkowaniu i zweryfikowaniu punkty dokumentacyjne będą mogły być wykorzystane m.in. jako podstawa do wykonania cyfrowych modeli przypowierzchniowej budowy geologicznej.

Użytkowana do 2020 roku baza danych Geostar umożliwia przedstawienie budowy geologicznej punktu dokumentacyjnego na niżu polskim poprzez wskazanie lokalizacji oraz profilu geologicznego poprzez określenie stropu, spągu kolejnych warstwy litologicznych oraz ich chronostratygrafii i genezy

W kolejnych latach nastąpiła rozbudowa bazy danych, o moduł, który początkowo koncentrował się na opisie punktu dokumentacyjnego zlokalizowanym na fliszu karpackim (w późniejszych etapach, po rozbudowie słowników litostratygraficznych, również o rejonu Sudetów i Gór Świętokrzyskich.

Rozbudowując bazę założono, że punkt dokumentacyjny dla obszarów górskich składał się będzie z m.in.:

- z lokalizacji uwzględniającej podział tektoniczny Polski - od jednostki nadrzędnej do niższego rzędu,
- nazwy wydzielenia,
- wieku,
- opisu skał (uwzględniających podłoże) – składałby się z litologii, w której wyróżniane byłyby typy skały, miąższość ławic, frakcji, struktur sedymentacyjnych, warstwowania i mineralizacji.

Tektonika punktu dokumentacyjnego składa się z opisu skał, fałdów, stref uskokowych, stref nasunięć oraz położenia warstw, spękania (orientacja), uskoki (orientacja), brekcje tektoniczne.

Powyższe założenia zostały uwzględnione podczas kolejnych prac nad rozwojem systemu tak, że w 2023 roku została wdrożona kolejna wersja oprogramowania Geostar oprogramowania pod nazwą Geostar9 SMGP „Baza Danych SMGP starszego podłoża” uwzględniająca wszystkie przedstawione założenia.

Dysponując danymi zawartymi w module „starszego podłoża” zdecydowano by w kolejnym kroku rozwoju systemu zaprojektować „moduł statystyczny”, który korzystając z danych geologicznych zgromadzonych w bazie Geostar (a w późniejszym etapie z danymi zewnętrznym) umożliwi ich wizualizację

za pomocą diagramów kołowych (np. konturowych, punktowych, rozetowych, łukowych, Angeliera) skonstruowanych na bazie siatki stereograficznej.

Taka forma przedstawienia danych geologicznych (np. tektonicznych, sedymentacyjnych) umożliwia analizę ilościową opracowywanych parametrów z uwzględnieniem ich orientacji przestrzennej, co jest bardzo istotne w kontekście późniejszej interpretacji danych m.in. umożliwiając wykonanie rekonstrukcji niektórych procesów geologicznych.

The GEOSTAR9SMGP database is an available documentation data resource providing essential geological information related to the near-surface geological structure of Poland.

It is intended for use of various types of geological and environmental studies. The data collected – similarly to the sheets of the Detailed Geological Map of Poland at a 1:50,000 scale – are primarily aimed at public administration, geological enterprises, scientific institutes, and universities.

Thanks to its digital development, organization, and verification, the documentation points can be used as a basis for creating digital models of the near-surface geological structure.

Until 2020, the Geostar database allowed for presentation of the geological structure of Polish Lowlands by specifying its location and geological profile – through identifying the top and bottom of successive lithological beds, along with their chronostratigraphy and genesis.

In the following years, the database was expanded to include a module initially focused on describing documentation points located in the Carpathian flysch. In later stages, after actualization of lithostratigraphic dictionaries, the system also included areas of the Sudetes and Holy Cross Mountains.

During database development it was assumed that documentation points in mountainous areas would include:

- *location data referencing Poland's tectonic subdivision (from higher-order to lower-order units),*
- *the name of the lithostratigraphic unit,*
- *unit chronostratigraphy,*
- *rock description including lithology, bed thicknesses, grain sizes, sedimentary structures, bedding and mineralization.*

The tectonic characteristics of the documentation point consists of rock descriptions, folds, fault zones, thrust zones, bedding orientation, fractures (orientation), faults (orientation), and tectonic breccias.

These assumptions were incorporated into further system development, leading to the 2023 release of a new version of the Geostar software named Geostar9 SMGP – "Older Bedrock SMGP Database", which includes all of the mentioned features.

With the data from the "Older Bedrock" module available, it was decided that the next step in system development would be to design a "statistical module."

This module, using geological data collected in the Geostar database (and later also external data), would allow for data visualization using special charts (e.g., contour, point, rose, arc, Angelier diagrams) based on a stereographic grid.

This formula of geological data presentation (e.g., tectonic, sedimentary) enables quantitative analysis of studied parameters while considering their spatial orientation, which is highly significant for later data interpretation — such as reconstructing certain geological processes.

HISTORIA GÓRNICTWA SOLI KAMIENNEJ NA ZACHODZIE UKRAINY

HISTORY OF ROCK SALT MINING IN WESTERN UKRAINE

Andriy POBEREZHSKY¹, Oksana STUPKA¹

¹Instytut Geologii i Geochemii Paliw Kopalnych NAN Ukrainy, ul. Naukova, 3a, Lviv, Ukraina, 79060
e-mail: andriy.poberezhsky@gmail.com, stupkaoksana@gmail.com

Produkcja soli na zachodzie Ukrainy datowana jest na okres neolitu i rozpoczęła się wówczas od eksploatacji wychodni skalnych i solanek w naturalnych stawach solnych i strumieniach. Złoża soli i towarzyszące im solanki występują w Przedkarpaccim Basenie Solnym od granicy z Polską na zachodzie (w okolicach Dobromyła) na południowy wschód, aż do granicy z Rumunią, tworząc pas o szerokości 6,5–35 km i długości do 280 km. Produkcja soli z tych źródeł trwała do XX wieku, zapoczątkowując powstawanie wielu miast oraz ich przyszły rozwój i dobrobyt. Autorzy opisali historię kilku najbardziej znanych „miast solnych”, takich jak: Lyatsko (Solanuvatka) – Dobromyl, Bolechów, Dolyna, Kałusz, Kosów, Delyatyn, Stebnyk i Drohobycz, które przez wiele wieków były ważnymi ośrodkami wydobywania i produkcji soli, zarówno na rynek lokalny, jak i na eksport.

Salt production in western Ukraine was dated for the Neolithic period and started then with exploitation of outcrops and brines in natural salt ponds and creeks. Salt deposits and accompanied salt brines occur in the Forecarpathian Salt Basin from the Poland boundary in the west (near Dobromyl) to the south-east until the Romania boundary as a belt 6,5-35 km wide and up to 280 km long. Salt production from these sources has continued until XX century initiating many cities founding and their future development and prosperity. Authors described the history of several most known “salt cities” such as: Lyatsko (Solyanuvatka) – Dobromyl, Bolechów, Dolyna, Kalusz, Kosiw, Delyatyn, Stebnyk and Drohobycz, being for many centuries the important centers of salt exploitation and production both for local market and for export abroad.

Referat będzie opublikowany w formie artykułu w Przeglądzie Solnym 2025

Full text will be published in Salt Review 2025

XXIX Międzynarodowe Sympozjum Solne International Salt Symposium



Firmy i instytucje

Companies and institution

XXIX Międzynarodowe Sympozjum Solne International Salt Symposium



1	Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
2	Antea Polska S.A.
3	CFT Polska Sp. z o.o.
4	DEEP.KBB GmbH
5	Ferrum Process Systems Ltd.
6	Gas Storage Poland sp. z o.o.
7	Inowrocławskie Kopalnie Soli „Solino” S.A.
8	Instytut Geologii i Geochemii Paliw Kopalnych NAN Ukrainy
9	K+S Polska sp. z o.o.
10	K+S Minerals and Agriculture GmbH
11	K2O Potash Corp. Ltd.
12	KGHM METRACO S.A.
13	KGHM Polska Miedź S.A.
14	KGHM Polska Miedź S.A. O/ZG Polkowice - Sieroszowice
15	Kopalnia Soli „Kłodawa” S.A.
16	Kopalnia Soli „Wieliczka” S. A.
17	Muzeum Żup Krakowskich Wieliczka
18	Okręgowy Urząd Górniczy w Gdańsku
19	Okręgowy Urząd Górniczy w Poznaniu
20	Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Górnictwa Surowców Chemicznych „CHEMKOP” Sp. z o.o.
21	Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy
22	Polskie Stowarzyszenie Geologów Górniczych
23	Polskie Stowarzyszenie Górnictwa Solnego
24	Salt Market Information
25	Sandvik Polska Sp. z o.o.
26	Torpol Oil & Gas Sp. z o.o.
27	Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Instytut Geologii
28	Uniwersytet Wrocławski, Instytut Nauk Geologicznych
29	Uponor Infra Sp. z o.o.
30	Wyższy Urząd Górniczy

[illegible]

XXIX Międzynarodowe Sympozjum Solne International Salt Symposium



[illegible]