

Stefan POŁTOWICZ

UWAGI O ROZWOJU TEKTONICZNYM
ZŁÓŻ SOLI KAMIENNEJ W WIELICZCE I BARYCZU

(3 fig.)

Tectonic evolution of the rock salt deposits in Wieliczka and Barycz

(near Cracow)

(3 fig.)

Treść: Tektonika złóż soli kamiennej w Wieliczce i Baryczu jest efektem zeslizgów grawitacyjnych wywołanych rozładowaniem naprężeń w górotworze. Naprężenia te powstały na skutek zaburzenia równowagi spowodowanego stopniowym przemieszczaniem się ku północy strefy największej subsydencji dna zbiornika sedymentacyjnego i równoczesnego dźwignia się Karpat fliszowych w fazie attyckiej. Wiek ostatecznego uformowania się złóż soli określono jako pobadeński, prawdopodobnie dolnosarmacki.

WSTĘP

W okolicy Wieliczki występują sfałdowane utwory mioceneskie, zawierające utwory dolnego badenu i badeńską formację solonośną (ewaporaty i warstwy chodenickie) nasunięte na autochtoniczne osady badenu przedgórza Karpat. Nasunięcie parautochtonicznych osadów mioceneskich sięga na odległość około 2 km na północ od Wieliczki.

Wycofywanie się morza badeńskiego ku wschodowi spowodowało regresywne następstwo warstw i występowanie na powierzchni terenu coraz to młodszych ogniw stratygraficznych badenu i dolnego sarmatu, którego osady znane są z okolic Niepołomic. W okolicy Wieliczki najmłodszymi osadami badeńskimi są piaski bogucickie stanowiące wyższą część górnego badenu.

Poniższe rozważania na temat tektogenezy złóż soli kamiennej w Wieliczce i Baryczu oparto na analizie tektonicznej przekroju geologicznego poprowadzonego przez brzeżną część Karpat, złoża soli w Wieliczce i autochtoniczne osady mioceneskie przedgórza Karpat (fig. 1A). Przekrój ten

był już interpretowany przez Garlickiego i Poborskiego (vide Krach, Łuczowska, Ney, 1974) jednakże uwzględnienie danych z większej ilości odwiertów oraz regionalna analiza tektoniki brzegu Karpat pozwoliła w odmiennym świetle przedstawić rozwój tektoniczny złóż soli kamiennej w Wieliczce i Baryczu.

Panu profesorowi drowi habil. Konradowi Koniorowi jestem wdzięczny za zwrócenie uwagi na znaczenie tego przekroju dla uzasadnienia nowego spojrzenia na wiek sfałdowania utworów miocenijskich w okolicy Wieliczki.

HISTORIA BADAŃ GEOLOGICZNYCH ZŁOŻ SOLI KAMIENNEJ W WIELICZCE I BARYCZU

Naukowe rozpoznanie geologiczne złoża rozpoczęto w pierwszej połowie XIX w. Pierwsze konstrukcje przestrzenne tego złoża były dziełem Kaczwińskiego z roku 1827 (fide Poborski 1965b) i Hrdiny (1842). Z przekrojów geologicznych przez nich wykonanych można już odczytać istnienie trzech obalonych ku północy i silnie sfałdowanych elementów tektonicznych (łusek) składających się z soli i skał płonnych oraz leżących nad nimi brył soli zielonej, tworzących megabrekcję.

Badania Zejsznera (1842, 1844) i późniejsze Paula (1880) nie wniosły zasadniczych zmian do koncepcji tektonicznej złoża wielickiego. Wykonany przez Niedźwieckiego (1886) przekrój geologiczny jest bardzo uproszczony i znacznie odbiega od interpretacji Kaczwińskiego, Hrdiny i Paula.

Dalsze badania złoża wielickiego prowadził Kuhl (1931, 1932, 1933 a, b), który po raz pierwszy wydzielił dwa piętra tektoniczne złoża: niższe (starsze) zbudowane z trzech łusek soli zielonej, szybikowej i spizowej i wyższe (młodsze) składające się z nieregularnie rozmieszczonych brył soli zielonej. Tołwiński (1956) stworzył pojęcie odrębnego elementu tektonicznego występującego w brzeżnej strefie orogenu karpackiego, składającego się ze sfałdowanych utworów miocenijskich i częściowo fliszowych, nazwanego „salidami”.

W czasie ostatniej wojny Gawel prowadził systematyczne badania geologiczne złoża wielickiego i opublikował ich wyniki w 1962 r. Przedstawił najdokładniejszą interpretację budowy geologicznej złoża i zarys paleogeografii oraz omówił warunki jego powstania. Późniejsze badania prowadzili Poborski i Skoczylas-Ciszewska (Poborski, Skoczylas-Ciszewska, 1962, 1963; Skoczylas-Ciszewska, Poborski, 1962, 1968; Poborski, 1965a; Skoczylas-Ciszewska, 1968). Badacze ci wkomponowali tektonikę złóż soli w Wieliczce i Baryczu w regionalną budowę geologiczną i zrekonstruowali warunki paleogeograficzne salinarnego zbiornika przedkarpackiego.

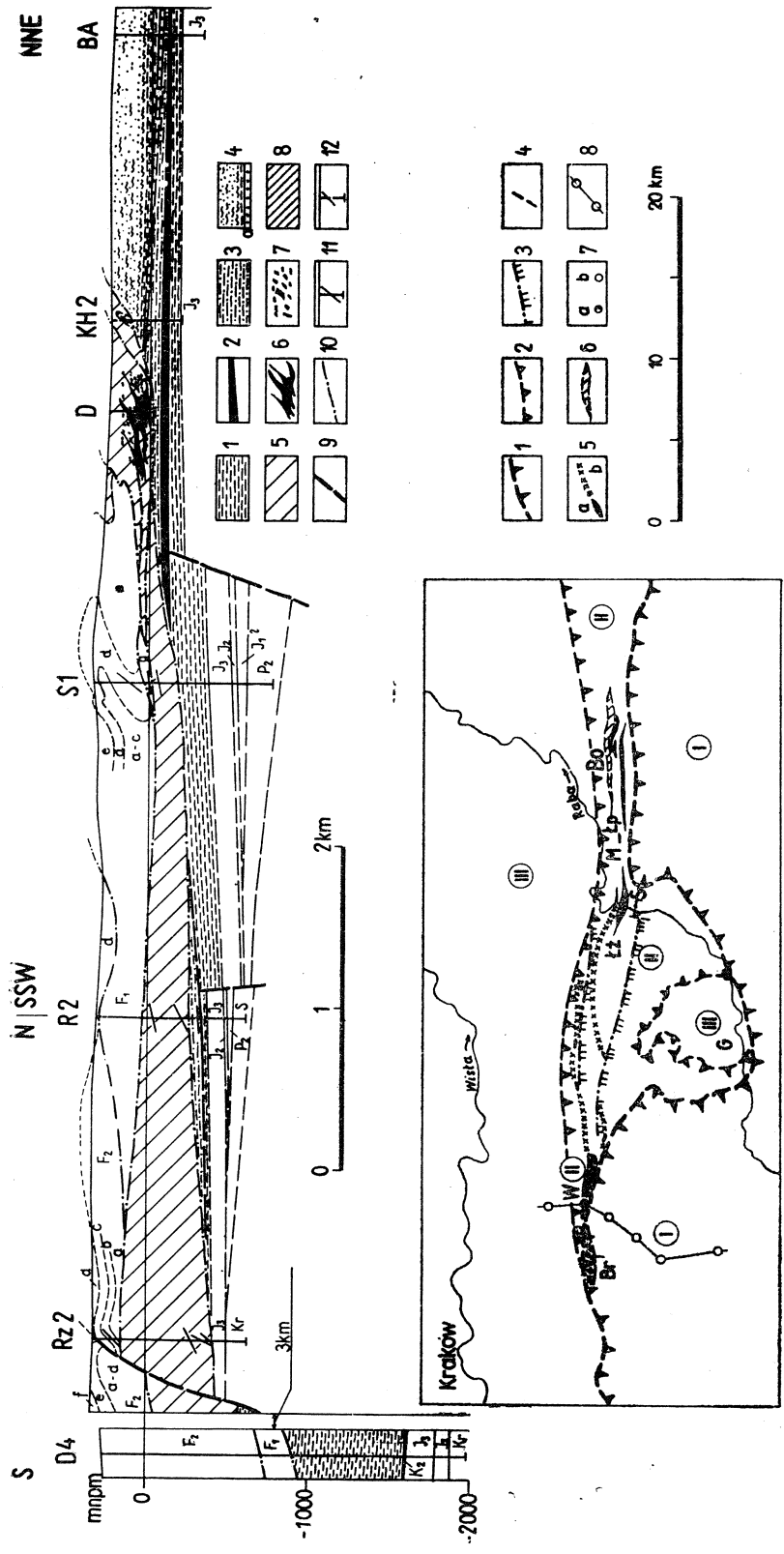
ZARYS TEKTONIKI ZŁOŻ SOLI KAMIENNEJ
W WIELICZCE I BARYCZU I ICH OKOLICY

Prawie wszystkie prace, dotyczące tektoniki utworów miocenских w okolicy Wieliczki i Bochni, począwszy od Niedźwiedzkiego (op. cit.) aż do czasów najnowszych podkreślały istnienie niezgodności kątowej pomiędzy zaburzonymi tektonicznie warstwami chodenickimi a leżącymi nad nimi jakoby transgresywnie warstwami grabowieckimi. Wnioski te wypływały z obserwacji dokonywanych prawie wyłącznie w naturalnych odsłonięciach, których małe wymiary uniemożliwiały właściwe rozpoznanie kontaktu warstw. Odsłonięcia sztuczne takie, jak wyrobiska kopalniane, nie zezwalały natomiast na obserwacje tektoniki płonnych skał nadkładu, gdyż ich odsłonięcie grozi wdarcie się wody do kopalni.

Jednym z kluczowych obszarów, na których prowadzono badania charakteru kontaktu warstw grabowieckich z chodenickimi, są okolice Sieidla i Chełmu nad Rabą. W przekroju przez Chełm w interpretacji Poborskiego i Skoczylas-Ciszewskiej (1963) istnieje dyskordeja pomiędzy warstwami chodenickimi a grabowieckimi. Dla wyjaśnienia rodzaju tego kontaktu Sikora i Szotowa (1969) wykonali w Chełmie nad Rabą wkop w strefie kontaktu wymienionych warstw w linii przekroju geologicznego rozpoznanego wiertniczo przez Poborskiego i Skoczylas-Ciszewską (1963). Nie wykryto w nim niezgodności kątowej pomiędzy warstwami chodenickimi a grabowieckimi, lecz jedynie ślady erozji podmorskiej. Alexandrowicz (1961) w profilu miocenu na wzgórzu Chełm również nie wykrył niezgodności kątowej pomiędzy wymienionymi wyżej warstwami.

Prace wiertnicze, prowadzone na wschód od Bochni, udowodniły, że pomiędzy warstwami chodenickimi a grabowieckimi istnieje ciągłość sedymentacyjna i zgodność kątowa. Są one razem sfałdowane i nasunięte na autochtoniczne osady miocenские przedgórza Karpat. Z analizy tektonicznej sfałdowanych utworów miocenских przy brzegu Karpat występujących na wschód od Tarnowa (Połtowicz, 1963, 1974; Komorowska-Błaszczyszka, 1966, 1968) wynika, że fałdowanie osadów miocenских u brzegu Karpat odbyło się po dolnym sarmacie, ponieważ utwory dolnosarmackie zostały również nim objęte.

Ustalenie wieku zakończenia formowania się złoża solnego Wieliczki rozpatrywano dotychczas w oparciu o materiały dotyczące samego złoża i jego najbliższej okolicy (Gaweł, 1962; Poborski, Skoczylas-Ciszewska, 1963), a wnioski wyciągnięte z tych obserwacji posłużyły Garlickiemu i Poborskiemu (vide Krach, Łuczowska, Ney, 1974, rys. 5 i 6) do skonstruowania przekroju przez brzeg Karpat i złoża wielickie przy założeniu, że warstwy grabowieckie leżą transgresywnie na sfałdowanych i nasuniętych warstwach chodenickich.



formacji solnej i utworach dolnego badenu. Tym samym określono wiek zakończenia ruchów fałdowych w obrębie utworów miocenijskich okolic Wieliczki.

Wyniki dwóch otworów hydrogeologicznych w Krzyszkowicach koło Wieliczki (Krzyszkowice H1 i Krzyszkowice H2) pozwoliły w innym świetle spojrzeć na zagadnienie stosunku warstw grabowieckich do warstw chodenickich w przekroju geologicznym przez okolice Wieliczki (fig. 1A).

Złoża soli kamiennej Wieliczki i Barycza znajdują się w zachodniej części pasa sfałdowanych utworów miocenijskich zawierających ewapora-

Fig. 1A. Przekrój geologiczny Rzeszotary—Wieliczka—Bogucice. Autochtoniczne utwory badenijskie: 1 — dolny baden (seria podewaporatowa); środkowy baden: 2 — seria ewaporatów i jej klasyczne odpowiedniki (profil otworu R 2); 3 — warstwy chodenickie; górny baden 4 — warstwy grabowieckie (a — zlepnie i piaskowce podstawowe). Parautochtoniczne utwory badenijskie: 5 — osady badenijskie bez rozdzielnic; złoża soli kamiennej w Wieliczce; 6 — piętro soli warstwowych, 7 — piętro soli brylowych; 8 — ewaporaty elementu Krzyszkowice; 9 — uskoki normalne; 10 — nasunięcia; 11 — otwory wiertnicze leżące w płaszczyźnie przekroju z upadem warstw; 12 — otwór wiertniczy rzutowany na przekrój. Kr — krystalinik; S — sylur, P₂ — cechsztyń; J₁ — lias; J₂ — dogger (bez kelowej); J₃ — kelowej i malm; K₂ — kreda górna. Flisz: F₁ — jednostka podśląska; F₂ — jednostka śląska; a — warstwy cieszyńskie; b — warstwy grodzkie; c — warstwy wierzowskie; d — warstwy gezowe; e — warstwy godulskie; f — warstwy istebniańskie; g — warstwy krośnieńskie. Otwory wiertnicze: BA — Bogucice A; H2 — Krzyszkowice H2; D — Szyb Daniłowicza Kopalni Soli w Wieliczce; S1 — Siercza 1; R2 — Raciborsko 2; Rz2 — Rzeszotary IG 2; D4 — Dobczyce 4.

Fig. 1B. Szkic tektoniczny obszaru między Wieliczką a Bochnią. 1 — brzeg Karpat fliszowych; 2 — brzeg nasuniętych utworów miocenijskich; 3 — nasunięcia uskokowe; 4 — uskoki normalne; 5 — wychodnie ewaporatów (a — w odsłonięciach; b — przypuszczalne, pod przykryciem osadów czwartorzędowych); 6 — flisz jądra siodła Bochni; 7 — lokalizacja profili (a — Szyb Daniłowicza, b — otwór wiertniczy); 8 — linia przekroju geologicznego. Br — Barycz, W — Wieliczka, G — Gdów, Łż — Łęzkowice, S — Siedlec, Łp — Łapczyca, Bo — Bochnia. I — Karpaty fliszowe; II — parautochtoniczne utwory miocenijskie; III — autochtoniczne utwory miocenijskie

Fig. 1A. Geological section Rzeszotary—Wieliczka—Bogucice. Autochthonous Badenian sediments: 1 — Lower Badenian; Middle Badenian: 2 — evaporite series and its clastic equivalents (profile of borehole R2); 3 — Chodenice Formation; Upper Badenian: 4 — Grabowiec Formation (a — basal conglomerates and sandstones). Parautochthonous Badenian: 5 — Badenian sediments without divisions. Rock salt deposit in Wieliczka: 6 — layered salt horizon; 7 — block salt horizon; 8 — evaporites of the Krzyszkowice element; 9 — faults, 10 — overthrusts; 11 — boreholes and dip of beds; 12 — borehole project on the section. Kr — crystalline rocks; S — Silurian; P₂ — Zechstein; J₁ — Liassic; J₂ — Dogger (without Callovian); J₃ — Callovian and Malm; K₂ — Upper Cretaceous. Flysch: F₁ — Subsilesian unit; F₂ — Silesian unit; a — Cieszyn Beds; b — Grodziszczce Beds; Veřovice Beds; d — Gaize; e — Godula Beds; f — Istebna Beds; g — Krosno Beds.

Boreholes: BA — Bogucice A; H2 — Krzyszkowice H2; D — Daniłowicz Shaft of the Salt Mine in Wieliczka; S1 — Siercza 1; R2 — Raciborsko 2; Rz2 — Rzeszotary IG 2; D4 — Dobczyce 4

Fig. 1B. Tectonic sketch-map of the area between Wieliczka and Bochnia: 1 — border of the Flysch Carpathians; 2 — border of overthrust Miocene rocks; 3 — overfaults; 4 — normal faults; 5 — outcrops of evaporites (a — in exposures, b — hypothetical, overlain by Quaternary sediments); 6 — flysch of the core of the Bochnia anticline; 7 — location of profiles (a — Daniłowicz Shaft; b — borehole); 8 — line of geological section.

Br — Barycz; W — Wieliczka; G — Gdów; Łż — Łęzkowice; S — Siedlec; Łp — Łapczyca; Bo — Bochnia.

I — Flysch Carpathians; II — parautochthonous Miocene rocks; III — autochthonous Miocene rocks

ty badenu, ciągnącego się u czoła Karpat fliszowych. Złoża w Wieliczce i Baryczu nie łączą się bezpośrednio ze złożami soli kamiennej w Łężkowicach, Siedlcu, Moszczenicy i Bochni (Poborski, 1952; Garlicki, 1960, 1965, 1970, 1971a; Poborski, Skoczylas-Ciszewska, 1963) położonymi na wschód od Wieliczki, lecz mają z nimi wspólną genezę.

Złoże soli kamiennej w Wieliczce składa się z dwóch pięter o całkowicie odmiennej tektonice. Dolne piętro budują sole pokładowe, górne — tworzą bryły soli zielonej o różnej objętości, dochodzącej nawet do 18 000 m³ (Gawęł, 1962), tkwiące w zubrach i mułowcach solnych. Bryły soli są rozmieszczone na ogół chaotycznie, jednakże miejscami można się dopatrzeć orientacji podłużnych osi niektórych z tych brył równoległej do granicy pomiędzy obydwoma piętrami złoża, dającej się śledzić dokładnie w wyrobiskach kopalnianych.

W Baryczu położonym na zachód od Wieliczki, występują sfałdowane utwory miocenne zawierające również formację solną tworzącą złożo o tektonice podobnej do tektoniki złoża wielickiego. Na podstawie danych wiertniczych można stwierdzić, że utwory solonośne są sfałdowane i spiętrzone, a samo złożo posiada skomplikowaną tektonikę wewnętrzną (Skoczylas-Ciszewska, Poborski, 1961a, b; Gawęł, 1962).

W profilach dwóch otworów hydrogeologicznych w Krzyszkowicach (K H1 i K H2), położonych na północny zachód od złoża wielickiego, sfałdowane utwory miocenne z ewaporatami nasunięte są na autochtoniczne osady badeńskie zawierające również formację solną. W obu odwiertach sfałdowane osady miocenne sięgają do głębokości około 200 m. Ewaporaty w nich występujące wykształcone są jako gipsy i anhydryty z przeławieniami zębów, piaskowców i ilowców. Tworzą one najbardziej zewnętrzny element tektoniczny, przypuszczalnie dość szybko wyklinowujący się ku zachodowi.

Autochtoniczne osady badenu rozpoznano w otworze Bogucice A (Garlicki, 1964). Na podstawie stosunkowo dokładnego profilu obu otworów w Krzyszkowicach można było skorelować warstwy grabowieckie w otworze Bogucice A z odpowiadającymi im osadami przewierconymi w otworach K H1 i K H2. Charakterystycznym poziomem korelacyjnym są autochtoniczne ewaporaty, wykształcone we wszystkich trzech otworach w facji chlorkowej, oraz spągowe zlepieńce i piaskowce warstw grabowieckich. Autochtoniczne osady badeńskie okolic Wieliczki posiadają zmienną miąższość, co zilustrowano tabelą 1.

Z powyższego zestawienia i z przekroju geologicznego (fig. 1A) wynika, że:

- a. utwory serii podewaporatowej posiadają zbliżoną miąższość,
- b. miąższość ewaporatów rośnie ku południowi,
- c. w tym samym kierunku wzrasta miąższość warstw chodenickich,

Tabela (Table) 1

Miaższość utworów miocennskich w otworach wiertniczych
Thickness of Miocene deposits penetrated by boreholes

Wydzielone poziomy korelacyjne Correlation horizons distinguished		miaższość osadów (m) thickness	
		Krzyszko- wice H2	Bogucice A
Górny baden (warstwy grabowieckie) Upper Badenian (Grabowiec beds)	piaski bogucickie Bogucice sands	81,0*	242,8**
	seria ilastopiaszczysta clay-arenaceous series		23,5
	piaskowce i zlepieńce podstawowe sandstones and basal conglomerates	16,0	23,0
Środkowy baden Middle Badenian	warstwy chodenickie Chodenice beds	99,0	36,5
	ewaporaty evaporites	42,5	10,0
Dolny baden Lower Badenian	seria podewaporatowa sub-evaporite series	68,8	71,5

Uwagi:

- * = miaższość niepełna, ścięcie osadów nasunięciem utworów miocennskich,
** = miaższość niepełna, zniszczenie erozyjne części osadów.

Remarks:

- * = thickness is not complete, because of erosional reduction by over-thrust of Miocene deposits
** = thickness not complete, because of erosional removal of part of deposits

- d. miaższość zlepieńców i piaskowców podstawowych warstw grabowieckich wzrasta ku północy,
e. ku północy prawdopodobnie rośnie również miaższość pozostałej części warstw grabowieckich (co ilustruje przede wszystkim przekrój).

Zmiany miaższości osadów świadczą wymownie o przebudowie tektonicznej zapadliska przedkarpacciego na przełomie środkowego i górnego badenu, która zachodziła bez przerwy sedymentacyjnej, a tym bardziej bez objawów transgresji morza grabowieckiego. Zaznacza się tylko zwiększenie dopływu materiału gruboklastycznego w początku górnego badenu, związane z ożywieniem ruchów tektonicznych w Karpatach, tworzących południowy brzeg zbiornika sedymentacyjnego.

Oś strefy o najintensywniejszej sedymentacji warstw grabowieckich przesunęła się ku północy w stosunku do jej położenia w badanie śródkowym. Zgodne to jest z wynikami analizy rozwoju zapadliska przedkarpackiego w badanie nadewaporatowym i w dolnym sarmacie na wschód od Tarnowa (Połtowicz, Starczewska-Popow, 1973).

Z przebudową tą ma ścisły związek diastrofizm Karpat, którego efektem było wzmożenie erozji fliszu karpackiego i zwiększenie ilości i grubości ziarn transportowanego materiału klastycznego, osadzanego w zbiorniku morza grabowieckiego. Ożywienie ruchów tektonicznych w Karpatach widoczne jest w osadzeniu się zlepieńców i piaskowców rozpoczynających profil warstw grabowieckich. Sedymentacja grubego kompleksu piasków bogucickich i równowiekowych z nimi piasków i żwirów z Raj-ska była związana z wydźwiganiem się Karpat i ich długotrwałą erozją. Osady te stanowiły najprawdopodobniej stożki napływowe rzek uchodzących do zbiornika górnobadeńskiego (Niedźwiedzki, 1884; Skoczylas-Ciszewska, Kolasa, 1959).

PRÓBA REKONSTRUKCJI PALEOGEOGRAFII ZBIORNIKA SALINARNEGO WIELICZKI I BARYCZA

Odtworzenie badeńskiego zbiornika salinarnego wymaga rozprostowania utworów formacji solonośnej sfałdowanych przed czołem Karpat i cofnięcia ich do pierwotnych miejsc występowania. Gawęł (1962) oraz Poborski i Skoczylas-Ciszewska (1963) w oparciu o analizę tektoniczną złoża soli kamiennej w Wieliczce wyrazili pogląd, że utwory solonośne, występujące dziś w obrębie tego złoża, osadziły się w strefie o szerokości około 10 km. Regionalna analiza tektoniki sfałdowanych utworów miocenkich i analiza facjalna autochtonicznych osadów badeńskich występujących pod nasunięciem Karpat oraz leżących na fliszu (Połtowicz, praca w druku) wskazuje, że zatoka zbiornika salinarnego, w której osadziły się ewaporaty Barycza i Wieliczki, sięgała prawdopodobnie ponad 25 km na południe od dzisiejszego brzegu Karpat (fig. 2). Zbiornik ten wkroczył na obszar Karpat kilka kilometrów, o czym świadczy występowanie osadów dolnobadeńskich w łuskach fliszowych okolic Wieliczki (Gawęł, 1962; Skoczylas-Ciszewska, Poborski, 1962; Poborski, Skoczylas-Ciszewska, 1963), a osadów dolnobadeńskich i ewaporatów oraz warstw chodenickich na fliszu w złożu soli kamiennej w Bochni (Bukowski, 1921, 1932; Chlebowski, 1947; Olewicz, 1952; Poborski, 1952).

Sole występujące dziś w złożach Wieliczki i Barycza osadziły się w południowej części panwi ewaporacyjnej, w zatoce oddzielonej barierą od zatoki, w której tworzyły się sole złoża bocheńskiego (Gawęł, 1962, Skoczylas-Ciszewska, Poborski, 1968; Garlicki, 1971b).

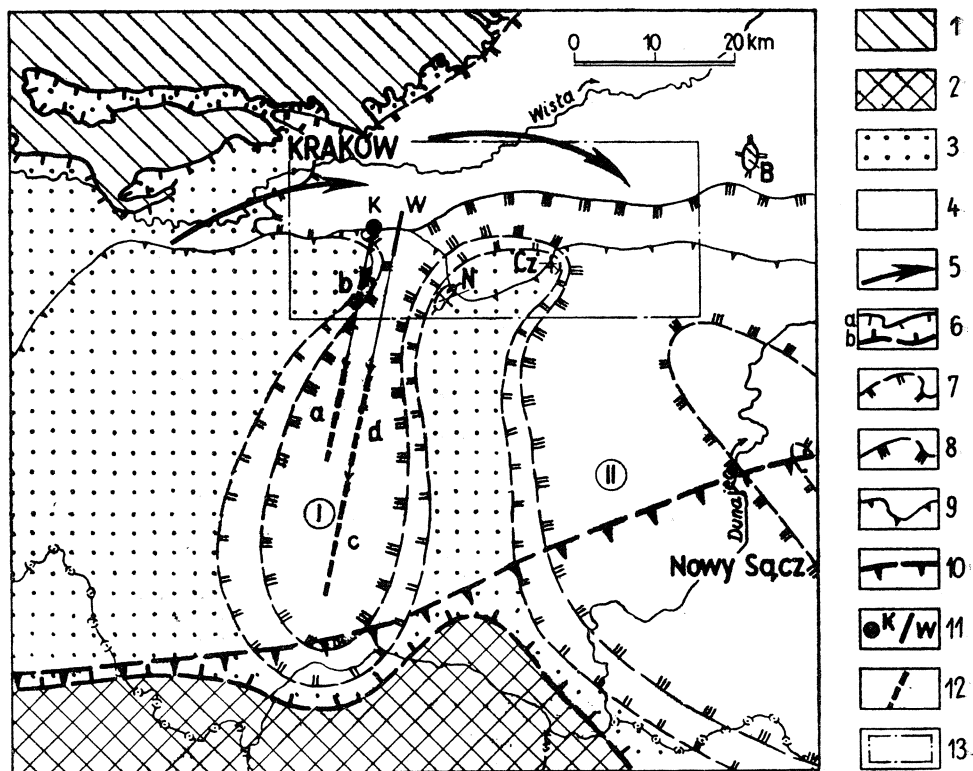
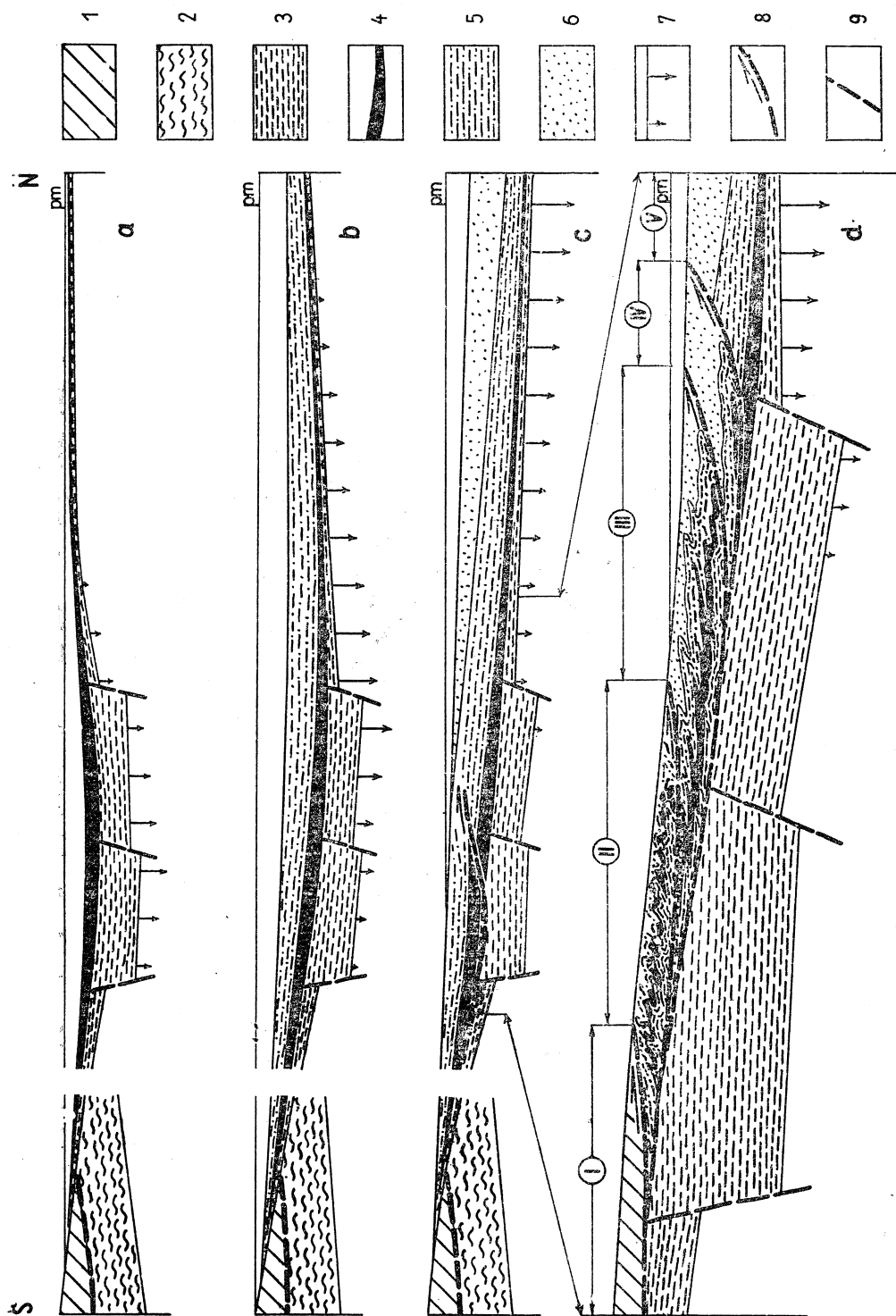


Fig. 2. Szkic paleogeograficzny badeńskiego zbiornika salinarnego na wschód od Krakowa. 1 — ład małopolski i wyspy przedgórzia Karpat stwierdzone wierceniami: N — Niżowej; Cz — Czyżyczki; B — Borzęcina; 2 — ład karpaccy; 3 — utwory dolnego badenu i klastyczne odpowiedniki ewaporatów; 4 — ewaporaty; 5 — kierunki dopływu wód do zatok salinarnych; 6 — zasięg utworów badenu (a — obecny, b — zrekonstruowany); 7 — przypuszczalny zasięg facji siarczanowej; 8 — przypuszczalny zasięg facji chlorkowej; 9 — dzisiejszy brzeg Karpat fliszowych; 10 — przypuszczalny brzeg Karpat fliszowych w badenie; 11 — stanowiska ewaporatów (K — otwór Krzyszkowice H2; W — przekrój przez złożę soli kamiennej w Wieliczce); 12 — przypuszczalne miejsce ewaporatów przed sfałdowaniem i przemieszczeniem (a — złoża soli kamiennej w Baryczu; b — gipsów elementu Krzyszkowic; c — bryłowego piętra złoża wielickiego; d — warstwowego piętra złoża wielickiego); 13 — obszar przedstawiony na fig. 1B. Elementy basenu salinarnego: I — zatoka barycko-wielicka; II — zatoka bocheńska

Fig. 2. Palaeogeographic sketch-map of the Badenian salt basin south of Kraków. 1 — Carpathian foreland and its islands penetrated by boreholes: N — Niżowa; Cz — Czyżyczka; B — Borzęcin; 2 — Carpathian continent; 3 — Lower Badenian sediments and clastic equivalents of evaporites; 4 — evaporites; 5 — directions of water inflow to salt bays; 6 — extent of Badenian sediments (a — present; b — reconstructed); 7 — suggested extent of sulphate facies, 8 — suggested extend of chloride facies; 9 — present-day border of the Flysch Carpathians; 10 — suggested border of the Flysch Carpathians in the Badenian; 11 — evaporite occurrences (K — borehole Krzyszkowice H2; W — section through the rock salt deposit in Wieliczka); 12 — suggested original location of evaporites before folding and displacement (a — rock salt deposits in Barycz; b — gypsum of the Krzyszkowice element; c — block horizon of the Wieliczka deposit; d — layered horizon of the Wieliczka deposit); 13 — area shown in fig. 1A

Elements of the salt basin: I — Barycz—Wieliczka bay; II — Bochnia bay.



Na istnienie tej bariery wskazuje również rozwój utworów miocennskich w okolicy Gdowa, gdzie nie osadziły się ewaporaty (Poborski, Skoczylas-Ciszewska, 1963; Skoczylas-Ciszewska, Poborski, 1968; Garlicki, 1971b). W „zatoce” gdowskiej zbiornik salinarny ograniczał się prawdopodobnie tylko do wąskiej strefy położonej w jej północnej części (Połtowicz, 1962).

Wzajemne rozmieszczenie wydzielonych elementów tektonicznych sfałdowanego miocenu u czoła Karpat w okolicy Wieliczki i Barycza przemawia za tym, że ewaporaty bryłowego piętra złoża wielickiego osadziły się w najbardziej południowej części zatoki salinarnej. Dalej ku północy tworzyły się prawdopodobnie sole występujące w obrębie złoża w Baryczu i sole dolnego piętra złoża wielickiego. Skały siarczanowe, znane z profilów wierceń w Krzyszkowicach, osadziły się w zachodniej części zatoki, w strefie sedymentacji utworów facji siarczanowej. Można przypuszczać, że skały wapienno-dolomitowe, znalezione przez Gwał (1962) w złożu wielickim, pochodzą z jeszcze bardziej brzeżnej strefy zbiornika, gdzie tworzyły się skały węglanowe.

EWOLUCJA TEKTONICZNA ZBIORNIKA SEDYMENTACYJNEGO I TEKTOGENEZA ZŁOŻ SOLI KAMIENNEJ W WIELICZCE I BARYCZU

Analiza rozwoju tektonicznego zapadliska przedkarpackiego i zmian, jakie zachodziły w zbiorniku sedymentacyjnym oraz szczegółowa analiza tektoniki sfałdowanych utworów miocennskich pozwalają na odtworzenie etapów formowania się złóż soli kamiennej w Wieliczce i Baryczu. Etapy te przedstawiono na fig. 3.

Rozwój i rozmieszczenie miąższości utworów dolnego badenu (serii podewaporatowej) wskazuje na intensywną sedymentację syntektoniczną

Fig. 3. Stadia rozwoju złóż soli kamiennej w Wieliczce i Baryczu. a — w czasie sedymentacji ewaporatów; b — w czasie sedymentacji warstw chodenickich; c — w czasie sedymentacji warstw grabowieckich; d — po zakończeniu sedymentacji warstw grabowieckich (w sarmacie). 1 — utwory fliszowe; miocen: 2 — karpat; 3 — dolny baden (seria podewaporatowa); środkowy baden: 4 — seria ewaporatów; 5 — warstwy chodenickie; górny baden: 6 — warstwy grabowieckie; 7 — subsydencja podłoża; 8 — powierzchnie ześlizgów; 9 — uskoki. I — Karpaty fliszowe; II — bryłowe piętro złoża wielickiego; III — warstwowe piętro złóż wielickiego i baryckiego; IV — element (łuska) Krzyszkowic, rzutowany na przekrój; V — miocen autochtoniczny; pm — poziom morza

Fig. 3. Stages of evolution of the rock salt deposits in Wieliczka and Barycz. a — during sedimentation of evaporites; b — during sedimentation of the Chodenice Formation; c — during sedimentation of the Grabowiec Formation; d — after sedimentation of the Grabowiec Formation (in Sarmatian); 1 — flysch rocks; Miocene rocks: 2 — Carpathian; 3 — Lower Badenian; Middle Badenian: 4 — evaporite series; 5 — Chodenice Formation; Upper Badenian: 6 — Grabowiec Formation; 7 — basement subsidence; 8 — sliding surfaces; 9 — faults. I — Flysch Carpathians; II — block salt horizon of the Wieliczka salt deposit; III — layered salt horizon of the Wieliczka and Barycz salt deposits; IV Krzyszkowice element (thrust slice) projected on the section from the west; V — autochthonous Miocene; pm — sea level

w pobliżu niektórych uskoków. Do takich należą uskoki przebiegające pomiędzy otworami Raciborsko 2 (R 2) i Siercza 1 (S 1) oraz pomiędzy drugim z wymienionych otworów a złożem soli w Wieliczce (fig. 1A). Ograniczają one blok obniżony, na którym miąższość osadów dolnobadeńskich jest znacznie większa niż na jego skrzydłach wiszących.

Po zakończeniu sedymentacji utworów dolnego badenu zapanował okres stosunkowo spokojny pod względem tektonicznym, jakkolwiek południowa część zbiornika sedymentacyjnego nadal przejawiała szybszą subsydencję w porównaniu z jego częścią północną. Poprzeczne różnicowanie głębokościowe zbiornika sedymentacyjnego powodowało tworzenie się częściowo odizolowanych zatok, w których rozpoczęły się wytrącać ewaporaty z wody morskiej dopływającej przede wszystkim od zachodu poprzez połączenie z Paratetydą centralną znajdujące się między Wyżyną Śląsko-Krakowską a ówczesnymi Karpatami (fig. 2, 3, stadium a).

Sedymentacja soli była uwarunkowana różną szybkością subsydencji dna zbiornika osadowego; na obszarach stabilnych, jakimi był skłon ładu małopolskiego, osadzały się anhydryty i gipsy, w strefach szybciej obniżających się, do których spływały ku południowi cięższe roztwory względnie wzbogacone w chlorek sodu po częściowym wytrąceniu siarczanu wapnia, tworzyła się również sól kamienna (Połtowicz, 1962).

Po osadzeniu się ewaporatów, które prawdopodobnie w znacznym stopniu wypełniły zatoki salinarne, rozpoczęła się sedymentacja ilasto-mułowcowych warstw chodenickich (fig. 3, stadium b). Obszar najszybszej subsydencji, a tym samym najintensywniejszej sedymentacji, przesunął się wyraźnie ku północy. Przebiegał on prawdopodobnie w strefie dzisiejszego występowania brzegu Karpat i skręcał nieco ku południowemu wschodowi między Bochnią a Tarnowem. Miąższość warstw chodenickich w centralnej części zbiornika wynosiła około 250 m (Poborski, 1952; Alexandrowicz, 1961; Kirchner, Połtowicz, 1974).

Południowa część zbiornika nie jest znana; osady w niej złożone zostały zniszczone w czasie nasuwania się utworów miocenских i fliszu karpackiego. Częściowo znajdują się one dziś u czoła Karpat, sfałdowane i nasunięte na autochtoniczne osady badenu. W czasie sedymentacji warstw chodenickich następowało dalsze przemieszczanie ku północy osi zbiornika i strefy najszybszej subsydencji jego dna.

W górnym badenie strefa ta znajdowała się już na zewnątrz od dzisiejszego położenia brzegu Karpat (fig. 3, stadium c). Przebiegała ona przypuszczalnie przez okolice Niepołomic i na północ od Brzeska. Miąższość warstw grabowieckich w tej strefie waha się od około 200 m w okolicy Krakowa do ponad 700 m pod Tarnowem. Równocześnie z przemieszczaniem osi zbiornika sedymentacyjnego nasiliły się ruchy wypiętrzające na obszarze Karpat. Spowodowały one wzmożenie erozji i zwiększenie ilości transportowanego materiału skalnego i jego granulacji. Osady gór-

nego badenu rozpoczynają się miejscami utworem, który można uważać za zlepieniec podstawowy. Składa się on z otaczaków i słabo obtoczonych fragmentów szarobieżowych dolomitów oraz ziarn piasku, silnie zanieczyszczonego substancją ilastą. Zlepieniec taki został rozpoznany w profilu otworu Bogucice A (Garlicki, 1964). W leżącym ponad nim kompleksie ilasto-mułowcowym materiał o grubszym ziarnie tworzy przeławiczenia o różnej miąższości. W wyższej części profilu warstw grabowieckich frakcja piaszczystą zaczyna dominować nad ilasto-mułową. Występuje tu kompleks piasków bogucickich.

W miarę wypiętrzania Karpat i obszarów zapadliska przedkarpackiego położonych dalej ku południowi oraz pograżania się północnej jego części stopniowo wzrastało nachylenie stropu ewaporatów, prawdopodobnie miejscami częściowo już uplastycznionych pod wpływem ciśnienia skał nadkładu (warstw chodenickich). Powodowało to narastanie naprężeń, rozładowywanych poprzez tworzenie się dyslokacji z odkłucia w obrębie ośrodka najbardziej podatnego na odkształcenia i przemieszczenia, jakimi są sole kamienne (fig. 3, stadium c). Zaburzenie równowagi spowodowało powolne spełzywanie mas skalnych ku północy, w kierunku powstającego obniżenia, wyznaczającego kolejne stadium rozwoju zapadliska przedkarpackiego. W południowej części basenu ewaporatowego mogło ono być zapoczątkowane już bezpośrednio po osadzeniu się warstw chodenickich, stąd brak warstw grabowieckich w górotworze solnym Wieliczki. Z niszczonego w strefie przybrzeżnej osadów węglanowych serii ewaporatów powstały prawdopodobnie zlepieńce, składające się z otaczaków dolomitów, występujące w najniższej części warstw grabowieckich.

Dalsze przemieszczanie osi zbiornika sedymentacyjnego ku północy w najwyższym grabowianie i w dolnym sarmacie i zwiększenie się w związku z tym różnicy wysokości pomiędzy południową częścią panwi solnej a północną częścią zapadliska przedkarpackiego spotęgowało zjawisko ześlizgów grawitacyjnych w strefie miocenu przedkarpackiego. Powstały wówczas dalsze odkłucia w obrębie serii ewaporatów (fig. 3, stadium d) i rozpoczęło się fałdowanie uplastycznionych soli i towarzyszących im skał płonnych. Doprowadziło to do powstania łusek zbudowanych z soli warstwowej złoża wielickiego i uformowania się złoża baryckiego. Sól najwyższego elementu tektonicznego, która dziś znajduje się w obrębie bryłowego piętra złoża wielickiego, uległa najmniejszemu uplastycznieniu prawdopodobnie ze względu na najmniejszą grubość skał nadkładu. Sole zielone uległy wówczas pogruchołtaniu i zsunięciu w postaci megabrekcji osuwiskowej na niższy, fałdujący się element tektoniczny składający się z soli warstwowych, a następnie przefałdowaniu łącznie z nimi.

Brak osadów dolnego sarmatu w okolicy Wieliczki nie pozwala w bezpośredni sposób ustalić wieku tektoniki utworów salinarnych i skał im towarzyszących. Było to powodem obniżania wieku fałdowania złóż soli i pozostałych osadów miocenijskich przed czołem Karpat na odcinku mię-

dzy Wieliczką a Bochnią do pogranicza warstw chodenickich i grabowieckich ze względu na istnienie jakoby transgresji morza grabowieckiego na sfałdowanych warstwach chodenickich (Niedźwiedzki, 1883, 1884, 1886; Bukowski, 1931, 1932; Nowak, 1948; Poborski, 1952; Skoczyła-Ciszewska, 1952 i in.). Należy tu wspomnieć, że jeden z pierwszych badaczy miocenu Podkarpacia, Uhlig (1888), uważał, że istnieje ciągłość sedymentacyjna pomiędzy warstwami chodenickimi a grabowieckimi. Wnioski te wyciągnął z obserwacji kontaktu tych warstw w szeregu odsłonień, a przede wszystkim w gliniance Trinitatis między Bochnią a Chodenicami. Te same obserwacje poczynił Bukowski (1921), jednakże uważał, wbrew nim, że pomiędzy warstwami chodenickimi a grabowieckimi istnieje niezgodność kątowna, która zanika w miarę oddalania się od brzegu Karpat.

Obserwacje tektoniki utworów miocennych u czoła Karpat Środkowych skłaniają do twierdzenia, że ostateczne uformowanie się złóż soli kamiennej w Wieliczce i Baryczu nastąpiło stosunkowo późno — w dolnym sarmacie lub nawet po zakończeniu sedymentacji utworów dolnosarmackich. Zarówno tektonika złóż soli w Wieliczce i Baryczu, jak i sfałdowanie utworów miocennych u czoła Karpat oraz ostateczne ich dosunięcie do dzisiejszego położenia zostało spowodowane zaburzeniem równowagi grawitacyjnej, wywołanym ruchami podłoża zapadliska przedkarpackiego. Energia potencjalna, nagromadzona w skałach, po przekroczeniu ich wytrzymałości na ścinanie została rozładowana w ześlizgach grawitacyjnych i fałdowaniu. O możliwości istnienia ześlizgów utworów miocennych w okolicy Bochni wspominał również Bukowski (1921).

ZAKOŃCZENIE

Przyjmując odmienny pogląd na czas fałdowania utworów miocennych przed czołem Karpat między Wieliczką a Bochnią należy pod tym kątem widzenia przeanalizować podstawowe przekroje geologiczne na tym obszarze opublikowane uprzednio.

Po przestudiowaniu przekroju geologicznego przez okolice Chełmu nad Rabą (Poborski, Skoczyła-Ciszewska, 1963, fig. 1) nasuwa się wniosek, że nie istnieje konieczność uważania warstw grabowieckich za utwór transgresywny, leżący niezgodnie na sfałdowanych warstwach chodenickich. Warstwy grabowieckie leżąc tu mogą zgodnie na utworach badenu środkowego i uzupełniają profil osadów miocennych w strefie parautochtonicznej, co zostało udokumentowane licznymi wierceniami na obszarze położonym między Brzeskiem a Wojniczem (Kirchner, Połtowicz, 1974).

Ten sam wniosek nasuwa się przy analizie tektoniki przekroju geologicznego przez Wieliczkę (Poborski, Skoczyła-Ciszewska, 1963, fig. 2). Niezgodne ułożenie piasków bogucickich na sfałdowanych

warstwach chodenickich zostało wydedukowane, o czym świadczą przerywane linie obrazujące tektonikę warstw chodenickich. W profilu wiercenia nr III granica pomiędzy parautochtonicznymi a autochtonicznymi warstwami chodenickimi przebiega prawdopodobnie znacznie wyżej, niż to zinterpretowano na przekroju, tam gdzie kończą się strome upady warstw, a zaczynają występować zbliżone do poziomych, co podkreślono schematycznie na przekroju.

Piaski bogucickie leżą prawdopodobnie przed czołem nasuniętych osadów miocénskich, znajdującym się pomiędzy otworami nr III a 1/61, już w strefie autochtonicznych osadów badeńskich. Kontakt obu jednostek tektonicznych (parautochtonicznej i autochtonicznej) jest zasłonięty osadami czwartorzędowymi i zwietrzeliną skał miocénskich i jest niedostępny dla bezpośrednich obserwacji. Można w tym przekroju w taki sposób zinterpretować materiały geologiczne, że złożo wielickie wraz ze skałami otaczającymi je uznać za nasunięte na utwory górnego badenu, a nie przykryte nimi transgresywnie.

Poborski i Garlicki (vide Krach, Łuczowska, Ney, 1974, rys. 5 i 6) stosując się do ustalonych poglądów o transgresji górno-badeńskiej na sfałdowane osady badenu środkowego byli zmuszeni powierzchnię nasunięcia utworów miocénskich umieścić w profilu otworu Bogucice A w głębokości 305 m, czyli na kontakcie warstw grabowieckich i chodenickich, przyjmując pomiędzy nimi przerwę sedymentacyjną, na co brak jakichkolwiek dowodów. Dane z sąsiednich przekrojów geologicznych nie wskazują na tak daleki ku północy zasięg sfałdowanych utworów miocénskich. Przeciwno przyjęciu tak głębokiego przebiegu powierzchni nasunięcia osadów miocénskich w otworze Bogucice A przemawiają również wyniki obu wierceń w Krzyszkowicach, w których kontakt pomiędzy sfałdowanymi i nasuniętymi osadami miocénskimi a autochtonicznymi utworami górnego badenu, wyznaczony znaczną różnicą kątów upadu warstw, przebiega w głębokości około 200 m.

Podobny sposób rozumowania można zastosować w analizie przekroju geologicznego Barycz—Rząka (Garlicki, 1964, fig. 2, przekrój III), w którym przyjęto miąższość warstw grabowieckich równą około 100 m. Uwzględniając wyniki pobliskiego wiercenia Bogucice A powinna ona wynosić około 200 m. Konstruując przekrój w oparciu o tę miąższość nie uniknie się konieczności odmiennej jego interpretacji — nasunięcia sfałdowanych utworów miocénskich na autochtoniczne warstwy grabowieckie.

WNIOSKI

Z powyższych rozważań można wyciągnąć następujące wnioski:

1. W rozkładzie miąższości utworów badeńskich w przekroju Rzeszotary—Wieliczka—Bogucice widać wyraźne przesuwanie się ku północy osi

zbiornika sedymentacyjnego oraz wpływ konsedymencie tworzących się uskoki na intensywność depozycji utworów dolnobadeńskich wyrażony gwałtownymi zmianami miąższości osadów.

2. Tektonika złóż soli kamiennej w Wieliczce i Baryczu została wywołana naruszeniem równowagi grawitacyjnej spowodowanym przemieszczaniem się ku północy stref największej subsydencji dna zbiornika sedymentacyjnego przy równoczesnym dźwiganiu się Karpat fliszowych.

3. Rozładowanie energii potencjalnej nagromadzonej w górotworze nastąpiło poprzez ześlizgi grawitacyjne po przekroczeniu wytrzymałości na ścinanie utworów miocennych. Dużą rolę odegrały w tym procesie uplastycznione sole, jako ośrodek najbardziej podatny na odkształcenia plastyczne.

4. Utwory solonośne poddane najmniejszemu naciskowi nadległych warstw, a tym samym najmniej uplastycznione, uległy połamaniu i utworzyły osuwiskowe bryłowe piętro soli zielonych złóż wielickiego. Sole, występujące głębiej, w większym stopniu uplastycznione, zsunęły się na autochtoniczne utwory badeńskie i sfałdowały tworząc łuski piętra soli warstwowych.

5. Ostateczne dofałdowanie złóż soli kamiennej w Wieliczce i Baryczu miało miejsce po zakończeniu sedymentacji warstw grabowieckich — prawdopodobnie w dolnym sarmacie lub nawet jeszcze później.

6. Lokalne niezgodności kątowe między warstwami grabowieckimi a chodenickimi, uważane za dowód transgresji, można wytłumaczyć synchronizacją sedymentacji i ześlizgów grawitacyjnych w górnym badenie.

Zakład Opracowań Geologicznych

Górnictwa Naftowego „Geonafte”

Ośrodek w Krakowie, ul. Lubicz 25, 31-503 Kraków

Maszynopis nadesłano XI 1975,

przyjęto do druku VI 1976

WYKAZ LITERATURY

REFERENCES

- Alexandrowicz S. W. (1961), Stratygrafia warstw chodenickich i grabowieckich w Chełmie nad Rabą (Stratigraphy of Chodenice and Grabowiec Beds at Chełm on the Raba river). *Kwart. geol.* 5, nr 3, p. 646—667. Warszawa.
- Bukowski G. (1921), Kilka uwag o tektonice pasa miocennego w okolicy Bochni (Quelques remarques sur la tectonique du terrain miocène aux environs de Bochnia). *Spraw. P. Inst. Geol.* 1, 2—3, p. 91—203. Warszawa.
- Bukowski G. (1932), Objaśnienia szczegółowej mapy geologicznej Podkarpacia w okolicach Bochni (Erläuterung zur geologischen Detailkarte der subkarpatischen Zone von Bochnia). *Spraw. P. Inst. Geol.* 8, 2, p. 227—291. Warszawa.
- Chlebowski T. (1947), Spostrzeżenia geologiczne z miocenu Kałusza i Bochni (Geological observations on the Miocene of Kałusz and Bochnia (Carpathian foreland)). *Spraw. Państw. Inst. Geol.* 29, p. 30—39. Warszawa.

- Garlicki A. (1960), Złoże soli kamiennej Łęzkowice—Siedlec w zatoce gdowskiej (Rock salt deposit Łęzkowice—Siedlec in Gdów „bay”). *Prz. geol.* nr 1, p. 43—45. Warszawa.
- Garlicki A. (1964), Seria solna między Skawiną a Wieliczką. (sprawozd.). *Kwart. geol.* 8, nr 4, p. 979—980. Warszawa.
- Garlicki A. (1965), Poszukiwanie złoży soli kamiennej w obszarze na północ od Wieliczki i Bochni. Opracowanie końcowe. *Arch. Inst. Geol. Kraków*.
- Garlicki A. (1970), Złoże soli kamiennej Moszczenica—Łapczyca na zachód od Bochni (Rock salt deposit Moszczenica—Łapczyca West of Bochnia). *Kwart. geol.* 14, nr 2, p. 350—360. Warszawa.
- Garlicki A. (1971a), Złoże soli kamiennej w Łęzkowicach nad Rabą (Rock salt deposit at Łęzkowice on Raba). *Kwart. geol.* 15, nr 4, p. 930—946. Warszawa.
- Garlicki A. (1971b), Facial map of the Tortonian evaporite horizon in Poland. *Acta geol. Acad. Sci. Hung.* 15, p. 111—115. Budapest.
- Gawel A. (1962), Budowa geologiczna złoża solnego Wieliczki. (The geological structure of the Wieliczka salt deposit). *Pr. Inst. Geol.* 30, cz. 3, p. 305—331. Warszawa.
- Hrdina I. N. (1842), Geschichte der Wieliczkaer Saline. 274 p. Wien.
- Kirchner Z., Połtowicz S. (1974), Budowa geologiczna obszaru między Brzeskiem a Wojniczem (Geological structure of the area between Brzesko and Wojnicz (Southern Poland)). *Rocz. Pol. Tow. Geol. (Ann. Soc. Geol. Pol.)* 44, 2—3, p. 293—320. Kraków.
- Komorowska-Błaszczńska M. (1966), Front karpacki w przekroju Wiśłoki. *Spraw. Pos. Kom. PAN Oddz. w Krakowie*, p. 507—511.
- Komorowska-Błaszczńska M. (1968), Zaburzone utwory dolnego sarmatu w profilach nasunięcia brzeżnej strefy Karpat. *Spraw. Pos. Kom. PAN Oddz. w Krakowie*, p. 795—800.
- Krach W., Łuczowska E., Ney R. (1974), Miozän des karpatischen Vorlands, *Exkursionsführer VII Symp. „Paratethys”*, p. 64. Kraków.
- Kuhl J. (1931), Sprawozdanie ze wstępnych badań geologiczno-petrograficznych złoża solnego w Wieliczce. *Pos. Nauk. Pol. Inst. Geol.* z. 30, p. 76—80. Warszawa.
- Kuhl J. (1932), Sprawozdanie z badań złoża solnego w Wieliczce w r. 1931. *Pos. Nauk. Pol. Inst. Geol.* z. 33, p. 107—110. Warszawa.
- Kuhl J. (1933a), Budowa geologiczna złoża solnego w Wieliczce (Structure géologique du gisement de sel à Wieliczka). *Pos. Nauk. Pol. Inst. Geol.* z. 36, p. 70—76. Warszawa.
- Kuhl J. (1933b), Zarys budowy geologicznej złóż soli kamiennej w Bochni i Wieliczce. *Prz. gór.-hut.* 25, p. 9—27.
- Niedźwiedzki J. (1883, 1884, 1886), Stosunki geologiczne formacji solonośnej Wieliczki i Bochni. cz. I, *Kosmos* 8, 81 p., cz. II, *Kosmos* 9, p. 81—121, cz. III, *Kosmos* 11, p. 123—140. Lwów.
- Nowak J. (1948), Miocen północnej krawędzi Karpat. (The Miocene of the northern border of the Carpathians). *Rocz. Pol. Tow. Geol. (Ann. Soc. Geol. Pol.)* 17, za r. 1947, p. 1—38. Kraków.
- Olewicz Z. (1952), Sprawozdanie z prac terenowych w roku 1949 przeprowadzonych w okolicy Gdowa i Bochni. *Geol. Biul. inf.* nr 3, p. 3. Warszawa.
- Paul K. M. (1880), Über die Lagerungsverhältnisse in Wieliczka. *Jb. Geol. Reichsanst.* 30, *Verh. Geol. Reichsanst.* 1879, p. 323—324. Wien.
- Poborski J. (1952), Złoże solne Bochni na tle geologicznym okolicy. (The Bochnia salt deposit on the geological background of the region). *Biul. Państw. Inst. Geol.* 78, 160 p. Warszawa.

- Poborski J. (1965a), Pozycja tektoniczna mioceńskich złóż ewaporacyjnych na Podkarpaciu. *Spraw. Pos. Kom. PAN Oddz. w Krakowie*, p. 237—241.
- Poborski J. (1965b), Historyczny rozwój poglądów na budowę geologiczną złoży solnego Wieliczki. *Stud. Mater. Dziej. Żup Sol. w Polsce*, 1, p. 37—52. Wieliczka.
- Poborski J., Skoczylas-Ciszewska K. (1962), Tektogeneza mioceńskich złóż soli na Podkarpaciu Zachodnim. *Spraw. Pos. Kom. PAN Oddz. w Krakowie*, p. 528—530.
- Poborski J., Skoczylas-Ciszewska K. (1963), O miocenie w strefie nasunięcia karpackiego w okolicy Wieliczki i Bochni (Miocene in the zone of the Carpathian overthrust in the area of Wieliczka and Bochnia). *Rocz. Pol. Tow. Geol. (Ann. Soc. Geol. Pol.)* 33, 3, p. 339—349. Kraków.
- Połtowicz S. (1962), Outline of the tectonic structure of the bay of Gdów. *Bull. Acad. Pol. Sci. Sér. sci. géol. géogr.* 10, nr 1, p. 53—60. Varsovie.
- Połtowicz S. (1963), Utwory solonośne w otworze Pogórska Wola koło Tarnowa (Salt-bearing formations in the bore-hole Pogórska Wola near Tarnów). *Kwart. geol.* 7, nr 4, p. 431—437. Warszawa.
- Połtowicz S. (1974), Wgłębna tektonika brzegu Karpat w okolicy Tarnowa i Pilzna [Tectonic structures of the Carpathian border in the Tarnów and Pilzno area (Polish Middle Carpathians)], *Rocz. Pol. Tow. Geol. (Ann. Soc. Geol. Pol.)* 46, 4, p. 491—511. Kraków.
- Połtowicz S., Starczewska-Popow A. (1973), Rozwój zapadliska przedkarpackiego między Tarnowem a Przemyślem (The development of the Carpathian foredeep between Tarnów and Przemyśl, Polish Eastern Carpathian). *Rocz. Pol. Tow. Geol. (Ann. Soc. Geol. Pol.)* 43, 4, p. 495—517. Kraków.
- Sikora W., Szotowa W. (1969), Kontakt warstw grabowieckich i chodenickich na południowym zboczu góry Grodzisko w Chełmnie nad Rabą. *Kwart. geol. (sprawozd.)* 13, nr 3, p. 714—715. Warszawa.
- Skoczylas-Ciszewska K. (1852), Budowa geologiczna brzegu Karpat w okolicy Bochni. *Biul. Państw. Inst. Geol.* 77, 55 p., Warszawa.
- Skoczylas-Ciszewska K. (1968), Zagadnienie paleogeograficznej rekonstrukcji krajobrazu mioceńskiego Wieliczki i jej okolic. *Stud. Mater. Dziej. Żup Sol. w Polsce*, 2, p. 137—141. Wieliczka.
- Skoczylas-Ciszewska K., Kolasza M. (1959), O piaskach bogucickich [The Bogucice-sands (Cracow area)]. *Rocz. Pol. Tow. Geol. (Ann. Soc. Geol. Pol.)* 28, 3, p. 285—314. Kraków.
- Skoczylas-Ciszewska K., Poborski J. (1961a), Z badań geologicznych nasunięcia karpackiego na miocen solonośny w Baryczu koło Wieliczki. *Spraw. Pos. Kom. PAN Oddz. w Krakowie*, p. 237—238.
- Skoczylas-Ciszewska K., Poborski J. (1961b), Wstępne wyniki badań geologicznych przy brzegu nasunięcia karpackiego w Baryczu koło Wieliczki. *Spraw. Pos. Kom. PAN Oddz. w Krakowie*, p. 136—138.
- Skoczylas-Ciszewska K., Poborski J. (1962), Nasunięcie karpackie na miocen solonośny w świetle badań wyrobisk kopalni wielickiej. *Spraw. Pos. Kom. PAN Oddz. w Krakowie*, p. 280—283.
- Skoczylas-Ciszewska K., Poborski J. (1968), Tectogenesis of the Miocene evaporites at the margin of the Carpathians east of Cracow. *23 Intern. Geol. Congr. Proceed. of sect. 3*, p. 281—286, Prague.
- Tołwiński K. (1956), Główne elementy tektoniczne Karpat z uwzględnieniem górotworu Salidów (The chief elements of the Carpathian Mts and the Salides Range). *Acta geol. pol.* 6, nr 2, p. 75—226. Warszawa.
- Uhlig V. (1889), Ergebnisse geologischer Aufnahmen in den westgalizischen Karpathen. I. Die Sandsteinzone zwischen dem pieninnischen Klippenzeuge und dem Nordrande. *Jb. Geol. Reichsanst.* 38 (1888), p. 85—264. Wien.

- Zejszner L. (1842), *Krótki opis historyczny, geologiczny i górniczy Wieliczki*, 138 p. Kraków.
- Zeuschner L. (Zejszner L.) (1844), *Geognostische Beschreibung des Salz-Lagers von Wieliczka*, *N. Jb. Mineral.* p. 513—535. Stuttgart.

SUMMARY

Abstract. The tectonic pattern of the rock salt deposits in Wieliczka and Barycz is the effect of gravitational sliding produced by the relaxation of stresses in the rock masses. The stresses resulted from the loss of equilibrium due to gradual displacement of the zone of the greatest subsidence of the bottom of the sedimentary basin to the north, and simultaneous uplifting of the Flysch Carpathians during the Attic revolution. The ultimate age of formation of the salt deposits has been determined as post-Badenian, presumably Lower Sarmatian.

In the vicinity of Wieliczka and Barycz near Kraków, in front of the border of the Flysch Carpathians, folded Miocene rocks containing a salt-bearing formation have been noted. They are thrust over the autochthonous Badenian sediments of the Carpathian Foreland, containing also evaporites.

Nearly all the investigators who studied the tectonics of the Miocene before the front of the Carpathians were of the opinion that folding took place on the turn of the Middle and Upper Badenian. It was generally held that the transgressive Grabowiec Formation (Upper Badenian) overlies discordantly the folded Chodenice Formation, evaporites (Middle Badenian) and the infraevaporitic series (Lower Badenian). The above conclusions were drawn from tectonic investigations carried out over a short section of the Carpathian arch and based on a small number of natural and artificial exposures.

A study of the geological structure of the zone of folded Miocene rocks in the area between Kraków and Przemyśl indicates that the tectonic movements occurred after the Lower Sarmatian. A recent interpretation of the geological section through the marginal part of the Flysch Carpathians, the salt deposit in Wieliczka and the autochthonous Miocene sediments of the Carpathian foredeep (fig. 1A) points to the normal stratigraphic sequence of the Badenian rocks. No Lower Sarmatian sediments have been recorded in the vicinity of Wieliczka.

An analysis of the evolution of the Carpathian foredeep implies that the zone of most intensive sedimentation caused by the increased subsidence of the basin floor moved gradually to the north and north-east. The essential change in the position of the axis of the Badenian basin took place after the Middle Badenian. In the Lower Badenian, the zone of greatest subsidence was in the area situated south of the present-day border of the Flysch Carpathians whereas in the Upper Badenian it was already north of that border.

The Middle Badenian evaporites were deposited in the bays of the salt basin. The southern parts of those bays lay in places in the area of the contemporary Carpathians, the border of which was at that time about 50 km south of Wieliczka (fig. 2).

The salt basin showed variations in the rate of bottom subsidence. In its northern part, situated on the slope of the Carpathian foreland, the subsidence was not very fast. Carbonate rocks and, at a greater distance from the littoral zone, sulphate rocks (gypsum and anhydrite) formed there. In the southern part of the basin, within the bays, the subsidence rate was relatively high, causing the solution enriched in NaCl after partial precipitation of calcium sulphates to flow southwards. In the central parts of the bays gypsum, anhydrite and rock salt were deposited.

The successive orogenic phase in the Carpathians began on the turn of the Middle and Upper Badenian, ending after the Sarmatian. In the Carpathian foredeep it brought about the displacement of the axis of the sedimentary basin to the north and the deepening of the basin, which resulted in a gradual increase of the inclination of the top of evaporites. The exceeding of the shear strength of the rocks produced detachment dislocations and gravitational slides of the rock masses (fig. 3). Plasticized under the pressure of the overburden rocks, the salt facilitated the sliding movements of the Miocene rocks and then of the Carpathian flysch.

The Miocene rocks containing evaporites formed before the front of the Flysch Carpathians a rocks mass of complex tectonic pattern, consisting of several tectonic elements thrust one over another and folded. Near Wieliczka and Barycz, the following tectonic elements may be distinguished from the bottom to the top:

1. The element of Krzyszkowice consisting of gypsum and anhydrite and the barren wall rocks; it forms a slice thrust over the autochthonous Upper Badenian sediments of the Carpathian foredeep.
2. The lower element of Wieliczka built of three slices of salt-bearing rocks thrust one over another, and the element of Barycz.
3. The upper element of Wieliczka made up of salt blocks randomly distributed among the barren rocks; it forms a slide megabreccia and is overfolded with the rocks of the lower tectonic element.

The tectonic evolution of the rocks salt deposits of Wieliczka and Bochnia proceeded by four stages (fig. 3).

Stage „a” (lower part of the Middle Badenian): The Lower Badenian sediments (infraevaporitic series) show substantial variations in thickness, from about 50 m up to more than 700 m. This is due to syntectonic sedimentation in grabens bordered by faults that formed during the deposition of the infraevaporitic series. The evaporite series originated in the period relatively quiet from the tectonic point of view.

Stage „b” (upper part of the Middle Badenian): The axis of the

sedimentary basin was considerably displaced to the north due to the tectonic reconstruction of the Carpathian foredeep. The clayey-mudstone Chodenice Formation was deposited over the evaporites.

Stage „c” (Upper Badenian): Further northward displacement of the zone of greatest subsidence of the basin floor, accompanied simultaneously by the uplifting of the Flysch Carpathians, intensified the erosion of the flysch and the Badenian rocks. Coarsegrained material forming conglomerates and sandstones in the clayey-mudstone rocks began to penetrate into the basin. At the extension of the larger Carpathian rivers submarine fans (Bogucice sands) were formed. The increasing northward inclination of the top of evaporites produced stresses within the Miocene rocks, which were relieved by detachment dislocations. This initiated slow gravitational sliding of the Miocene rocks, probably synchronous with the sedimentation of the Grabowiec Formation.

Stage „d” (Lower Sarmatian): Further development of gravitational sliding, facilitated by the plasticization of salt under the pressure of the overburden rocks, resulted in overthrusting and folding of thrust slices built of Badenian sediments that contained a salt-bearing formation mined in Wieliczka and Barycz. The folding of the Miocene rocks continued presumably over a considerable length of time, most likely throughout the Lower Sarmatian, until equilibrium was achieved in the rock masses.

*„Geonafra” Cracow Branch
ul. Lubicz 25, 31—503 Kraków*