

Piotr KIJEWSKI*, Wojciech SALSKI*

CECHSZTYŃSKA SÓL KAMIENNA CYKLOTEMU Z1 W POŁUDNIOWO-ZACHODNIEJ CZĘŚCI MONOKLINY PRZEDSUDECKIEJ

SPIS TREŚCI

Streszczenie	97
Wstęp	98
Zakres badań	99
Geologiczne warunki występowania soli kamiennej Na1	100
Stosunek soli kamiennej do innych osadów cyklotemu Z1	100
Miąższość soli kamiennej Na1	102
Wybrane profile soli kamiennej	106
Charakterystyka petrograficzna	109
Ziarnistość	109
Cechy teksturalne	112
Skład mineralny	114
Skład chemiczny	115
Mechaniczne własności soli kamiennej	118
Tektonika	124
Interpretacja map	124
Zjawiska strukturalne w obrębie pokładu soli	129
Zarys warunków formowania pokładu solnego	130
Literatura	133
Zechstein rock-salt of the Z1 cyclothem in the south-western part of the Fore-Sudetic Monocline — Summary	135

Streszczenie

W obrębie anhydrytów cechsztynu cyklotemu Z1, w odległości około 7 km na północ od bloku przedsudeckiego, występuje pokład soli kamiennej o miąższości dochodzącej do 200 m. Granica zasięgu tej formacji oraz rozkład miąższości tak soli, jak i podścielających ją anhydrytów A1 wykazuje kierunek W—E lub WNW—ESE, czyli zbliżony do ujawnionego w budowie podłoża monokliny. Sedymentacja soli odbywała się w zbiorniku o znacznie zróżnicowanej morfologii dna, w którym oprócz lokalnych zagłębień występowały także równoleżnikowo wydłużone bariery. Spągowa część pokładu solnego z regularną laminacją anhydrytową, obecnością struktur drobnokrystalicznych i ciemnym zabarwieniem jest niewątpliwie pochodzenia pierwotnego. Natomiast znaczna część soli w środkowej i górnej partii pokładu jest pochodzenia wtórnego. Przemawia za tym

powszechność struktur grubokrystalicznych z solą kryształową włącznie, obecność licznych porwaków anhydrytu, domieszka materiału ilowego oraz bardzo duże wahania miąższości, nawet na niewielkich odległościach.

Badania wytrzymałościowe wskazują na bardzo duży udział odkształceń plastycznych w procesie deformowania soli kamiennej. Zjawisko to ma istotny wpływ na kształtowanie procesów tektonicznych, a zwłaszcza na charakter przemieszczeń mas soli. Miały one miejsce w związku z ruchami bloków podłoża i towarzyszącym zróżnicowaniem stanu naprężeń. Główne kierunki uskoków reprezentują orientacje NW—SE i W—E. Zasadniczą rolę w tektonicznym rozwoju monokliny przedsudeckiej, a w tym także obszaru solonośnego, odegrały fazy kimeryjska i laramijska.

* Zakłady Badawcze i Projektowe Miedzi „Cuprum”, pl. 1 Maja 1/2, 50—136 Wrocław.

WSTĘP

Osady cechsztyńskie w obszarze monokliny przedsudeckiej od dłuższego czasu znajdują się w sferze zainteresowań wielu geologów prowadzących badania z zakresu stratygrafii, tektoniki oraz geologii regionalnej i złożowej. Intensyfikacja tych badań wiąże się z obecnością lub perspektywami występowania złóż wielu surowców mineralnych — głównie rud miedzi, ropy naftowej oraz soli potasowych i kamiennych. W dalszym ciągu jednak rozpoznanie znacznych obszarów monokliny przedsudeckiej opiera się na pojedynczych otworach wiertniczych.

W przypadku soli kamiennej Na1 cyklotemu Z1, będącej przedmiotem niniejszego opracowania, warunki dla bliższego jej scharakteryzowania zaistniały w południowo-zachodniej części monokliny przedsudeckiej, w partii objętej dokumentowaniem złoża rudy miedzi. Dotyczy to okolic Bytomia Odrzańskiego, Polkowic i Głogowa, gdzie wykonane zostały liczne otwory wiertnicze w odstępach $1,5 \times 1,5$ km. Ta stosunkowo regularna i gęsta sieć wierceń pozwoliła wyznaczyć południową granicę zasięgu soli kamiennej Na1, podać charakterystykę pokładu solnego, a także określić cechy litologiczno-strukturalne soli.

Oprócz zagadnień natury poznawczej określenie warunków występowania soli kamiennej w profilu osadów cechsztyńskich ma również znaczenie w praktyce górniczej. Sól kamienna Na1 występuje tutaj w nadkładzie złoża rudy miedzi, a jej własności mechaniczne, zwłaszcza w przypadku osiągnięcia dużych miąższości, wpływać mogą na dynamikę odkształceń warstw stropowych eksploatowanego pokładu miedzianośnego. Rozpoznanie geologiczne soli w rejonie Polkowice—Głogów może nabrać znaczenia zwłaszcza w sytuacji, kiedy przedmiotem działalności górniczej byłoby równoległe zagospodarowanie złoża rudy miedzi i soli kamiennej.

Problematyka badawcza utworów solnych w cechsztyńskim obszarze monokliny przedsudeckiej ma krótką historię. Pierwsze, ogólne informacje na ten temat podaje Lotze (1938), wyznaczając równocześnie zasięg basenu cechsztyńskiego oraz utworów solnych.

Pionierem badań formacji cechsztyńskiej wśród geologów polskich był Zwierzycki (1947, 1951). Autor ten, mimo że dysponował skromnym materiałem geologicznym wskazywał, że na obszarze monokliny przedsudeckiej, na północ od Wrocławia — między Zieloną Górą, Głogowem, Wschową a Brze-

giem — sole kamienne, a prawdopodobnie także potasowe, występują w złożu pierwotnym na głębokości 500 ÷ 1000 m. W tym czasie zagadnienie utworów solnych w cechsztyńskim porusza także Czarnocki (1951), wyznaczając ich zasięg na monoklinie przedsudeckiej.

Prace wiertnicze wykonane w latach 1955—1959 przez Instytut Geologiczny oraz przemysł naftowy potwierdziły w ogólnych zarysach wcześniejsze poglądy Zwierzyckiego. W oparciu o materiały z tych wierceń Poborski (1960) wydzieliła w cechsztyńskim podstawowe facje charakterystyczne dla zagłębia solnego oraz określiła prawidłowości w ich wykształceniu. Wyznacza także zasięg facji chlorkowej z solami potasowo-magnezowymi.

Bardzo interesujące prace dotyczące paleogeografii i tektoniki w cechsztyńskim publikuje Tokarski (1958, 1963). Autor ten wprowadza do literatury geologicznej termin „monoklina przedsudecka” (Tokarski 1958), a jej obszar z punktu widzenia tektoniki formacji cechsztyńskiej zalicza do typu α , który jego zdaniem „nie wykazuje żadnych śladów tektoniki solnej” (Tokarski 1963).

Obecność soli potasowych w utworach cyklotemu Z2 i Z3 cechsztyńskim zachodniej części monokliny przedsudeckiej (Poborski 1960) spowodowała, że zainteresowanie utworami solnymi skupia się głównie w rejonie Zielonej Góry i Nowej Soli. Natomiast zagadnienia soli kamiennej najstarszej poruszane są raczej fragmentarycznie na marginesie rozważań o paleogeografii i stratygrafii cechsztyńskim (Kłapciński 1964a, 1964b), zagadnień budowy geologicznej i strukturalnej (Sokołowski 1967) bądź też sedimentacji cechsztyńskim (Podemski 1965, 1973). Autorzy ci wyznaczają równocześnie na zamieszczanych mapach zasięg solnych utworów cechsztyńskim, w tym także w cyklotemie Z1.

Jedyną pracą traktującą bezpośrednio o soli kamiennej cyklotemu Z1 z obszaru między Lubinem a Polkowicami jest komunikat Tomaszewskiego (1962), w którym omówiona jest pozycja soli kamiennej najstarszej na tle osadów cechsztyńskim. Ze względu na niewielką ilość wierceń, w których stwierdzono wówczas sól kamienną autor ten podaje jedynie podstawowe informacje o wykształceniu i składzie chemicznym tej formacji, ograniczając się do niewielkiego fragmentu obszaru jej występowania położonego na północ od Polkowic**.

** W trakcie przygotowywania pracy do druku, w Przeglądzie Geologicznym nr 10, 1976 ukazał się artykuł A. Szybista pt. „Złoże soli kamiennej w Legnicko-Głogowskim Okręgu Miedziowym” Artykuł ten — chociaż posiada charakter ogólny — prezentuje jednak pewne poglądy, które nie są w dostateczny sposób udokumentowane materiałem faktograficznym, a zwłaszcza niezbędnymi w tym przypadku mapami. Ponadto niektóre stwierdzenia autora budzą wyraźne wątpliwości i z tego względu wymagają krótkiego skomentowania.

Autorzy artykułu składają serdeczne podziękowanie mgr inż. Marii Preidl z Przedsiębiorstwa Geologicznego w Krakowie za udostępnienie wyników analiz chemicznych soli oraz materiałów podstawowych z wierceń, które posłużyły do konstrukcji map

strukturalnych, inż. M. Marchewskiemu za umożliwienie zapoznania się z najnowszymi wynikami aktualnie prowadzonych wierceń oraz mgr. inż. J. Lisowi za wykonanie badań laboratoryjnych parametrów wytrzymałościowych soli kamiennej.

ZAKRES BADAŃ

Badaniami objęto obszar południowo-zachodniej części monokliny przedsudeckiej o powierzchni około 170 km², położony na północ od Polkowic (fig. 1).

W rejonie tym w latach 1961–1976, w ramach dokumentowania złoża rudy miedzi, stwierdzono wśród utworów cechsztynu w cyklotemie Z1 najstarszą sól kamienną NaI. Została ona przewiercona w 80 otworach, w większości rdzeniowych, co pozwoliło na zebranie obszernego materiału dotyczącego wykształcenia soli kamiennej w tym obszarze.

W niniejszym artykule na podstawie wykonanych map miąższości soli kamiennej, anhydrytów A1 oraz map strukturalnych określono zależności między występowaniem soli kamiennej NaI a skałami otaczającymi. Podjęto także próbę wyjaśnienia udziału soli w procesie deformacji utworów skalnych cechsztynu tej części monokliny przedsudeckiej biorąc za punkt odniesienia mapę tektoniczną tego obszaru opracowaną na podstawie materiałów z wierceń oraz wyrobisk górniczych z kopalni rudy miedzi. Zagadnienie to analizowano na podstawie wykonanych map stropu i spągu soli kamiennej, spągu anhydrytów A1 oraz przekrojów geologicznych. Do analizy tej wykorzystano wyniki wierceń zawarte w odpowiednich dokumentacjach geologicznych sporządzonych przez Przedsiębiorstwo Geologiczne w Krakowie.

Ponadto autorzy szczegółowo sprofilowali i opróbowali rdzenie z dziesięciu otworów wiertniczych, co pozwoliło na scharakteryzowanie soli kamiennej oraz niektórych procesów związanych z jej sedimentacją. Pobrane próbki posłużyły do wykonania uzupełniających badań chemicznych, petrograficznych, rentgenograficznych oraz określenia podstawowych parametrów wytrzymałościowych i sprężystych soli kamiennej w warunkach jednoosiowego ciśnienia.

Analizie chemicznej poddano 20 próbek, w których oznaczono następujące składniki: K, Na, Mg,

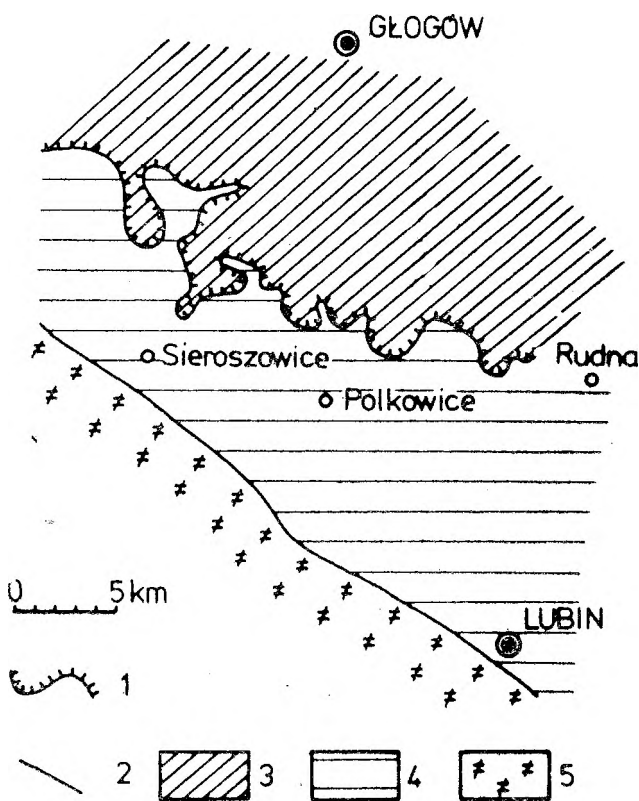


Fig. 1

Szkic sytuacyjny obszaru badań

1 – granica zasięgu soli kamiennej NaI; 2 – granica bloku przedsudeckiego i monokliny przedsudeckiej; 3 – obszar sedimentacji chlorkowej; 4 – obszar sedimentacji siarczanowej; 5 – utwory krystaliczne bloku przedsudeckiego

Index map of study area

1 – lateral extent of the NaI rock salt; 2 – margins of Fore-Sudetic Block and Fore-Sudetic Monocline; 3 – area of chloride deposition; 4 – area of sulphate deposition; 5 – crystalline rock-complex of Fore-Sudetic Block

Charakteryzując tektonikę obszaru miedzionośnego autor ten podaje, że uskoki reprezentowane są przez trzy kierunki, a mianowicie: WNW–ESE, NE–SW oraz N–S. Jednakże kierunki te są niezgodne ze stanem aktualnym, rozpoznany robotami górniczymi, który ujawnił dwa systemy uskoków: NW–SE i W–E. Podana informacja nie pokrywa się również z wcześniejszymi koncepcjami tektonicznymi opartymi na rozpoznaniu otworami wiertniczymi, które zakładały obecność dyslokacji o kierunku NW–SE, W–E oraz N–S.

Autor przyjmuje, że uskoki występujące w dolnej części utworów cechsztynu wygasają w spągu soli i nie naruszają ciągłości pokładu soli. Z załączonych przekrojów wynika ponadto, że anhydryty A1₀ wykazują bardzo istotne różnice miąższości w przylegających do siebie skrzydłach dyslokacji, natomiast nie ma zróżnicowania miąższości w obrębie soli. Ze względu na dużą sztywność anhydrytów oraz predyspozycje soli do odkształceń plastycznych, przyjęcie takiej koncepcji jest nieuzasadnione. Rola uskoków w deformowaniu pokładu soli, jak wykazano w artykule jest ewidentna, chociaż wyraźnie związana z amplitudą uskoków oraz grubością pokładu soli. Wszystkie dyslokacje przemieszczające spągową powierzchnię anhydrytów, naruszają zarazem spąg soli. Część uskoków niewątpliwie zanika w obrębie soli i nie powoduje przesunięć w jej stropie, w innych przypadkach uskoki przecinają strop soli, ale amplituda ich znacznie maleje. Raptowne zmiany miąższości soli występują z reguły w zrzuconych skrzydłach uskoków, natomiast wypiętrzenia stropu soli, którym A. Szybist przypisuje istotną rolę, mają znaczenie wybitnie drugorzędne.

Ca, Cl, SO₄, Br oraz części nierozpuszczalne. Wyniki analiz przeliczono na składniki mineralne, obliczono także współczynnik bromowy w zależności:

$$k_{Br} = \frac{Br^{-} \cdot 10^3}{Cl^{-}}$$

Charakterystykę petrograficzną podstawowych odmian soli kamiennej oraz towarzyszących jej skał przeprowadzono na podstawie badań 10 szlifów mikroskopowych. Identyfikację niektórych składni-

ków mineralnych uzupełniono badaniami rentgenograficznymi.

Charakterystyczne cechy makro- i mikrostrukturalne, stwierdzone w poziomie soli kamiennej w czasie badań polowych i laboratoryjnych, zilustrowano przy pomocy zdjęć fotograficznych. W pracy wykorzystano ponadto wyniki wykonanych wcześniej przez Przedsiębiorstwo Geologiczne w Krakowie analiz chemicznych i badań fizyczno-mechanicznych własności soli kamiennej NaI.

GEOLOGICZNE WARUNKI WYSTĘPOWANIA SOLI KAMIENNEJ NaI

STOSUNEK SOLI KAMIENNEJ DO INNYCH OSADÓW CYKLOTEMU Z1

Tabela 1

Profil litologiczno-stratygraficzny utworów cechsztynu
Lithostratigraphic profile of Zechstein sediments

Stratygrafia Stratigraphy	Wykształcenie litologiczne i miąższość warstw Lithology and bed thickness	Symbole warstw Bed symbols	Cykle sedymentacyjne Sedimentary cycles	
Cechsztyń Zechstein	Red claystones and siltstones, with gypsum intercalations at the bottom: 3–45 m Anhydrites: 15–40 m Clayey dolomites (locally): 0,0–3,0 m	T4 A3	Z4	
	Grey claystones: 0,0–10,0 m Anhydrites: 15,0–45 m	Ca3 T3 A2	Z3	
	Dolomites, with anhydritic sloams locally: 0–23 m "Upper" anhydrites: 20–65 m	Ca2 A10	Z2	
	Rock salt: 0–265 m "Lower" anhydrites: 14,1–125,5 m	Na1 A1u		
	Dolomites and limestones: 3,5–108 m Copper shale: 0,0–1,2 m	Ca1 T1		
	Grey quartzose sandstones (upper portion)	S1	Z1	
	Czerwony spągowiec Rotliegendes	Grey quartzose sandstones (lower portion) Red quartzose sandstones with intercalations of pebbly sandstones, conglomerates and mudstones		

W objętych badaniami obszarze monokliny przedsudeckiej osady cechsztynu zdominowane są przez utwory pochodzenia chemicznego wykształcone w postaci skał węglanowych, anhydrytów i gipsów oraz soli kamiennej. Osady klastyczne, głównie ilowce, mułowce, łupki i piaskowce, stanowią ilościowo składniki podrzędne, ważne jednak z punktu widzenia litostratygrafii cechsztynu.

Podobnie jak na innych typowych obszarach (Richter-Bernburg 1955), w cechsztynie monokliny przedsudeckiej powszechnie stosowany jest podział stratygraficzny na cyklotemy. Wśród czterech cyklotemów w obszarze badań najpełniej wykształcony jest pierwszy Z1, zwany cyklotemem Werra (fig. 2), w przeciwieństwie do pozostałych, które są wyraźnie zredukowane lub wykazują brak pewnych elementów (tab. 1).

Zdaniem Tomaszewskiego (1966) utwory pochodzenia chemicznego stanowią w południowo-zachodniej części monokliny przedsudeckiej około 85 ÷ 90 % osadów cechsztynu, przy wyraźnej przewadze ilościowej anhydrytów i gipsów (55 ÷ 74 %) nad skałami węglanowymi (14 ÷ 28 %). W obszarze występowania soli kamiennej najstarszej — jej udział wśród skał cechsztynu dochodzi do 57 %, a wzrost ilościowy odbywa się kosztem zmniejszenia ilości anhydrytów i gipsów.

W obrębie cyklotemu Z1 szczególnie wyraźnie zaznacza się przewaga skał pochodzenia chemicznego nad materiałem klastycznym. Przyjmując, że stropowa warstwa białego spągowca zbudowana z piaskowców typu α i β (Jerzykiewicz *et al.* 1976) jest osadem cechsztyńskim, udział osadów klastycznych nie przekracza 5 ÷ 8 %. Natomiast wśród składników chemicznych stosunki ilościowe są bardzo zróżnicowane. W przedstawionej projekcji (fig. 3) w układzie skały węglanowe (Ca1)—anhydryty i gipsy (A1)—sól kamienna (Na1) wyraźnie uwidacznia się zależność

między miąższością skał siarczanowych i solą kamienną przy stosunkowo stałej ilości wapieni i dolomitów. Udział wymienionych skał w profilu osadów cyklotemu Z1 wynosi odpowiednio: sól kamienna 0,3 ÷ 87 %, anhydryty i gipsy 20,7 ÷ 86,4 %, skały węglanowe 1,5 ÷ 21,2 %. Te ostatnie w obszarze występowania soli kamiennej wyjątkowo tylko w jednym profilu (S—360) wykazują zwiększoną miąższość, a ich udział ilościowy dochodzi do 41,5 %.

Sól kamienna często jest składnikiem dominującym i kilkakrotnie przekracza miąższość pozostałych

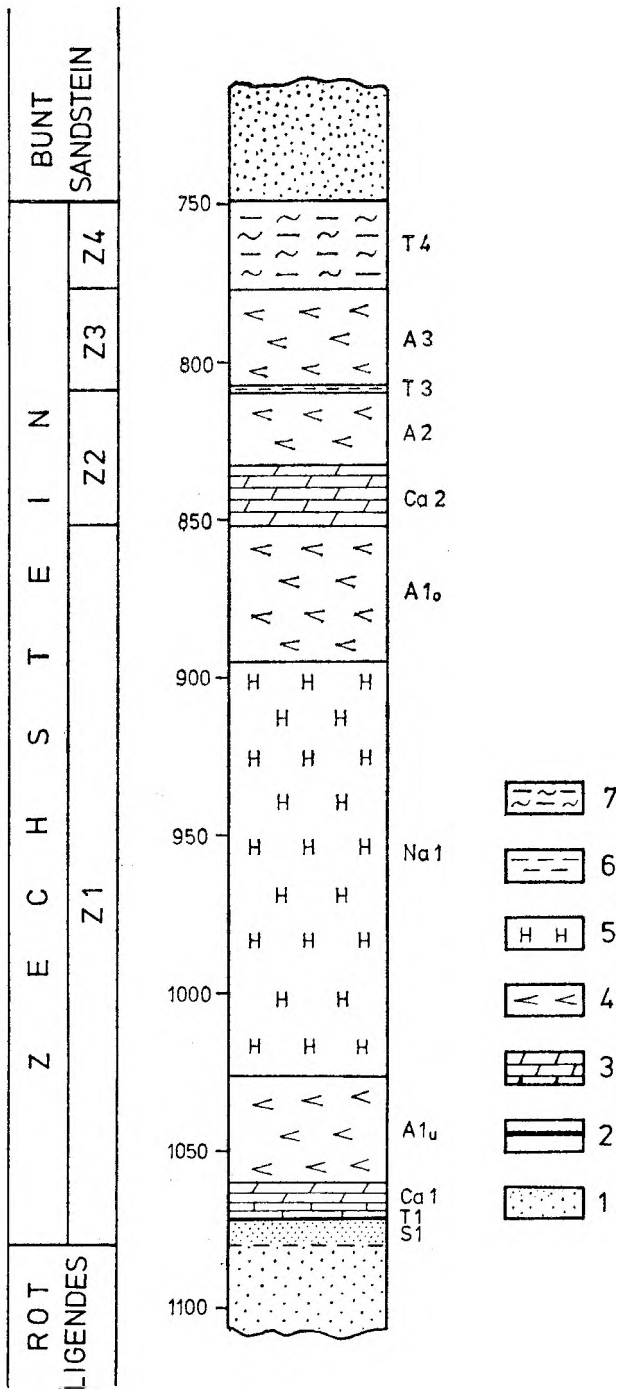


Fig. 2

Profil litostratigraficzny cechsztynu monokliny przedsudeckiej z obszaru występowania soli kamiennej

1 - piaskowce; 2 - łupki miedzionośne; 3 - wapień i dolomity; 4 - anhydryty; 5 - sól kamienna; 6 - ilolupki; 7 - ilowce

Zechstein lithostratigraphy of salt-bearing area, Fore-Sudetic Monocline

1 - sandstone; 2 - copper shale; 3 - limestone and dolomite; 4 - anhydrite; 5 - rock salt; 6 - shale; 7 - claystone

utworów pochodzenia chemicznego w cyklotemie Z1. Zależność ta została przedstawiona na odpowiedniej mapie (fig. 4) wykonanej w oparciu o metodę stosunków ilościowych dla składników litologicznych

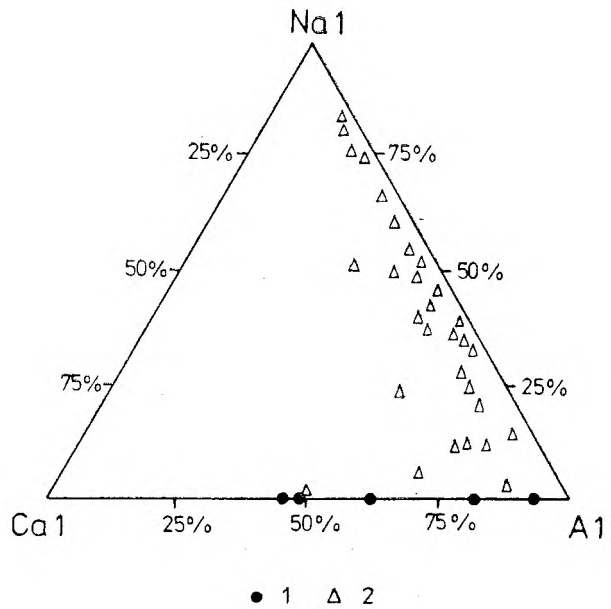


Fig. 3

Projekcja trójkątna składników chemicznych w osadach cyklotemu Z1

1 - obszar poza zasięgiem soli; 2 - obszar solonośny

Modal chemical composition of deposits of the Z1 cyclothem

1 - salt-lacking area; 2 - salt-bearing area

wprowadzoną przez Sloosa *et al.* (1949). Współczynnik *k*, określający związek między miąższością soli kamiennej Na1, anhydrytów i gipsów A1 oraz skał węglanowych Ca1, obliczono ze wzoru:

$$k = \frac{\sum m \text{ Na1}}{\sum m \text{ Ca1} + \sum m \text{ A1}}$$

Mapa wskaźników ilościowych wykazuje w przybliżeniu równoleżnikowy układ izolinii z obecnością lokalnego kierunku NW, czyli jak większość elementów strukturalnych monokliny przedsudeckiej upodabnia się w swoim przebiegu do kierunku waryscyjskiego.

Analiza mapy wskazuje, że nie ma istotnego związku między miąższością soli kamiennej a rozkładem wartości współczynnika *k*. Wynika to z faktu, że utrzymaniu znacznej miąższości soli kamiennej towarzyszy w wielu miejscach duża miąższość anhydrytów — zwłaszcza podścielających sól. Bardziej wyraźna jest natomiast zależność między wartością *k* i miąższością anhydrytów A1; zjawisko to szczególnie dobitnie zaznacza się w rejonie Żukowic (fig. 4, 6).

Równowaga w układzie sól kamienna—pozostałe składniki chemiczne cyklotemu Z1, zobrażowana w przebiegu izolinii *k* = 1, występuje nie tylko w sąsiedztwie południowej granicy zasięgu soli, ale pojawia się ponownie w kierunku na północ w odległości 2,5 ÷ 6,5 km. Izoliniom tym towarzyszą strefy, gdzie występuje wzrost miąższości soli, która lokalnie

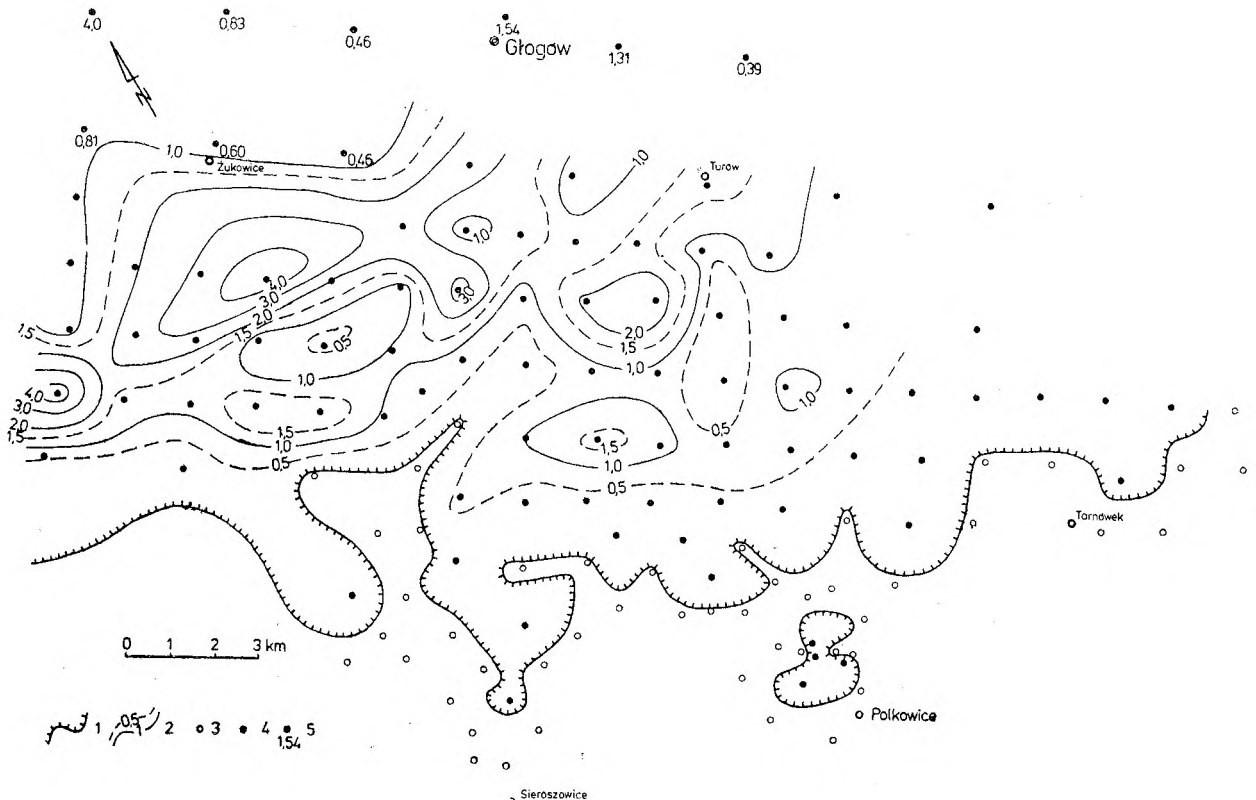


Fig. 4

Mapa stosunków ilościowych w obrębie osadów chemicznych cyklotemu Z1

1 – granica zasięgu soli kamiennej; 2 – izolinie współczynnika k ; 3 – otwory wiertnicze zlokalizowane poza zasięgiem soli; 4 – otwory wiertnicze w obszarze występowania soli kamiennej; 5 – wartość współczynnika k w otworach wiertniczych poza obszarem objętym dokumentacją w kategorii C₁

Quantitative relations in chemical deposits of the Z1 cyclothem

1 – rock-salt lateral extent; 2 – isolines of k -coefficient values, 3 – boreholes localized beyond salt extent; 4 – boreholes localized in salt-bearing area; 5 – k -coefficient values obtained for boreholes localized beyond the area documented in C₁-category

aż czterokrotnie przewyższa sumę miąższości skał siarczanowych i węglanowych. Maksymalne zmiany wartości współczynnika k w tych rejonach mają kierunek południkowy. Oprócz tych wyraźnie zaznaczonych stref w rozkładzie wartości k zaznaczają się liczne, eliptycznie wykształcone pola tak z przewagą soli, jak też siarczanów i węglanów. Fakty te wskazują, że sedimentacja soli odbywała się w zbiorniku o bardzo zróżnicowanej morfologii, zawierającym oprócz dokoalnych zagłębień przede wszystkim równoleżnikowe bariery. Wpłynęły one w zasadniczy sposób na przebieg sedimentacji chemicznej w obrębie cyklotemu Z1, a zwłaszcza w jego dolnej części z solą kamienną włącznie.

MIAŻSZOŚĆ SOLI KAMIENNEJ NA1

W profilu osadów cyklotemu Z1 sól kamienna pojawia się w odległości 6 ÷ 7 km od bloku przed-sudeckiego (fig. 5). Granica południowego zasięgu facji chlorkowej została tutaj szczegółowo rozpoznana na odcinku około 30 km. Linia wyznaczająca zasięg soli ma kształt nieregularny i wykazuje obec-

ność licznych, głęboko wciętych zatok, a nawet pojedynczych izolowanych płatów. Większość zatok charakteryzuje się znacznym wydłużeniem dochodzącym do 5 km oraz stosunkowo niewielką szerokością wynoszącą 0,3 ÷ 0,6 km. Dłuższe osie tych zatok mają znacznie zróżnicowaną orientację i układają się zgodnie z kierunkami: W–E, NE–SW, N–S lub NW–SE. Mimo tego zróżnicowania generalnie granica zasięgu soli kamiennej najstarszej wykazuje kierunek WNW–ESE, czyli skośny do bloku przed-sudeckiego. Podobny kierunek wyznacza także Sokołowski (1967).

Na podstawie wyników wierceń opracowano mapę izopachyt soli kamiennej (fig. 5). Ze względu na obecność w obrębie soli wkładek anhydrytów lub ilowców przy określaniu jej miąższości odejmowano grubość tych przerostów, które przekraczały miąższość jednego metra. Natomiast cieńsze wkładki nie były wyłączone z tego względu, że mają lokalne występowanie oraz nie zawsze są odpowiednio udokumentowane w opisie wiercenia.

Przy wyznaczaniu zasięgu soli kierowano się nie tylko zasadą geometrycznej interpolacji wyników

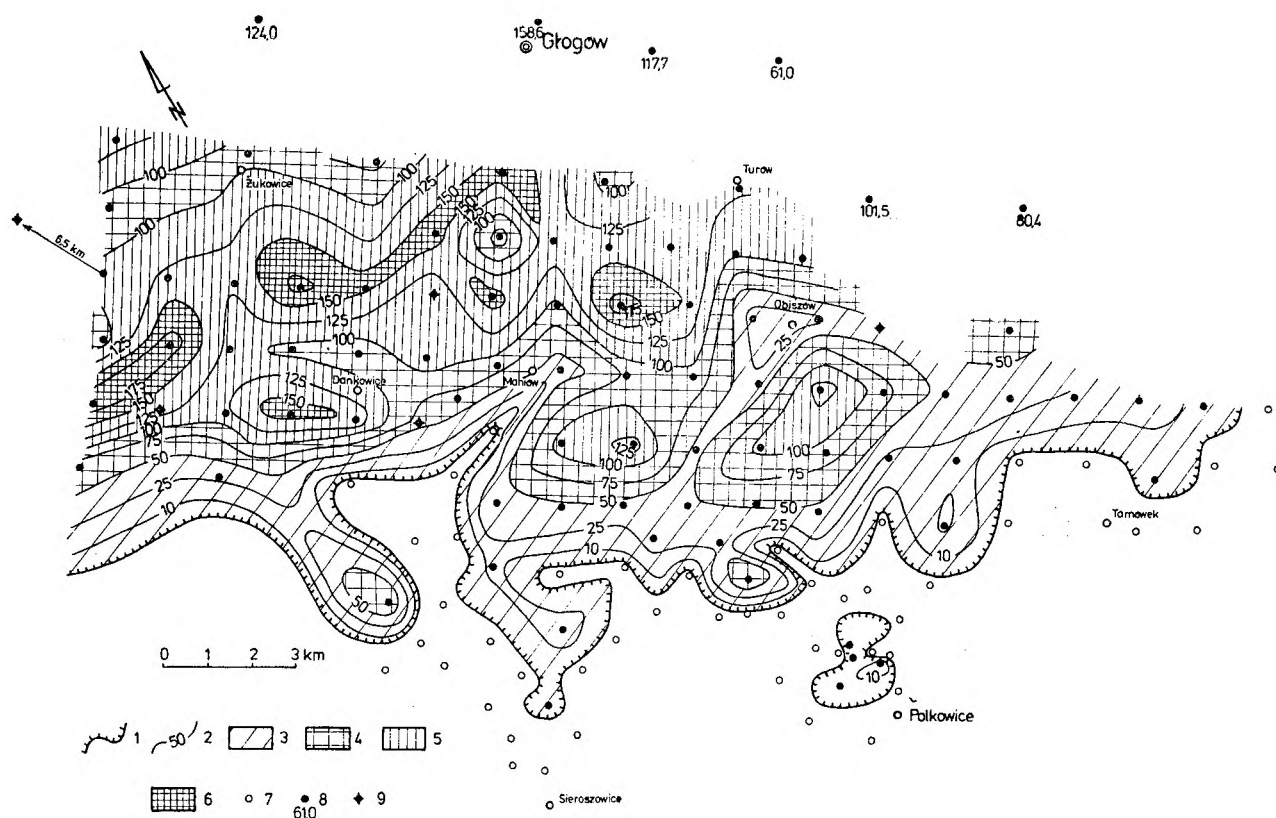


Fig. 5

Mapa izopachyt soli kamiennej Na1

1 – granica zasięgu soli kamiennej; 2 – izopachyty soli kamiennej, wartość podana w metrach; 3 – obszar o miąższości soli od 0 do 50 m; 4 – obszar o miąższości soli od 50 do 100 m; 5 – obszar o miąższości soli od 100 do 150 m; 6 – obszar o miąższości soli od 150 do 200 m; 7 – otwory wiertnicze zlokalizowane poza zasięgiem soli; 8 – otwory wiertnicze w obszarze występowania soli (cyfra poniżej otworu wiertniczego określa miąższość soli); 9 – otwór wiertniczy, w którym przeprowadzono szczegółowe profilowanie rdzenia w interwale występowania soli

Isopach map of the Na1 rock salt

1 – rock-salt lateral, extent; 2 – rock-salt isopachs (values in metres); 3 – area of salt thickness from 0 to 50 m; 4 – area of salt thickness from 50 to 100 m; 5 – area of salt thickness from 100 to 150 m; 6 – area of salt thickness from 150 to 200 m; 7 – boreholes localized beyond salt extent; 8 – boreholes localized in salt-bearing area (number values included below boreholes represent salt thickness); 9 – borehole in which the interval of salt occurrence has been examined in detail

z otworów wiertniczych, lecz również przesłankami natury geologicznej. Pod uwagę brana była przede wszystkim miąższość soli w skrajnych otworach wiertniczych oraz występowanie w sąsiedztwie ładu solnego, jako ekwiwalentu soli.

Rozkład miąższości soli kamiennej przedstawiony na mapie ma jednak charakter uproszczony, nie uwzględnia bowiem wpływu tektoniki. Rola tego czynnika w niektórych przypadkach jest ewidentna, jednak w odniesieniu do całości rozpatrywanego obszaru istniejąca sieć wierceń nie pozwala, na ogół, na rozstrzygnięcie, w jakim stopniu aktualna miąższość soli ukształtowana została w efekcie sedymentacji, a w jakim w wyniku nacisków tektonicznych lub innych wtórnych procesów.

Mimo że przestrzenna forma występowania soli ma charakter pokładowy, miąższość jej odznacza się dużym zróżnicowaniem. Istnieje dość wyraźna tendencja wzrostu miąższości w kierunku NE i N, czyli zgodnie z zapadaniem warstw skalnych mono-

kliny przedsudeckiej. Lokalnie obserwuje się jednak częste odstępstwa od tej ogólnej zasady.

Zróżnicowanie miąższości soli zaznacza się już w brzeżnej strefie jej występowania, czego wyrazem może być znaczna zmiana poziomej odległości pomiędzy granicą zasięgu soli a izopachytą 50 m. Odległość ta waha się od około 0,5 do 2,5 km. W wielu przypadkach raptowne zmiany miąższości uwiadcniają się nawet w bezpośrednio sąsiadujących otworach wiertniczych, a więc na odcinkach długości około 1,5 km (tab. 2). Zjawisko to odnosi się zarówno do obszarów położonych w pobliżu występowania soli, jak i w centralnej części basenu sedymentacyjnego. Przykłady gwałtownych zmian miąższości podaje także Podemski (1973) dla soli najstarszej z okolicy Nowej Soli.

Przyjmując, że zmiany miąższości soli kamiennej pomiędzy otworami wiertniczymi dokonują się w sposób ciągły, to w niektórych przypadkach jednometrowa różnica miąższości zachodzi na odcinku od 10 do

Tabela 2

 Zróznicowanie miąższości soli kamiennej w sąsiadujących ze sobą profilach
 Variability of rock-salt thickness in neighbouring profiles

Nr profilu Profile no.	Miaższość soli Rock-salt thickness (m)	Nr profilu Profile no.	Miaższość soli Rock-salt thickness (m)	Różnica miąższości Difference in thickness (m)	Odległość której odpowiada zmiana miąższości soli o 1 m Distance to which the change in rock-salt thickness corresponds (m)	Odległość między otworami Distance between boreholes (km)
S-375	148,3	S-376	8,6	139,7	11	1,5
S-374	186,0	S-364	34,0	152,0	13	2,0
S-382	144,0	S-378	0,0	144,0	10	1,5
S-107	75,5	S-294	0,0	75,5	13	1,0
S-391	199,2	S-388	133,5	65,7	23	1,5
S-399	181,3	S-400	164,3	17,0	88	1,5
S-383	173,5	S-382	144,0	29,5	49	1,45
S-366	91,5	S-365	76,0	15,5	97	1,5
S-354	108,3	S-355	94,0	14,3	105	1,5

23 m. Odpowiada to jednak sytuacjom szczególnym — przeciętnie bowiem zmiana taka zachodzi na odcinku od 40 do 80 m.

Rozkład izopachyt soli ujawnia obecność pewnych kierunków, zgodnie z którymi zachowana jest większa stabilność miąższości. Wyraźnie dominuje tutaj kierunek równoleżnikowy, uwidaczniający się zwłaszcza w przebiegu strefy przekraczającej 150 m, ciągnącej się z przerwą na długości około 11 km. Wzdłuż analogicznego kierunku występują także wyraźnie uwidaczniające się strefy o niskiej miąższości. Szczególnie dobitnie zaznacza się to w okolicach Maniowa i Obiszowa (fig. 5).

W rozkładzie miąższości uzewnętrznia się również kierunek NW—SE. Jest on reprezentowany przez strefę o miąższości soli ponad 125 m, rozciągającą na długości ponad 3 km w okolicach Dankowic.

Poza formami o kierunkach W—E i NW—SE, które kształtują przebieg stref miąższościowych, pojawiają się także formy o koncentrycznym rozkładzie izopachyt. Maksymalna ich miąższość przekracza nawet 175 m. Stwierdzono także formy owalne o miąższości poniżej 75 m.

Kierunkowość zmian stwierdzono również w przypadku grubości anhydrytów Al_u podścielających sól. Na mapie izopachyt (fig. 6) obserwuje się wyraźnie następujące po sobie równoleżnikowe strefy podwyższonych i obniżonych miąższości anhydrytów. Są one zdecydowanie bardziej ewidentne aniżeli w przypadku soli kamiennej. Charakteryzują się stosunkowo

niewielką szerokością $1 \div 2$ km i ciągną się na długości dochodzącej do 10 km. Strefy równoleżnikowe osiągną maksymalną miąższość anhydrytów Al_u około 80 m, a minimalną 20 m.

Obok równoleżnikowego zaznacza się także kierunek NW—SE. Jest on reprezentowany przez krótkie, liczące $3 \div 4$ km odcinki łączące strefy równoleżnikowe. Występują tutaj również przypadki znacznego zróznicowania miąższości anhydrytów podścielających sól kamienną.

Poza wymienionymi kierunkami, w układzie izopachyt uwidaczniają się lokalnie także strefy o przebiegu WSW—ENE reprezentowane zarówno przez obniżone do 20 m miąższości anhydrytów, jak i przekraczające 100 m.

Strefy W—E i NW—SE o podobnej miąższości anhydrytów w niektórych przypadkach mogą się nakładać. W efekcie zachowana zostaje ciągłość danej strefy, zmienia się natomiast jej przebieg. Tego typu przykład obserwujemy w okolicy miejscowości Bukowice, gdzie kierunek równoleżnikowy odchyła się na NW—SE (fig. 6).

Pomiędzy grubością soli i podścielających ją anhydrytów Al_u zarysowuje się ogólna odwrotna zależność — obniżeniu miąższości anhydrytów towarzyszy na ogół przyrost miąższości soli. Szczególnie wyraźnie uwidacznia się to przy porównywaniu układów izopachyt obydwu poziomów litologicznych reprezentujących określone strefy kierunkowe (fig. 5, 6). Istnienie takiego związku zaobserwowane zostało

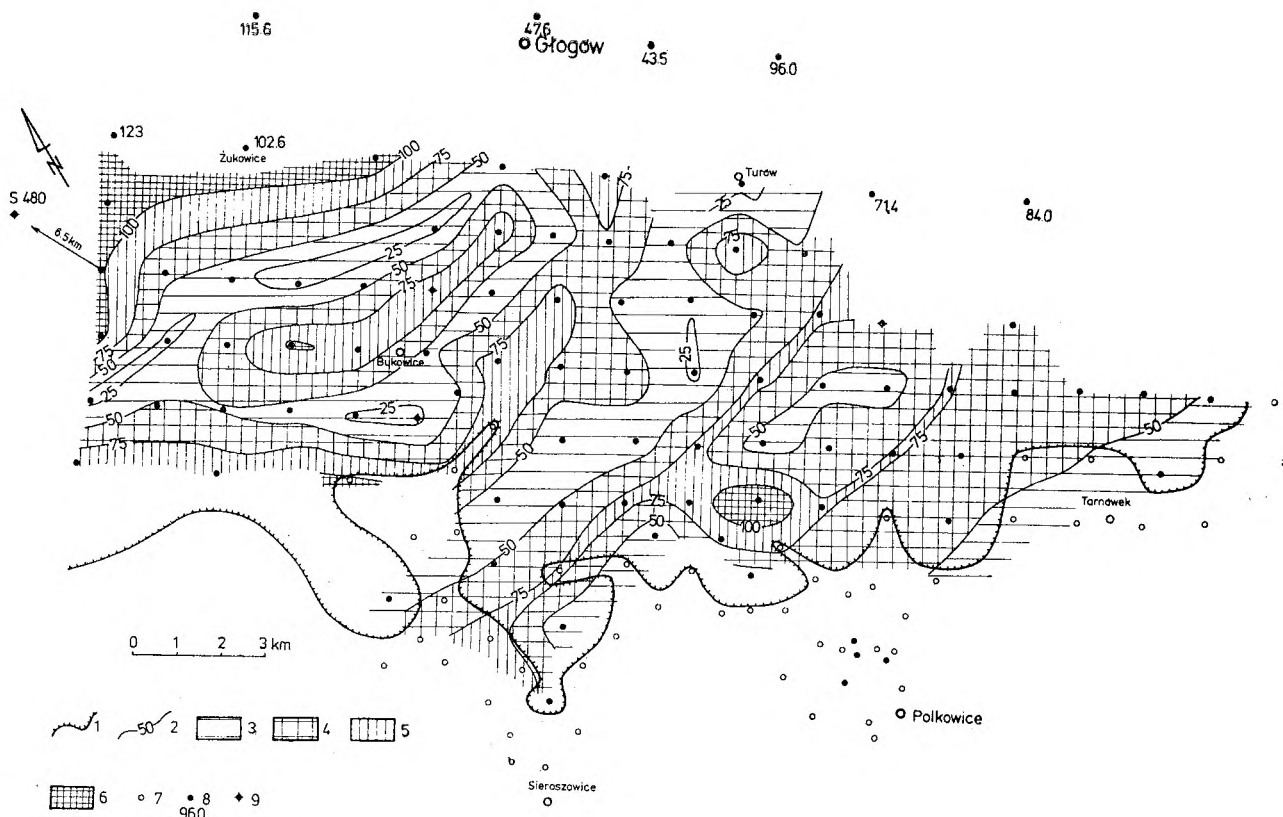


Fig. 6

Mapa izopachyt anhydrytów A_{1u} podścielających sól kamienną NaI

1 — granica zasięgu soli kamiennej; 2 — izopachyty anhydrytów A_{1u} , wartość podana w metrach; 3 — obszar o miąższości anhydrytów poniżej 50 m; 4 — obszar o miąższości anhydrytów od 50 do 75 m; 5 — obszar o miąższości anhydrytów od 75 do 100 m; 6 — obszar o miąższości anhydrytów powyżej 100 m; 7 — otwory wiertnicze zlokalizowane poza zasięgiem soli; 8 — otwory wiertnicze w obszarze występowania soli, cyfra poniżej otworu wiertniczego określa miąższość anhydrytów A_{1u} ; 9 — otwór wiertniczy, w którym przeprowadzono szczegółowe profilowanie rdzenia w interwale występowania soli

Isopach map of the A_{1u} anhydrites underlying the NaI rock salt

1 — rock-salt lateral extent; 2 — isopachs of A_{1u} anhydrites (values in metres); 3 — area of anhydrite thickness below 50 m; 4 — area of anhydrite thickness from 50 to 75 m; 5 — area of anhydrite thickness from 75 to 100 m; 6 — area of anhydrite thickness above 100 m; 7 — boreholes localized beyond salt extent; 8 — boreholes localized in salt-bearing area (number values included below boreholes represent thickness of A_{1u} anhydrites); 9 — borehole in which the interval of salt occurrence has been examined in detail

również przez Podemskiego (1973) w okolicach Nowej Soli. Bliższa analiza wyników wierceń wskazuje jednak, że wspomniana zależność nie jest w pełni ścisła, a przejawia się tylko jako określona tendencja. Przesuwając się ze strefy dużych miąższości anhydrytów w kierunku małych, rejestrowane jest z reguły zwiększanie się interwału soli w profilu pionowym. Nie oznacza to jednak, że w różnych punktach obszaru, przy analogicznych miąższościach anhydrytów obserwowana jest identyczna lub zbliżona grubość soli kamiennej. Ilustrują to między innymi profile otworów wiertniczych S—435 i S—438, w których anhydryty reprezentowane są przez dziewięćdziesięciometrowy kompleks, natomiast grubość soli wynosi odpowiednio 61 m i 147 m. Podobnie w otworach S—436 i S—437, przy miąższości soli około 140 m, grubość anhydrytów wynosi w pierwszym przypadku 29 m, w drugim 72,5 m. Oznacza to, że wzajemne relacje pomiędzy miąższością anhydrytów i soli nie

podlegają zmianom proporcjonalnym, co potwierdzają także obliczenia współczynnika korelacji (r) Uzyskana wartość $r = -0,32$ wskazuje, że korelacja jest nieistotna; znak ujemny jest wyrazem odwrotnej zależności pomiędzy badanymi wielkościami. W oparciu o obliczenia współczynnika determinacji stwierdzono ponadto, że zmienność miąższości soli jest uzależniona od miąższości podścielających ją anhydrytów zaledwie w 10%.

Rozkład miąższości anhydrytów A_{1o} zalegających sól kamienną odbiega w istotny sposób od obrazu przedstawionego dla anhydrytów dolnych. Wyrazem tego jest zdecydowanie niższa miąższość i związane z tym niewielkie jej zróżnicowanie, brak kierunkowości w przebiegu izopachyt, jak też jakiegokolwiek związku pomiędzy grubością przykrywającego kompleksu anhydrytowego a grubością soli. Różnice w wahaniami miąższości anhydrytów A_{1u} i A_{1o} ilustrują zależności liczbowe pomiędzy wartościami

minimalnymi i maksymalnymi. W przypadku anhydrytów dolnych wyraża się to stosunkiem 1:8, natomiast w odniesieniu do anhydrytów górnych 1:3. Sugeruje to, że po osadzeniu się soli kamiennej nastąpiła większa stabilizacja warunków sedymentacji.

Sygnalizowany wcześniej wpływ tektoniki na modyfikację rozkładu miąższości soli ujawnia mapa izopachyt uwzględniająca pionowe przemieszczenia w obrębie cyklotemu Z1, wywołane obecnością uskoków (fig. 7). Podstawę konstrukcji mapy stanowią przekroje geologiczne pomiędzy sąsiadującymi otworami wiertniczymi położonymi w oddzielnych skrzydłach dyslokacji. Porównując uzyskany w ten sposób obraz rozkładu miąższości soli z mapą wykonaną przy założeniu ciągłości zmian tego parametru

o zróżnicowaniu miąższości soli dochodzącym do 100% graniczą wzdłuż uskoków na odcinkach do kilku kilometrów. Ten dyferencyjny rozkład miąższości soli wiąże się przede wszystkim z wahaniami amplitudy uskoków. Cytowana mapa wyjaśnia również lepiej szereg raptownych zmian grubości pokładu soli, aczkolwiek niektóre z nich związane są z warunkami sedymentacji.

WYBRANE PROFILE SOLI KAMIENNEJ

W budowie pokładu najstarszej soli kamiennej Na1 na obszarze monokliny przedsudeckiej obserwuje się wyraźne zróżnicowanie zarówno w profilu pionowym, jak i w poziomie. Wynika to z oddziaływania późniejszej rekrystalizacji oraz czynników sedymenta-

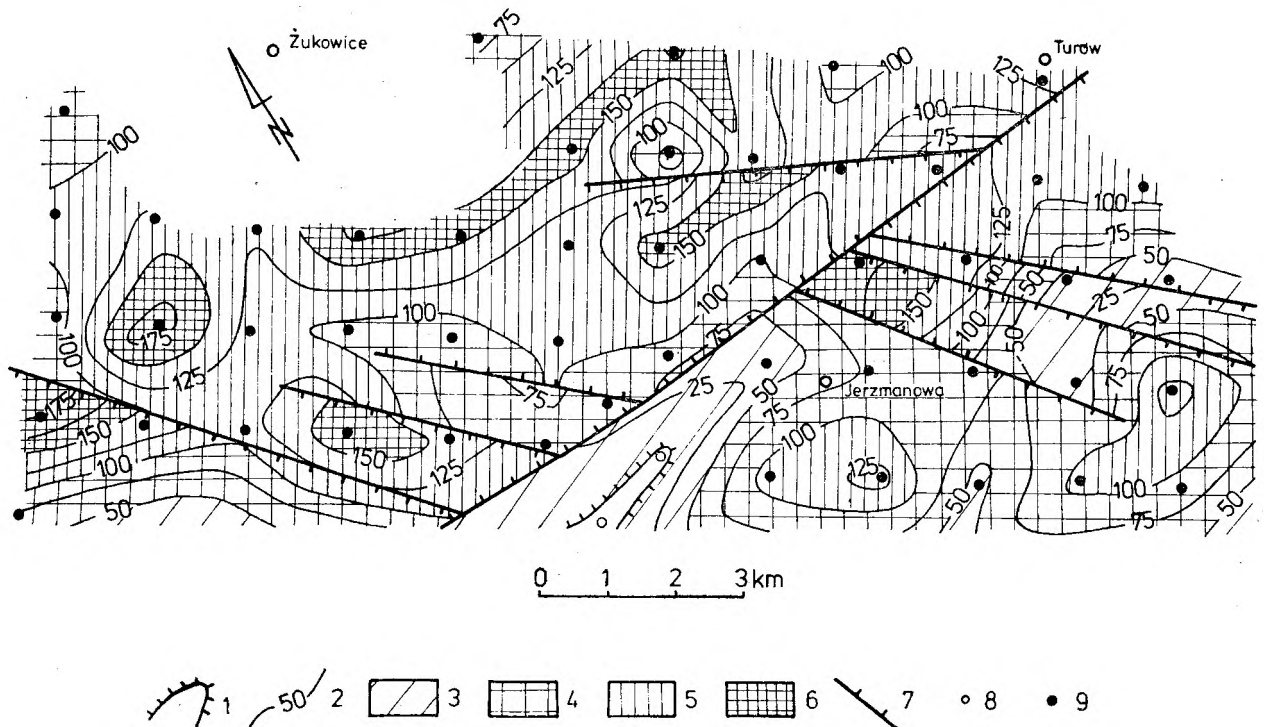


Fig. 7

Mapa izopachyt soli kamiennej Na1 uwzględniająca wpływ tektoniki na rozkład miąższości

1 – granica zasięgu soli; 2 – izopachyty soli kamiennej, wartość podana w metrach; 3 – obszar o miąższości soli od 0 do 50 m; 4 – obszar o miąższości soli od 50 do 100 m; 5 – obszar o miąższości soli od 100 do 150 m; 6 – obszar o miąższości soli powyżej 150 m; 7 – uskoki w poziomie spągu soli kamiennej; 8 – otwory wiertnicze zlokalizowane poza zasięgiem soli; 9 – otwory wiertnicze w obszarze występowania soli

Isopach map of the Na1 rock-salt, considering influence of tectonics on thickness distribution

1 – rock-salt lateral extent; 2 – rock-salt isopachs (values in metres); 3 – area of salt thickness from 0 to 50 m; 4 – area of salt thickness from 50 to 100 m; 5 – area of salt thickness from 100 to 150 m; 6 – area of salt thickness above 150 m; 7 – faults in rock-salt basal portion; 8 – boreholes localized beyond salt extent; 9 – boreholes localized in salt-bearing area

(fig. 5), obserwuje się szereg istotnych różnic. Przede wszystkim zatarciu uległ strefowy charakter zmian miąższości soli, natomiast dominującą rolę odgrywa układ blokowy. Izopachyty soli układają się na ogół prostopadle lub pod dużymi kątami w stosunku do linii uskoków. Odstępstwa od tej tendencji zarysowują się przede wszystkim w strefach przecinania się dyslokacji o orientacji W–E oraz NW–SE. Bloki

cyjnych i tektonicznych, które wpłynęły na zmiany miąższości, składu mineralnego, stopnia ziarnistości i tekstury. Zmienność tych czynników jest na tyle istotna, że na podstawie zebranego materiału trudno byłoby dokonać szczegółowego rozpoziomowania pokładu soli. Stąd też autorzy wydzielaają w obrębie soli szereg jej odmian, nie podają natomiast podziału litostratygraficznego (fig. 8).

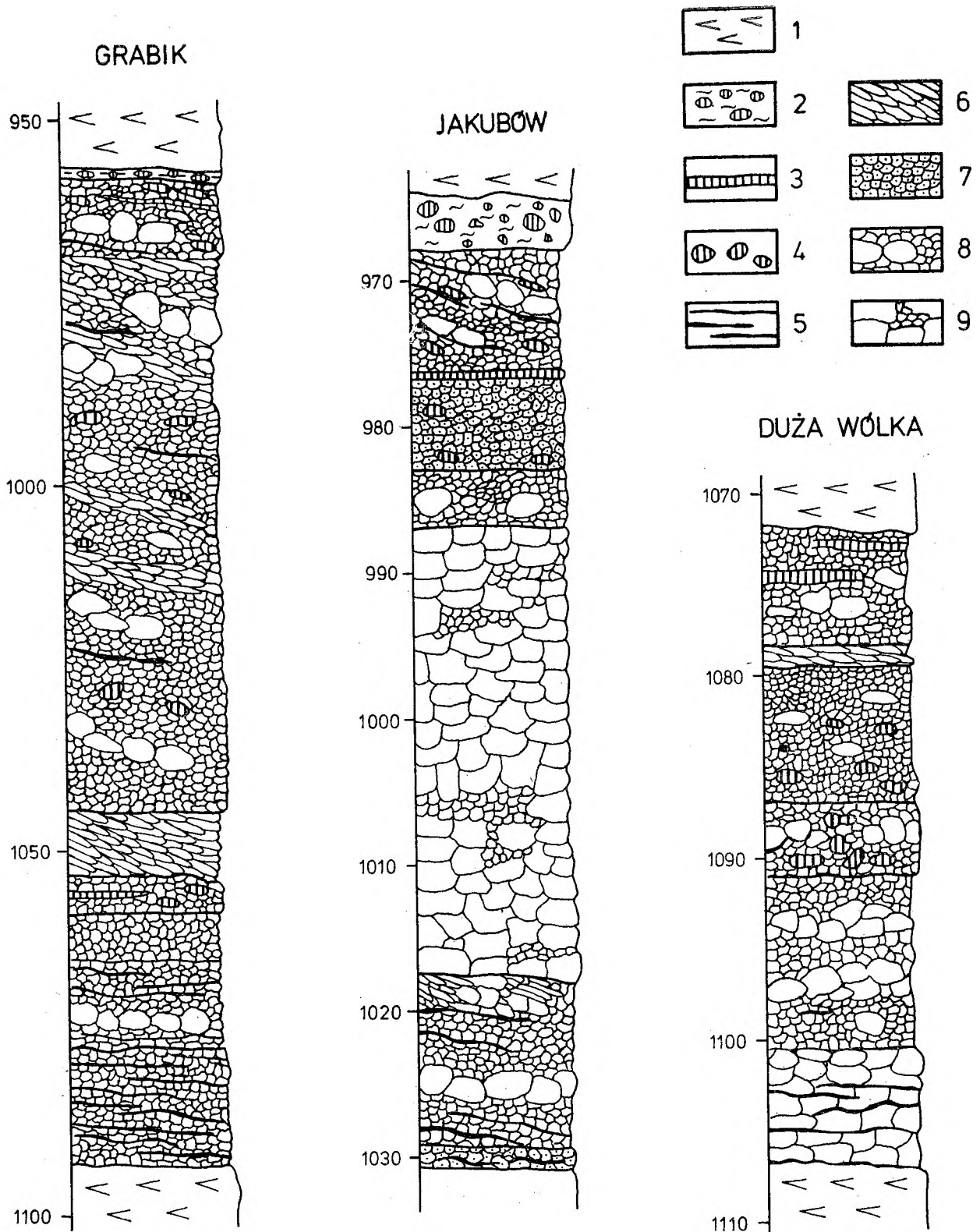


Fig. 8

Profile soli kamienniej NaCl w obszarze monokliny przedsudeckiej

1 - anhydryt; 2 - brekacja ilasto-anhydrytowa; 3 - przerosty anhydrytu w soli; 4 - okruchy i gruzelki anhydrytu; 5 - laminy anhydrytowe; 6 - sól kamienna krucha o wrzecionowatych ziarnach, wykazująca teksturę kierunkową; 7 - sól kamienna masywna; 8 - sól kamienna średniokrystaliczna z wkładkami i soczewkami soli grubo- i wielokrystalicznej; 9 - sól kamienna grubo- i wielokrystaliczna, często także kryształowa z przerostami soli średniokrystalicznej

Profiles of the NaCl rock-salt, Fore-Sudetic Monocline

1 - anhydrites; 2 - clay/anhydrite breccia; 3 - anhydrite sloams in salt; 4 - anhydrite granules and (or) debris; 5 - anhydrite laminae; 6 - brittle salt comprised of spindle-shaped grains and showing directional texture; 7 - massive salt; 8 - medium-crystalline salt with subordinate interbeds and (or) lenses of coarse- and great-crystalline salt; 9 - coarse- and great-crystalline salt, sometimes with crystal variety, having interbeds of medium-crystalline salt

Dla pełniejszej charakterystyki soli kamiennej przedstawiono trzy profile z wierceń w zachodniej, centralnej i wschodniej części obszaru badań.

Profil soli kamiennej
w otworze wiertniczym Grabik

950,0–957,6 m. Anhydryt jasnoszary o zlewnej, afanitowej strukturze.

957,6–958,0 m. Anhydryt brekcyjowy, ciemnoszary zbudowany z owalnych, zwykle soczewkowatych okruchów anhydrytu otulonych cienką powłoką substancji ilastej, tkwiących w zwartej masie anhydrytu afanitowego.

958,0–963,5 m. Sól kamienna barwy szarej o strukturze różnokryształicznej z pojedynczymi oczkami i laminami anhydrytu. Gruźelkowe formy anhydrytu dochodzą do 1 cm średnicy i wykazują ciemnoszarą obwódkę materiału ilastego przepojonego solą. Rozmiary ziarn soli kamiennej wahają się od 0,3 do 1,5 cm, z wyraźną przewagą ziarn 0,4–0,7 cm. Skupienia soli kamiennej grubokryształicznej oraz laminy anhydrytu są nachylnie pod kątem 15° w stosunku do poziomu. Kontakt soli z brekcją ilasto-anhydrytową w stropie jest ostry i podkreślony cienką wynoszącą 0,5 cm warstwą szarego iltu impregnowanego solą.

963,5–969,2 m. Sól kamienna ciemnoszara z okruchami anhydrytu. Są to zazwyczaj płaskie soczewki o wymiarach 0,3–1 cm rozmieszczone pojedynczo lub w postaci pasmowych agregatów nachylonych pod kątem 15°. W soli przeważa frakcja średniokryształiczna z niewielką domieszką soli grubokryształicznej i pojedynczymi skupieniami wielokryształicznej, które tworzą zazwyczaj nieregularne przerosty o grubości 2–6 cm.

969,2–1045,0 m. Sól kamienna jasnoszara o dużym stopniu czystości z pojedynczymi drobnymi skupieniami lub przemazami anhydrytu. Wykazuje ona różnoziarnistą strukturę o rozmiarach ziarn w granicach 0,4–2,5 cm, z przewagą frakcji grubokryształicznej 0,5–0,8 cm. Charakterystyczną cechą soli jest wydłużenie ziarn oraz ich nachylenie pod kątem 10–15°. W spągu, począwszy od 988,0 m, wyraźnie wzrasta domieszka anhydrytu. Tworzy on liczne gniazda lub nieregularne wtrącenia o rozmiarach 0,5–1,0 cm.

1045,0–1053,5 m. Sól kamienna ciemnoszara, krucha i rozsypliwa o średniokryształicznej strukturze. Wrzecionowate, wydłużone kryształy soli o obłych krawędziach ułożone są skośnie pod kątem około 30°. Między poszczególnymi ziarnami soli występują cienkie otoczki ujawniające się na suchym rdzeniu w postaci białych wykwitów, podkreślając tym samym ziarnistość soli.

1053,0–1059,0 m. Sól kamienna szara i jasnoszara z gruzłowatymi skupieniami i przerostami anhydrytu. Okruchy anhydrytu o rozmiarach 0,5–6,0 cm są nieregularne, zazwyczaj ostrokrawędziste, a niekiedy wykazują objawy zafałdowania. Przerosty anhydrytu mają natomiast falisty przebieg, a grubość ich wynosi od 2 do 4 cm lokalnie do 30 cm, często ulegają rozszczepieniu i zamykają soczewkowate skupienia soli kamiennej. Sól wykazuje strukturę średniokryształiczną z obecnością pojedynczych, gniazdowych bądź nieregularnych skupień grubokryształicznych.

1059,0–1065,0 m. Sól kamienna ciemnoszara o jednorodnej średniokryształicznej budowie z pojedynczymi wtrąceniami anhydrytu.

1065,0–1077,0 m. Sól kamienna jasnoszara z mlecznym odcieniem oraz obecnością drobnych lamin anhydrytu. Laminę te o grubości 0,1–0,5 cm pojawiają się w odstępach 0,3–0,5 m, wyjątkowo 0,8 m, i ułożone są poziomo-równolegle lub pod niewielkim kątem nie przekraczającym 10°. Ziarna soli o rozmiarach 0,5–0,8 cm są zaokrąglone z obłymi krawędziami. W obrębie soli występują charakterystyczne płaskie soczewki o budowie wielokryształicznej, dużej czystości i często idiomorficznych formach (sól kryształowa). W postaci wkładek i przerostów występuje tutaj także sól ziarnista, rozsypliwa z powierzchniowymi wykwitami.

1077,0–1093,5 m. Sól kamienna laminowana średniokryształiczna o barwie szarej lub ciemnoszarej, lokalnie z mlecznym odcieniem. Laminacja soli wywołana jest obecnością pasmowych nagromadzeń anhydrytu. Grubość lamin wzbogaconych w anhydryt wynosi 0,2–5 cm, występują one gęsto i bardzo regularnie co 1–5 cm, rzadziej co 8–10 cm. Na świeżym przełamie sól laminowana wykazuje intensywny zapach bituminów. W spągu sól ostro kontaktuje z anhydrytem wzdłuż nierównej, lekko zafalowanej powierzchni.

1093,5 – anhydryt poziomu A1u.

Profil soli kamiennej
w otworze wiertniczym Jakubów

967,0–968,7 m. Brekacja anhydrytowo-iltowa ciemnoszara o gruzłowej strukturze i nieregularnej bryłowej podzielności. Skala zbudowana jest z okruchów anhydrytu stanowiących około 40% objętości i scementowanych materiałem iltowym. Fragmenty anhydrytu o rozmiarach 0,5–1,5 cm mają wyraźnie zaokrąglone naroża, wykazując znaczny stopień obróbki mechanicznej i są nachylone, pod kątem około 30–40° w stosunku do poziomu.

968,7–974,0 m. Sól kamienna o barwie ciemnoszarej z ziemistym odcieniem. Zawiera pojedyncze, drobne (20–30 cm) wkładki soli jasnej lub mlecznobiałej. Odnacza się wyraźną smużystą teksturą podkreśloną występowaniem soczewek i lamin anhydrytu ułożonych pod kątem 30°. Sól kamienna wykazuje budowę średniokryształiczną z niewielką domieszką frakcji grubokryształicznej. Jasne lub mlecznobiałe odmiany są zwykle grubo- lub wielokryształiczne.

974,0–983,0 m. Sól kamienna masywna, ciemnoszara o dużej jednorodności składu mineralnego. Pojedynczo występują drobne (0,5 cm) oczka anhydrytu. Ziarna soli wykazują nieregularne obłe formy o rozmiarach 0,3–0,8 cm.

983,0–987,0 m. Sól kamienna różnokryształiczna, bezbarwna lub bladomleczna. Charakteryzuje się dużą jednorodnością składu mineralnego, zbudowana jest z nieregularnych ziarn wielkości 0,5–2,0 cm, wykazujących obłe krawędzie i naroża. Poszczególne ziarna lub agregaty soli obleczone są cienką powłoką białych wykwitów, co podkreśla mozaikową strukturę skały solnej.

987,0–1017,5 m. Sól kamienna bezbarwna lub mlecznobiała grubokryształiczna, przerastająca się z kryształową. W typowym wykształceniu sól zbudowana jest z nieregularnych, ksenomorficznych ziarn o rozmiarach 0,5–1,5 cm. Poszczególne ziarna oddziela delikatna otoczka białych wykwitów, co ujawnia na przekroju charakterystyczne struktury poligonalne. Sól wielokryształiczna zbudowana jest z dużych agregatów lub czystych, bezbarwnych kryształów (sól kryształowa) o rozmiarach dochodzących do 8 cm. Sól ziarnista przerasta się z pakietami grubości 0,1–0,2 m, wyjątkowo do 1,5 m, soli kryształowej.

wej. Na świeżym przełamie sól wykazuje intensywny zapach bituminów.

1017,5–1029,8 m. Sól kamienna średniokrystaliczna o barwie jasnoszarej. Poszczególne ziarna o rozmiarach 0,2÷0,7 cm, średnio około 0,5 cm, mają regularne, często wrzecionowate kształty o zaokrąglonych narożach i krawędziach. W tle skały występują przerosty soli grubokrystalicznej lub kryształowej o grubości 0,3÷0,4 m oraz ciemne laminy zanieczyszczone anhydrytem i iłem, a także pojedyncze warstewki anhydrytu o grubości 5÷8 cm, układające się pod kątem około 30°. Sól wykazuje zapach bituminów.

1029,8–1030,6 m. Sól kamienna drobnokrystaliczna – laminowana, barwy ciemnoszarej. Charakteryzuje się wysoką domieszką anhydrytu (25÷35% obj.), występującą w postaci lamin nachylonych pod kątem około 15°. Kontakt soli z występującym w spągu anhydrytem jest ostry, a powierzchnia tego kontaktu wykazuje nachylenie pod kątem około 30°. Zwraca uwagę także fakt, że laminacja, jaką obserwuje się w anhydrytach jest poziomo-równoległa lub wykazuje tylko niewielkie nachylenie, nie przekraczające 5°.

1030,6– anhydryt afanitowy ciemnoszary A1_u.

Profil soli kamiennej w otworze wiertniczym Duża Wólka

1071,0–1072,3 m. Anhydryt A1_o.

1072,3–1078,3 m. Sól kamienna szara, masywna z pojedynczymi wkładkami soli jasnej oraz przerostem anhydrytu w stropowej części. Kontakt z anhydrytem jest ostry i przebiega pod kątem około 8°. W przerostach anhydrytu, silnie skorodowanych i kawernistych występują liczne, gniazdowe skupienia soli. Sól wykazuje strukturę różnokrystaliczną o rozmiarach kryształów od 0,3 do 2,0 cm z przewagą odmiany średniokrystalicznej. W soli szarej występuje domieszka anhydrytu z iłem w postaci przemazów, drobnych skupień lub wtrąceń zazwyczaj bardzo nieregularnych, jak też nierównomiernie rozmieszczonych. Przerosty soli jasnej o grubości 0,3÷0,5 m są stosunkowo czyste z minimalną ilością rozproszonego anhydrytu.

1078,3–1079,2 m. Sól kamienna krucha jasnoszara. Charakteryzuje się średniokrystaliczną strukturą, dużym stopniem czystości oraz małą zwięzłością. Ziarna soli o wrzecionowatych kształtach z zaokrąglonymi narożami i krawędziami, mają w przeważającej ilości rozmiary 0,3÷0,4 cm z obecnością pojedynczych dużych kryształów sięgających 1,5 cm.

1079,2–1087,0 m. Sól kamienna średniokrystaliczna szara. Zawiera ona, począwszy od głębokości 1081 m, dość liczne oczka i nieregularne skupienia anhydrytu o rozmiarach 0,3÷0,5 cm nierównomiernie rozmieszczone w tle skały. W części stropowej skupienia anhydrytu są mniej powszechne. W całym interwale sól wykazuje jednorodną, średniokrystaliczną strukturę o rozmiarach ziarn w granicach 0,2÷0,5 cm. W odległościach co 0,2÷0,4 m występują poziomo rozmieszczone pasemka i soczewy soli grubokrystalicznej.

1087,0–1091,0 m. Sól kamienna ciemnoszara z okruciami anhydrytu. Okrucze te o maksymalnych rozmiarach 8×3,5 cm występują w ilości dochodzącej do 30% obj. Większość okrucichów anhydrytu jest ostrokrawędzista, niektóre z nich są spekanie, a szczeliny wypełnione solą. Pojawiają się także formy soczewkowate dobrze obtoczone. Dłuższe osi takich fragmentów anhydrytu są często nachylone w stosunku do poziomu pod

kątem około 30°. Sól kamienna wykazuje budowę różnokrystaliczną o rozmiarach od 0,3 do 1,0 cm. Ziarna soli są nieregularne z przewagą form wydłużonych.

1091–1096,0 m. Sól kamienna różnoziarnista, mlecznobiała ze stalowym odcieniem. Wykazuje duży stopień czystości, zanieczyszczenie anhydrytem występuje tutaj w cienkich (2÷3 cm) pasmach soli szarej powtarzających się w odstępach co 10÷15 cm. Sól charakteryzuje się strukturą różnokrystaliczną o rozmiarach kryształów od 0,3 do 2,0 cm, z przewagą soli grubokrystalicznej.

1096,5–1100,5 m. Sól kamienna średniokrystaliczna z dużą ilością rozproszonych kryształów anhydrytu oraz substancji ilastej. Wykazuje budowę zwartą, ziarna soli są zwykle wydłużone, a rozmiary ich wynoszą 0,2÷0,4 cm. Lokalnie, co 0,2÷0,4 m pojawiają się kilkucentymetrowe pasmowe lub soczewkowe przerosty soli grubokrystalicznej. Na świeżym przełamie sól ciemnoszara wykazuje bardzo intensywną woń siarkowodoru. Ponadto na powierzchniach przełamu obserwuje się błyszczącą, nieco chropowatą powierzchnię z obecnością form zbliżonych do rys ślizgowych oraz wyraźne ukierunkowanie ziarn soli.

1100,5–1106,7 m. Sól kamienna szara, grubokrystaliczna o strukturze „pegmatytowej”. Zawiera drobne (2÷3 mm) laminy oraz krótkie nieregularne pasemka anhydrytu. Kontakt soli z anhydrytem jest ostry i przebiega pod kątem około 15°. Granica między solą a anhydrytem jest nieregularna, silnie urzeźbiona, chociaż amplituda utworzonych grzbietów i łęków nie przekracza 2 cm. Ponadto przy kontakcie z anhydrytem, na odcinku około 0,2 m sól wykazuje bardzo liczne, drobne laminy i smugi anhydrytu tworzące siatkę o rozmiarach oczek w granicach 0,3÷3,5 cm. Kryształy soli o dużym stopniu idiomorfizmu mają rozmiary od 0,5 do około 2,5 cm.

1106,7– anhydryt A1_u.

CHARAKTERYSTYKA PETROGRAFICZNA

ZIARNISTOŚĆ

Szczegółowe profilowanie rdzeni z otworów wiertniczych pozwoliło na wydzielenie i scharakteryzowanie w pokładzie soli kamiennej szeregu odmian. Za punkt wyjścia przy rozwiązywaniu tego zagadnienia przyjęto stopień ziarnistości soli kamiennej, jej cechy teksturalne oraz zabarwienie.

Uwzględniając pierwszy z tych czynników w obrębie pokładu soli kamiennej Na1 wyróżniono na podstawie rozmiarów ziarn następujące odmiany:

- sól drobnokrystaliczną — < 2 mm;
- sól średniokrystaliczną — ÷ 2 ÷ 5 mm;
- sól grubokrystaliczną — ÷ 5 ÷ 10 mm;
- sól wielokrystaliczną — — > 10 mm.

Biorąc pod uwagę cechy teksturalne w pokładzie soli kamiennej Na1 wyróżniono:

- sól laminowaną anhydrytem;
- sól z przerostami anhydrytu;
- sól z gruzełkami lub okruciami anhydrytu;
- sól masywną;
- sól kruchą.

Zastosowanie podziału uwzględniającego powyż-

sze cechy ma na celu wprowadzenie jednoznaczności w nomenklaturze skał solnych. W przypadku, gdy oprócz określonego stopnia ziarnistości sól odznacza się charakterystycznymi cechami teksturalnymi, w nazwie odmiany soli te właśnie cechy uznano za podstawowe, a nazewnictwo odmiany jest dwuskładnikowe, np. sól laminowana, średniokrystaliczna. Wprowadzenie tej zasady pozwoliło uniknąć nomenklatury według Richtera (1963), która jest stosowana głównie do skał solnych o złożonym składzie mineralnym.

Sól kamienna NaCl wykazuje w obrębie pokładu duże zróżnicowanie rozmiarów ziarn, stąd też bardzo często występuje odmiana różnokrystaliczna. Dominującymi są jednak frakcje średnio- i grubokrystaliczne przy podrzędnej ilości drobnokrystalicznej. Dostyć powszechnie, szczególnie w niektórych profilach, pojawia się sól wielokrystaliczna. W spągowej części pokładu soli kamiennej zaznacza się przewaga ilościowa odmiany średniokrystalicznej. Jest to zazwyczaj sól szara, lokalnie nawet ciemnoszara, o zwartej masywnej budowie i obfitej domieszce anhydrytu, a niekiedy także z obecnością materiału ilastego. Ziarna soli mają nieregularne kształty, często są wydłużone, a równocześnie ułożone skośnie do płaszczyzny poziomej pod kątem dochodzącym w skrajnych przypadkach do 30°. Składniki stanowiące domieszki występują tutaj w postaci krótkich pasemek lub strzępków, rozproszonych skupień bądź też wyraźnej laminacji. W niektórych profilach spągowa część soli kamiennej wykształcona jest w postaci odmian grubokrystalicznej o „pegmatytowej” strukturze. Laminacja anhydrytem jest wówczas mniej regularna, a sól wykazuje wysoką jednorodność składu mineralnego i chemicznego.

W wyższych poziomach (środkowa i górna część pokładu) obserwuje się z reguły zwiększenie czystości soli, wyraźną indywidualizację ziarn oraz przewagę struktur różnokrystalicznych. Wkładki soli o jednorodnym wykształceniu występują stosunkowo nieznacznie, przeważają natomiast naprzemianległe warstewki o grubości od kilku do kilkunastu, a nawet kilkudziesięciu centymetrów zbudowane z odmian średnio- i grubokrystalicznych, nierzadko z soczewkami soli wielokrystalicznej. W poziomach tych sól jest mniej zwarta, przy działaniu mechanicznym stosunkowo łatwo rozpada się na pojedyncze ziarna lub większe agregaty. Poszczególne ziarna, zwłaszcza w odmianach średniokrystalicznych (pl. I, 2), mają nieregularny pokrój, zaokrąglone krawędzie i naroża. W odmianach bardziej grubokrystalicznych (pl. I, 3) obserwuje się wyraźną tendencję do idiomorfizmu, często jednak liczne osobniki są zaokrąglone, a na powierzchniach ziarn dostrzega się wyraźne oznaki „korozji”.

Powszechnie w środkowej części pokładu stwierdzono charakterystyczne białe wykwyty solne na powierzchni rdzeni wiertniczych. Wykwyty te (pl. I, 4, 5) występują między poszczególnymi ziarnami soli i tworzą z nich otoczki o grubości dochodzącej do 2 mm. Składają się one głównie z bardzo drobnokrystalicznej soli i zawierają niewielką domieszkę anhydrytu, co zostało potwierdzone wynikiem analizy rentgenograficznej (tab. 3). Wykwyty bardzo wyraźnie podkreślają ziarnistość soli, a utworzone przez nie formy przypominają struktury „poligonalne”.

Osobnego, chociażby krótkiego omówienia wymaga w tym miejscu sól wielokrystaliczna zwana — w przypadku występowania form idiomorficznych — kryształową. Odmiana ta zbudowana jest z kryształów, których rozmiary dochodzą do 8 cm. Odznacza się ona dużą czystością, jednorodnością składu mineralnego oraz dużym stopniem idiomorfizmu (pl. I, 1), chociaż spotyka się także często formy obłe i skorodowane. Sól wielokrystaliczna jest zazwyczaj bezbarwna lub jasnoszara, często z mlecznym odcieniem. Tworzy przerosty lub soczewy w obrębie innych odmian soli. Poszczególne przerosty mają nieregularne kontakty z otoczeniem, a grubość ich jest zmienna i waha się od kilku do kilkunastu centymetrów, wyjątkowo tylko (profil S—456) do 1,5 m. Soczewki soli kryształowej wykazują zazwyczaj wyraźne ukierunkowanie, a dłuższe ich osie układają się pod kątem 5÷15° do płaszczyzny poziomej. Takie formy spotykają się często prawie we wszystkich odmianach soli, z wyjątkiem ciemnoszarej, masywnej.

Sól kryształowa, jak wspomniano, jest bardzo jednorodna pod względem składu mineralnego. Obcym składnikiem jest tutaj najczęściej anhydryt. W większości przypadków domieszka anhydrytu wynosi zaledwie ułamki procenta, jednak w niektórych warstwach dochodzi do kilku procent (tab. 4). Są to pojedyncze kryształy o rozmiarach od 5 o 150 μm, nieregularne skupienia zbudowane z kilku dużych kryształów lub też różnej wielkości zbite, drobnokrystaliczne agregaty.

Zdaniem wielu autorów sól kryształowa powstała w wyniku rekrytalizacji. Za takim punktem widzenia przemawia obecność licznych skorodowanych wrostków anhydrytu, jak i duże rozmiary kryształów. Wątpliwa wydaje się bowiem możliwość powstawania tak dużych kryształów na drodze ewaporacji z pierwotnego roztworu w zbiorniku morskim oraz to, by zachowały się one w takiej postaci, mimo dużej intensywności zjawisk tektonicznych. Obecność ostrokrawędzistych fragmentów skał anhydrytowych w obrębie soli kryształowej (pl. VI, 4) jest tego dobitnym potwierdzeniem.

Tabela 3

Wyniki badań rentgenograficznych* próbek z pokładu soli kamiennej Na1
X-ray diffraction data* from the Na1 rock-salt samples

Halit wg Michiejewa Halite, after Michiejew		Anhydryt wg Michiejewa Anhydrite, after Michiejew		Polihalit wg Braitscha Polyhalite, after Braitsch		Illit wg Michiejewa Illite, after Michiejew		Sól z okruskami anhydrytu Rock-salt with anhydrite debris		Wtrącenia ilasto-anhydrytowe w soli Clayey-anhydritic sloams in rock-salt		Sól laminowana anhydrytem Rock-salt with anhydritic laminae		Wykwity na powierzchni soli Efflorescences on rock-salt surface	
d (Å)	J	d (Å)	J	d (Å)	J	d (Å)	J	d (Å)	J	d (Å)	J	d (Å)	J	d (Å)	J
										13,76	1				
										9,59	3				
										4,89	2				
										4,27	1				
										4,18	2				
								3,807	1	3,822	2				
		3,484	8					3,449	10	3,448	10	3,458	10	3,476	3
										3,27	6				
				3,175	45			3,184	1	3,184	4				
3,104	4							3,085	3			3,092	3		
				2,912	100					2,876	1				
				2,89	100										
		2,846	5	2,846	12										
2,814	9							2,813	6	2,804	6	2,816	2	2,807	10
								2,792	8						
								2,56	10						
		2,316	5					2,307	4			2,301	4		
		2,075	2					2,067	2	2,067	3				
1,990	10							1,977	4	1,977	3			1,984	4
		1,863	5					1,852	2	1,852	5				
		1,743	5					1,737	5	1,737	8				
1,625	6							1,639	2	1,635	2	1,621	3		

* Metoda dyfraktometryczna, aparat TUR-M61, promieniowanie Co K α , napięcie 40 kV, natężenie 12 mA, licznik G-M, układ szczelin Sollera 0,2-1-0,2 mm, przesuw taśmy 200 mm/h. Analizę przeprowadziła mgr J. Kostrzewa w Laboratorium Zapylenia Kopalń ZBiPM „Cuprum”.

TUR-M61 diffractometer, Co K α radiation, voltage 40 kV, intensity 12 mA, G-M electrometer, Soller's fissure pattern 0.2-1-0.2 mm, tape movement rate 200 mm/h. Analyses performed by J. Kostrzewa, M.Sc., at the Mine - dust Laboratory of the ZBiPM "Cuprum".

Tabela 4

Wyniki analizy planimetrycznej płytek cienkich z wybranych próbek soli kamiennej
Thin-section planimetric data from selected samples of rock-salt

Lp. No.	Symbol próbki Sample symbol	Zawartość Content (%)						
		Halit Halite	Anhydryt Anhydrite	Węglany Carbonates	Polihalit Polyhalite	Minerały ilaste Clay minerals	Kwarc Quartz	Tlenki żelaza Iron oxides
1	S-388/1065	97,5	2,3	0,1	—	0,1	—	—
2	S-388/1085	87,1	12,3	0,3	—	0,2	—	0,1
3	S-388/1040	77,6	19,4	—	—	2,3	0,6	0,1
4	S-396/1049,2	80,3	16,8	—	—	2,5	0,4	—
5	S-396/1164	99,5	0,5	—	—	—	—	—
6	S-356/1382	96,6	3,2	—	—	0,2	—	—
7	S-480/1373	90,9	8,9	0,2	—	—	—	—
8	S-456/1514	29,7	68,8	—	0,8	0,1	0,5	—

1 - sól masywna, szara; 2 - sól laminowana; 3 - sól szara z przemazami anhydrytowo-ilastymi; 4 - sól szara z domieszką anhydrytu; 5 - sól grubokrystaliczna; 6 - sól kryształowa; 7 - sól grubokrystaliczna z laminacją anhydrytową; 8 - warstewka anhydrytu w soli laminowanej.

1 - grey massive rock-salt; 2 - laminated rock-salt; 3 - grey rock-salt with anhydritic-clayey sloams; 4 - grey massive rock-salt with anhydritic admixture; 5 - coarse-crystalline rock-salt; 6 - crystal rock-salt; 7 - coarse-crystalline rock-salt with anhydritic lamination; 8 - anhydritic layer in laminated rock-salt.

CECHY TEKSTURALNE

Sól laminowana anhydrytem występuje głównie w spągowej części pokładu. Laminacja, charakterystyczna dla tej odmiany soli, jest zazwyczaj poziomo-równoległa i zaznacza się obecnością drobnych warstwek wzbogaconych w anhydryt, którego zawartość zmienia się tutaj w szerokich granicach od około 18 do 69%. Sól laminowana odznacza się zazwyczaj ciemnoszarą lub szarą barwą, jednakże w niektórych przypadkach posiada zabarwienie jasne. Często na świeżym przełamie wykazuje intensywną woń bituminów lub siarkowodoru.

Laminacja w obrębie soli nie występuje we wszystkich profilach, niekiedy zastępowana jest przez ciemnoszare masywne lub ziarniste odmiany soli. W typowym wykształceniu sól laminowana została prześlędzona w profilu otworu Grabik oraz Soborzyce, gdzie tworzy warstwy o grubości ponad 30 m (fig. 8). Stwierdzono tutaj kilka typowych i charakterystycznych przykładów laminacji związanej z obecnością domieszki anhydrytowej, a wyróżniających się grubością, częstością występowania oraz orientacją przestrzenną.

Powszechnie występuje rytmiczna laminacja poziomo-równoległa w postaci naprzemianległych warstwek wzbogaconych w anhydryt i przerostów soli kamiennej (pl. III, 3, 5; pl. IV, 1, 2, 4). Pojedyncze laminy anhydrytowe są zazwyczaj cienkie i wynoszą średnio około 1 mm, często wyróżnia się zespoły kilku lub nawet kilkunastu drobnych odmian lamin, a ich łączna grubość dochodzi wówczas do 2 cm. Występujące między poszczególnymi laminami lub ich zespołami przerosty soli kamiennej są znacznie większe i wynoszą zazwyczaj od 0,5 do 15 cm, a niekiedy do kilkudziesięciu centymetrów. Niekiedy laminacja wykazuje skośne nachylenie pod kątem $5 \div 15^\circ$ w stosunku do płaszczyzny poziomej. Znacznie rzadziej obserwowano skośne nachylenie lamin na odcinku $10 \div 30$, podczas gdy pozostała ich część ma orientację w przybliżeniu poziomą (pl. IV, 2). Wyjątkowo stwierdzono przykłady laminacji wykazującej kontakt z osadem solnym zbliżony do niezgodności erozyjnej (pl. III, 5). Zjawisko to, jak również nachylenie lamin w obrębie zespołu o laminacji poziomej wskazuje na ruchliwość środowiska sedymentacji soli kamiennej.

Innym rodzajem laminacji jest obecność bardzo subtelnego „filmu” anhydrytowego o grubości ułamków milimetra (pl. IV, 4), występującego rytmicznie co $0,5 \div 1,5$ cm. Taki typ laminacji obserwowano w jasnoszarej, średnio- i grubokrystalicznej soli.

W większości przypadków laminy anhydrytowe mają stosunkowo ostre granice z solą kamienną. Zdarzają się jednak przykłady, gdzie kontakt ten jest

nieostry, a poszczególne laminy „rozmyte” i o zmiennej grubości. W pojedynczych przypadkach laminy te są wyraźnie zafałdowane, a utworzone formy mają kształt fleksury (pl. II, 2).

Wyraźnie inny charakter ma laminacja występująca w środkowej i górnej części pokładu soli. Laminacje anhydrytowe są zazwyczaj drobne, a grubość ich wynosi od 1 do 5 mm (średnio ok. 2 mm). Zaznaczają się one na rdzeniu w postaci szarych lub białawych smug, często bardzo silnie zafałdowanych (pl. IV, 5, 6; pl. V, 1–3). W tej części pokładu nie obserwuje się także typowej dla partii spągowej rytmiki laminacji anhydrytowej. Odległość między poszczególnymi laminami jest bardzo zmienna i wynosi od kilku do kilkudziesięciu centymetrów.

Laminacja anhydrytem występująca w spągowej części pokładu soli kamiennej Na1, w obszarze monokliny przedsudeckiej jest zjawiskiem typowym dla osadów solnych. Została opisana zarówno w cyklotemie Z1, jak i wyższych ogniwach cechsztynu w innych obszarach, między innymi przez Richter-Bernburga (1960), Prochazkę (1962), Hanczkego (1966) i Podemskiego (1973). Powszechnie przyjmuje się również, że rytmiczność sedymentacji soli i przerostów wzbogaconych w anhydryt, powszechność struktur drobnokrystalicznych, ciemnoszare zabarwienie oraz intensywna woń bituminów wskazują, że jest to pierwotny osad ewaporacji chlorkowej.

Sól z przerostami odznacza się obecnością warstwek anhydrytowych, które z reguły przekraczają 1 cm (dochodząc do 8 cm), ostrymi kontaktami sól–anhydryt oraz wysoką zwięzłością. Między poszczególnymi warstewkami anhydrytu sól wykazuje przełamienia o grubości od 2 mm do kilkunastu, a nawet do kilkudziesięciu centymetrów. W obrębie samych przerostów sól kamienna tworzy wprysnięcia lub drobne gniazdo-we skupienia, występuje także w przestrzeniach międzyziarnowych oraz jako wypełnienie por i szczelin. W większości przypadków kontakt przerostów z solą jest ostry (pl. III, 1, 2, 4), niekiedy jednak między kolejnymi przerostami występuje obfita domieszka anhydrytu, wówczas niektóre kontakty są nieostre i obserwuje się stopniowe zagęszczenie skupień anhydrytowych (pl. IV, 3).

W profilach wielu otworów wiertniczych stwierdzono także obecność wkładek anhydrytowych. Są to zwykle pojedyncze, niekiedy dwie lub trzy warstwy anhydrytu przedzielone przerostami soli kamiennej. Miąższość wkładek waha się od 1,3 do ponad 25,0 m. Rozprzestrzenienie ich tak w poziomie, jak i w pionowym profilu soli kamiennej wykazuje daleko idące zróżnicowanie (tab. 5). Występują one zazwyczaj w dolnej części pokładu, ale spotykane są także w środkowych, a nawet górnych jego partiach.

Tabela 5

Położenie wkładek anhydrytu w profilu pionowym soli kamiennej NaI

Location of anhydritic interlayers in the vertical profile of NaI rock-salt

Nr profilu Profile no.	Mięszczość soli Rock-salt thickness (m)	Grubość wkładki anhydrytowej Thickness of anhydritic interlayer (m)	Odległość wkładki anhydrytowej od spągu soli Distance from the anhydritic interlayer to the rock-salt bottom (m)
S-364	34,0	13,4	3,0
S-352	132,1	1,3	15,1
S-396	164,2	2,9	156,6
S-279	61,6	17,1	13,9
S-107	75,5	5,1	29,2
S-375	148,5	2,1	3,2
S-277	36,2	5,8	16,4

Sól z gruzełkami i okruchami anhydrytu występuje zazwyczaj w środkowej i stropowej części pokładu (fig. 8). Zawartość anhydrytu waha się tutaj od 3 do około 30% objętości. W zależności od udziału anhydrytu oraz form jego występowania skała solna zmienia swój skład i strukturę, a w pewnych przypadkach upodabnia się swoją budową do brekcji solno-anhydrytowej. Rozmiary fragmentów anhydrytu wahają się od 3 mm do około 15 cm, a dużym okruchom towarzyszą z reguły liczne, drobne skupienia. Anhydryt tworzy tutaj znacznie zróżnicowane formy, wśród których najpowszechniejsze są okrągławe lub eliptyczne, a niekiedy także ostrokrawędziste. Kontakt ich z solą jest silnie rozczłonkowany i postrzępiony (pl. VII 1-4), niektóre fragmenty anhydrytu są spękane, a utworzone szczeliny wypełnione solą (pl. VII 2). Ułożenie okruchów anhydrytowych jest zazwyczaj bezładne (pl. VI 1-3), a tylko lokalnie wykazują one wyraźne ukierunkowanie.

Fakty te wskazują wyraźnie, że występujące w soli fragmenty anhydrytu przeszły drogą transportu tektonicznego oraz że podlegały późniejszym przeobrażeniom wywołanym korozyjnym oddziaływaniem soli. Obecność okruchowych form anhydrytu, zdaniem Dittricha (1962), świadczy o wtórnym, descendentnym pochodzeniu soli kamiennej. Podobnego zdania jest również Podemski (1973).

Sól masywna, ciemnoszara o ziemistym odcieniu występuje w różnych poziomach pokładu w postaci wkładek, wyjątkowo może być odmianą dominującą. Wykazuje średniokrystaliczną strukturę z domieszką frakcji drobnokrystalicznej, odznacza się gęstym

upakowaniem ziarn oraz powszechnie zawiera domieszkę substancji ilasto-anhydrytowej. W tej odmianie soli stosunkowo często zaznacza się tekstura kierunkowa wyrażająca się sprasowaniem ziarn oraz skośną podzielnością przebiegającą pod kątem dochodzącym do 20°. Na powierzchniach tych, ujawniających się przy działaniu mechanicznym, obserwuje się wyraźnie objawy sprasowania ziarn soli, co przejawia się obecnością gładkich i szklistych powierzchni.

W soli masywnej substancja ilasto-anhydrytowa występuje w formie rozproszonej i zazwyczaj rozmieszczonej bezładnie lub też w postaci większych skupień. Skupienia te są zazwyczaj nachylone pod kątem $5 \div 20^\circ$ i podkreślają wyraźnie ukierunkowanie tekstury tej odmiany soli. Sól masywna często wykazuje woń bituminów lub siarkowodoru.

Sól krucha pojawia się w profilu soli kamiennej stosunkowo rzadko i tworzy kilkumetrowej grubości wkładki dochodzące wyjątkowo (fig. 8) do 20 m. Charakterystyczną cechą tej odmiany jest mała spójność międzyziarnowa, wydłużony wrzecionowaty lub spłaszczony kształt ziarn oraz kierunkowa tekstura w ich ułożeniu. Stosunek dłuższej osi ziarn do krótszej wynosi od 1,5:1 do 3:1, ziarna są zazwyczaj obłe o skorodowanych powierzchniach. Rdzenie wiertnicze z tą odmianą soli są zazwyczaj pokryte białymi wykwitami, a pod wpływem działania mechanicznego łatwo się kruszą i rozpadają na pojedyncze ziarna lub agregaty. Płaszczyzny wyprasowania soli kamiennej oraz związanej z tym podzielności ułożone są pod kątem $20 \div 30^\circ$ (pl. III, 1). Sól krucha jest na ogół jednorodna o dużej czystości, wykazuje barwę od mlecznej do szarej, często jest bezbarwna. Odznacza się średnio- lub różnokrystaliczną strukturą i niewielką domieszką anhydrytu, głównie w postaci pojedynczych oczek o średnicy do 1 cm. Cechy teksturalne wyraźnie wskazują na udział procesów tektonicznych w formowaniu soli kamiennej kruchej.

W trakcie profilowania rdzeni wiertniczych prześlizgnęto także przejścia między solą kamienną a anhydrytami występującymi w jej spągu i stropie. Bezpośredni kontakt tych dwóch ośrodków skalnych jest zazwyczaj bardzo ostry (pl. II, 1, 2), a jego powierzchnia jest nachylona pod kątem od 5 do 30°. Anhydryt występujący w spągu soli wykazuje gładką, lekko falistą lub chropowatą powierzchnię kontaktu, niekiedy także mają tutaj miejsce drobne zatokowe wyżłobienia o amplitudzie nie przekraczającej 1 cm. W strefie kontaktu obserwowano także szkieletowe struktury anhydrytu otaczające gniazda lub soczewki soli (pl. II, 3, 4). Impregnacja anhydrytem ma jednak ograniczony zasięg i nie wykracza poza 10-centymetrową strefę. Anhydryt występujący w spągu soli

wykazuje zwartą, zbitą budowę o jednorodnej, masowej strukturze i nie nosi objawów wtórnych przeobrażeń.

Niezależnie od zasadniczego ostrego kontaktu między solą kamienną a anhydrytem, w spągowej części pokładu pojawia się niekiedy strefa przejściowa wykształcona w postaci przewarstwień soli, soli z domieszką anhydrytu lub anhydrytu (fig. 9). Ryt-

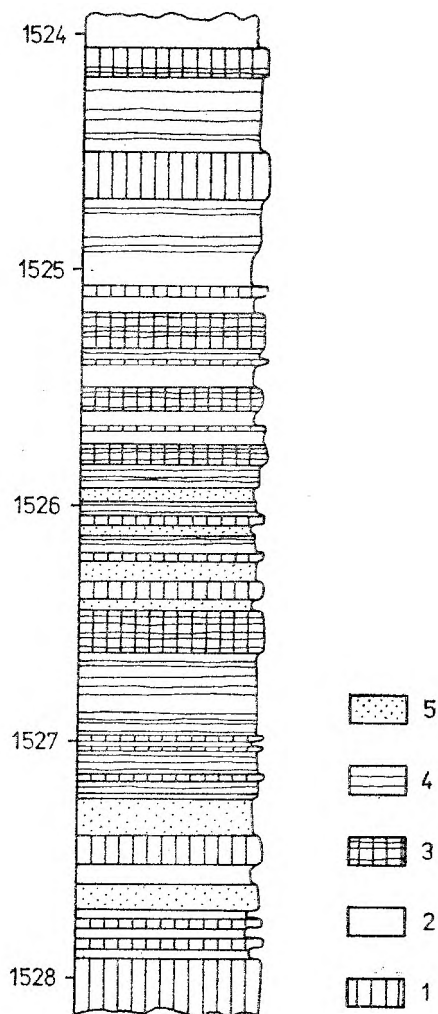


Fig. 9

Przykład rytmicznej sedymentacji w spągowej części soli kamienniej na przykładzie profilu S-456

1 — anhydryt; 2 — sól kamienna; 3 — anhydryt z drobnymi przerostami soli; 4 — sól kamienna z laminami anhydrytu; 5 — sól kamienna z licznymi drobnymi skupieniami anhydrytu

An example of rhythmically deposited basal portion of salt layer (based on profile no. S-456)

1 — anhydrite; 2 — rock salt; 3 — anhydrite with thin salt laminae; 4 — rock salt with anhydrite laminae; 5 — rock salt with abundant small anhydrite aggregates

miczność ta w typowej postaci została stwierdzona w profilu S-456 i wskazuje na możliwość okresowych i dość częstych zmian warunków sedymentacji.

W części stropowej pokładu kontakt soli z anhydrytem jest bardziej urozmaicony. Często między

solą a anhydrytem występuje brekcja ilasto-anhydrytowa o grubości 0,4 ÷ 2,5 m (pl. VIII, 6), podścielona cienką warstewką łu solnego. W przypadku, kiedy w profilu nie ma brekcji anhydryt położony nad solą jest porowaty i kawernisty (pl. V, 6). Obecne w anhydrycie pory i kawerny o rozmiarach od 1 do 20 mm mają nieregularne, silnie postrzępione ścianki, wykazują wydłużenie w płaszczyźnie poziomej i tworzą płaskie soczewki. Kawerny te wypełnia sól o barwie szarej i zlewnej budowie bez wyraźnie wykształconych ziarn. Sól przy kontakcie jest również szara i zawiera stosunkowo liczne przerosty anhydrytu (pl. V, 4, 5). W przeciwieństwie do spągowej części soli przerosty te są bardzo nieregularne o silnie rozczłonkowanych i postrzępionych konturach.

SKŁAD MINERALNY

Podstawowym składnikiem mineralnym w badanym pokładzie soli kamienniej jest halit. Jako znacząca domieszka występuje anhydryt, podrzędnie natomiast substancja ilasta, polihalit, węglany, tlenki żelaza oraz kwarc autogeniczny (tab. 4).

Halit stanowi zazwyczaj powyżej 95% objętości soli kamienniej, tylko w obrębie drobnych lamin lub przerostów anhydrytowych zawartość jego maleje do około 30%. W obrazie mikroskopowym halit wykazuje strukturę granoblastyczną, zatarte granice między poszczególnymi ziarnami oraz słabo widoczną łupliwość, która wyraźnie zaznacza się tylko w soli kryształowej. W obrębie kryształów halitu, zwłaszcza przezroczystych lub mlecznych, stosunkowo często obserwuje się drobne inkluzje gazowe, a niekiedy także gazowo-ciekłe.

Anhydryt występuje we wszystkich odmianach soli kamienniej, a jego zawartość zmienia się w szerokich granicach. Tworzy on zarówno pojedyncze kryształy, jak i formy agregatowe. Pojedyncze kryształy są znacznie zróżnicowane pod względem wielkości — od drobnych (2 ÷ 5 μm) do dużych osobników o rozmiarach 340 × 150 μm. Mają one zazwyczaj pokrój tabliczkowy i litsewkowy. Formy agregatowe zbudowane są zazwyczaj z ziarn pelitomorficznych i granoblastycznych. Agregaty tworzą szereg form — głównie nieregularne gniazda, pasemka i laminy, rzadziej elementy o ściśle określonej promienistej lub równoległej strukturze. Liczne osobniki anhydrytu wykazują znacznie urozmaiconą powierzchnię kontaktu z solą, wyrażającą się obecnością głębokich zatokowych wżerek. W innych przypadkach na zewnętrznych powierzchniach pelitomorficznych skupień występują duże porfiroblastyczne kryształy anhydrytu wielokrotnie przekraczające swoimi rozmiarami podstawowe tło tego agregatu (pl. VIII, 4).

Spotykane w soli okruchowe formy anhydrytu odznaczają się powszechnie obecnością struktur granoblastycznych (pl. VIII, 2) i nematoblastycznych. Struktury te o charakterystycznym pokroju ziarn — izometryczne (granoblastyczne) oraz listewkowe lub igielkowe (nematoblastyczne) — znane są z anhydrytów masywnych, jak również gruzelkowych i pseudobrekcyjowych, występujących powszechnie w poziomie $A1_u$.

Występująca w soli substancja ilasta jest bardzo trudna do identyfikacji ze względu na współwystępowanie z anhydrytem, obecność drobnodispersyjnych tlenków żelaza, jak też niewielką jej zawartość (pl. VIII, 1). Przemazy substancji ilasto-anhydrytowej są zwykle bardzo nieregularne i tworzą struktury szkieletowe, otaczając duże kryształy lub agregaty soli. Niekiedy pojedyncze strzępki ilaste „zawieszono” są w obrębie kryształów soli. Skupienia substancji anhydrytowo-ilastej nie przekraczają grubości 3 mm. Wyseparowane i poddane badaniom rentgenograficznym wykazują głównie anhydryt, a charakterystyczne wysokokątowe refleksy (tab. 3) wskazują na obecność illitu.

Polihalit został stwierdzony w pojedynczych próbkach, a jego obecność związana jest z występowaniem anhydrytu. Jest to minerał wtórny powstały kosztem przeobrażeń anhydrytu i w niewielkiej ilości towarzyszy laminom bądź okruchom anhydrytu. Wykształcony jest w postaci bardzo drobnych, zazwyczaj włóknistych albo łuseczkowych kryształów (pl. VIII, 3) bądź też tworzy niewielkie, bardzo nieregularne agregaty.

Minerały węglanowe występują w soli kamiennej stosunkowo rzadko i w niewielkich ilościach. Tworzą zazwyczaj romboedryczne kryształy o rozmiarach około 30 μm rozmieszczone pojedynczo lub niekiedy w postaci skupień kilku ziarn. W większości przypadków minerałem węglanowym jest dolomit. Kalcyt pojawia się nader rzadko w postaci pojedynczych skalenoeodrów.

Kwarc autigeniczny (pl. VIII; 3–5) został stwierdzony w próbkach zawierających przemazy ilasto-anhydrytowe. Tworzy on tutaj dość liczne, pojedynczo rozmieszczone kryształy o rozmiarach od 30 do 150 μm . Ziarna kwarcu są zwykle idiomorficzne, chociaż wykazują także wyraźne objawy korozji zaznaczające się w postaci zatokowych wyłobień krawędzi. Kwarc autigeniczny znany jest również w brekcji anhydrytowo-solnej cyklotemu Z1 (Kłapciński, Kornaś 1967), jak też z salinarnych utworów cechsztynu środkowoniemieckiego, gdzie czynione były próby wykorzystania jego obecności do charakterystyki facjalnej (Nachsel 1966).

SKŁAD CHEMICZNY

Znajomość składu chemicznego najstarszej soli kamiennej Na1 jest na obecnym etapie badań niepełna. Opiera się na wynikach uzyskanych w trakcie badań skał nadkładu towarzyszących złożu rudy miedzi. W artykule zagadnienie chemizmu soli potraktowane jest przeglądowo, autorzy dysponowali bowiem stosunkowo skromnym materiałem analitycznym. Składają się nań wyniki z 20 próbek punktowych pobranych z różnych odmian soli (tab. 7) oraz dane o za-

Tabela 6

Zawartość NaCl w profilu pionowym
(analizy wg PG w Krakowie)
NaCl content in vertical profile
(analyses after PG Kraków)

Lp.	Nazwa i nr profilu Profile name and no.	Położenie w profilu Profile interval (m)	Ilość analiz No. of analyses	Zawartość NaCl NaCl content (%)		
				min. min.	max. max.	średnia mean
1	Grabik	960—963	1	—	—	90,59
2	S—388	963—969	—	—	—	—
3		969—988	7	97,60	99,94	99,31
4		988—1045	20	96,72	99,94	98,66
5		1045—1054	3	95,85	97,60	97,01
6		1054—1058	2	89,42	94,39	91,90
7		1058—1064	2	91,17	97,02	94,09
8		1064—1076	4	94,68	98,77	96,80
9		1076—1093,5	7	74,81	98,77	91,26
10	Jakubów	969—974,9	2	91,18	93,52	92,35
11	S—379	974,9—983	3	96,44	98,78	98,00
12		983—987	2	99,07	98,19	98,63
13		987—1017	10	92,93	99,65	98,54
14		1017—1029	5	95,85	98,78	97,80
15	Łagoszów	1031,5—1036,2	2	—	—	99,93
16	S—396	1036,2—1039,1	1	—	—	2,64
17		1039,1—1075	12	91,76	99,93	97,78
18		1075—1082	2	80,64	89,41	85,02
19		1082—1082,5	1	—	—	2,64
20		1082,5—1113,5	11	95,25	99,64	97,20
21		1113,5—1179	22	97,59	99,93	99,10
22		1179—1195,7	6	85,61	99,93	96,18

1, 6, 10 — sól z gruzkami anhydrytu; 2, 18 — sól z okruchami anhydrytu; 3, 12, 21 — sól różnokryształowa, jasnoszara; 4 — sól różnokryształowa z pojedynczymi strzępkami anhydrytu; 5 — sól krucha, ciemnoszara; 7 — sól średniokryształowa ze strzępkami anhydrytu; 8, 9, 22 — sól laminowana anhydrytem; 11, 15 — sól masywna, szara; 13 — sól grubokryształowa i kryształowa; 14 — sól średniokryształowa z pojedynczymi laminami anhydrytu; 15, 19 — anhydryt; 17, 20 — sól masywna, ciemnoszara

1, 6, 10 — rock salt with anhydritic granules; 2, 18 — rock salt with anhydritic debris; 3, 12, 21 — light-grey varicrystalline rock salt; 4 — varicrystalline rock salt with single anhydritic shreds; 5 — dusky grey, brittle rock salt; 7 — medium-crystalline rock salt with anhydritic shreds; 8, 9, 22 — rock salt with anhydritic lamination; 11, 15 — grey massive rock salt; 13 — coarse-crystalline and crystal rock salt; 14 — medium-crystalline rock salt with single anhydritic laminae; 15, 19 — anhydrite; 17, 20 — dusky grey, massive rock salt

wartości NaCl z trzech otworów wiertniczych, udostępnione przez Przedsiębiorstwo Geologiczne w Krakowie (tab. 6; fig. 10).

Zebrany materiał analityczny wskazuje, że skład chemiczny soli kamiennej, podobnie jak i jej skład mineralny jest mało zróżnicowany. Istotniejsze wahania wśród domieszek wykazuje głównie CaSO_4 , a lokalnie także nierozpuszczalna pozostałość. Składniki te determinują zawartość NaCl w całości pokładu oraz w poszczególnych odmianach soli.

Obserwuje się także wyraźną zależność między składem chemicznym soli a cechami ziarnistości i tekstury. Odnosi się to zarówno do wyników uzyskanych z próbek bruzdowych (tab. 6), jak i punktowych (tab. 7). Najwyższą czystością odznacza się odmiana grubokrystaliczna i wielkokrystaliczna z solą kryształową włącznie. Zawartość NaCl, nawet na dużych odcinkach profilu pionowego (około 30 m) wynosi średnio 98,5%, natomiast w pojedynczych próbkach przekracza zazwyczaj 99%. Wysokim stopniem czystości charakteryzują się także jasne odmiany soli średnio- i różnokrystalicznej, zawartość NaCl obniża się zazwyczaj w soli szarej, a zwłaszcza ciemnoszarej, masywnej. Udział halitu maleje także wyraźnie w tych warstwach, gdzie megaskopowo wyróżnia się obecność innych składników, głównie

anhydrytu. Odnosi się to w szczególności do odmian teksturalnych, na przykład soli laminowanej, czy też soli z gruzełkami lub okruchami anhydrytu. Wahania ilości NaCl są tutaj bardzo duże, a w analizowanych przypadkach obniża się ona w pojedynczych próbkach do około 65%.

Biorąc pod uwagę fakt, że zgodnie z normą PN-54-G-9206 sól kamienna jadalna szara posiadać powinna zawartość NaCl powyżej 96,5%, w badanym złożu, w obszarze monokliny przedsudeckiej należy spodziewać się występowania grubych pakietów warstw soli spełniających ten warunek. Potwierdzają to wstępne wyniki analiz (tab. 6; fig. 10), zgodnie z którymi w przedstawionych trzech otworach badawczych grubość jednolitego pokładu solnego spełniającego kryterium jakości waha się od 54 do 96 m.

W składzie chemicznym soli kamiennej stwierdzono niewielką ilość bromu zawierającą się w granicach od 3 do 17 mg/kg. Obliczona wartość współczynnika bromowego jest także zmienna i wynosi odpowiednio od 0,003 do 0,038. W około 30% próbek nie stwierdzono bromu w ogóle, a w pozostałych nie obserwuje się istotniejszych prawidłowości zarówno w rozkładzie zawartości bromu, jak i wysokości współczynnika bromowego.

Współczynnik bromowy uważany jest powszechnie

Łagoszów S-396

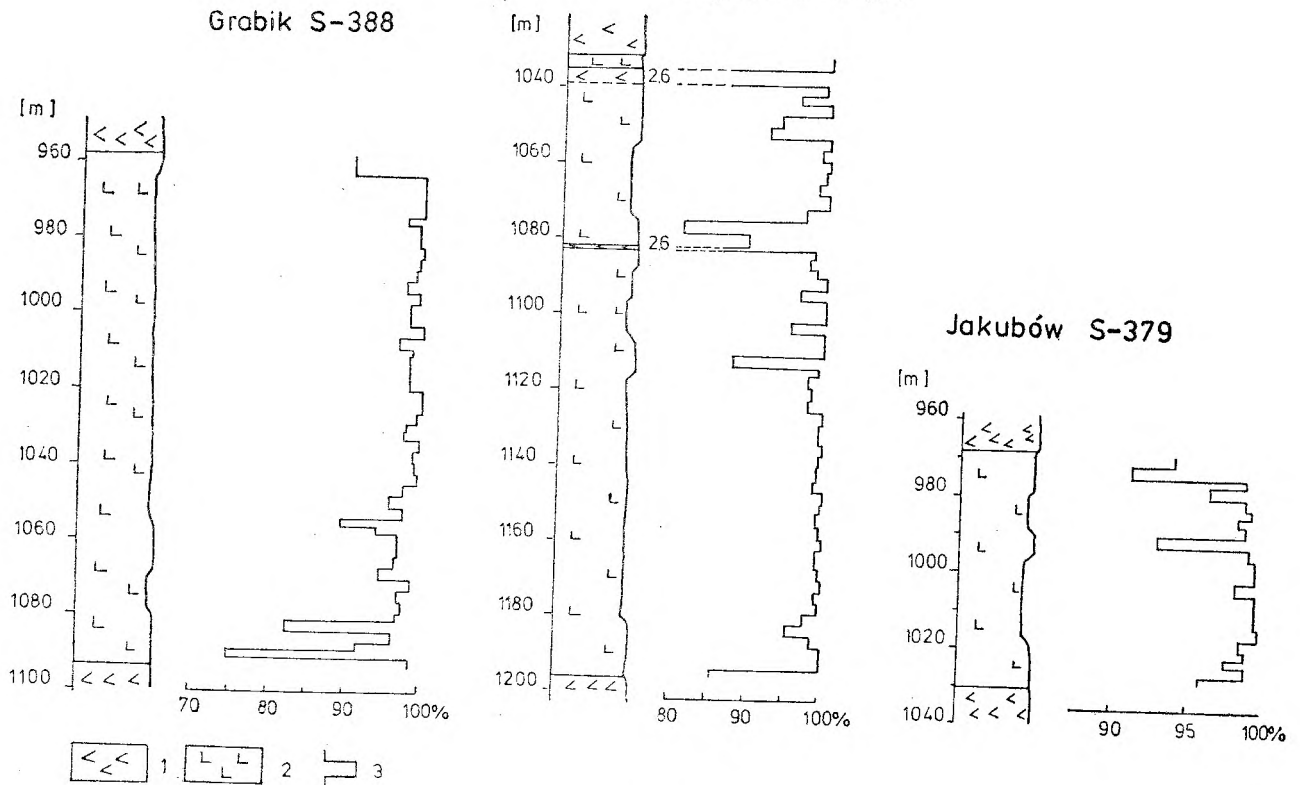


Fig. 10

Wykresy zawartości NaCl w profilach soli kamiennej

1 - anhydryt; 2 - sól kamienna; 3 - rozkład zawartości NaCl

NaCl content in rock-salt profiles

1 - anhydrite; 2 - rock salt; 3 - distribution of NaCl content

Tabela 7

Skład chemiczny soli kamiennej NaI (analizy wg PG w Krakowie)
Chemical composition of the NaI rock-salt (analyses after PG Kraków)

Lp.	Symbol próbki Sample symbol	Zawartość procentowa Content in percent						Br ⁻ mg/kg	Skład mineralny (%) Mineral composition (%)				Współczynnik bromowy Bromine coefficient
		Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²		NaCl	KCl	CaSO ₄	Części nierozpuszcz. Indisol. constit.	Br ⁻ · 10 ³
													Cl
1	480/1251	1,43	0,003	26,67	0,045	38,64	7,02	9	65,29	0,066	8,45	25,38	0,023
2	480/1354,3	0,61	0,00	35,54	0,052	53,51	3,46	8	89,00	0,099	4,07	5,92	0,015
3	388/1070	0,29	0,0	38,08	0,064	57,97	1,96	3	95,99	0,122	2,25	2,25	0,005
4	388/1085	1,22	0,00	28,99	0,064	44,70	6,74	17	73,63	0,122	7,96	16,44	0,038
5	388/975	0,43	0,0	38,54	0,077	58,44	2,62	0,0	96,91	0,147	3,05	0,86	—
6	396/1049	0,16	0,0	37,99	0,068	58,03	1,28	0,0	95,96	0,129	1,44	1,16	—
7	388/1018	0,13	0,0	38,59	0,077	59,02	1,21	2	97,54	0,147	1,34	0,72	0,003
8	397/975	0,53	0,0	37,00	0,132	55,42	3,72	7	92,30	0,251	4,25	2,10	0,013
9	480/1338,5	0,014	0,00	39,20	0,052	60,26	0,41	6	99,41	0,099	0,42	0,0	0,010
10	388/1030	0,07	0,0	38,92	0,073	59,86	0,35	0,0	98,71	0,141	0,42	0,67	—
11	480/1317,5	0,02	0,00	39,28	0,064	60,19	0,47	6,75	99,41	0,122	0,49	0,0	0,011
12	388/960	0,00	0,00	39,29	0,086	60,58	0,00	0,0	99,79	0,164	—	0,55	—
13	388/985	0,05	0,0	38,82	0,080	59,51	0,83	0,0	98,26	0,152	0,88	0,53	—
14	480/1300,5	0,05	0,00	38,83	0,064	59,61	0,72	2,72	98,38	0,122	0,77	0,63	0,003
15	480/1307	0,07	0,00	38,95	0,064	59,58	1,06	5,85	98,47	0,122	1,13	0,0	0,010
16	388/965	0,05	0,0	38,84	0,093	59,50	0,64	0,0	98,71	0,177	0,69	0,65	—
17	480/1282,5	0,18	0,00	38,62	0,064	59,13	1,24	16	97,70	0,122	1,42	0,56	0,027
18	480/1291	0,16	0,00	38,70	0,077	59,28	1,15	9	97,91	0,147	1,31	0,43	0,015
19	388/1050	0,17	0,00	38,34	0,077	58,54	1,45	9	96,81	0,147	1,62	1,09	0,015
20	388/995	0,22	0,00	38,37	0,073	58,61	1,51	7	96,91	0,141	1,73	0,89	0,012

1 — sól z przrostami anhydrytu; 2, 3, 4 — sól laminowana anhydrytem; 5 — sól z gruzkami anhydrytu; 6 — sól grubokrystaliczna z przemazami anhydrytu; 7 — sól masywna, szara; 8 — sól masywna, ciemnoszara; 9 — sól kryształowa; 10, 11 — sól grubokrystaliczna z soczewkami kryształowej; 12 — sól grubo- i średniokrystaliczna; 13, 14 — sól różnokryształiczna, jasnoszara; 15 — sól średniokrystaliczna z domieszką drobnokrystalicznej; 16 — sól średniokrystaliczna, jasnoszara; 17, 18, 19 — sól średniokrystaliczna, krucho; 20 — sól średniokrystaliczna, masywna

1 — rock salt with anhydritic sloams; 2, 3, 4 — rock salt with anhydritic lamination; 5 — rock salt with anhydritic granules; 6 — coarse-crystalline rock salt with anhydritic sloams; 7 — massive grey rock salt; 8 — massive dusky grey rock salt; 9 — crystal rock salt; 10, 11 — coarse-crystalline rock salt with crystal-salt lentiles; 12 — coarse- and medium-crystalline rock salt; 13, 14 — light-grey varicrystalline rock salt; 15 — medium-crystalline rock salt with an admixture of fine-crystalline variety; 16 — light-grey medium-crystalline rock salt; 17, 18, 19 — medium-crystalline, brittle rock salt; 20 — medium-crystalline, massive rock salt

za wskaźnik warunków sedymentacji solnej. W procesie ewaporacji brom nie tworzy bowiem własnych minerałów, lecz zastępuje chlor w chlorkowych minerałach solnych. W miarę postępu ewaporacji zawartość bromu w ługu solnym wzrasta, natomiast zmiana warunków w zbiorniku, związana na przykład z dopływem wód morskich lub odpływem stężonej solanki, uzewnętrznia się zmianą stosunku bromu i chloru w osadzie. Odbiciem tego zjawiska są wahania wartości współczynnika bromowego w profilu osadów solnych. W związku z tym spełnia on istotną rolę jako wskaźnik geochemiczny. Zagadnienie to ma bogatą bibliografię (*vide* Charysz 1973), a współczynnik bromowy wykorzystywany jest do celów korelacji warstw solnych (Schultze 1960).

Niewielka ilość oznaczeń bromu nie pozwala na przeprowadzenie jednoznacznej interpretacji warunków sedymentacji najstarszej soli kamiennej. Biorąc pod uwagę wahania wartości współczynnika bromo-

wego w profilu otworu S—480, brak bromu w znacznej części soli w otworze Grabik, powszechność okrucichowych form anhydrytu oraz występowanie struktur grubokrystalicznych należy sądzić, że znaczna część pokładu soli kamiennej ma charakter descendentny. Podobne zjawiska stwierdza także Podemski (1973) w soli kamiennej cyklotemu ZI w sąsiednim rejonie Nowej Soli i Koźuchowa.

W trakcie wierceń w soli kamiennej, jak i w skałach otaczających stwierdzono objawy gazowości wyrażające się lokalnie znacznym zgazowaniem płuczki. Głównym składnikiem jest tutaj azot (tab. 8). Ponadto stwierdzono obecność tlenu, niewielkie ilości metanu, dwutlenku węgla oraz wodoru. W wielu rdzeniach występuje także H₂S, co ujawnia się charakterystyczną dla tego gazu wonią. Taki skład gazu upodabnia się w ogólnych zarysach do tego, jaki stwierdzono w złożu soli w Kłodawie (Poborski, Zieliński 1959), gdzie azot jest często elementem dominującym.

Zawartość gazu w soli kamienniej w otworze S-377 (wg badań PG w Krakowie)
Gas content in rock-salt from the S-377 borehole (data from PG Kraków)

Głębokość Depth (m)	Ciężar próbki Sample weight (g)	Ilość gazu Amount of gas (cm ³)	Podciśnienie w czasie odgazowania Negative pressure during degasification (mm Hg)	Skład chemiczny gazu (% obj.) Chemical composition of gas (volum. %)							
				CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	N ₂	CO	CO ₂	H ₂	O ₂
1222,0	1447	460	4	1,48	—	—	90,95	—	—	—	4,65
1258,0	3055	2120	4	0,16	0	0	95,25	0	1,10	0,9	2,20

MECHANICZNE WŁASNOŚCI SOLI KAMIENNEJ

Badania wytrzymałościowe soli kamienniej przeprowadzono na odpowiednio przygotowanych próbkach, zgodnie z wytycznymi Międzynarodowego Biura Mechaniki Skał (Pfor 1973). Ze względu na niewielką ilość przebadanych próbek (26 sztuk) badania te mają charakter informacyjny i określają niektóre podstawowe parametry wytrzymałościowe soli kamienniej.

Do określenia wytrzymałości na ściskanie (R_c) oraz parametrów sprężystości (E , ν) stosowano próbki walcowe o średnicy 42 ÷ 45 mm i stosunku wysokości do średnicy jak: 1:1 lub 2:1. Wytrzymałość na rozciąganie (R_t) badano na próbkach o średnicy 42 ÷ 45 mm i wysokości równej średnicy, natomiast przy wytrzymałości na ścinanie (R_s) stosowano próbki w kształcie krążków o analogicznej średnicy i wysokości 10 mm. Wszystkie próbki były odpowiednio przygotowane do badań przez szlifowanie ścian bocznych oraz podstaw.

W procesie ściskania pomiar odkształceń prowadzono metodą pośrednią i bezpośrednią. Pierwsza metoda polegała na pomiarze skrócenia próbki przez wykorzystanie czujnika przemieszczeń liniowych, znajdującego się w maszynie wytrzymałościowej „Amsler”, druga natomiast wykorzystuje do pomiaru odkształceń zasady tensometrii oporowej. W tym przypadku na próbkę nakleja się dwa tensometry oporowe w kierunku podłużnym i poprzecznym. Tensometry łączy się następnie w układ pełnego mostka z analogicznymi tensometrami kompensacyjnymi. Całość podłączano do stanowiska pomiarowego, na które składają się: dwa mostki tensometryczne firmy Hottinger typu KWS-T/5, dwa rejestratory dwupisakowe $x-y_1/y_2$ firmy Riken typu F-728 oraz wzmacniacz sygnału w układzie obciążenia maszyny wytrzymałościowej „Amsler”. Sygnały od tensometrów oraz sygnał z układu obciążenia przekazywane są na odpowiednie zaciski rejestratorów, a następnie są automatycznie zapisywane w postaci wykresów

przedstawiających charakterystykę mechaniczną próbki na podstawie następujących zależności:
naprężenie—odkształcenie podłużne ($\sigma-\varepsilon_1$);
naprężenie—odkształcenie poprzeczne ($\sigma-\varepsilon_2$);
naprężenie—odkształcenie objętościowe ($\sigma-\varepsilon$);
odkształcenie poprzeczne—odkształcenie podłużne ($\varepsilon_2-\varepsilon_1$).

Na podstawie charakterystyk mechanicznych (fig. 11) otrzymanych w procesie ściskania określono stałe sprężystości soli kamienniej, czyli moduł sprężystości podłużnej Younga (E) i współczynnik rozszerzalności poprzecznej Poissona (ν). Moduł sprężystości (E) obliczono jako tangens nachylenia prostoliniowego odcinka wykresu $\sigma-\varepsilon_1$, gdzie odkształcenia są proporcjonalne do naprężeń, czyli mieszczą się w granicach sprężystości materiału:

$$E = \operatorname{tg} \varphi = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \varepsilon_1} [\text{GN/m}^2],$$

gdzie:

$\Delta \sigma$ — przyrost naprężenia pionowego,

$\Delta \varepsilon$ — przyrost odkształcenia podłużnego.

Jednakże dla próbek soli kamienniej granica liniowości wykresów $\sigma-\varepsilon_1$ nie jest jednoznacznie określona i wówczas moduł Younga obliczano na podstawie uśrednionych wartości stosunku naprężeń do przyporządkowanych im odkształceń w procesie odciążenia.

Współczynnik rozszerzalności poprzecznej (ν) w przypadku soli kamienniej jest bardzo trudny do określenia. Wynika to z niejednoznaczności w ustaleniu granicy liniowości wykresów $\sigma-\varepsilon_1$ i $\sigma-\varepsilon_2$. W takich przypadkach współczynnik Poissona obliczano na podstawie uśrednionych wartości stosunku odkształceń poprzecznych ε_2 do odkształceń podłużnych ε_1 :

$$\nu = \frac{\Delta \varepsilon_2}{\Delta \varepsilon_1},$$

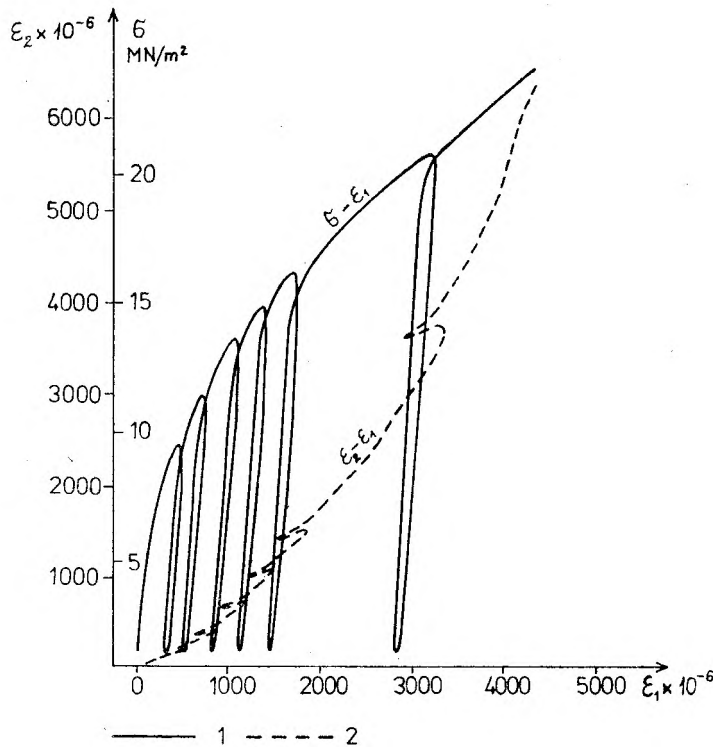


Fig. 11

Charakterystyka mechaniczna soli w trakcie ściskania

1 — wykres zależności naprężenie — odkształcenie podłużne; 2 — wykres zależności odkształcenie poprzeczne — odkształcenie podłużne

Rock-salt mechanical behaviour during compression

1 — curve of stress/longitudinal strain relations; 2 — curve of transverse strain/longitudinal strain relations

gdzie:

$\Delta\epsilon_2$ — przyrost odkształcenia poprzecznego.

Wytrzymałość na ściskanie (R_c) obliczono posługując się wzorem:

$$R_c = \frac{P}{F} [\text{MN/m}^2],$$

gdzie:

P — obciążenie krytyczne,

F — przekrój poprzeczny próbki.

Wytrzymałość na rozciąganie (R_r) określono metodą ściskania próbki walcowej po tworzącej i obliczono według wzoru:

$$R_r = \frac{2P}{\pi d h} [\text{MN/m}^2],$$

gdzie:

d — średnica próbki,

h — wysokość próbki.

Wytrzymałość na ścinanie (R_t) badano przez ścinanie krążka skały stalowym stemplem o średnicy 20 mm ustawionym współśrodkowo na próbce, a do obliczeń posłużono się wzorem:

$$R_t = \frac{P}{\pi d_1 h} [\text{MN/m}^2],$$

gdzie:

d_1 — średnica stempla.

W świetle przeprowadzonych badań wytrzymałościowych oraz wyników uzyskanych wcześniej przez Przedsiębiorstwo Geologiczne w Krakowie (fig. 12) sól kamienna Na1 z obszaru monokliny przedsudeckiej charakteryzuje się niskimi parametrami wytrzymałościowymi, co pozwala zaliczyć ją do skał słabych (tab. 9). Rozpad soli w procesie ściskania nie ma cech kruchego, lecz wykazuje pękanie ciągłe, a wśród odkształceń przeważają plastyczne. Wyniki te w świetle klasyfikacji Coatesa i Parsonsa (1966) pozwalają zaliczyć sól kamienną Na1 do materiałów typu W, V, P, czyli słabych (weak), lepkich (viscous) i plastycznych (plastic).

Parametry wytrzymałościowe soli kamiennej, a głównie wytrzymałość na ściskanie, związane są w znacznym stopniu z cechami budowy strukturalnej. Przeprowadzone w tym zakresie badania są jednak dość skromne i nie wyjaśniają w pełni tego zagadnienia. Wstępnie uzyskane wyniki wykazują, że najwyższą wytrzymałością charakteryzują się próbki soli ciemnoszarej o masywnej budowie i średnio-kryształicznej strukturze tła mineralnego oraz ściśle upakowanych i „sprasowanych” ziarnach. Wytrzymałość na ściskanie dochodzi tutaj do 28 MN/m².

Zestawienie wyników badań fizyczno-mechanicznych własności soli kamiennej Na1

Summary of physical-mechanical characteristics of the Na1 rock salt

Parametry Parametres	Badania wykonane w PG w Krakowie Analyses performed by PG Cracow				Badania wykonane w ZBiPM „Cuprum” Analyses performed by ZBiPM „Cuprum”				Sól kamienna, sylur prowincji Ontario. Wg Coatesa i Per- sonsa (1966) Silurian rock salt, Ontario. Data after Coates and Persons (1966)	
	ilość próbek no. of samples	uzyskane wyniki — results			ilość próbek no. of samples	uzyskane wyniki — results				
		min. min.	max. max.	średnio mean		min. min.	max. max.	średnio mean	wyniki średnie mean values	klasyfikacja classification
Wytrzymałość na ściskanie, Rc [MN/m ²] Compression strength	30	7,3	37,85	15,3	13	13,5	28,8	20,8	15,6	
Wytrzymałość na rozciąganie, Rr [MN/m ²] Tensile strength	1	—	—	0,94	6	1,14	2,28	1,43	—	
Wytrzymałość na ścinanie, Rt [MN/m ²] Shearing strength	—	—	—	—	7	10,8	6,1	8,2	—	W, V, P*
Moduł Younga, E [GN/m ²] Young's modulus	5	0,3968	1,53	0,9504	6	0,770	4,290	2,616	1,84	
Liczba Poissona, ν Poisson's number	5	0,23	0,37	0,31	3	0,30	0,37	0,33	—	
Ciężar objętościowy, γ [Mg/m ³] Unit weight	3	2,06	2,12	2,09	—	—	—	—	2,13	
Udział odkształceń plastycznych Contribution of plastic deformation [%]	—	—	—	—	2	—	—	~82,0	83,9	
Granica plastyczności Plastic limit, σ _{p1}	—	—	—	—	1	—	—	0,32Rc	—	

* W (weak), V (viscous), P (plastic)

Sól o takiej budowie występuje jednak w profilu w niewielkiej ilości i tworzy zwykle pojedyncze warstwy, a tylko wyjątkowo może być odmianą dominującą.

Znacznie powszechniej występuje sól grubokrystaliczna z przerostami soli kryształowej. Odmiany te, zazwyczaj o dużej jednorodności składu mineralnego, bezbarwne lub mleczne, są również bardzo wytrzymałe, a ponadto wykazują stosunkowo niewielki rozrzut wyników, który w przypadku ściskania waha się w granicach 20,0 ÷ 24,5 MN/m².

Wśród przebadanych próbek soli kamiennej naj-

ślabszą jest odmiana ziarnista i krucha o charakterystycznym „wrzecionowatym” wykształceniu ziarn i kierunkowej teksturze. Wytrzymałość na ściskanie wynosi tutaj od 13,5 do 21,5 MN/m² (fig. 13). Zaznaczyć należy jednak, że badania wytrzymałościowe zostały wykonane z monolitycznych odcinków rdzenia, które pozwalały na wycięcie znormalizowanych próbek. Stąd też uzyskane wyniki są stosunkowo wysokie i zapewne nie reprezentują w pełni zmienności wytrzymałościowej pokładu solnego.

W trakcie badań zebrano także interesujące informacje na temat zachowania się soli kamiennej

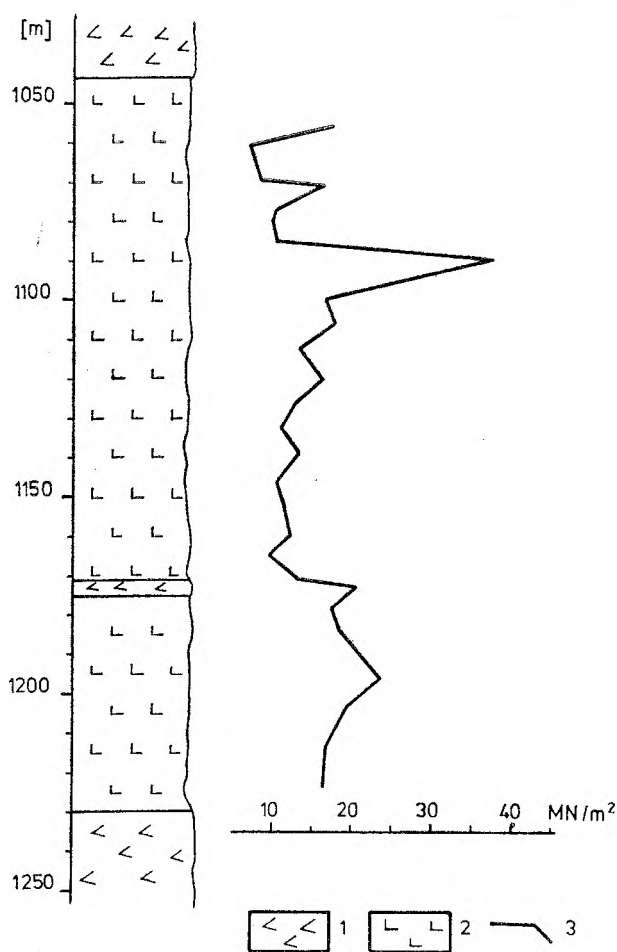


Fig. 12

Wykres wytrzymałości soli kamiennej na ściskanie (wg badań PG w Krakowie)

1 — anhydryt; 2 — sól kamienna; 3 — rozkład wartości R_c w profilu pionowym

Rock-salt compression strength curve (based on data from PG Cracow)

1 — anhydrite; 2 — rock salt; 3 — vertical distribution of R_c values

w procesie narastającego obciążenia w maszynie wytrzymałościowej. W czasie ściskania, począwszy od obciążenia stanowiącego około 1/4 wytrzymałości krytycznej, obserwuje się w próbkach soli powstawanie pojedynczych pęknięć związanych z kierunkami łupliwości. Towarzyszy temu słaby efekt akustyczny (trzaski) oraz matowienie próbki wynikające ze wzrostu ilości powstających pęknięć. Zjawisko to szczególnie wyraźnie zaznacza się w grubokrystalicznych odmianach soli o wysokiej czystości i jednorodności składu mineralnego. Dalszy wzrost obciążenia powoduje także powstanie spękań położonych diagonalnie w stosunku do kierunku działania siły oraz szybki wzrost odkształceń, zwłaszcza poprzecznych. Wpływa to na zmianę kształtu próbek, które przyjmują formy „baryłkowane”. Podczas niszczenia próbki pojawiają się także pionowe pęknięcia, a proces rozpadu jest bardzo powolny. Próbkki soli kamien-

nej nie rozpadają się jak większość skał, lecz występuje w nich zjawisko pełzania.

W przypadku soli grubokrystalicznej i kryształowej zniszczone próbki pękają na wydłużone, tabliczkowate agregaty. Na bocznych powierzchniach tych form występują zwykle liczne skośne zmarszczki i rysy, jako pozostałości spękań utworzonych we wcześniejszych stadiach deformacji. Sól ziarnista po zniszczeniu próbki rozpada się natomiast na drobne ziarna o kilkakrotnie mniejszych rozmiarach niż ich pierwotna wielkość.

W procesie ściskania próbek soli kamiennej bardzo wczesnie pojawiają się odkształcenia plastyczne (fig. 14). Wykonane badania wskazują ponadto, że przy obciążeniu stanowiącym $0,85 \sigma_c$ udział odkształceń plastycznych wynosi około 85% odkształceń całkowitych, podczas gdy efekty sprężyste są odpowiednio mniejsze. Zwraca także uwagę fakt szybkiego

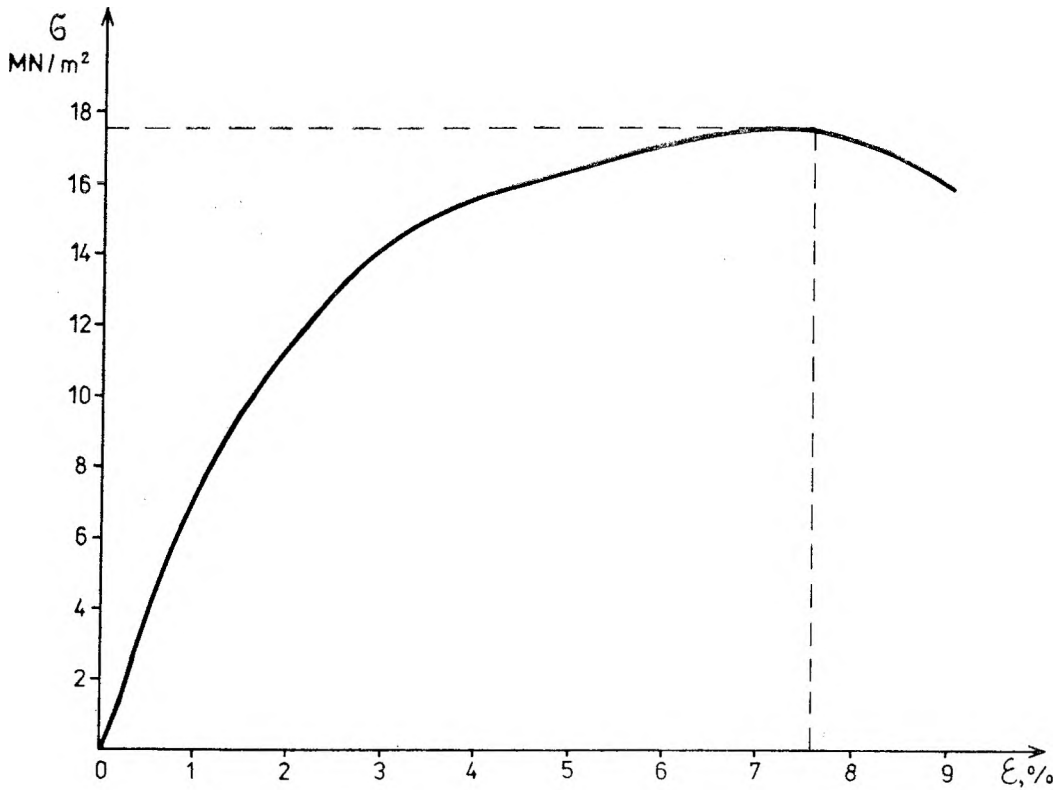
Tabela 10

Kształtowanie się odkształceń plastycznych i sprężystych w soli kamiennej NaI
Formation of plastic and elastic strains in the NaI rock-salt

Sól grubokrystaliczna Coarse-crystalline rock-salt		Sól ziarnista, krucha Granular, brittle rock-salt	
σ MN/m ²	ϵ_{pl} ϵ_{el}	σ MN/m ²	ϵ_{pl} ϵ_{el}
9,7	2,00	9,6	1,33
11,3	2,44	11,9	2,00
13,6	3,17	13,5	2,65
14,9	4,03	14,8	3,21
16,2	5,18		
20,8	7,06		

wzrostu odkształceń plastycznych w miarę zwiększania obciążenia oraz równoczesna stabilizacja odkształceń sprężystych (tab. 10; fig. 15). Stwierdzono bowiem, że od obciążenia wynoszącego około 45% wytrzymałości krytycznej nie ma znaczącego przyrostu odkształceń sprężystych, a ich wykres (fig. 14) zbliża się w swoim przebiegu do linii prostej, prostopadłej do ϵ . Wstępnie uzyskane wyniki wykazują, że efekty odkształceń trwałych mają miejsce już od obciążenia stanowiącego około 15% wytrzymałości krytycznej. Pojawienie się odkształceń plastycznych może być tak oznaką pełzania, jak i tworzenia się rys i spękań. Ponieważ nie przeprowadzono w soli kamiennej badań reologicznych trudno jest określić, jaka część pełnej deformacji plastycznej związana jest z lepko-sprężystym pełzaniem, a jaka odpowiada procesowi powstawania pęknięć i rys.

Plastyczne cechy soli kamiennej określa także przebieg krzywej $\sigma-\epsilon$ podczas cyklicznego ściskania

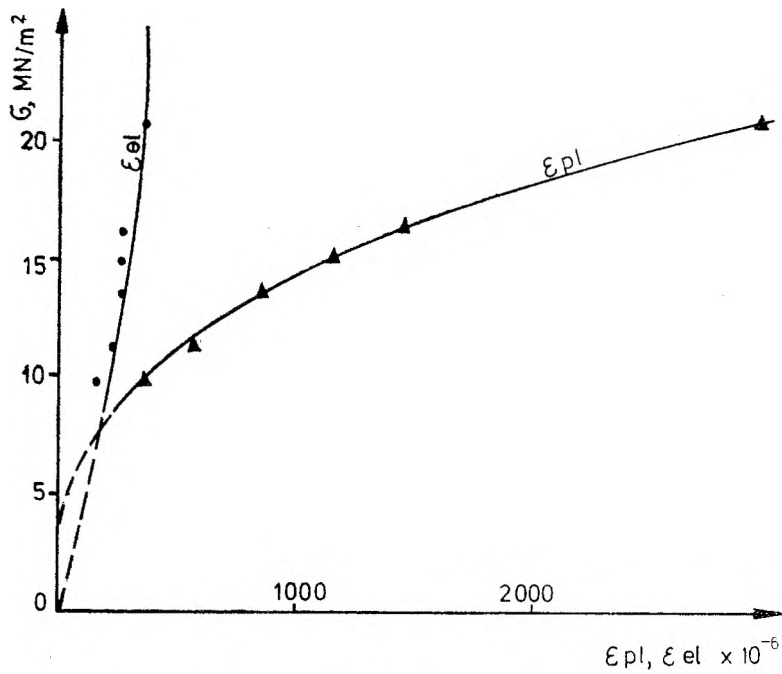


— — — 1

Fig. 13

Przykładowy wykres zależności obciążenie — odkształcenie w profilu soli kamiennej
 1 — linia przerywana wyznacza wartość wytrzymałości krytycznej oraz odpowiadające jej odkształcenie

An example curve of loading/strain relations observed in rock-salt vertical profile
 1 — dashed line shows critical strength value and respective strain



— 1 — — — 2

Fig. 14

Wykresy odkształceń sprężystych i plastycznych w soli kamiennej
 1 — krzywa wyznaczona na podstawie pomiarów; 2 — krzywa wyznaczona metodą interpolacji

Curves of elastic and plastic strains in rock salt
 1 — curve based on measurements; 2 — curve constructed by interpolation

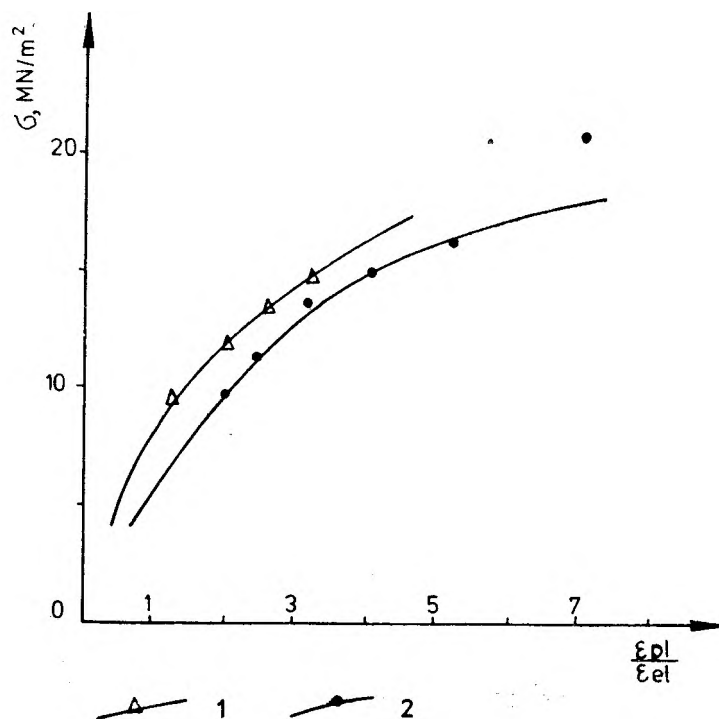


Fig. 15

Wykresy zależności $\epsilon_{pl}/\epsilon_{el}$ przy wzrastającym obciążeniu

1 - sól średniokrystaliczna - krucha; 2 - sól grubokrystaliczna - masywna

Curve of $\epsilon_{pl}/\epsilon_{el}$ ratio corresponding to increasing loading

1 - brittle, medium crystalline salt; 2 - massive, coarse crystalline salt

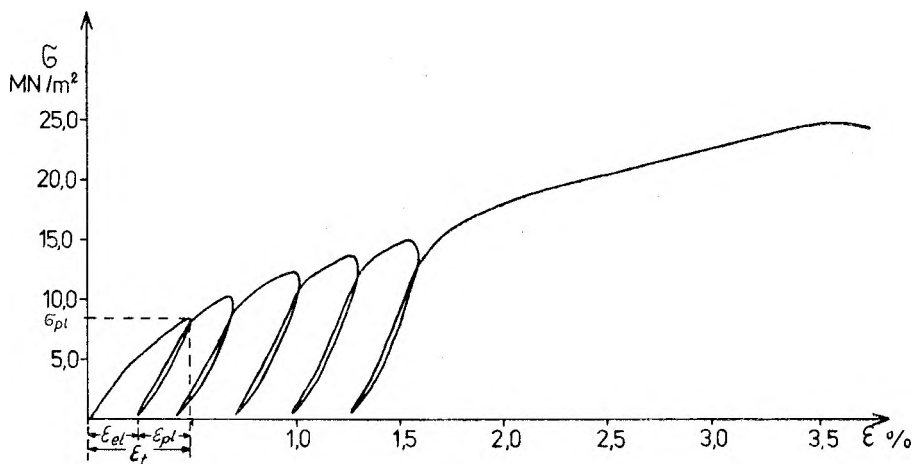


Fig. 16

Określenie granicy sprężystości soli kamiennej σ_{el} metodą cyklicznego ściskania

Determination of rock-salt elasticity limit, σ_{el} , by cyclic-compression method

próbki (fig. 16). Obserwuje się tutaj zjawisko, w którym podczas odciążenia próbka przez pewien czas wykazuje nieznaczny jeszcze przyrost odkształcenia. Oznacza to, że proces odkształcania próbki soli kamiennej wykazuje pewną bezwładność, dzięki czemu zmniejszenie obciążenia nie hamuje rozpoczętego płynięcia soli. Zjawisko to jest bardzo charak-

teryistyczne i obserwowano je we wszystkich próbkach poddanych cyklicznemu ściskaniu.

W trakcie badań podjęto także próbę określenia granicy plastyczności soli (σ_{pl}). Według Pfoora (1966) granica ta wyznacza naprężenie, przy którym udział odkształcenia plastycznego (trwałego) po odciążeniu równa się udziałowi odkształcenia sprężystego (od-

wracalnego), czyli $\varepsilon_{pl} = \varepsilon_{el}$. Dla ustalenia granicy plastyczności, w myśl wytycznych IBG, należy w próbie przeprowadzić kilka cykli obciążenia w zakresie do 80 % naprężenia niszczącego, przy czym odciążenia należy prowadzić do poziomu 5% σ_c . W przypadku, jeśli doświadczalnie nie uzyska się

równowagi między odkształceniem plastycznym a sprężystym można posłużyć się metodą interpolacji. Wykonane zgodnie z tą zasadą pomiary wykazują, że granica plastyczności (σ_{pl}) dla badanej soli kamiennej wynosi w przybliżeniu 0,32 naprężenia niszczącego (fig. 16).

TEKTONIKA

INTERPRETACJA MAP

W obszarze występowania soli kamiennej zjawiska tektoniczne rozpoznane zostały wyłącznie na podstawie otworów wiertniczych wykonanych w celu udokumentowania złoża rudy miedzi. Warstwy skalne wchodzące w skład monokliny charakteryzują się ogólną rozciągłością NW—SE i upadem od 2 do 5° w kierunku NE (Tomaszewski 1963; Preidl 1967). Lokalnie, a zwłaszcza w sąsiedztwie stref dyslokacyjnych zarówno kierunek rozciągłości, jak i wielkość upadu ulegają znacznym wahaniom. W porównaniu z południowo-zachodnią częścią monokliny przed-sudeckiej, obszar objęty sedimentacją chlorkową odznacza się mniej intensywną tektoniką uskokuwą.

Przy konstrukcji map strukturalnych posłużono się schematem tektonicznym ujawnionym wyrobiskami górniczymi w terenie bezpośrednio sąsiadującym z obszarem występowania soli. Główną cechą tego układu tektonicznego jest obecność uskokuw o przebiegu NW—SE, które odgrywają rolę dominującą oraz mniej licznych stref dyslokacyjnych zorientowanych w kierunku W—E, często o charakterze inwersyjnym (Salski 1975). Uskoki o przebiegu NW—SE wygasają na dyslokacjach równoleżnikowych albo są przez nie przemieszczane.

Punktem wyjścia dla rozwiązania tektoniki obszaru solonośnego jest mapa warstwicy powierzchni spągowej anhydrytu A_{1U} (fig. 17). Jest to zarazem kontakt utworów anhydrytowych oraz wapieni i dolo-

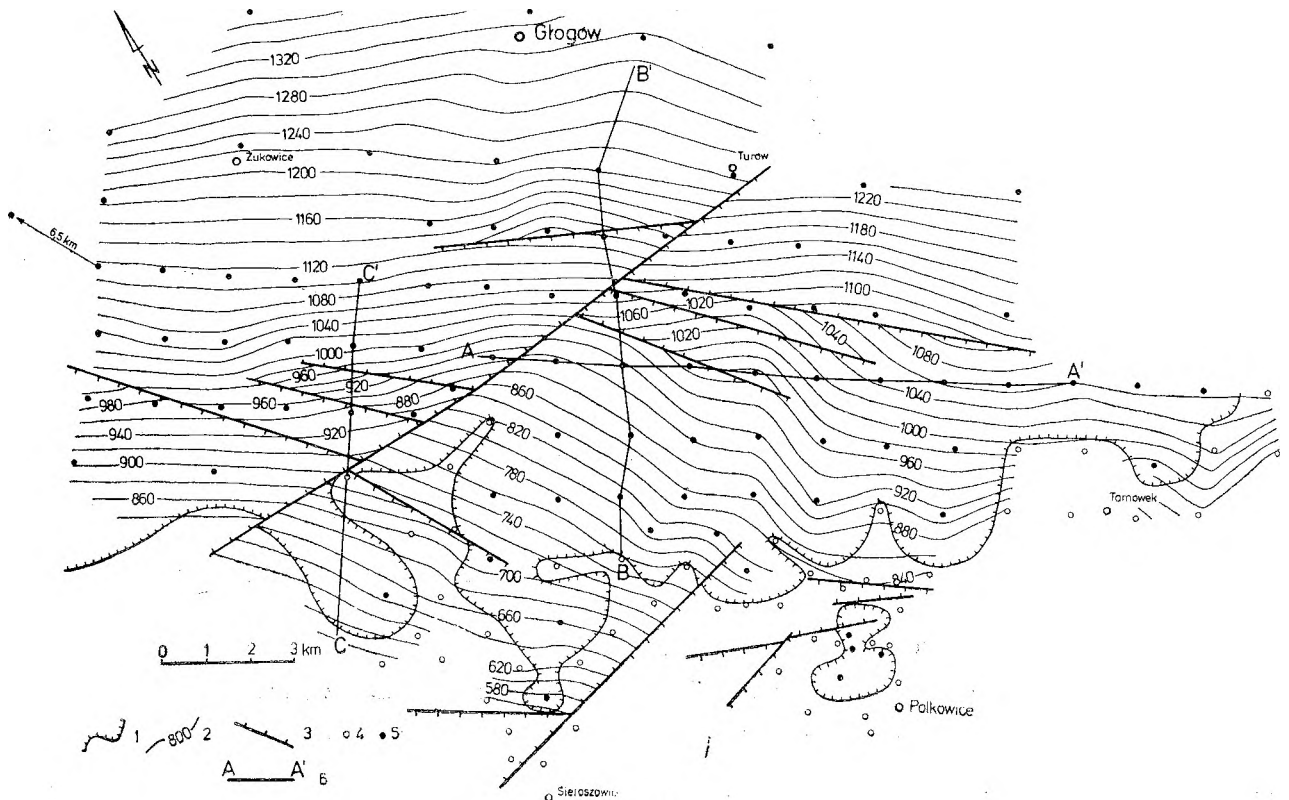


Fig. 17

Mapa izolinii spągu anhydrytów A_{1U}

1 — granica zasięgu soli kamiennej $NaCl$; 2 — izolinie spągu anhydrytów A_{1U} ; 3 — uskoki w poziomie spągu anhydrytów; 4 — otwory wiertnicze zlokalizowane poza zasięgiem soli; 5 — otwory wiertnicze w obszarze występowania soli kamiennej; 6 — linie przekrojów geologicznych

Isoline map of the A_{1U} anhydrites basal surface

1 — lateral extent of the $NaCl$ rock salt; 2 — isolines of the A_{1U} anhydrites base; 3 — faults in anhydrite basal portion; 4 — boreholes localized beyond salt extent; 5 — boreholes localized in salt-bearing area; 6 — cross-section lines

mitów cyklotemu Z1, a więc dwóch sztywnych ośrodków skalnych, w których dominującą rolę odegrały deformacje nieciągłe. Wychodząc z blokowej budowy podłoża soli łatwiej jest zinterpretować tektonikę samego pokładu soli, którego aktualna forma w znacznej mierze kształtowana była przy udziale deformacji plastycznych.

Spąg anhydrytów podścielających sól znajduje się na głębokości od 700 m przy południowo-zachodniej granicy zasięgu soli do około 1400 m w północno-wschodniej części terenu rozpoznanego otworami wiertniczymi. W omawianym obszarze dominującą rolę odgrywa duży uskok o orientacji W—E, a ponadto występują mniejsze uskoki o przebiegu NW—SE. Dyslokacja równoleżnikowa została rozpoznana na długości około 15 km. Na poszczególnych odcinkach wykazuje ona zmienny kierunek i wielkość zrzutu. W części zachodniej amplituda tego uskoku wynosi 180 m, natomiast w części wschodniej maleje do 20 m. Uskoki o przebiegu NW—SE osiągają długość od 4 do ponad 8 km. Zrzuty ich są największe w bezpośrednim sąsiedztwie dyslokacji równoleżnikowej i wahają się od 20 do 80 m, przy czym powierzchnie ślizgu nachylone są zarówno na SW, jak i na NE.

Rozciągłość i upad spągu anhydrytów A_{1u} kształtuje się nieco odmiennie w części południowej i północnej obszaru. Naturalną granicę tego podziału stanowi wspomniana strefa tektoniczna o przebiegu W—E (fig. 17). Po stronie południowej zaznacza się łagodniejsze zapadanie warstw, głównie około 2°, i kierunek biegu NW—SE. Po stronie północnej przeważa upad 3 do 4°, a rozciągłość warstw zorientowana jest WNW—ESE. Izolinie spągu anhydrytów A_{1u} ustawione są wzdłuż uskoku równoleżnikowego pod kątem około 30°. W przypadku niektórych uskoków o orientacji NW—SE charakterystyczną cechą jest kopulaste ukształtowanie spągu anhydrytów w bezpośrednim ich sąsiedztwie, wyrażające się koncentrycznym ułożeniem izolinii. Uwidacznia się to zwłaszcza po południowo-wschodniej stronie równoleżnikowej dyslokacji. Jest to obszar, w którym zaznaczają się dość istotne zmiany kierunku biegu spągowej powierzchni anhydrytów. Uskoki reprezentujące orientację NW—SE, ze względu na zmienne kierunki zrzutu, tworzą układ rowów i zrębów, których obecność decyduje o zróżnicowaniu wielkości zrzutów wzdłuż dyslokacji o przebiegu W—E.

W obszarze objętym wierceniami spąg soli występuje na głębokości od 630 m na południowym-zachodzie do około 1350 m w części północno-wschodniej.

Układ uskoków w spągu soli kamiennej nie odbiega od obrazu przedstawionego dla anhydrytów. Istotne różnice obserwuje się natomiast w odniesieniu do kierunków i wielkości upadu obu kompleksów skal-

nych. Na mapie warstwicznej ujawnia się zarówno zapadanie spągu soli pod kątem powyżej 5°, jak i zaleganie zupełnie płaskie (fig. 18). W związku z tym różnica w głębokości powierzchni spągu soli w przekroju po upadzie, w sąsiadujących ze sobą otworach wiertniczych może wahać się od 27 m do 172 m. Bardziej strome pochylenie tej powierzchni jest charakterystyczne dla obszaru przylegającego bezpośrednio po stronie północnej do dyslokacji o orientacji W—E. Rozciągłość dolnej powierzchni pokładu soli wykazuje znaczne odchylenia od ogólnego kierunku NW—SE i w skrajnych przypadkach zmienia się od W—E, poprzez NW—SE do NE—SW. Zmiany wartości upadu i kierunku rozciągłości stanowią efekt oddziaływania nie tylko czynników tektonicznych, lecz także zróżnicowania miąższości anhydrytów podścielających sól. Zgodnemu z kierunkiem upadu zmniejszaniu się miąższości anhydrytów towarzyszy bardziej strome zapadanie spągu pokładu soli. Sytuacja taka ma miejsce na północ od Gaworzyc oraz w okolicach Kurowic (fig. 18).

Natomiast zgodne z upadem zwiększanie się miąższości anhydrytów A_{1u} wywołuje bardziej płaskie zaleganie spągu soli. Przykładem tego są rejony Żukowic, Bukowicy i Jerzmanowej. Wspomniana zależność szczególnie wyraźnie i na znacznej powierzchni ujawnia się w północnej części obszaru występowania soli. Pozostaje to w związku z systematycznym wzrostem miąższości anhydrytów A_{1u} w kierunku N i NE do ponad 100 m. Zmiany we wzajemnym ustawieniu kierunków upadu i kierunków największego zróżnicowania miąższości anhydrytów modyfikują wpływy czynnika tektonicznego i morfologii zbiornika sedymentacji.

W stosunku do ukształtowania powierzchni strukturalnych spągu soli kamiennej i anhydrytów A_{1u} charakter stropowej powierzchni soli wykazuje istotne różnice. Przede wszystkim jest ona w znacznie mniejszym stopniu deformowana przez uskoki, w związku z wygasaniem części z nich w obrębie pokładu soli (fig. 19, 20). Pozostaje to w ścisłym związku z plastycznymi własnościami tych utworów, które nie sprzyjają przenoszeniu naprężeń, na co wskazują przeprowadzone badania wytrzymałościowe. Wygasaniu w pionie ulegały przede wszystkim dyslokacje o mniejszych zrzutach, zwłaszcza na obszarze reprezentującym znaczne miąższości soli — przekraczające 100 m. Możliwość przecięcia przez uskoki całego pokładu utworów salinarnych pozostaje więc, w dużym przybliżeniu, w prostej zależności do amplitudy uskoku, a w odwrotnej do miąższości soli. Strop soli występuje na głębokości od 630 m przy południowo-zachodniej granicy zasięgu soli do około 1150 m w północno-wschodniej części badanego obszaru.

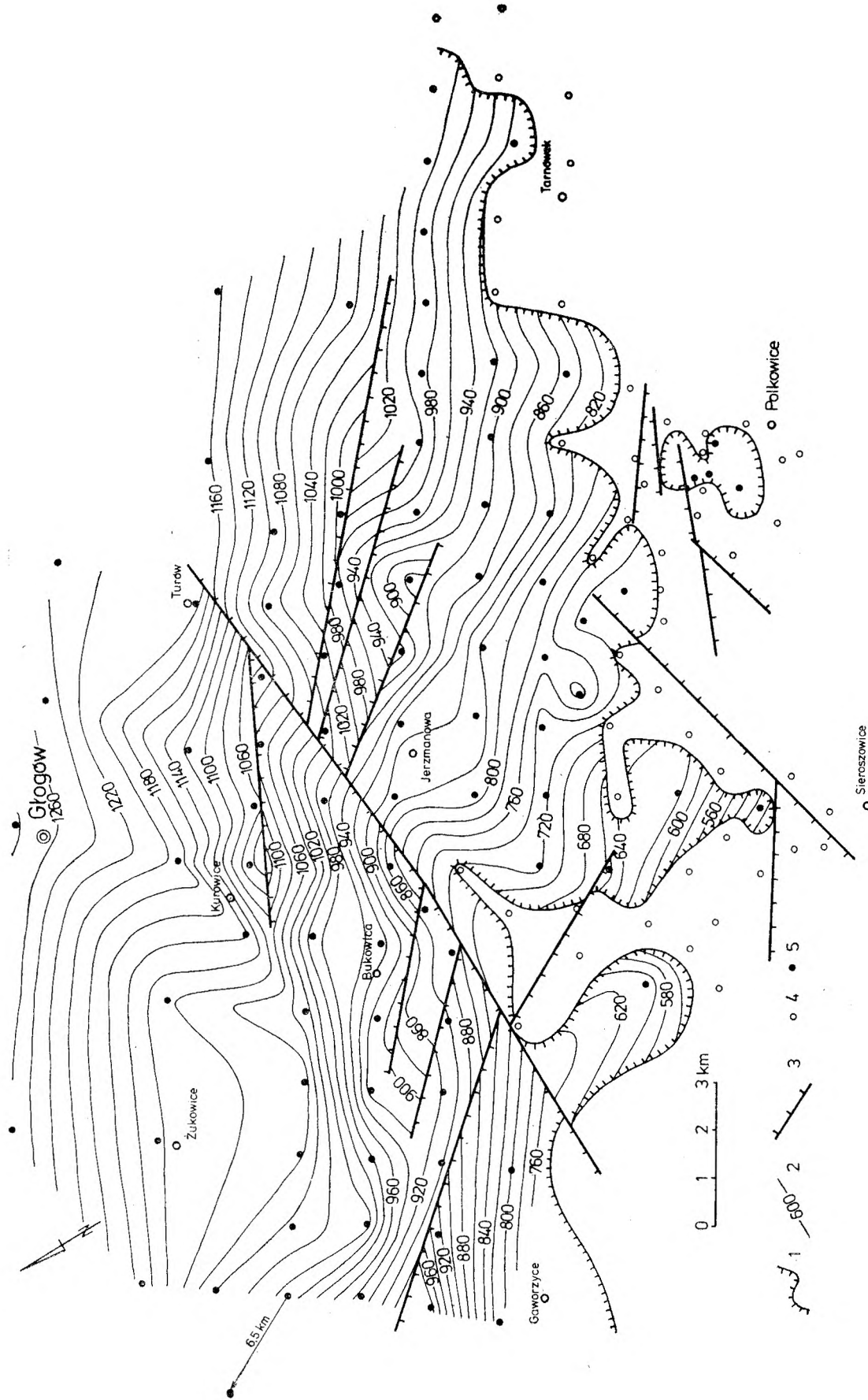


Fig. 18

Mapa izolinii spągu soli kamiennej Nał

1 — granica zasięgu soli kamiennej; 2 — izolinie spągu soli; 3 — uskoki w poziomie spągu soli; 4 — otwory wiertnicze zlokalizowane poza zasięgiem soli; 5 — otwory wiertnicze w obszarze występowania soli

Isoline map of the Nał rock-salt basal surface

1 — rock-salt lateral extent; 2 — isolines of salt base; 3 — faults in salt basal portion; 4 — boreholes localized beyond salt extent; 5 — boreholes localized in salt-bearing area

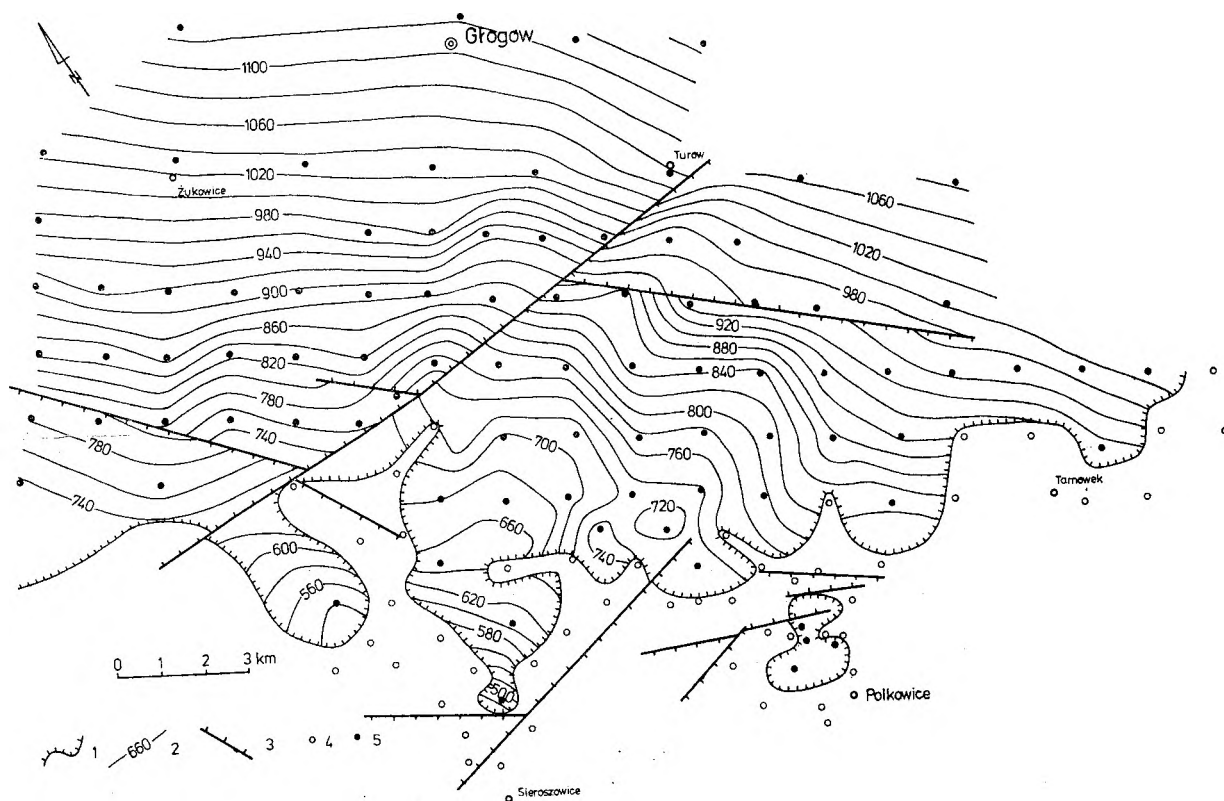


Fig. 19

Mapa izolinii stropu soli kamienniej NaCl

1 — granica zasięgu soli kamienniej; 2 — izolinie stropu soli; 3 — uskoki w poziomie stropu soli; 4 — otwory wiertnicze zlokalizowane poza zasięgiem soli; 5 — otwory wiertnicze w obszarze występowania soli

Isoline map of the NaCl rock-salt top

1 — rock-salt lateral extent; 2 — isolines of salt top; 3 — faults at salt top; 4 — boreholes localized beyond salt extent; 5 — boreholes localized in salt-bearing area

Z układu izolinii powierzchni stropowej wynika, że zapadanie jej jest znacznie bardziej regularne aniżeli w przypadku spągu pokładu. Upady mieszczą się głównie w granicach od 2 do 4°. Dużo mniejsze zróżnicowanie wykazuje także rozciągłość, która na przeważającej powierzchni reprezentuje kierunek NW—SE. Związane jest to z wyrównaniem przez sól reniwelacji wytworzonych przez wahania miąższości dnhydrytów. Morfologia stropu soli ukształtowana aostała więc przede wszystkim przez tektonikę i poza zóźnicą wynikającą ze stopnia zdyslokowania jest ona zbliżona bardziej do ukształtowania powierzchni kontaktu anhydrytów ze skałami węglanowymi Ca1.

Przemieszczenia związane z uskokami naruszającymi ciągłość pokładu soli kamienniej wywołały daleko idące zmiany w rozkładzie miąższości soli. Dotyczy to przede wszystkim dyslokacji, które przemieszczają jedynie spąg pokładu. Do reguły należy przyrost miąższości soli w zrzuconych skrzydłach uskoków (fig. 20). Jest on na ogół niewielki w brzeźnej strefie występowania soli, natomiast w obszarze głębszego zalegania soli może być bardzo znaczny. Przykładem tego jest uskok przebiegający

na północny-wschód od Jerzmanowej (fig. 7), gdzie miąższość soli w skrzydle wiszącym wynosi 85 m, natomiast w skrzydle zrzuconym 170 m.

Wtórne zmiany miąższości soli pod wpływem tektoniki związane są z ruchem bloków podłoża; równoczesne wynoszenie jednych i obniżanie drugich bloków wywołało lokalne zróżnicowanie się stanu nacisków wywieranych na osady salinarne. Bloki dźwigające się ku górze podlegały zwiększonej kompresji, która sprzyjała przemieszczaniu się uplastycznionych mas solnych w kierunku zmniejszonych ciśnień, a więc przede wszystkim w strefy obniżania się podłoża. Mechanizm tego typu deformacji na Niżu Polskim ma charakter powszechny i omawiany był w licznych publikacjach, między innymi przez Calikowskiego *et al.* (1971) Marka i Znoskę (1972), Podemskiego (1973) i Sokołowskiego (1967). W przypadku obszaru monokliny przedsudeckiej stosunkowo regularna i gęsta sieć otworów wiertniczych pozwala na nieco bliższe ujęcie ilościowe wtórnego kształtowania miąższości utworów salinarnych.

Przemieszczenie się soli sprzyjało zarazem ograniczeniu zasięgu szeregu uskoków w pionie i dysloko-

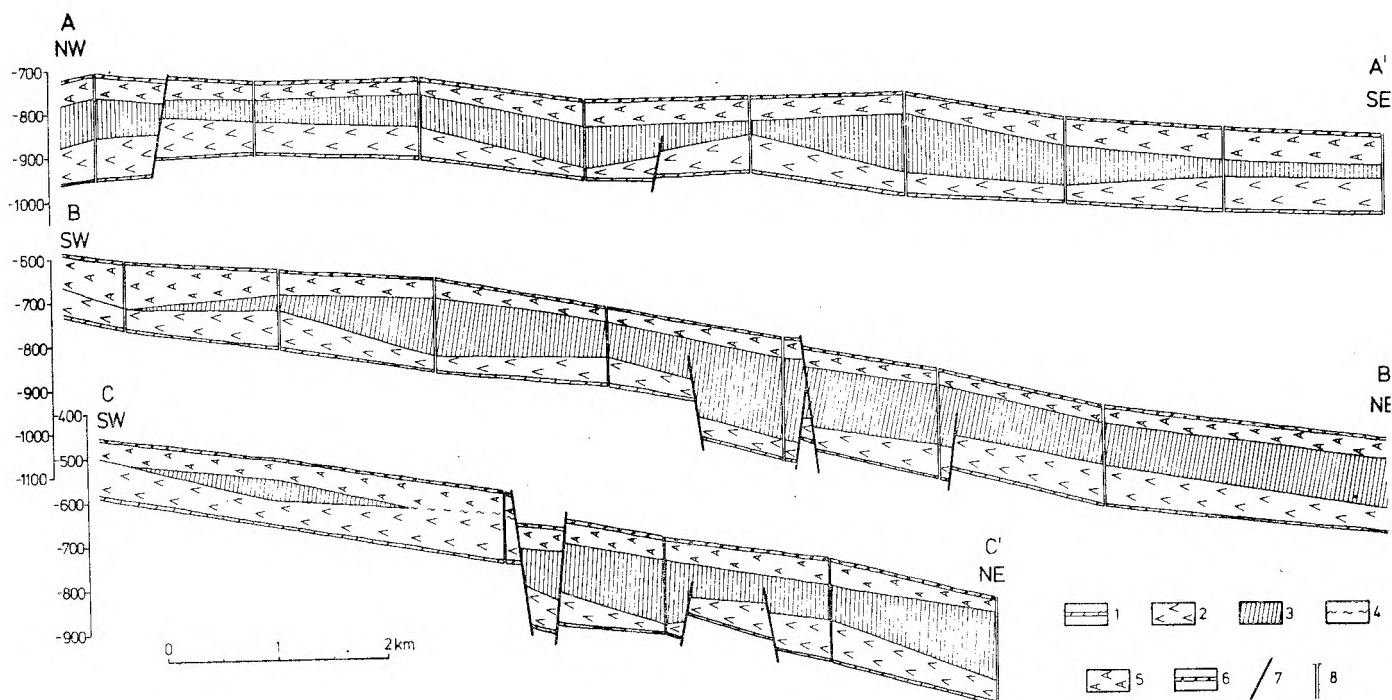


Fig. 20

Przekroje geologiczne przez obszar występowania soli kamiennej Na1

1 – wapień i dolomity Ca1; 2 – anhydryty dolne A1_u; 3 – sól kamienna Na1; 4 – il solny; 5 – anhydryty górne A1_o; 6 – dolomit główny; 7 – uskoki; 8 – otwory wiertnicze

Geological cross-sections through area of the Na1 salt occurrence

1 – the Ca1 limestones and dolomites; 2 – the A1_u ("lower") anhydrites; 3 – the Na1 rock salt; 4 – salt clay; 5 – the A1_o ("upper") anhydrites; 6 – the "main" dolomite; 7 – faults; 8 – boreholes

waniu przez nie warstw nadległych. Wygasanie uskoku w obrębie utworów plastycznych położonych pomiędzy dwoma sztywnymi ośrodkami skalnymi jest zjawiskiem bardzo charakterystycznym nie tylko dla soli. Analogiczne deformacje, aczkolwiek w bez prównania mniejszej skali, obserwowano w złożu rud miedzi. Drobne uskoki o amplitudzie kilku centymetrów w stropie piaskowców białego spągowca wygasają w obrębie plastycznych łupków smolistych i nie naruszają ciągłości występujących bezpośrednio nad nimi warstw miedzionośnych łupków dolomitowych (Salski 1975, p. 131, fig. 60).

Mimo że stropowa powierzchnia soli deformowana jest przez większe dyslokacje w znacznie mniejszym stopniu aniżeli spąg soli należy przypuszczać, że przy kontakcie z anhydrytami A1_o mógł się wytworzyć szereg drobnych uskoku o kilkumetrowych zrzutach i ograniczonym zasięgu zarówno poziomym, jak i pionowym. Źródłem tych zaburzeń byłyby przede wszystkim naciski wywierane na skały bezpośredniego nadkładu przez nabrzmienia komprimowanej soli. Amplituda tych uskoku jest zbyt mała, by można je było identyfikować na podstawie istniejącej sieci wierceń. O występowaniu ich można wnosić na podstawie szczelin zaobserwowanych w rdzeniu, w spągowych warstwach anhydrytów A1_o oraz

licznych brekcji anhydrytowo-solnych. Przypuszczenie o istnieniu drobnych uskoku w stropie pokładu soli przy kontakcie z anhydrytami zdaje się potwierdzać fakt anomalnych, zredukowanych miąższości wyższych cyklotemów cechsztynu lub całkowity ich brak. Zjawisko takie stwierdzone zostało przez M. Preidl (informacja osobista) w kilku otworach wiertniczych położonych w obszarze występowania soli. Niepełne wykształcenie profilów górnych ogniów cechsztynu w omawianym obszarze może być uzasadnione zarówno oddziaływaniem tektoniki, jak i zróżnicowaniem warunków sedymentacji. W niektórych przypadkach sytuacje takie mają miejsce w bezpośrednim sąsiedztwie dyslokacji przecinających zarówno strop i spąg soli, a także w strefach, w których nie stwierdzono uskoku w podłożu soli.

W południowo-zachodniej części monokliny przedsudeckiej, dzięki rozwiniętemu tutaj górnictwu rud miedzi, stwierdzono w poziomie złoża liczne uskoki typu przesuwczego (Salski 1975). Charakteryzują się one dużym zróżnicowaniem kierunków, jednak najczęściej reprezentowana jest orientacja NNE–SSW lub NE–SW. Powszechność występowania tego typu przemieszczeń w dolnej części utworów cechsztynu sugeruje, że miały one również miejsce w poziomie soli. Można przypuszczać, że odgrywały one istotną

rolę w kształtowaniu wewnętrznej budowy pokładu solnego. Rozpoznanie geologiczne oparte wyłącznie na materiale uzyskanym z otworów wiertniczych nie pozwala aktualnie na rozstrzygnięcie tej kwestii, natomiast będzie to możliwe w przyszłości podczas prowadzenia na tym terenie wyrobisk górniczych.

ZJAWISKA STRUKTURALNE W OBRĘBIE POKŁADU SOLI

W trakcie profilowania rdzeni wiertniczych ujawniono szereg drobnych struktur tektonicznych, które stanowią dodatkowe źródło informacji na temat mechanizmu deformowania się soli. Przede wszystkim stwierdzono, że upad powierzchni kontaktu soli z anhydrytami nierzadko odbiega znacznie od wartości wyrażonych na mapach warstwicznych i w skrajnych przypadkach osiąga 30° (pl. II, 1). Brak w takich sytuacjach bezpośredniego związku przestrzennego z liniami dyslokacyjnymi sugeruje, że wywołane jest to obecnością brachysynklin i brachyantyklin. Oznacza to, że ukształtowanie stropu i spągu pokładu soli jest bardziej urozmaicone, aniżeli wynika to z geometrycznej interpretacji danych z otworów wiertniczych. Podobne zjawisko w południowo-zachodniej części monokliny przedsudeckiej obserwowano także w utworach pstrego piaskowca (Salski 1975).

W spągowej warstwie anhydrytów A1₀ zaobserwowano szczeliny wypełnione solą, najczęściej grubokrystaliczną, przezroczystą lub mleczną (pl. VI, 5). Grubość żył soli waha się od 2 mm do 6 cm, przy czym wygasają one ku górze, na ogół na odcinku kilkunastu centymetrów. Tego typu formy spotyka się również w obrębie wkładek anhydrytu w soli (pl. VII, 5). Żyły zapadają przeważnie stromo w granicach od 60 do 90°. W przypadku osiągnięcia przez nie większej szerokości w soli nierzadko tkwią ostrokrawędziste, nieregularnie rozmieszczone okruchy anhydrytu o wymiarach dłuższych osi od 3 mm do kilku centymetrów. W miejscach, gdzie reprezentowane są one szczególnie licznie całość osadu przyjmuje postać brekcji, w której rolę spoiwa spełnia sól. Powstanie żył soli stanowi łączny efekt kruchej deformacji stosunkowo sztywnych anhydrytów oraz wypełnienia szczelin przez uplastycznione pod wpływem ciśnienia osady salinarne. Należy sądzić, że tego typu zjawiska mogły rozwijać się na większą skalę aniżeli zostało to dotychczas zarejestrowane.

W profilach niektórych otworów wiertniczych wśród utworów solnych licznie reprezentowane są okruchy i odłamki anhydrytu. Wykazują one zróżnicowaną wielkość, a także zmienia się ilościowy udział

anhydrytów — od pojedynczych kawałków do koncentracji tworzących brekcję solno-anhydrytową. Rozmieszczenie okruchów anhydrytu jest przeważnie bezładne, jednak w niektórych przypadkach wykazuje cechy tekstury kierunkowej. Większe kawałki anhydrytu są często spękane i zawierają drobne szczeliny wypełnione solą. Obok form ostrokrawędzistych spotyka się również porwaki o kształtach zaokrąglonych najprawdopodobniej w wyniku tarcia w czasie transportu tektonicznego. Świadczy o tym obecność na niektórych powierzchniach rys ślizgowych. Okruchy anhydrytu i brekcje występują zwykle w stropie pokładu soli, przy czym pionowy ich zasięg wynosi niekiedy kilkanaście metrów poniżej stropu. Anhydryt tworzący porwaki często wykazuje cechy skały wtórnie zmienionej; jest słabo zwięzły, przy kontakcie z solą silnie porowaty i odbarwiony.

Pochodzenie okruchów anhydrytu w soli jest najprawdopodobniej zróżnicowane. Większe kawałki reprezentują niewątpliwie porwaki przemieszczane w wyniku ruchów tektonicznych. Tego typu genezę należy przede wszystkim przypisać utworom o charakterze brekcji, zwłaszcza jeżeli ewidentny jest ich związek przestrzenny z kontaktem sól—anhydryt lub z obecnością anhydrytu w soli. Bardziej problematyczne jest pochodzenie drobnych skupień anhydrytu o wymiarach od 1 do 3 mm. Część z nich może stanowić materiał rozdrobniony w wyniku dłuższego transportu tektonicznego, inne natomiast należy wiązać przede wszystkim z procesami sedymentacyjnymi. Odnosi się to szczególnie do gruzelkowych form anhydrytu ułożonych pasmowo, zgodnie z teksturą soli.

W obrębie soli o wyraźnej teksturze kierunkowej, zaznaczonej zmianą barwy oraz laminami lub warstewkami anhydrytu, obserwuje się drobne sfałdowania. Amplituda synklin i antyklin na ogół waha się od 3 do 6 cm. Mają one zróżnicowane kształty — od symetrycznych do obalonych, o zmiennym stosunku amplitudy do długości fali i przegubach zarówno zaokrąglonych, jak i ostro łamanych (pl. IV, 5, 6; pl. V, 1—3). Skomplikowana morfologia tych form w przecięciu z boczną powierzchnią rdzenia stwarza niekiedy urozmaicone wzory. Stopień zaburzenia tektonicznego w warstwach występujących bezpośrednio nad sobą w odstępach kilku centymetrów często znacznie się różni, a w skrajnych przypadkach sąsiadują ze sobą warstewkami, z których jedna uległa sfałdowaniu, a druga zalega płasko. Wskazywałoby to, że zaangażowanie poszczególnych horyzontów soli w procesach plastycznego deformowania jest silnie zróżnicowane. W badanym obszarze najbardziej typowe formy sfałdowania soli zaobserwowano w otworze S—480.

W obrębie soli spotyka się również powierzchnie z rysami ślizgowymi. Są one wyrazem powszechnie spotykanych w seriach skalnych monokliny przedsudeckiej przemieszczeń poziomych. Ze względu na to, że materiał obserwacyjny opiera się wyłącznie na wynikach wierceń brak jest na razie możliwości określenia kierunku tych ruchów. Naciski tektoniczne wywierane na sól uzewnętrzniły się także w morfologii i ułożeniu kryształów soli. Wyraża się to małą spójnością soli, wrzecionowatym pokrojem ziarn oraz ustawieniem dłuższych ich osi w odniesieniu do poziomu pod kątem wynoszącym od kilku do 30°. Należy przypuszczać, że wpływ czynników tektonicznych warunkuje także różne pochylenie płaszczyzn łupliwości w soli kryształowej. Zmienia się ono nie tylko w przypadku określonych rejonów, ale również w profilach poszczególnych otworów wiertniczych.

Interpretacja wyników wierceń w obszarze występowania soli ujawniła dużą różnorodność form tektonicznych zarówno w odniesieniu do skali tych zjawisk, jak i mechanizmu ich powstawania. Mimo, że rozpatrywana część monokliny, zgodnie z podziałem Tokarskiego (1963), reprezentuje najprostszy typ tektoniki cechsztynu salinarnego w Polsce, to jednak

w szczegółach budowa pokładu soli wykazuje szereg komplikacji. Wyrazem tego jest współdziałanie zarówno dyslokacji, jak i deformacji ciągłych w kształtowaniu formy złoża soli, występujące lokalnie anomalne wartości upadu, gruntowna zmiana pierwotnych sedymentacyjnych rozkładów miąższości soli oraz urozmaicony inwentarz deformacji mezotektonicznych. Na podkreślenie zasługuje fakt, że intensywność występowania drobnych form strukturalnych w profilach otworów wiertniczych jest silnie zróżnicowana — od licznie reprezentowanych do całkowitego ich braku. Fakt, że nie wykazują one na ogół bezpośredniego związku przestrzennego z dyslokacjami sugeruje, że są przejawem lokalnego uzewnętrzniania się ogólnych nacisków związanych z ruchem bloków podłoża. Znaczne miąższości utworów salinarnych oraz ich własności mechaniczne odbiegające w istotny sposób od skał otaczających uwarunkowały powstanie tektoniki o charakterze piętrowym. Tektonika utworów podścielających sól, jak i warstw nadległych jest różna, mimo że cały kompleks permsko-mezozoiczny kształtowany był w głównej mierze przez te same fazy tektoniczne, czyli fazę kimeryjską i laramijską.

ZARYS WARUNKÓW FORMOWANIA POKŁADU SOLNEGO

Ujawnienie niektórych cech przestrzennej budowy pokładu soli i utworów otaczających, jak również charakteru litologiczno-petrograficznego osadów salinarnych, stwarza przesłanki do wnioskowania na temat warunków sedymentacji oraz późniejszych przemian w obrębie złoża soli. Powstanie soli kamiennej w okolicach Głogowa i Polkowic wiąże się z południowo-zachodnim zasięgiem rozległego środkowoeuropejskiego basenu ewaporacyjnego. Jej rozprzestrzenienie w kierunku bloku przedsudeckiego jest znacznie mniejsze aniżeli facji siarczanowej i to zarówno w przypadku utworów podścielających sól, jak i występujących nad nią. Zdaniem niektórych autorów (Kłapciński 1971, Sokołowski 1967) transgresja cechsztyńska objęła również część bloku przedsudeckiego, jednak utwory węglanowe i siarczanowe w wyniku późniejszej erozji nie zachowały się. Brak na omawianym terenie pokładów soli wyższych cyklotemów, mimo dużej miąższości soli najstarszej, wskazuje na stopniowe ograniczanie zasięgu facji chlorkowej młodszych poziomów ku południowemu-zachodowi. Jest to zjawisko typowe również w północno-zachodniej części monokliny.

Analiza miąższości soli kamiennej i anhydrytów Al_u (fig. 5, 6, 21) wskazuje, że rozkład tego parametru nosi wyraźne cechy kierunkowości. Ponadto przy znacznym zróżnicowaniu miąższości obu poziomów

litologicznych istnieje w przybliżeniu odwrotna zależność pomiędzy ich grubościami.

Powyższe stwierdzenia wskazują na stosunkowo znaczne urozmaicenie morfologii dna zbiornika sedymentacyjnego. Przyjmuje się powszechnie, że najbardziej intensywne osadzanie się anhydrytu miało miejsce na stokach elewacji i depresji dna (Richter-Bernburg 1955), sól natomiast największe miąższości osiągała w zagłębieniach. Znaczne wahania miąższości soli w rejonie Polkowic i Głogowa dowodzą zatem występowania w obrębie rozpatrywanego zbiornika sedymentacyjnego licznych depresji i elewacji. Aczkolwiek zbiornik ten reprezentuje w stosunku do ogólnego rozprzestrzenienia facji siarczanowej i chlorkowej na monoklinie niewielki wycinek powierzchni, to występujące w nim zróżnicowanie morfologiczne pozwala przypuszczać, że jest to zjawisko typowe dla całości basenu sedymentacji chemicznej w cyklotemie Zl .

Strefowy rozkład miąższości anhydrytów Al_u i soli NaI wyznacza dwa główne kierunki: W—E i NW—SE. Są one zarazem zbieżne z orientacją zasadniczych linii tektonicznych na tym terenie. Kierunek równoleżnikowy uzewnętrznia się szczególnie wyraźnie w rozkładzie miąższości anhydrytów Al_u .

Wspomniane zależności w sposób wyraźny uwiadaczają się na mapie strukturalnej obszaru występo-

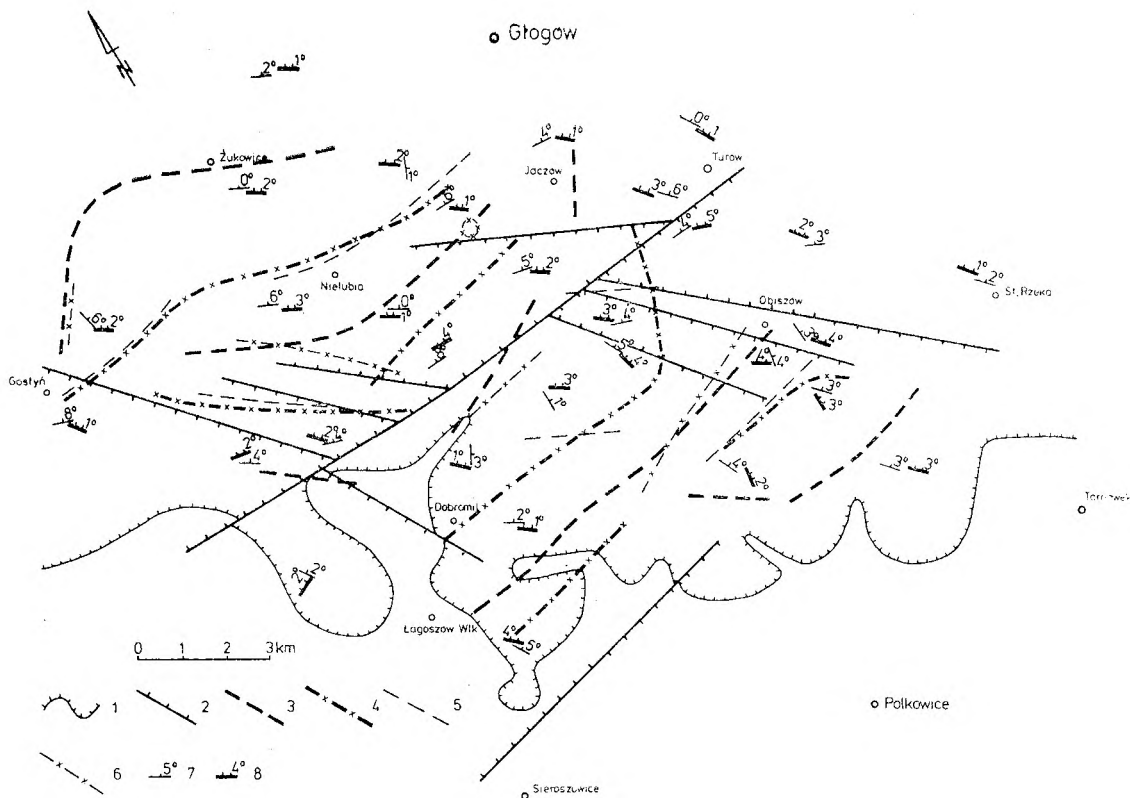


Fig. 21

Mapa strukturalna obszaru występowania soli kamiennej Na1

1 – granica zasięgu soli kamiennej; 2 – uskoki w poziomie spągu soli kamiennej; 3 – strefy podwyższonych miąższości anhydrytów A_{1u} ; 4 – strefy obniżonych miąższości anhydrytów A_{1u} ; 5 – strefy podwyższonych miąższości soli kamiennej Na1; 6 – strefy obniżonych miąższości soli kamiennej Na1; 7 – bieg i upad spągu soli z podaną wartością upadu w stopniach; 8 – bieg i upad stropu soli z podaną wartością upadu w stopniach

Structural map of area of the Na1 salt occurrence

1 – lateral extent of rock salt; 2 – faults in salt basal portion; 3 – zones of high thickness of the A_{1u} anhydrites; 4 – zones of low thickness of the A_{1u} anhydrites; 5 – zones of high thickness of the Na1 rock salt; 6 – zones of low thickness of the Na1 rock salt; 7 – strike and dip of salt base (dip values in degrees); 8 – strike and dip of salt top (dip values in degrees)

wania soli (fig. 21). Obniżone i podwyższone miąższości soli Na1 i anhydrytów A_{1u} tworzą szereg następujących po sobie stref w odstępach od kilkuset metrów do 3 km. Zarysowuje się przy tym zarówno zgodność przebiegu największych miąższości soli i najmniejszych miąższości anhydrytów lub odwrotnie, jak i zupełnie niezależne rozmieszczenie tych stref dla obu poziomów litologicznych. Zbieżność kierunków w rozkładzie izopachyt osadów Na1 i A_{1u} oraz dyslokacji wskazuje, że ruchy podłoża kształtujące w okresie sedymentacji morfologię dna zbiornika, a w okresie późniejszym naruszające ciągłość warstw cechsztynu, dokonywały się w myśl analogicznego planu tektonicznego.

Przedstawiony obraz ukształtowania morfologii dna zbiornika odbiega w znacznym stopniu od niektórych poglądów prezentowanych dotychczas w literaturze. Dotyczy to przede wszystkim stref reprezentujących stabilne miąższości wzdłuż kierunku W–E. Potwierdza się jedynie obecność depresji i elewacji

o przebiegu NW–SE. W okolicach Nowej Soli, obok tego kierunku, Podemski (1973) wyróżnia także, jako podrzędny kierunek NE–SW.

Kłapciński (1964a) omawiając paleogeografię utworów cechsztynu monocliny przedsudeckiej wydziela w skali regionalnej kilka elewacji i depresji o orientacji NW–SE oraz N–S. W bezpośrednim sąsiedztwie charakteryzowanego obszaru, po stronie wschodniej, zdaniem Kłapcińskiego (1964a), przebiega południkowo elewacja lubińska. Analogiczną orientację wykazują elewacja Różanówki i depresja rawicka. Należy sądzić, że kierunek reprezentowany przez wymienione formy morfologiczne powinien również znaleźć swoje odbicie w rozkładzie miąższości osadów ewaporacyjnych w mezoskali, na mniejszym obszarze. Wyniki wierceń w okolicach Polkowic i Głogowa nie tylko nie potwierdzają takiego związku, a wręcz przeciwnie – kierunek N–S wyznacza maksymalne zróżnicowanie miąższości anhydrytów A_{1u} i soli kamiennej Na1. Ujawniony na mapach rozkład

izopachyt zgodny jest natomiast z poglądami Sokółskiego (1967) na temat równoleżnikowego rozkładu facji i miąższości utworów permu.

Osady chemiczne cyklotemu Z1 wykazują cechy świadczące o dużej ruchliwości dna zbiornika sedymentacyjnego. Wyrazem jego pogłębiania są duże miąższości soli, natomiast obecność brekcji w obrębie anhydrytów (Kłapciński 1971) wskazuje na okresowe dźwiganie się podłoża. Intensywność tych ruchów, jak i głębokość poszczególnych części zbiornika były zróżnicowane, czego dowodem są duże wahania pierwotnej miąższości soli. Sedymentacja osadów salinarnych zniwelowała w znacznym stopniu nierówności dna, w związku z czym miąższość anhydrytów $A1_0$ jest bardziej stała i nie wykazuje zmienności kierunkowej. Niewątpliwie sprzyjał temu zarazem okresowy wzrost stabilności podłoża permskiego.

Profile utworów salinarnych w okolicach Polkowic i Głogowa z punktu widzenia cech litologicznych mają dość zróżnicowany charakter. Przejawia się to w zmiennym udziale obcych domieszek w soli oraz wkładek i lamin anhydrytu, w różnym stosunku ilościowym pomiędzy czystymi utworami salinarnymi a zanieczyszczonymi, w zróżnicowanej budowie petrograficznej, a także w urozmaiconym typie budowy stref kontaktowych soli z anhydrytami.

W większości przypadków anhydryty $A1_u$ graniczą w stropie z typowymi utworami salinarnymi, które w określonych profilach otworów wiertniczych odznaczają się stosunkowo jednolitym wykształceniem. W poszczególnych częściach omawianego obszaru są to przede wszystkim sole szare z laminami anhydrytu, a niekiedy przezroczyste lub mleczne sole grubokrystaliczne. Rzadziej przejście od anhydrytu do soli reprezentowane jest przez naprzemianległe warstewki osadów siarczanowych i chlorkowych. Przytoczone fakty wskazują, że warunki sedymentacji w profilu pionowym były znacznie zróżnicowane nawet na niewielkich odległościach. Powszechnie panuje pogląd, że obecność przewarstwień anhydrytu w spągu pokładu soli jest zjawiskiem typowym dla strefy przejściowej od utworów siarczanowych do chlorkowych. Zaznaczająca się w ten sposób rytmiczność sedymentacji jest zatem wyrazem wzrastającego stopniowo stężenia soli w zbiorniku. Wykształcenie pakietu soli zalegającego bezpośrednio anhydryty $A1_u$ dowodzi jednak, że w obszarze rozprzestrzenienia facji chlorkowej, w okolicach Głogowa zmiany stopnia zasolenia w basenie sedymentacyjnym dokonywały się przeważnie w sposób raptowny.

W szeregu otworów wiertniczych w profilu soli kamiennej zaznacza się charakterystyczne przeławienie anhydrytu. Odznacza się ono silnie zróżnicowaną miąższością, zmiennym położeniem w stosunku

do spągu soli oraz brakiem ciągłości w rozprzestrzeleniu poziomym. Przeławienie anhydrytu w dolnej części soli Podemski (1973) koreluje ze stropowymi partiami anhydrytu $A1_u$. Zgodnie z poglądami tego autora powyższa zależność dowodzi, że w okresie sedymentacji anhydrytu na lokalnych wyniesieniach, w zagłębieniach osadzała się sól kamienna. Ten brak synchronizacji sedymentacji w pełni uzasadnia urozmaiconą morfologię dna basenu. Przeławienie anhydrytu obserwuje się zarówno w brzeżnej strefie obszaru występowania soli, jak i w częściach bardziej wysuniętych na NE. Zarazem nie zauważa się jakiegokolwiek zależności pomiędzy miąższością anhydrytu i soli oraz jego usytuowaniem w profilu pionowym w odniesieniu do spągu osadów salinarnych. Jest to niewątpliwie efektem różnego tempa sedymentacji w poszczególnych częściach basenu, jak również zmiennego stopnia zasolenia. Obecność barier ograniczających poszczególne depresje w zbiorniku ewaporacyjnym powodowała, że woda z otwartego morza o znacznie mniejszym stężeniu soli nie była rozprzeczana w sposób równomierny w obszarze wytrącania się chlorków. Należy sądzić, że jest to podstawowa przyczyna braku ciągłości w rozprzestrzeleniu ławicy anhydrytu w obrębie soli.

W profilach niektórych otworów wiertniczych stosunkowo licznie reprezentowana jest sól szara. Barwa tego osadu, jak również zarejestrowana w szeregu przypadków woń H_2S dowodzą, że w obrębie zbiornika ewaporacyjnego istniały źle przewietrzane zagłębienia, w których panowały warunki zbliżone do redukcyjnych. Jest to równocześnie wyrazem znacznej izolacji określonych części basenu.

Znaczna część pokładu soli kamiennej, zwłaszcza w obszarach o dużych miąższościach, jest najprawdopodobniej pochodzenia wtórnego. Odnosi się to przede wszystkim do głębszych partii zbiornika, do których materiał dostarczany był z obszarów znacznie płytszych lub nawet wyniesionych. Za tego typu pochodzeniem przemawia między innymi przewaga struktur grubokrystalicznych, obecność licznych strzępków i porwaków anhydrytu, zidentyfikowanych jako anhydryty $A1$, domieszka materiału ilowego oraz znaczna miąższość soli w bezpośrednim sąsiedztwie stref o bardzo niskich miąższościach.

Na descendentny charakter górnej części soli zwraca uwagę Podemski (1972, 1973) na podstawie obserwacji przeprowadzonych w okolicach Nowej Soli. Wymienione procesy modyfikowały rozkład pierwotnej miąższości soli. Należy sądzić, że oddziaływały one również w istotny sposób na przebieg granicy zasięgu soli. Przy niewielkiej miąższości tych utworów w strefie brzeżnej, rozpuszczanie soli spowodowało zarówno zmniejszenie jej zasięgu na SW,

jak i zmiany w charakterze morfologicznym. Efektem tego procesu jest bardzo urozmaicony kształt tej granicy z obecnością licznych, głęboko wciętych zatok.

Wyrazem wtórnych zmian w złożu jest także występowanie w obrębie soli wielkokrystalicznej naprzemianległych warstewek soli młecznej i krysztalowej. Tego typu zmiany początkowo wiązane były z rocznym cyklem klimatycznym. Obecnie przyjmuje się, że przewarstwienia soli krysztalowej powstają w wyniku rekrystalizacji soli młecznej (Gradziński *at el.* 1976, p. 373). Mimo że zjawisko to jest odzwierciedleniem wahań warunków sedymentacji, nie należy go wiązać z sezonowymi zmianami klimatycznymi.

Dłsze przeobrażenia złoża soli związane są z ruchami tektonicznymi. Spowodowały one istotne zmiany w rozkładzie miąższości soli, jak również doprowadziły w wyniku ruchów dyferencyjnych do wewnętrznych przemieszczeń mas solnych w obrębie pokładu.

Efektom końcowym tych przemian jest dość

urozmaicona forma geometryczna złoża soli. Obok zakłóceń wywołanych obecnością uskoków wyrazem tego jest brak w wielu przypadkach równoległości w przebiegu stropu i spągu soli. Ujawnia się to zarówno w odniesieniu do wielkości kąta upadu, jak i kierunku rozciągłości (fig. 21). Badania tektoniczne przeprowadzone w obszarze miedzionośnym monokliny wskazują, że zasadniczą rolę odegrały ruchy związane z fazą kimeryjską i laramijską. Obok tych podstawowych i najsilniejszych impulsów tektonicznych niewątpliwym wpływem na kształtowanie geometrycznej formy pokładu soli wywierały również izostatyczne ruchy podłoża, które powszechnie zaznaczały się w okresie cechsztynu i mezozoiku.

Przemiany, jakie dokonały się w obrębie złoża soli i w najbliższym otoczeniu utrudniają z reguły dostatecznie dokładne odtworzenie jego pierwotnej budowy. Szczególną rolę odegrały przemieszczenia mas solnych wywołane ruchami tektonicznymi oraz wtórne przeobrażenia natury fizyczno-chemicznej.

LITERATURA

CALJKOWSKI J., MAREK S., ZNOSKO J., 1971: Rozważania o ewolucji i migracji bituminów na Niżu Polskim. On evolution and migration of bitumens in the Polish Lowland Area. *Kwart. geol.*, t. 15, nr 2.

CHARYSZ Wł., 1973: Cechsztyńskie piętro soli młodszych (Z3) w rejonie kłodawskim. Zechstein stage younger Salts (Z3) in Kujawy Region. *Pr. geol. Komis. Nauk Geol. PAN*, Oddz. w Krakowie, nr 75.

COATES D.F., PARSONS R.C., 1966: Experimental criteria for classification of Rock Substances. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, vol. 3.

CZARNOCKI J., 1951: Z zagadnień paleogeograficznych i złożowych cechsztynu w Polsce. Palaeogeographic and deposit problem of Zechstein in Poland. *Państw. Inst. Geol., Pr.*, t. 7.

DITTRICH E., 1962: Zur Gliederung der Werra-Serie (Zechstein 1) im Werra-Kaligebiet. *Ber. Geol. Ges.*, Bd 6, H. 2/3.

GRADZIŃSKI R., KOSTECKA A., RADOMSKI A., UNRUG R., 1976: Sedymentologia. Wyd. Geol., Warszawa.

HANCZKE T., 1969: Mineralogia i petrografia soli cechsztyńskich kopalni „Kłodawa”. Mineralogy and Petrography of the Zechstein Salt from the „Kłodawa” Mine. *Pr. Muzeum Ziemi, Prace petr. i geol.*, nr 16.

JERZYKIEWICZ T., KIJEWSKI P., MROCZKOWSKI J., TEISSEYRE A., 1976: Geneza osadów białego spągowca monokliny przedsudeckiej. Origin of the Weissliegende deposits in the Fore-Sudetic Monocline. *Geol. Sudetica*, vol. XI, nr 1.

KŁAPCIŃSKI J., 1964a: Paleogeografia cechsztynu monokliny przedsudeckiej. Palaeogeographical characteristics of the Zechstein of the Fore-Sudetic Monocline. *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, t. 34, z. 4.

— 1964b: Stratygrafia cechsztynu okolic Lubina, Sieroszowice i Wschowy. Stratigraphy of the Zechstein in the Areas of Lubin, Sieroszowice and Wschowa. *Ibid.*, t. 34, z. 1—2.

— 1971: Litologia, fauna, stratygrafia i paleogeografia permu monokliny przedsudeckiej. Litology, fauna, stratigraphy and palaeogeography of the Permian in the Fore-Sudetic Monocline. *Geol. Sudetica*, vol. V.

KŁAPCIŃSKI J., KORNAŚ J., 1967: Występowanie autigenicznego kwarcu w brekcji anhydrytów Werra na monoklinie przedsudeckiej. Occurrence of autigenic Quartz in the Werra anhydrite breccia within the Fore-Sudetic Monocline. *Kwart. geol.*, nr 2.

LOTZE F., 1938: Steinsalz und Kalisalzgeologie. Die wichtigsten Lagerstätten der „Nicht-Erze”, Bd. III, Teil 1.

MAREK S., ZNOSKO J., 1972: Historia rozwoju geologicznego Kujaw. History of Geological Development of the Kujawy Region. *Kwart. geol.*, t. 16, nr 2.

NACHSEL G., 1966: Quarze als Faziesindikator. *Zeitschr. f. ang. Geol.*, Bd. 12, H.6.

PFOOR H., 1973: IBG — Richtlinien zur Ermittlung von geomechanischen Kennziffern der Gesteine und des Gebirgsmassivus. Mitteilung, Erläuterung und Einschätzung der Richtlinien also Beitrag zur Rationalisierung geomechanischer Untersuchungen. *Freib. Forsch.*, A. 502.

POBORSKI J., 1960: Cechsztyńskie zagłębienie solne Europy środkowej na ziemiach Polski. Central-European Salt Basin in Poland. *Inst. Geol., Pr.*, t. 30, cz. II.

POBORSKI J., ZIELIŃSKI, 1959: Koncentracja helu w gazonośnych partiach złoża soli kamiennej na Kujawach. Concentration of Helium on the gas-bearing Salt deposits in the Kujawy Region (Central Poland). *Prz. geol.*, nr 9.

PODEMSKI M., 1965: Rozwój sedymentacji utworów cechsztynu w rejonie Lubin Legnicki—Sieroszowice. Development of sedimentation of the Zechstein deposits in the region Lubin Legnicki—Sieroszowice. *Kwart. geol.*, 8, nr 1.

— 1972: Cechsztyńskie sole kamienne i potasowe cyklotemu Z2 i Z3 w okolicach Nowej Soli. Zechstein Rock Salts and Potassium Salts of cyclotems Z2 and Z3 in the vicinity of Nowa Sól. *Inst. Geol. Biul.*, 260, t. 2.

— 1973: Sedymentacja cechsztyńska w zachodniej części monokliny przedsudeckiej na przykładzie okolic Nowej Soli. The Zechstein sedimentation in the Western Part of the Fore-Sudetic Monocline in the vicinity of Nowa Sól. *Inst. Geol. Pr.*, t. 71.

- PREIDL M., 1967: Budowa tektoniczna obszaru Lubina i Polkowic. Tectonic structure of the Lubin and Sieroszowice Area. *Prz. geol.*, nr 6.
- PROCHAZKA K., 1962: przyczynek do znajomości złoża solnego w Wapno. Contribution to the knowledge of Salt deposit in the Wapno. *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, t. 30, z. 4.
- RICHTER A., 1963: Die Nomenklatur der Salzgesteine. *Chemie der Erde*, Bd. 23, H. 2.
- RICHTER-BERNBURG G., 1955: Stratigraphische Gliederung des deutschen Zechstein. *Z. Deutsch. Geol. Ges.*, Bd. 105.
- 1960: Zeitmessung geologischer Vorjänge nach Warren—Korrelationen in Zechstein. *Geol. Rundsch.*, 49.
- SALSKI W., 1975: Tektonika okolic Lubina. Tectonics of the Lubin Area. *Inst. Geol. Biul.*, 287.
- SCHULTZE G., 1960: Stratigraphische und genetische Deutung der Bromverteilung in den mitteldeutschen Steinsalzlagerstätten des Zechsteins. *Freiberger Forschungsh.*, C83.
- SLOSS L.L., KRUMBEIN W.C., DAPPLES E.C., 1949: Integrated facies analysis. [in] C. R. Longwell, Chairman. Sedimentary facies in geologic history. *Geol. Soc. Am., Mem.* 39.
- SOKOŁOWSKI J., 1967: Charakterystyka geologiczna i strukturalna obszaru przedsudeckiego. Geology and structure of the Sudetic Foreland. *Geol. Sudetica*, vol. 3.
- TOKARSKI A., 1958: Poszukiawcze znaczenie wiercenia Mogilno I. *Nafta*, t. 14, nr 1.
- 1963: O rozmieszczeniu typów tektoniki polskiego cechsztynu salinarnego. The Distribution of Tectonic types of the Polish Salt Zechstein. *Inst. Geol., Pr.*, 30, cz. IV.
- TOMASZEWSKI J., 1962: Utwory solne cechsztynu monokliny przedsudeckiej w rejonie Lubin—Sieroszowice. Zechstein Salt deposits of Fore-Sudetic Monocline in the Lubin—Sieroszowice Region. *Prz. geol.*, nr.
- 1963: Tektonika brzeżnej części monokliny przedsudeckiej. The Tectonic structure of the marginal part of the Pre-Sudetic Monocline. *Rudy i Metale nieżel.*, nr 6.
- TOMASZEWSKI J.B., 1966: Charakterystyka litofacialna utworów cechsztynu w brzeżnej części monokliny wrocławskiej. Lithofacial characteristics of the Zechstein series in the marginal part of the Wrocław Monocline. *Z. geol. Ziem Zach.*
- ZWIERZYCKI J., 1947: Zagadnienia soli potasowych w Polsce. The problems of potassium Salts in Poland. *Prz. gór.*, nr 12.
- 1951: Sole potasowe na północ od Wrocławia. Калиевые соли севернее Вроцлава *Państw. Inst. Geol., Pr.*, t. 7.

ZECHSTEIN ROCK-SALT OF THE Z1 CYCLOTHEM IN THE SOUTH-WESTERN PART OF THE FORE-SUDETIC MONOCLINE

ABSTRACT: Zechstein anhydrites of the Z1 cyclothem contain, in the south-western Fore-Sudetic Monocline, a layer of the oldest rock salt being known in the region, the thickness of which reaches 200 m. The limits of the salt-layer geographical extent and the layer thickness distribution, both show W–E and (or) WNW–ESE directed lateral trends, i.e., similar to the structural trends revealed in the Monocline basement. Salt deposition took probably place in a basin with considerably variable bottom morphology, in which, besides the local depressions, some west-east trending barriers were present. The lowermost portion of the salt layer, which show regular anhydrite lamination, fine- and medium-crystalline textures and dusky colouration, is of primary origin. On the other hand, a considerable part of the remaining (middle and upper) portions of the layer is of secondary origin. The latter is suggested by the following features of the rock salt: abundance of coarse-

-crystalline textures (including crystal variety), presence of numerous detached anhydrite blocks and debris, considerable admixture of clayey material, and great variability of thickness. Strength experiments have revealed great contribution of plastic deformation to the salt deformation processes. The latter property displayed, perhaps, considerable influence on the form of salt tectonism and particularly on the character of salt-mass displacement, which both were brought about in a close connection with the displacement of the basement blocks and the related variability of strain-state present within the blocks. Main fault directions appear to be northwest-southeast and west-east. The Laramian and Kimerian tectonic phases played, probably, major role in the tectonic evolution of the Fore-Sudetic Monocline, including the structure of salt-bearing area considered here.

Summary

INTRODUCTION

The Zechstein sedimentary sequence is economically important, in the Fore-Sudetic Monocline, for the local presence of copper-ore deposits, oil, potash salt, and rock salt. In past decades, extensive geological investigations of the Zechstein rocks have made a significant contribution to the mineral-resource exploration and exploitation in the region. Among the main advantages is a system of closely spaced boreholes in 1.5×1.5 km grid, localized in the area between Polkowice and Głogów, which made possible more detailed recognition and investigation of the oldest Zechstein rock salt, Na 1, which

is known from the region. The earliest existing literature directly on the Zechstein salt deposits of the Fore-Sudetic Monocline is due to Lotze (1938) and, among Polish geologists, to Zwierzycki (1947, 1951). The more significant contributions, paleogeographic-stratigraphic and structural in character, include Czarnocki (1951), A. Tokarski (1958, 1963), Poborski (1960), Kłapciński (1964 a, b), J. Sokołowski (1967), and Podemski (1965, 1972, 1973). The geological note published by Tomaszewski (1962) is directly on the oldest, Na 1, rock salt considered in this study.

GEOLOGICAL SETTING OF ROCK-SALT OCCURRENCE

The study area reaches 170 km² and is localized north of Polkowice, south-western Fore-Sudetic Monocline (fig. 1). The present paper is concerned with the structural characteristics of the rock salt and its mineralogical and chemical composition, as well as with the salt physical-mechanical parameters, tectonics and conditions of formation of the salt layer considered.

Stratigraphically, the Zechstein sedimentary sequence of the Fore-Sudetic Monocline is usually divided, as in its type area (Richter-Bernburg 1955), into a number of standard cyclothems (fig. 2). The most completely developed is the lowermost, Z1, cyclothem which contains the oldest Zechstein rock salt (tab. 1). In this cyclothem, the rocks of chemical origin clearly predominate when compared with the clastic ones, the first

being comprised (fig. 3) of rock salt (0.3–87%), gypsum and anhydrite (20.7–86.4%), and carbonate rocks (1.5–21.2%). In many profiles the rock salt appears to be dominant constituent, as it is also illustrated by the quantitative relations shown in the map (fig. 4) which has been constructed on the basis of method proposed by Sloss *et al.* (1949).

The southern border of the rock-salt geographical extent is irregularly shaped and exhibits numerous elongated lobes (bays) which are, laterally, cut far off (fig. 5). Although the longer axes of these bays show varying orientation, the lateral limits of the salt layer extent trend generally WNW–ESE, i.e., in a direction being slant in relation to the Fore-Sudetic Block extent.

In the rock-salt thickness distribution an increase in thick-

* Zakłady Badawcze i Projektowe Miedzi „Cuprum”, pl. 1 Maja 1/2, 50–136 Wrocław.

ness is observed in the northern, northeastern and northwestern directions. In many cases rapid changes in the salt thickness have been found even between the adjacent borehole profiles, i.e., at a lateral distance of 1.5 km (tab. 2). The latter fact is observed both in the marginal and in the central part of the sedimentary basin discussed here, this being also known from some other saltbearing regions (Podemski 1973). In the study area, the salt thickness has been found to vary from 0.3 to 199.2 m. The respective isopach map (fig. 5) reveals, however, certain directions (or zones) in which the thickness remains relatively uniform and unchanged. A north-south direction, which predominates here, is usually coincident with the salt thickness trends as regards both high- and lowthickness zones. Another well-pronounced thickness trend is observed in a northwest-southeast geographical direction.

Some clear directional trends have also been found in the Zechstein "lower" anhydrites, $A1_u$, which directly underlie the rock salt discussed. In these anhydrites, a number of north-south trending zones of relatively high (about 80 m) and low (about 20 m) thickness have been recognized; these zones, although rather narrow (width 1–2 km), appear highly elongated (length up to 10 km). The anhydrites isopach map reveals also some additional, but less important, trends such as NW–SE and SSW–NNE. The west-east and northwest-southeast trending zones are observed, locally, to be superposed in relation to each other. In the latter case, although the total thickness of the anhydrites remains unchanged within such zones, the overall directional trend of the latter is no more constant, spatially.

The isopach maps (figs. 5 and 6) of the two lithologic horizons above (i.e., the Na 1 salt and the $A1_u$ anhydrites), when compared, show some general negative correlations as regards their thickness. That is, the maxima of the salt thickness usually correspond to the minima of the anhydrite thickness, and vice versa. The correlation coefficient value derived from these data, although negative ($r = -0.32$), appears to be non-significant statistically. Moreover, the coefficient of determination derived from the data shows that the salt thickness distribution is related to that of the underlying anhydrites at a level of 10% only. On the other hand, the "upper" anhydrites, $A1_o$, which overlie the salt layer exhibit rather uniform thickness distribution and attain 45 m. The latter anhydrites show no clear trends in their thickness distribution, as well as no significant correlation with the salt-layer thickness, this suggesting laterally uniform and rather stable depositional conditions within the basin during their formation.

Tectonics is thought to be an important and characteristic factor which probably largely determined the present structure of the rock series being discussed here. Salt tectonism is of particular interest and importance here because of its influence on the present distribution of the salt thickness (fig. 7). In tectonically disturbed zones the salt thickness map, based on geological sections, reveals some considerable differences when compared with that constructed on the basis of assumption that the thickness changes are spatially continuous in the area (fig. 5). First, a block system of the thickness changes is observed instead of its zonal distribution; second, the salt isopachs show perpendicular, or high-angle, slanting, orientation in relation to the fault lines; third, structural blocks which show twice higher salt thickness, in relation to each other, border along the faults at a distance of kilometres.

The Na 1 rock salt is highly variable as regards its mineralogical and chemical composition, crystallinity, colouration, and structure. From this reason, it is practically impossible to establish any kind of petrographically uniform horizons within the salt layer. In the present study, the crystallinity and structure

have been taken as a major basis for recognition of the rock-salt varieties. From the standpoint of crystallinity the following rock-salt varieties have been distinguished:

- fine crystalline salt (< 2 mm);
- medium crystalline salt (2–5 mm);
- coarse crystalline salt (5–10 mm);
- large crystalline (to crystal) salt (> 10 mm).

From the standpoint of rock structure the following salt types have been recognized in the layer:

- salt with anhydritic lamination;
- salt with anhydritic sloams;
- salt with anhydrite granules and (or) debris;
- massive salt;
- brittle salt.

In the layer studied, the salt type most frequently met is represented by a varicrystalline variety, i.e., rock salt comprised of the medium- and coarse-crystalline textural varieties with a subordinate admixture of the fine-crystalline one. In some of the profiles the large-crystalline salt appears to be dominant; it occurs as inserts and (or) sloams, the thickness of which varies from 0.1 to 1.5 m. In the salt layer, the petrographic relations most commonly observed are as follow: the medium-crystalline grey salt, abounding with anhydritic admixture (anhydrite laminae and (or) scattered crystals), predominates in the lower portion, while in the middle and upper portions a milk-white salt is most common, this being represented by varicrystalline variety or the alternating medium- and coarse-crystalline varieties. The individual salt crystals are irregularly shaped and often exhibit partly rounded corners and edges (pl. I, 2), while coarse crystals tend to occur in idiomorphic forms (pl. I, 3). Among the most common features of the rock salt is the white efflorescence which stresses the original salt crystallinity and makes it well pronounced (pl. I, 4, 5). Other characteristic feature is the presence of the sloams and lenses of crystal salt (pl. I, 1), the latter being an idiomorphic modification of the large crystalline salt variety. On account of its high clarity, idiomorphic character and considerable crystal size (5–8 cm), the crystal salt is thought to be many authors to be of secondary origin.

From the standpoint of the structural characteristics, the most typical salt variety is that with the anhydrite lamination (pl. II, 2; pl. III, 3; pl. IV, 1, 2, 4). It occurs, most often, in the basal portion of the salt layer. The thickness of anhydrite laminae varies from 1 mm, in a case of single lamina, to 2 cm in laminae sets (pl. III, 3). Horizontal, parallel lamination and cross-lamination can be distinguished here (pl. IV, 2); contact between the anhydrite laminae and the salt is usually sharp or, locally, uneven and poorly visible. In the middle and upper portions of the layer the anhydrite lamination is different in character (pl. IV, 5, 6; pl. V, 1–3), the single anhydrite laminae being scattered and usually strongly deformed and folded.

The next structural variety is represented by the salt containing anhydrite sloams, i.e., irregular and discontinuous anhydrite laminae or streaks which are 1–10 cm thick. The contact between the anhydrite sloam and the salt is sharp (pl. III, 1, 2, 4); in places, however, the interval between the adjacent sloams appears rich in fine scattered anhydritic material (pl. IV, 3). In many boreholes thick anhydritic interbeds have been found which show thickness of even more than 25 m. Their distribution, within the salt layer, is irregular and variable both vertically (tab. 5) and laterally.

The salt with anhydrite granules and (or) debris usually occurs in the middle and upper portions of the layer (fig. 8). The size of anhydrite particles varies from 3 mm to 15 cm. They exhibit subrounded, elliptic to angular shape (pl. VI, 1–3),

being disorderly scattered throughout the interval above. Their contact with the salt is highly irregular, strongly dissected and lattered. The anhydrite debris are, in places, fractured with the fissures being filled with salt (pl. VII, 1-4). In the latter case, the presence of detrital anhydrite suggests secondary origin of these salt occurrences (Dittrich 1962; Podemski 1973).

The massive salt occurs, in various portions of the layer, as thick (few metres) interbeds. These are dusky grey, with earthy shade, in colour and show medium- to fine-crystalline texture, close grain packing, and usually contain an admixture of scattered clay and (or) anhydritic substance. The rock often strongly smells of bitumens or H_2S .

The brittle salt has been found to occur as interbeds up to 20 m thick. These exhibit low intergrain consistence, the grains being flattened and elongated; the latter results in a directional rock-fabric feature. As regards its mineral composition, the salt is uniform and shows milky-white to grey colouration. The presence of pressed, oblate shaped, salt grains results in a sort of rock cleavage dipping 20-30°.

At the layer bottom, the contact between the rock salt and the underlying anhydrite is usually sharp, the surface being flat, horizontal or slightly inclined at a low angle (pl. II, 1-4). In places, a transitional zone is observed which is comprised of rhythmically interbedded salt and anhydrite. At the layer top,

however, the contact between the salt and the overlying anhydrite is more variable. Here, the anhydrite exhibits high porosity and caving (pl. V, 6), and a sort of clayey-anhydritic breccia is frequently met. Additionally, numerous irregular anhydritic sloats are found at the salt layer top (pl. V, 4, 5).

The mineral composition of the rock salt studied shows low variability and appears generally uniform throughout the layer. Halite is the major constituent and, as a considerable admixture, anhydrite also occurs. Far less abundant are: clayey substance, carbonate minerals (dolomite and, sporadically, calcite), iron oxides, polyhalite, and authigenic quartz (tab. 4).

As regards the chemical composition, the NaCl content widely ranges throughout the salt layer (fig. 10; tabs. 6, 7) and there are considerable intervals, in vertical profile of the layer, where the NaCl content exceeds even 98%. As an admixture, insoluble constituents, $CaSO_4$, and traces of KCl occur. The variability observed in the salt chemical composition is stated to be clearly related to the particular textural/structural rock varieties (tabs. 6, 7). The large- and coarse-crystalline salt varieties are characterized by purest chemical composition. The rock salt shows sometimes presence of natural gas (tab. 8) which is primarily composed of nitrogen, the other gas constituents being present in far lesser amounts.

MECHANICAL PROPERTIES OF ROCK SALT

Strength properties of the rock salt have been studied by the authors, with the use of an "Amsler 200" apparatus, in samples which were prepared according to the directives of the Rock-Mechanics International Bureau (Pfoor 1973). The following properties have been analysed in detail: compression strength (R_c), tensile strength (R_t), shearing strength (R_p), as well as elasticity constants (E , ν). The data obtained in this study, together with the results previously obtained by Przedsiębiorstwo Geologiczne, Cracow, show that the Zechstein rock-salt of the Fore-Sudetic Monocline is characterized by strength parameters typical for weak rocks (tab. 9). The process of compression results in continuous fracturing of the rock salt, while plastic deformation predominates among the strain effects. Certain relationships have also been found between the

salt structural/textural properties and its strength parameters; namely, highest strength is characteristic for the massive and coarse-crystalline salt varieties, while brittle salt is of the lowest strength.

During the analyses, the plastic properties of the rock salt have been found to be particularly well pronounced. This is shown by the $\delta - \epsilon$ system curve obtained from compression (fig. 13) and by the results of complex analyses of cyclically-loaded salt samples (figs. 11, 16). During these analyses, the plastic deformations have been revealed by the samples very early (fig. 14) and were observed to increase strongly with the increasing loading values (tab. 10; fig. 15); this was accompanied by a stabilization of elastic deformations.

TECTONICS

The region of the Na 1 salt occurrence is characterized by a northeast, low-angle (2-5°) monoclinical dip and a northwest-southeast general strike of the Permian and the Triassic rock sequences. The tectonical setting of the region has been considered here based both on the borehole data and the subsurface observations in the copper mines. The data suggest that the NW-SE and/or W-E directed faults predominate in the present structural framework of the Permo-Mesozoic rock complex.

The structure-contour map of the A1_u anhydrites (fig. 17) has been used here as a basis for interpretations of the salt-layer tectonics. These anhydrites, together with the underlying Ca 1 limestones and dolomites, represent relatively rigid rock-body which has been primarily subjected to tectonic deformations of discontinuous type. In the salt-bearing area, an east-west trending dislocation with lateral extent of about 15 km has been recognized. Particular segments of this dislocation exhibit, however, varying orientation and inconsistent rate of fault displacement; in its western portion the fault reveals amplitude

of 180 m, while this value decreases eastward to 20 m. Additionally, some 4 km to more than 8 km long faults directed north-west-southeast have been noted in the area. Their not displacement attains largest values, ranging from 20 to 80 m, in places where the faults are adjacent to those formerly mentioned, i.e., oriented east-west. The dislocations discussed above form, as a general effect observed in the region, a system of horsts and grabens.

In the southern part of the region, the basal surface of the anhydrites is characterized by a considerably reduced dip values (generally about 2°) and a northwest-southeast strike of the strata. North of the west-east trending dislocation, mentioned above, a gentle dip ranging from 2 to 4° and a WNW-EES strike predominate.

The salt-layer base is faulted, the deformation effects being similar to those observed in the A1_u anhydrites (fig. 18). Here, however, higher degree of variation is noted in the dip and strike of strata when compared with the orientation of structural surface of the anhydrites. The basal surface of the

salt layer shows dip ranging from 0 to 8° and an east-west strike which also varies, locally, from northwest-southeast to northeast-southwest (fig. 21). An increase observed in the dip of the layer basal surface is usually accompanied by a decrease in the thickness of underlying anhydrites.

The upper surface of the rock salt exhibits more regular spatial relations and distribution. The surface is only weakly faulted, this is mainly because most of the faults die-out within the salt layer itself (figs. 19, 20). This primarily regards the faults which show relatively small displacement and, in particular, the areas where the salt thickness exceeds 100 m. A markedly higher constancy is also observed in the extent and dip of the upper surface of the salt layer. Its dip ranges between 2 and 4°, while its strike generally corresponds to a northwest-southeast direction.

The faulting which disturbed the salt-layer continuity resulted also in a considerable change, in plan, in the salt thickness distribution. In particular, this regards that sort of faults which cut and dislocated only the basal portion of the layer. As a rule, an increase in the salt thickness is observed within the down-thrown limbs of the faults (figs. 7, 20). This is thought to represent an effect of significantly differential stress to which the salt layer has been subjected, i.e., within the uplifted blocks the layer was subjected to (relatively) stronger compression. Such a situation would appear favourable for plastic displacement of the salt mass in the direction of lesser pressure, i.e., toward the zones of basement sinking. This type of deforming mechanisms is widely known from the Polish Lowland region and has been recently considered by Sokołowski (1967), Calikowski *et al.* (1971), Marek and Znosko (1972), and Podemski (1973) among the others.

According to the statements above, it is supposed here that small-scale faults, with displacement of a few metres, might have originated due to the pressure exerted by the compressible salt on the overlying (A1₀) anhydrites. At present, however, this suggestion appears difficult to prove because the sort of (small) faults considered is impossible to identify on the basis of the present borehole network. On the other hand, the presence of such deformations is suggested by the abundance of anhydrite/salt breccia and the occurrence of salt-filled fissures (pl. VI, 2, 4, 5; pl. VII, 3–5). In the horizon of copper-bearing deposits, numerous strike-slip faults have

been found to occur in this part of the Fore-Sudetic Monocline, (Salski 1975); these faults most frequently represent a southwest-northeast orientation. The abundance of such dislocations in the lower Zechstein sequence seems to suggest that similar rock displacement has also occurred within the salt layer itself. It is thought, by the authors, that these strike-slip faults have probably played a considerable role in the tectonic evolution of the salt-layer internal structure.

A study of the core samples derived from numerous boreholes has shown presence of small-scale structures of tectonic origin; their analysis yields out some new evidence as regards the mechanism of salt deformations. The surface which separates the salt layer from the anhydrites dips, in places, at an angle of up to 30° (pl. II, 1). This suggests that the top-and-base morphology of the salt layer is considerably more variable, in the region, than it would be expected when based solely on the geometric interpretation of the borehole records.

The salt-layer top contains abundant detached blocks of anhydrites, as well as a sort of anhydrite/salt breccia. The variability of the block shape and size, the presence of striae on the block surfaces and the occurrence of salt-filled fissures, all they point into a considerable contribution of tectonic processes to the formation of these rocks.

In the rock salt which shows well-developed grain fabric many signs of small-scale folding are visible. The amplitude of these small synclines and anticlines ranges from 3 to 6 cm. These fold-forms are variable in shape, symmetrical to overturned, show oval to sharply broken ("kink") bends and a varying amplitude/wave length ratio (pl. IV, 5, 6; pl. V, 1–3). As regards their intensity, these continuous deformations are irregularly distributed within the salt layer, both laterally and vertically.

Some effects of tectonic stress can be seen in the salt-layer morphology and the salt-cryst orientation. The latter is particularly well pronounced in the salt composed of spindle-shaped grains; these grains exhibit obliquity in the orientation of their longer axes in relation to horizontal bedding planes (at an angle of about 30°). It is supposed, here, that the variable orientation of cleavage planes observed in the crystal salt is also determined, in some degree at least, by the influence of tectonic factors.

OUTLINE ON CONDITIONS OF SALT-LAYER FORMATION

Origin of the Zechstein rock salt of the Polkowice and Głogów districts, Fore-Sudetic Monocline, is closely related to a southwestern reach of the broad Middle-European evaporitic basin. In southwestern direction, the extent of the chloride facies is observed to be considerably smaller than that of the sulphate deposits A1_u and A1₀ (fig. 1). Moreover, the area considered lacks higher horizons of the Zechstein rock salt which are known from the Nowa Sól district (Podemski 1972, 1973).

A considerable variability in thickness of the A1_u anhydrites and the NaI salt, as well as directional trends of these changes (figs. 5, 6), suggest presence of elevations and depressions within the sedimentary basin. These are primarily oriented west-east and northwest-southeast. The suggestion above is not, however, completely coincident with the previous opinions on the basin bottom morphology as regards larger area of the Fore-Sudetic Monocline. This particularly concerns the west-east structural trends. Kłapciński (1964 a) considered north-south direction as a major trend of the elevations and depressions in

the region, while Podemski (1973) reported northeast-southwest direction for minor trends in the Nowa Sól district. These discrepancies in the opinions on the bottom morphology of evaporitic basin come probably from inadequate and ununiform borehole recognition of the Fore-Sudetic Monocline region.

The salt deposits of the Polkowice and Głogów districts are characterized by a considerable lithologic variability. This is manifested by: (1) variable amount of the anhydrite admixtures, interbeds or laminae, (2) variability in the pure/impure salt ratio, (3) variability in the salt petrographic composition, and (4) variable character of the salt-anhydrite contact zones. These features, together with variable salt thickness, all suggest a varying rate of salt deposition and some local variabilities in sedimentary environment. A considerable role was played, perhaps, by barriers which bordered the individual depressions within the evaporitic basin; these positive bottom features caused the open-sea (low-salinity) water not to be uniformly distributed in the areas of chlorides precipitation. This probably influenced, in a considerable degree, the amount of anhydritic

admixture and interbeds present in the rock salt. Movements in the basement of the basin are thought to be the basic source for the variability of depositional conditions, in space and time, within the basin.

The salt layer discussed is only partly represented by deposits of primary origin. These are usually grey, fine-crystalline salts which fragment of H_2S . Most of the salt layer appears, however, to be of secondary origin. The latter primarily concerns deeper portions of the basin, where material derived from shallower (or even elevated) areas has been supplied and deposited. The secondary origin of the upper parts of the salt layer is evidenced by the presence of predominantly coarse-crystalline textures, anhydrite shreds and debris, clayey material admixtures, and adjacent zones of highly contrasting salt thicknesses. The secondary processes modified not only the original thickness distribution but also the morphologic character of the salt-layer boundaries.

In the evaporitic basin, the highly mobile basement and the associated variability in depth and sedimentary conditions became more stable during the deposition of the A10 anhydrites. This is expressed, among the others, by highly uniform thickness of these deposits.

Further changes of the salt layer considered are closely associated with the subsequent tectonic movements. The latter

resulted in, perhaps, considerable changes in the salt thickness areal distribution and caused, due to differential movements, internal displacement of salt masses within the layer. The now observed, spatially variable, geometric form of the salt layer is thought to be final effect of these changes. Besides the faulting-induced deformations, the above is often manifested by lack of parallelism between the top and the base of the salt layer.

In the area considered, one other striking feature observed is the conformity between the extent of elevations and depressions in the sedimentary basin and the direction of fractures (fig. 21). This strongly suggests that the basement movements, which formed bottom morphology during sedimentation and later on deformed discontinuously the deposited salt layer, continued according to the same tectonic plan and framework. Recent geological investigations in the copper-bearing region of the Fore-Sudetic Monocline yield out evidence that the deformations of the Zechstein salt are primarily associated with the Kimerian and the Laramian tectonic phases. Additionally, a sort of isostatic basement movements contributed, in some degree, to the deformation processes above and these took place particularly in the Zechstein and the Mesozoic time.

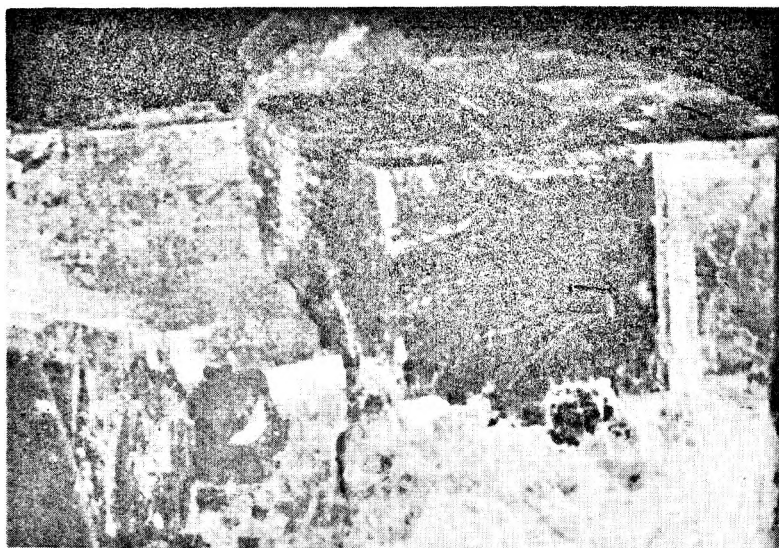
Translated by W. Nemeč

PLANSZA I

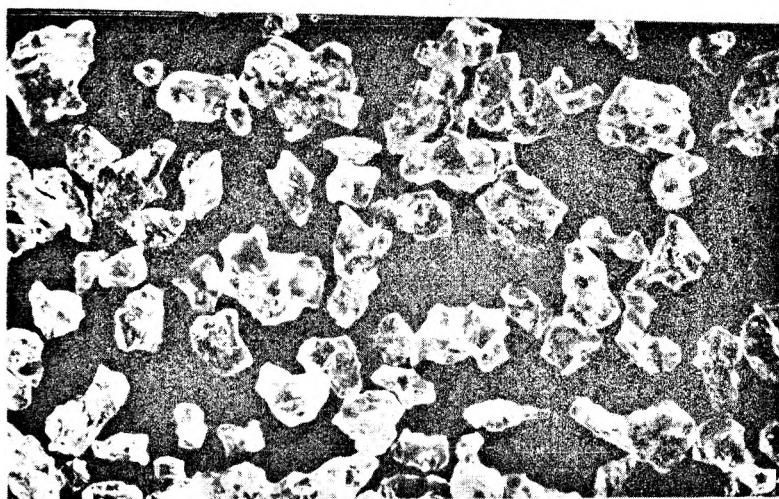
PLATE I

Charakterystyczne odmiany soli kamiennej
Characteristic varieties of rock salt

1. Sól kamienna kryształowa. 7/8 wielkości naturalnej, próbka 379/1013
Crystal rock salt. Scale: 7/8 of original size; sample no. 379/1013
2. Sól kamienna różnokrystaliczna, krucha. Poszczególne ziarna mają zaokrąglone krawędzie. 4/5 wielkości naturalnej, próbka 388/1048
Varicrystalline, brittle rock salt. Salt grains exhibit rounded edges. Scale: 4/5 of original size; sample no. 388/1048
3. Sól kamienna grubokrystaliczna o częściowo skorodowanych i obłych krawędziach. 6/5 wielkości naturalnej, próbka 379/1011
Coarse-crystalline rock salt with subrounded, partly corroded edges. Scale: 6/5 of original size; sample no. 379/1011
- 4, 5. Sól kamienna różnokrystaliczna z obecnością białych wykwitów w przestrzeniach międzyziarnowych. 6/5 wielkości naturalnej, próbki 456/1314,0 i 456/1314,1
Varicrystalline rock salt having white, intergrain efflorescences. Scale: 6/5 of original size; sample no. 456/1314.0 and 456/1314.1



1



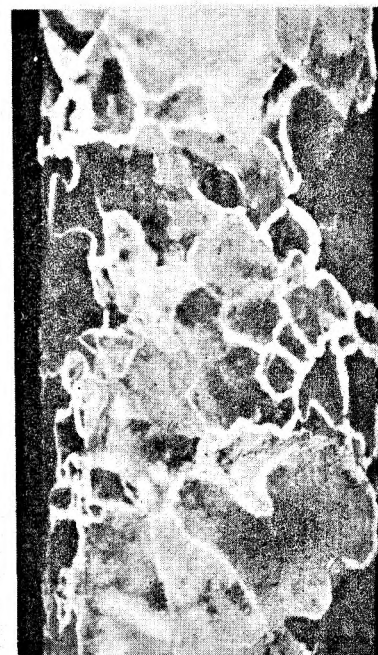
2



3



4



5

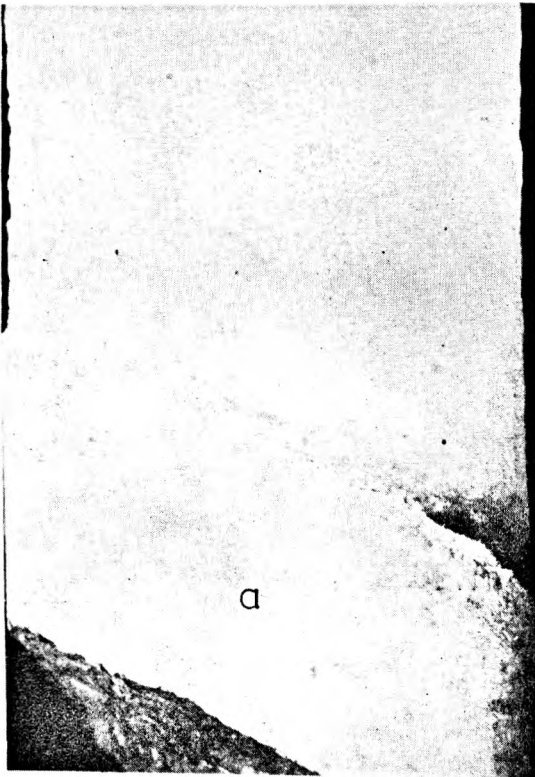
Piotr KIJEWSKI, Wojciech SALSKI — Cechsztyńska sól kamienna cyklotemu Z1 w południowo-zachodniej części monokliny przedsudeckiej
Zschstein rock-salt of the Z1 cyclothem in the south-western part of the Fore-Sudetic Monocline

PLANSZA II

PLATE II

Kontakt soli kamiennej z anhydrytami poziomu A1_u
Contact between rock salt and A1_u anhydrites

1. Sól drobnokrystaliczna kontaktuje z anhydrytem (a) pod kątem około 30°. 1,5 wielkości naturalnej, próbka 480/1420,1
Fine-crystalline rock salt which contacts with anhydrites (a) at an angle of about 30°. Scale: 1.5 of original size; sample no. 480/1420.1
2. Sól laminowana, średniokrystaliczna kontaktuje z anhydrytem wzdłuż lekko nachylonej, falistej powierzchni. Laminacja anhydrytowa w soli jest typu rozproszonego. 4/5 wielkości naturalnej, próbka 379/1030,6
Medium-crystalline, laminated salt which contacts with anhydrite along slightly inclined, wavy surface; note scattered anhydrite laminae in salt. Scale: 4/5 of original size; sample no. 379/1030.6
- 3, 4. Nieregularna powierzchnia kontaktu anhydrytu z solą kamienną, grubokrystaliczną. Między kryształami soli występują szkieletowe formy anhydrytu. 4/5 wielkości naturalnej, próbka 421/1106,4
Irregular contact between anhydrite and coarse-crystalline rock salt; note skeleton forms of anhydrite in intergrain position in salt. Scale: 4/5 of original size; sample no. 421/1106.4



1



2



3



4

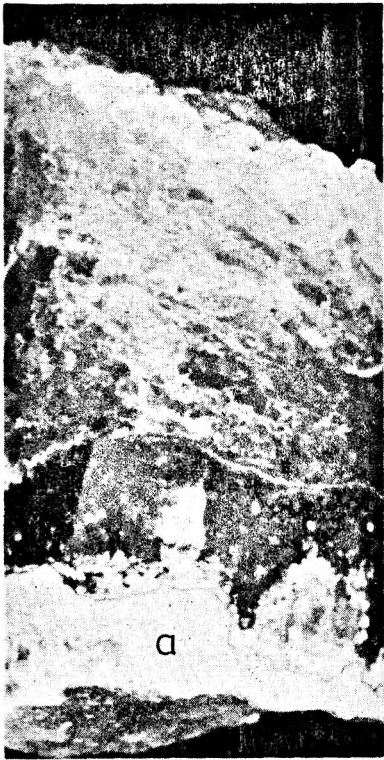
Piotr KIJEWSKI, Wojciech SALSKI — Cechsztyńska sól kamienna cyklotemu ZI w południowo-zachodniej części monokliny przed-sudeckiej
Zechstein rock-salt of the ZI cyclothem is the south-western part of the Fore-Sudetic Monocline

PLANSZA III

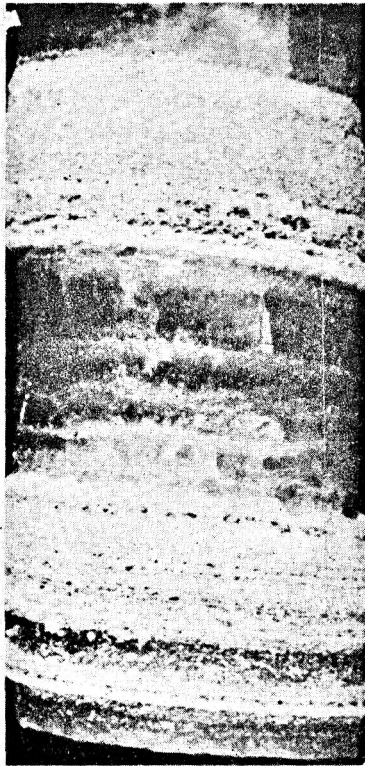
PLATE III

Laminy i przerosty anhydrytu w soli kamiennej Anhydrite laminae and bands in rock salt

1. Przerost anhydrytowy w soli kamiennej kruchej, wykazującej teksturę kierunkową. Kontakt sól — anhydryt (a) jest nieregularny, falisty. Wielkość naturalna, próbka 480/1085
Anhydrite band in brittle salt showing directional texture. Contact between salt and anhydrite (a) is wavy and irregular. Scale: original size; sample no. 480/1085
2. Regularne przerosty anhydrytu i soli kamiennej. 1,1 wielkości naturalnej, próbka 456/1521
Regular bands of anhydrite and rock salt. Scale: 1.1 of original size; sample no. 456/1521
3. Rytmiczna, poziomo-równoległa laminacja anhydrytowa w soli kamiennej, średniokrystalicznej. 5/7 wielkości naturalnej, próbka 388/1086,6
Rhythmical horizontal-parallel anhydrite lamination in medium-crystalline rock salt. Scale: 5/7 of original size; sample no. 388/1086.6
4. Naprzemianległe, ostro graniczące ze sobą przerosty soli kamiennej i anhydrytu. 1/8 wielkości naturalnej, próbka 456/1506,8
Sharply bounded, alternating bands of rock-salt and anhydrite. Scale: 1/8 of original size; sample no. 456/1506.8
5. Nieregularna laminacja anhydrytowa w soli kamiennej. Niektóre laminy są lekko zafalowane lub wykazują niezgodny kontakt z otaczającym osadem. Wielkość naturalna, próbka 388/1085
Irregular anhydrite lamination in rock salt. Some of laminae are slightly wavy and show unconformable contacts with adjacent sediment. Scale: original size; sample no. 388/1085



1



2



3



4



5

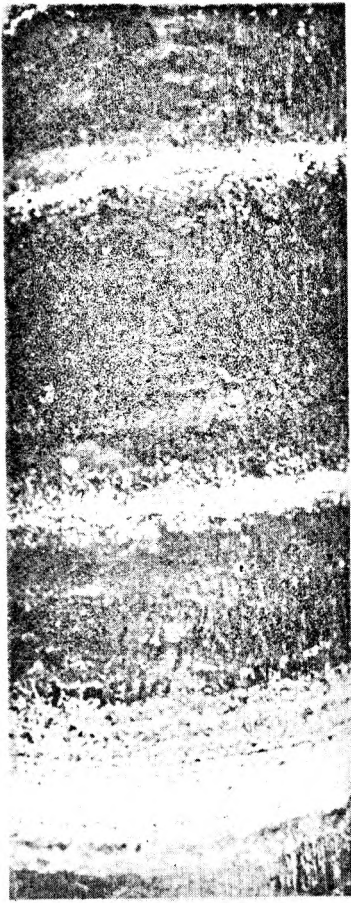
Piotr KIJEWSKI, Wojciech SALSKI — Cechsztyńska sól kamienna cyklotemu Z1 w południowo-zachodniej części monokliny przedsudeckiej
Zechstein rock-salt of the Z1 cyclothem in the south-western part of the Fore-Sudetic Monocline

PLANSZA IV

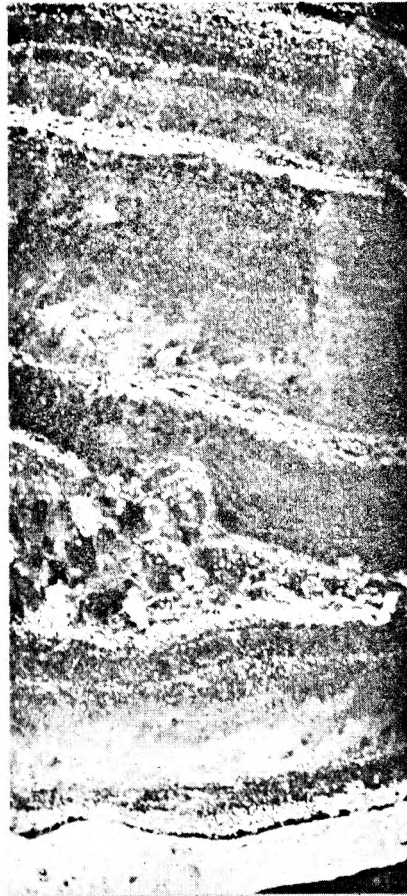
PLATE IV

Laminacja anhydrytowa w soli kamiennej Anhydrite lamination in rock salt

1. Rytmicznie powtarzająca się laminacja anhydrytowa w soli. Grubość poszczególnych lamin jest zmienna, wykazują one także nieostry kontakt z solą kamienną. Wielkość naturalna, próbka 456/1511,5
Repeative, rhythmical anhydrite lamination in salt. Laminae show variable thickness and non-sharp contacts with rock salt. Scale: original size; sample no. 456/1511.5
2. Rytmiczna laminacja anhydrytowa, pochylona (il) oraz poziomo-równoległa. 5/8 wielkości naturalnej, próbka 388/1051
Rhythmical, inclined (il) and horizontal-parallel anhydrite lamination. Scale: 5/8 of original size; sample no. 388/1051
3. Poziomy przerost anhydrytowy w soli. W dolnej części wykazuje on ostrą granicę z solą, ku górze przechodzi w sól z obfitą domieszką anhydrytu. Wielkość naturalna, próbka 450/1281,8
Horizontal anhydrite band in salt. Note sharp lower boundary with salt and upper transition into salt abundant in anhydrite admixtures. Scale: original size; sample no. 450/1281.8
4. Bardzo delikatna, poziomo – równoległa laminacja, utworzona z rozproszonych kryształów anhydrytu. Wielkość naturalna, próbka 456/1499
Delicate horizontal-parallel lamination comprised of scattered anhydrite crystals. Scale: original size; sample no. 450/1499
5. Zafałdowana lamina anhydrytu w soli kamiennej. Wielkość naturalna, próbka 480/1354,3
Folded anhydrite lamina in rock salt. Scale: original size; sample no. 480/1354.3
6. Lamina anhydrytowa sfałdowana w formie symetrycznej antykliny. Wielkość naturalna, próbka 480/1396,6
Anhydrite lamina folded in form of symmetrical anticline. Scale: original size; sample no. 480/1396.6



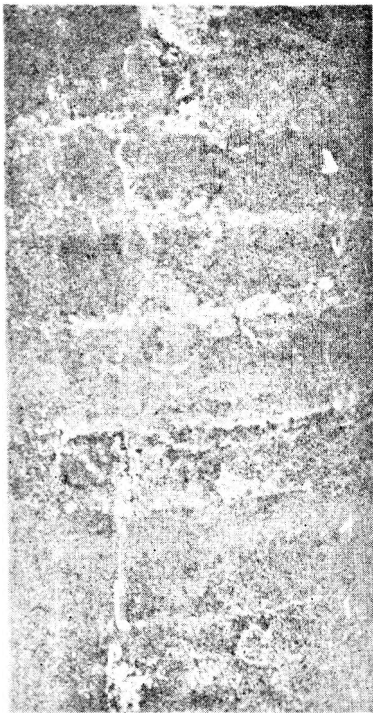
1



2



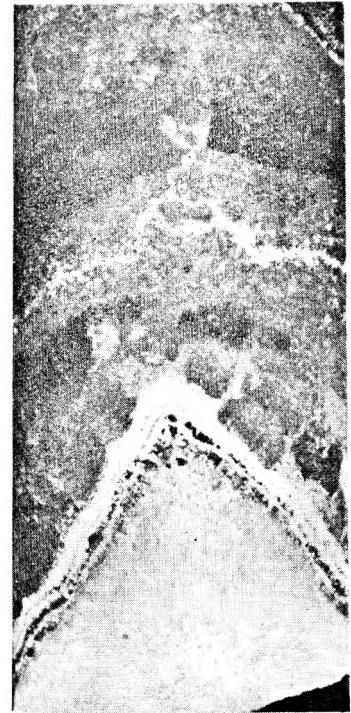
3



4



5



6

Piotr KIJEWSKI, Wojciech SALSKI – Cechsżyńska sól kamienna cyklotemu Z1 w południowo-zachodniej części monokliny przedsudeckiej
Zechstein rock-salt of the Z1 cyclothem in the south-western part of the Fore-Sudetic Monocline

PLANSZA V

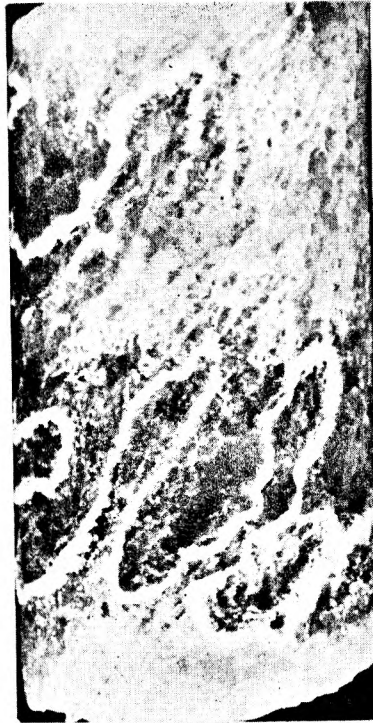
PLATE V

Zafałdowanie lamin anhydrytowych oraz stropowy kontakt soli kamiennej z anhydrytami A1₀
Folded anhydrite laminae and salt upper contacts with A1₀ anhydrites

1. Drobne zafałdowania w stromo nachylonych laminach anhydrytu i soli kamiennej. Wielkość naturalna, próbka 480/1396,5
Small-scale folding in steeply inclined laminae of anhydrite and rock salt. Scale: original size; sample no. 480/1396.3
- 2, 3. Zafałdowania drobnych lamin anhydrytowych w obrębie soli kamiennej. Wielkość naturalna, próbki 480/1373,8 i 480/1393,9
Thin folded laminae of anhydrite in rock salt. Scale: original size; sample nos. 480/1373.8 and 480/1393.9
4. Silnie skorodowany przerost anhydrytowy w stropowej części pokładu soli kamiennej. Wielkość naturalna, próbka 480/1371
Strongly corroded anhydrite band at the top of salt layer. Scale: original size; sample no. 480/1371
5. Nieregularne przerosty anhydrytu w stropowej części soli kamiennej. Wielkość naturalna, próbka 450/1526,3
Irregular anhydrite bands at the top of salt layer. Scale: original size; sample no. 450/1526.3
6. Anhydryt (a) ze strefy kontaktowej z solą kamienną (rs). Wielkość naturalna, próbka 480/1240,9
Anhydrite (a) from zone of contact with rock salt (rs). Scale: original size; sample no. 480/1240.9



1



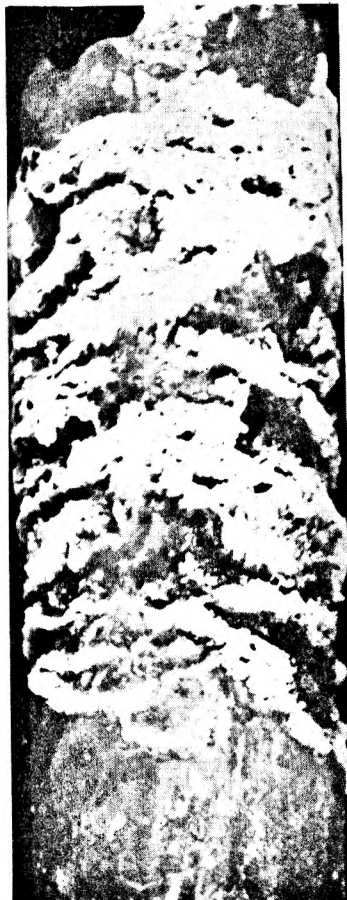
2



3



4



5



6

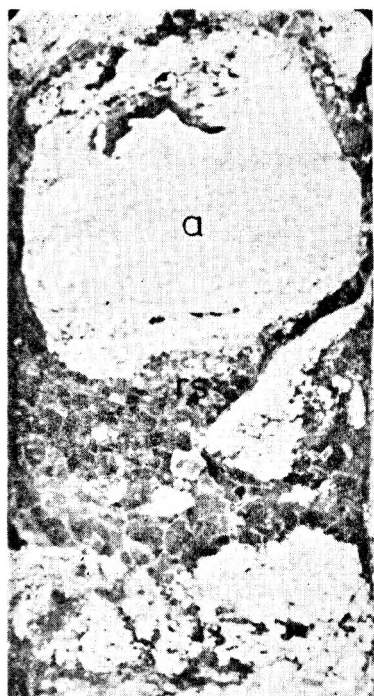
Piotr KIJEWSKI, Wojciech SALSKI — Cechsztyńska sól kamienna cyklotemu Z1 w południowo-zachodniej części monokliny przedsudeckiej
Zechstein rock-salt of the Z1 cyclothem in the south-western part of the Fore-Sudetic Monocline

PLANSZA VI

PLATE VI

Okruchowe formy anhydrytu w soli kamiennej
Detrital forms of anhydrite occurrence in rock salt

1. Nieregularne oraz silnie skorodowane fragmenty anhydrytu (a) w soli kamiennej (rs). 5/8 wielkości naturalnej, próbka 388/958,7
Irregular, strongly corroded anhydrite fragments (a) in rock salt (rs). Scale: 5/8 of original size; sample no. 388/958.7
2. Różnej wielkości okruchy anhydrytu, często zafałdowane. 5/8 wielkości naturalnej, próbka 388/958,5
Anhydrite debris of various size, often folded. Scale: 5/8 of original size; sample no. 388/958.5
3. Okruchy anhydrytu bezładnie rozmieszczone w soli kamiennej. Powierzchnie okruchów są silnie skorodowane i postrzępione. 1,3 wielkości naturalnej, próbka 396/1064,3
Anhydrite debris scattered in rock salt. Note tattered and strongly corroded debris surfaces. Scale: 1.3 of original size; sample no. 396/1064.3
4. Płaski fragment anhydrytu (a) wciśnięty w sól kryształową. 1,5 wielkości naturalnej, próbka 456/1288
Flat anhydrite fragment (a) pressed in rock salt. Scale: 1.5 of original size; sample no. 456/1288
5. Żyła soli kamiennej w spągu anhydrytów A1₀. W obrębie żyły występują ostrokrawędziste okruchy anhydrytu. Wielkość naturalna, próbka 402/1016,3
Rock-salt dike at the base of A1₀ anhydrites. Note angular anhydrite debris present in salt dike. Scale: original size; sample no. 402/1016.3



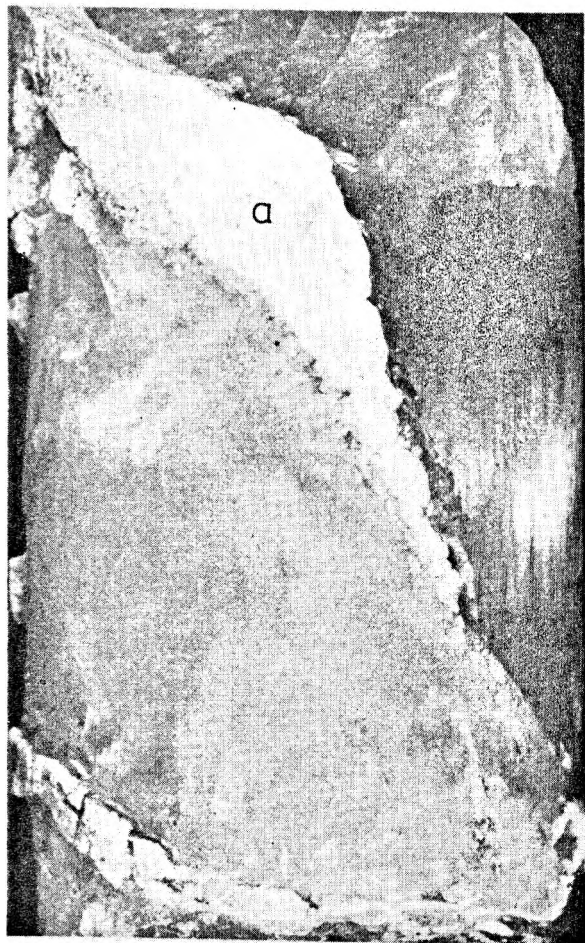
1



2



3



4



5

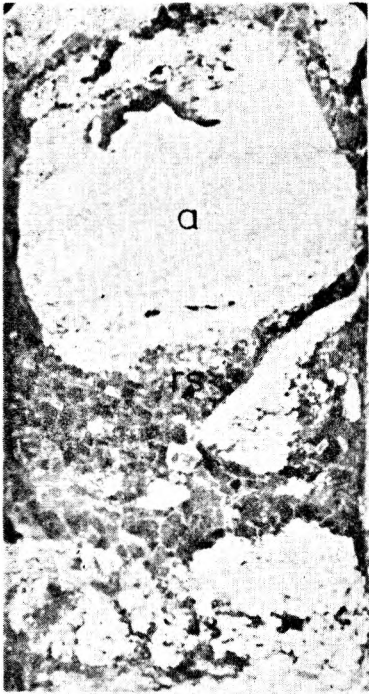
Piotr KJJEWSKI, Wojciech SALSKI — Cechsztyńska sól kamienna cyklotemu Z1 w południowo-zachodniej części monokliny przedsudeckiej
Zechstein rock-salt of the Z1 cyclothem in the south-western part of the Fore-Sudetic Monocline

PLANSZA VII

PLATE VII

Okruczowe formy anhydrytu w obrębie soli kamiennej
Detrital forms of anhydrite occurrence in rock salt

- 1, 2.* Fragmenty anhydrytu z obecnością pierwotnej laminacji. Wykazują one skorodowane, postrzępione powierzchnie kontaktu z solą. W obrębie okruczów występują szczeliny wypełnione solą. 7/8 wielkości naturalnej, próbka 388/985,6 i 4/5 wielkości naturalnej, próbka 421/1090,1
Anhydrite fragments showing primary lamination. Note irregular, corroded contact with salt and salt-filled fissures. Scale: 7/8 and 4/5 of original size, respectively; sample nos. 388/985.6 and 421/1090.1
- 3, 4.* Nieregularne fragmenty anhydrytu w soli kamiennej wykazujące ślady działania transportu tektonicznego. 7/8 wielkości naturalnej, próbka 388/1058,5 i 396/1064,3
Irregular anhydrite fragments in rock salt, showing traces of tectonic transport. Scale: 7/8 of original size; sample nos. 388/1058.5 and 396/1064.3
- 5.* Wkładka anhydrytowa z obecnością szczelin wypełnionych solą (rs). Wielkość naturalna, próbka 456/1520,5
Anhydrite band showing salt-filled fissures (rs.). Scale: original size; sample no. 456/1520.5



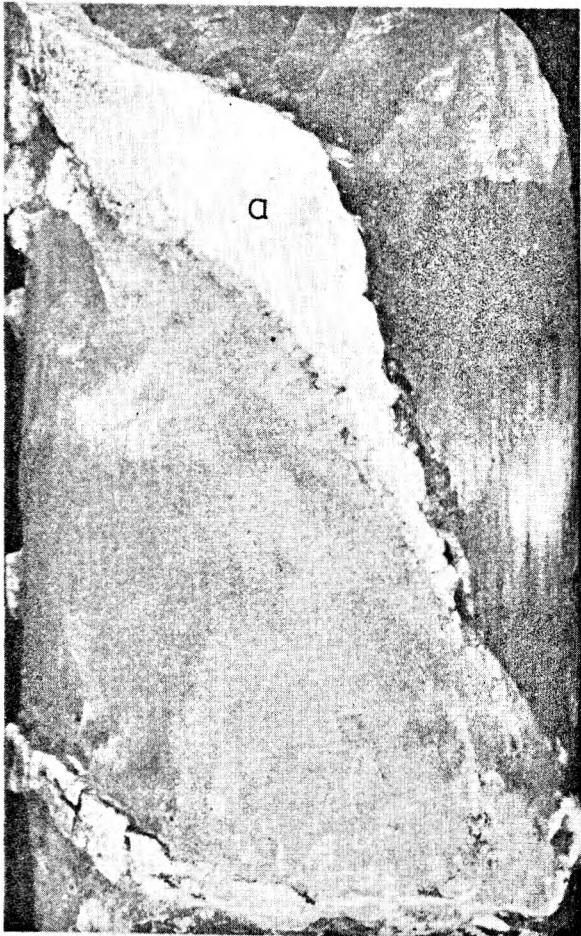
1



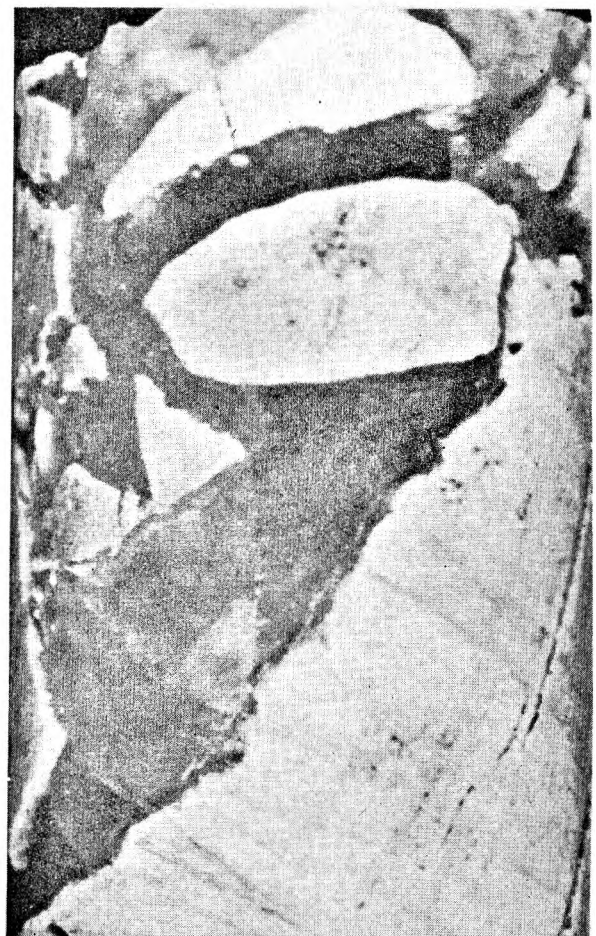
2



3



4



5

Piotr KIJEWski, Wojciech SALSki — Cechsztyńska sól kamienna cyklotemu Z1 w południowo-zachodniej części monokliny przedsudeckiej
Zechstein rock-salt of the Z1 cyclothem in the south-western part of the Fore-Sudetic Monocline

PLANSZA VII

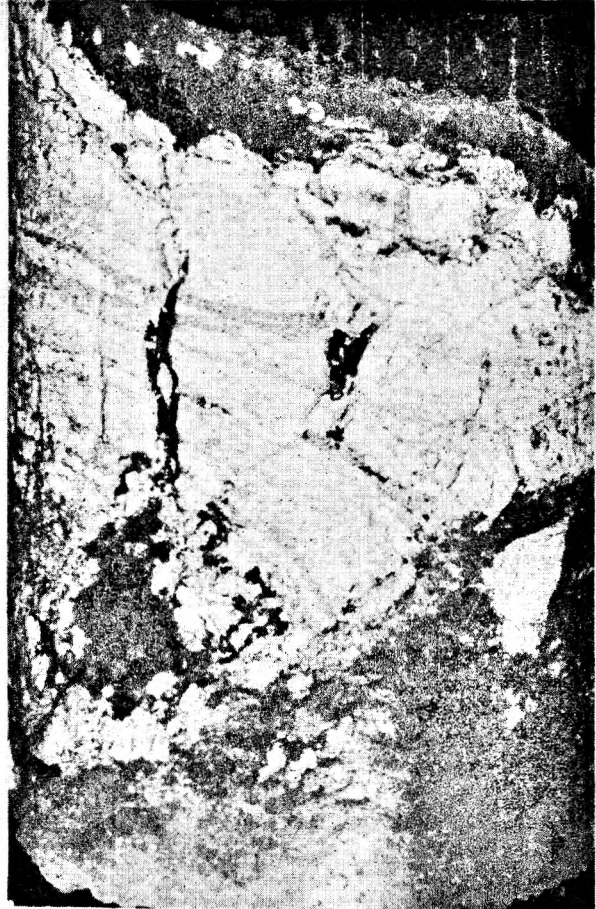
PLATE VII

Okruchowe formy anhydrytu w obrębie soli kamiennej
Detrital forms of anhydrite occurrence in rock salt

- 1, 2.* Fragmenty anhydrytu z obecnością pierwotnej laminacji. Wykazują one skorodowane, postrzępione powierzchnie kontaktu z solą. W obrębie okruchów występują szczeliny wypełnione solą. 7/8 wielkości naturalnej, próbka 388/985,6 i 4/5 wielkości naturalnej, próbka 421/1090,1
Anhydrite fragments showing primary lamination. Note irregular, corroded contact with salt and salt-filled fissures. Scale: 7/8 and 4/5 of original size, respectively; sample nos. 388/985.6 and 421/1090.1
- 3, 4.* Nieregularne fragmenty anhydrytu w soli kamiennej wykazujące ślady działania transportu tektonicznego. 7/8 wielkości naturalnej, próbka 388/1058,5 i 396/1064,3
Irregular anhydrite fragments in rock salt, showing traces of tectonic transport. Scale: 7/8 of original size; sample nos. 388/1058.5 and 396/1064.3
- 5.* Wkładka anhydrytowa z obecnością szczelin wypełnionych solą (rs). Wielkość naturalna, próbka 456/1520,5
Anhydrite band showing salt-filled fissures (rs.). Scale: original size; sample no. 456/1520.5



1



2



3



4



5

Piotr KIJEWski, Wojciech SALSki — Cechsztyńska sól kamienna cyklotemu Z1 w południowo-zachodniej części monokliny przedsudeckiej
Zechstein rock-salt of the Z1 cyclothem in the south-western part of the Fore-Sudetic Monocline

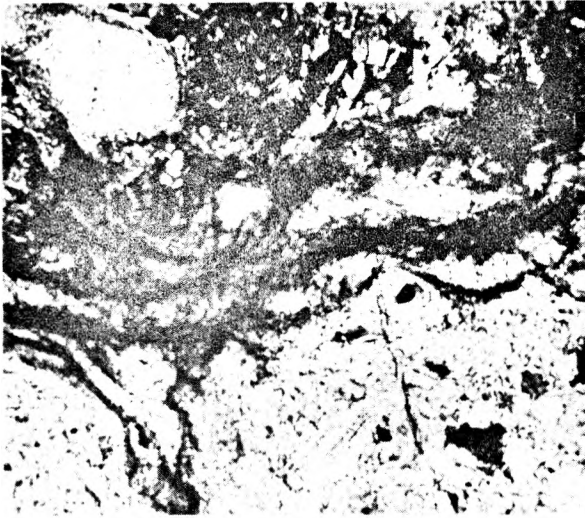
PLANSZA VIII

PLATE VIII

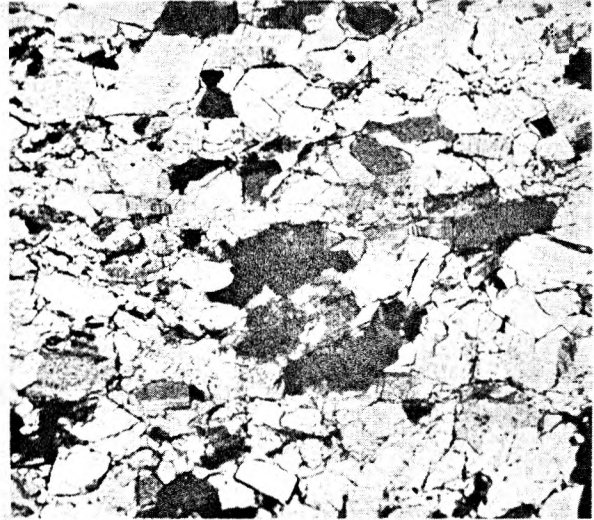
Mikrofotografie soli kamiennej NaI Photomicrographs of NaI rock salt

1. Sól kamienna laminowana. Lamina anhydrytowa z obecnością drobnych smug substancji ilastej. Pow. $50\times$, nikole skrzyżowane, próbka 388/1085
Laminated rock salt. Note anhydrite laminae showing presence of clayey streaks. Crossed nicols, $50\times$, sample no. 388/1085
2. Granoblastyczna struktura porwaka anhydrytowego znajdującego się w soli kamiennej. Pow. $50\times$, nikole skrzyżowane, próbka 388/958,5
Anhydrite detached-fragment in rock salt, showing granoblastic texture. Crossed nicols, $50\times$, sample no. 388/958.5
3. Skupienia anhydrytu (a) z obecnością listewek polihalitu (p) oraz autigenicznego kwarcu (q) w soli kamiennej (czarna). Pow. $135\times$, nikole skrzyżowane, próbka 396/1049,2
Anhydrite aggregates (a) within rock salt (black), showing presence of small polyhalite slats (p) and authigenic quartz (q). Crossed nicols, $135\times$, sample no. 396/1049.2
4. Lamina anhydrytowa o strukturze pelitomorficznej z pojedynczymi, dużymi kryształami w partii zewnętrznej. Pow. $120\times$, nikole skrzyżowane, próbka 396/1042,9
Anhydrite lamina, showing pelitomorphic texture, with rare large crystals in its inner portion. Crossed nicols, $120\times$, sample no. 396/1042.9
5. Kwarc autigeniczny (q) oraz listewkowe skupienia anhydrytu w soli kamiennej. Pow. $160\times$, nikole skrzyżowane, próbka 456/1514
Authigenic quartz (q) and small slaty aggregates of anhydrite in rock salt. Crossed nicols, $160\times$, sample no. 456/1514
6. Okruch ilasto-anhydrytowy z brekcji występującej w stropie pokładu soli kamiennej. Pow. $50\times$, nikole skrzyżowane, próbka 480/1257,8
Clay/anhydrite debris from breccia occurring at the salt-layer top. Crossed nicols, $50\times$, sample no. 480/1257.8

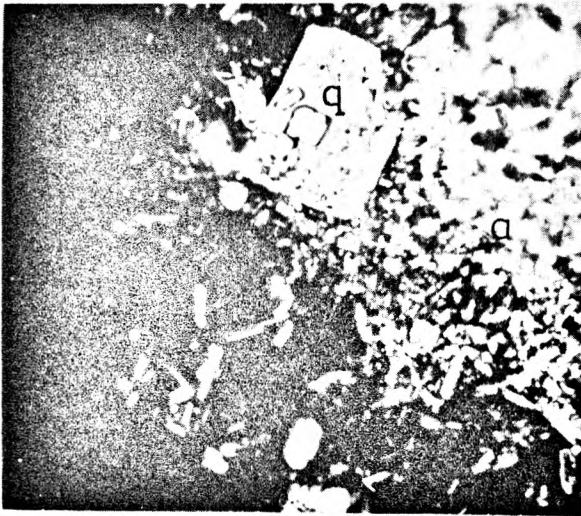
*Zdjęcia fotograficzne wykonali P. Kijewski i W. Zienkiewicz
All photographs taken by P. Kijewski and W. Zienkiewicz*



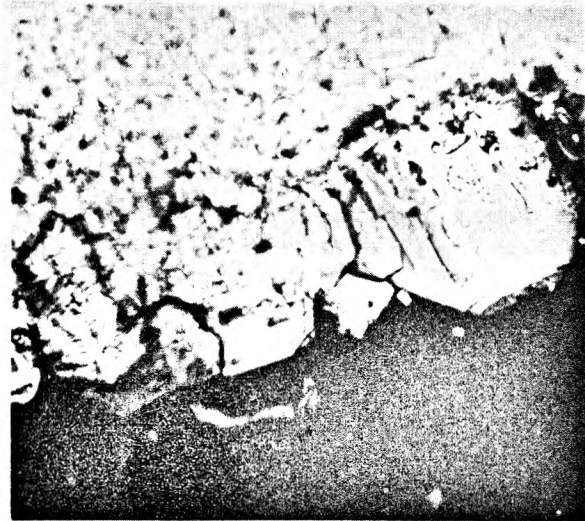
1



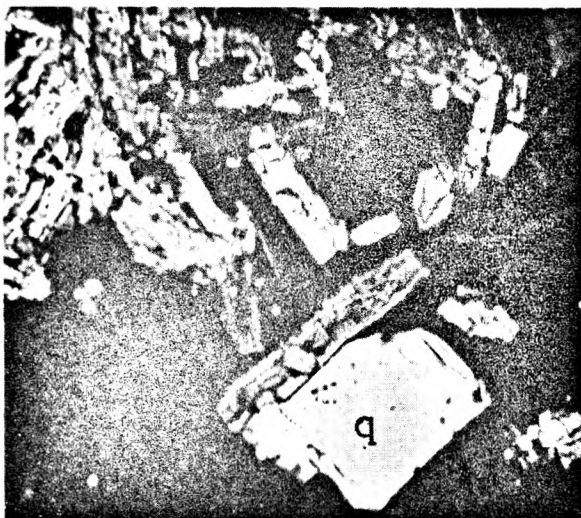
2



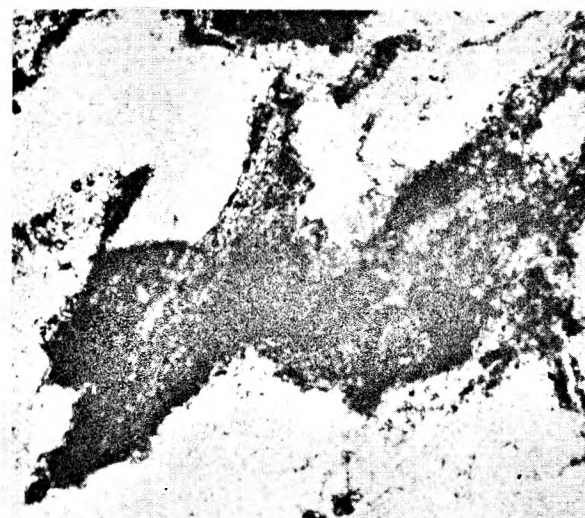
3



4



5



6

Piotr KIJEWSKI, Wojciech SALSKI — Cechsztyńska sól kamienna cyklotemu ZI w południowo-zachodniej części monokliny przedsudeckiej
Zechstein rock-salt of the ZI cyclothem in the south-western part of the Fore-Sudetic Monocline