

BADANIA MEZOSTRUKTUR TEKTONICZNYCH W KOPALNI SOLI „BOCHNIA”

Study of tectonic mesostructures in the “Bochnia” Salt Mine, South Poland

Katarzyna CYRAN & Tomasz TOBOŁA

*Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska,
Zakład Złóż Rud i Soli;
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków;
kcyran@geolog.geol.agh.edu.pl, tob@geolog.geol.agh.edu.pl*

Treść: Złoże soli kamiennej Bochnia zlokalizowane jest przy brzegu Karpat, w strefie miocenu sfałdowanego, w elemencie tektonicznym zwanym antykliną bocheńską. Budowa wewnętrzna złoży jest skomplikowana na skutek intensywnych deformacji tektonicznych i różnych własności mechanicznych utworów budujących złoże. Efekty działania tych czynników można obserwować na odciskach wyrobisk kopalni bocheńskiej w postaci różnorodnych mezostruktur tektonicznych, takich jak: spękania, fałdy, lustra tektoniczne. Przeprowadzono pomiary i charakterystykę opisową mezostruktur tektonicznych w dostępnych rejonach kopalni bocheńskiej. Zwrócono także uwagę na wpływ własności mechanicznych iłowców i soli na rodzaj i charakter deformacji. Na podstawie tych danych dokonano próby określenia kierunków naprężeń tektonicznych, które działały na serię solną w rejonie Bochni podczas ich deformacji. Potwierdzono, że oś nacisku tektonicznego w rejonie Bochni przebiegała w kierunku S-N, ale występowało także odchylenie od głównego kierunku wzdłuż osi SW-NE.

Słowa kluczowe: miocen, złoże Bochnia, mezostruktury tektoniczne

Abstract: The Bochnia salt deposit is located in front of the Carpathian overthrust, in the area of folded Miocene strata. The tectonic element in which the deposit is situated is called the Bochnia anticline. The structure of the deposit is complicated due to intensive tectonic deformations and different mechanical properties of rocks which build the deposit. Effects of these processes can be observed in mine's workings, where many tectonic mesostructures, such as slickensides, folds with boudinage, tectonic breccias, and systems of fractures in claystone filled with fibrous halite occur. Tectonic mesostructures were measured in accessible mine's workings. The descriptive characteristic of mesostructures was also done. The impact of rocks' mechanical properties on the type and character of deformation was considered as well. On the basis of measurements, authors tried to characterize the direction of tectonic stresses which affected the salt series in the Bochnia area. Authors confirmed the S-N direction of tectonic compression but also indicated SW-NE deviation from the main direction.

Key words: Miocene, Bochnia deposit, tectonic mesostructures

WSTĘP

Złoże soli kamiennej Bochnia należy do złóż o skomplikowanej budowie geologicznej. Jego obecna forma została ukształtowana w trakcie ruchów wypiętrzających Karpaty, podczas których seria solna wraz z utworami niżejleżymi i nadleżymi została zgarnięta i pofałdowana, tworząc wzdłuż brzegu Karpat (Fig. 1) strefę miocenu allochtonicznego (Poborski & Skoczylas-Ciszewska 1963). Badania geologiczne tej strefy rozpoczęto już w XIX wieku. Związane one były głównie z prowadzoną od połowy XIII wieku eksploatacją soli kamiennych w kopalniach Wieliczka i Bochnia.



Fig. 1. Występowanie osadów chemicznych miocenu w okolicy Krakowa (wg Garlickiego 1979)

Fig. 1. Occurrence of Miocene chemical deposits in the vicinity of Krakow (after Garlicki 1979)

Wśród wielu autorów opracowań dotyczących budowy geologicznej, tektoniki i pozycji tektonicznej strefy miocenu sfałdowanego, w których znajdują się informacje na temat rejonu Bochni, można wymienić m.in. Niedźwieckiego (1886), Windakiewicza (1926), Bukowskiego (1932), Kuhla (1933), Tołwińskiego (1956), Poborskiego & Skoczylas-Ciszewską (1963), Garlickiego (1967, 1968, 1979), Olewicza (1968, 1973a, b).

O tektonice złoża bocheńskiego powstało niewiele publikacji. Pierwsze obszerniejsze, monograficzne opracowanie budowy geologicznej złoża, pozostające z niewielkimi uzupełnieniami aktualne do dziś, zawdzięczamy Poborskiemu (1952). Autor ten prowadząc obserwacje w latach 40. XX wieku, przedstawił budowę geologiczną rejonu złoża, wyróżniając dwie antykliny, w obrębie których występuje seria solna. Ponadto zrekonstruował on

profil litostratygraficzny oraz rozpoznał tektonikę wewnętrzną złoża, ilustrując ją przekrojami geologicznymi. Omówił również procesy tektoniczne, które doprowadziły do powstania złoża.

Zagadnieniami związanymi z tektoniką złoża bocheńskiego zajmował się także Tarka (1992). Na podstawie analizy drobnych struktur tektonicznych oraz mikrotektoniki w kopalniach „Bochnia”, „Wieliczka” i „Siedlec”, dokonał interpretacji następstwa oraz kierunków procesów tektonicznych, które działały na osady w czasie ich fałdowania.

W ostatnim okresie ukazało się opracowanie pod redakcją Kortasa (2004) omawiające wpływ współczesnej aktywności górotworu karpackiego oraz jej przejawy w bocheńskiej kopalni soli.

ZARYS TEKTONIKI ZŁOŻA BOCHEŃSKIEGO

Przy brzegu Karpat, gdzie zlokalizowane jest złożo bocheńskie (Fig. 1), formacja solonośna została silnie sfałdowana u schyłku dolnego sarmatu (Ney *et al.* 1974). Tworzy ona wąski pas ciągnący się wzdłuż brzegu Karpat. W rejonie występowania złoża dominują dwie formy fałdowe (Poborski 1952): w części północnej – antyklina bocheńska, w części południowej – antyklina Uzborni (Fig. 2). Fałdy obalone są w kierunku północnym, przy czym w górnej części ustawione są bardzo stromo.

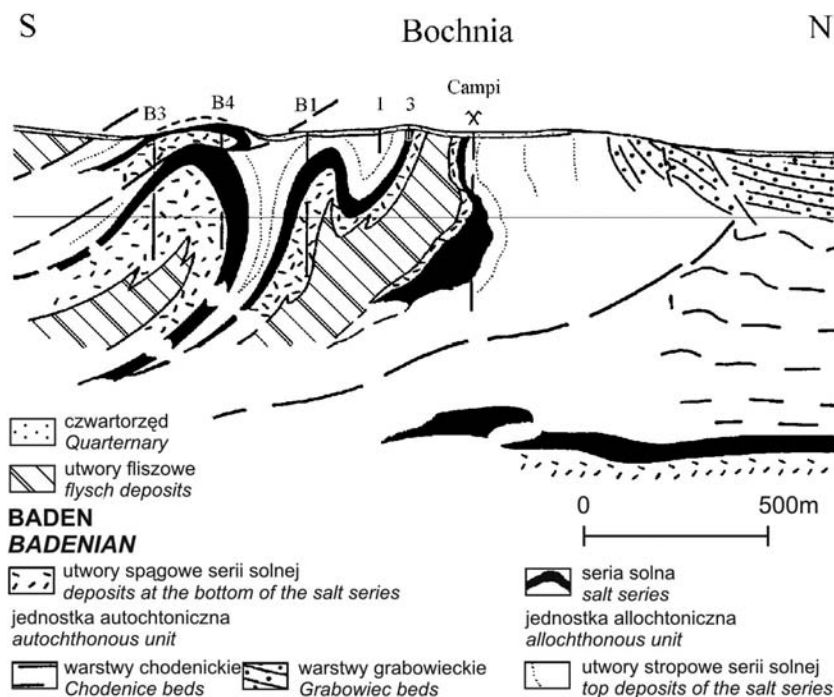


Fig. 2. Przekrój przez okolice Bochni (wg Garlickiego 1968)

Fig. 2. Geological cross-section through the vicinity of Bochnia (after Garlicki 1968)

Elementem tektonicznym, w którym znajduje się złoże soli kamiennej (Poborski 1952), jest antyklina bocheńska (Fig. 2). Złoże zlokalizowane jest w północnym skrzydle tej antykliny, natomiast osady w skrzydle południowym uległy tektonicznemu wgnieceniu. Podłużna oś antykliny przebiega ze wschodu na zachód, jednocześnie zanurzając się w obu kierunkach. Forma antykliny staje się łagodniejsza w miejscu zanurzenia jej osi ku wschodowi. Z kolei, ku zachodowi tworzy kilka złuskowanych fałdów (Poborski & Skoczylas-Ciszewska 1963, Garlicki 1967), których przedłużenie stanowią złoże soli kamiennej: Moszczenica, Łapczyca, Łęzkowice i Siedlec (Fig. 1).

Pomiędzy częścią wschodnią i zachodnią złoże występuje wyraźna odmienność tektoniczna. W zachodniej części złoże zaleganie utworów serii solnej zmienia się wraz z głębokością. Do głębokości około 200–300 m warstwy leżą stromo, prawie pionowo oraz dominują dwa kierunki upadu: północny i południowy. Poniżej zalegają łagodniej (średni kąt upadu wynosi 15–45°) i występuje południowy kierunek upadu. Natomiast wschodnią część złoże charakteryzuje prawie monoklinalne zaleganie utworów serii solnej oraz południowy kierunek upadu (Poborski 1952).

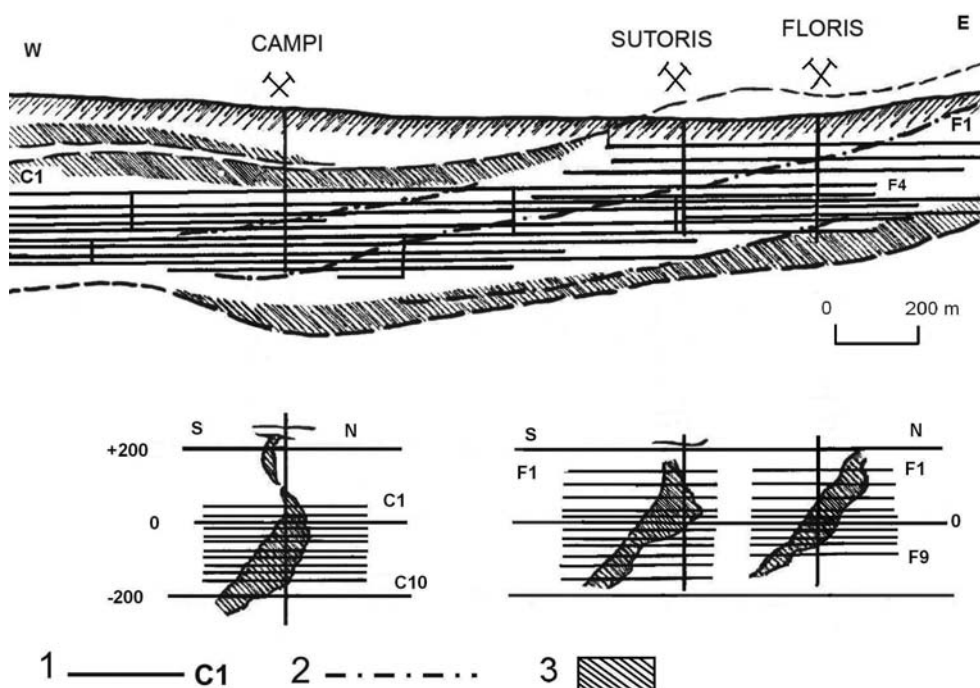


Fig. 3. Plan pionowy kopalni soli w Bochni oraz schematyczne przekroje przez główne szyby (wg Poborskiego 1952): 1 – poziomy kopalniane, 2 – osie podłużne fałdów wewnętrznych złoże, 3 – seria solna

Fig. 3. Vertical plan of the Bochnia salt mine and schematic cross-sections of the main shafts (after Poborski 1959): 1 – mining levels, 2 – longitudinal axes of inner folds, 3 – salt series

Główny węzeł tektoniczny złoża bocheńskiego (Fig. 3), będący podłużnym skupieniem fałdów serii solnej, znajduje się na wysokości około 300–500 m (Poborski 1952). W związku z tym natężenie fałdowania jest największe na tej wysokości złoża. Poniżej i powyżej węzła tektonicznego natężenie stopniowo słabnie.

Serię solną budują naprzemianległe warstwy soli i skał płonnych. Sole w zależności od miejsca ich występowania w złożu podzielono na: północne, środkowe i południowe.

METODYKA BADAŃ

W kopalni bocheńskiej trwają prace zabezpieczające, w związku z tym prowadzenie obserwacji i pomiarów jest ograniczone do limitowanej liczby wyrobisk na czynnych poziomach kopalnianych. Poza tym wiele ociosów, szczególnie znajdujących się w rejonie trasy turystycznej, jest niedostępnych ze względu na obecność drewnianej obudowy. Pomiarzy mezostruktur przeprowadzono w utworach łowca, łowca z anhydrytem, zuba oraz soli z przerostami łowca.

Spenetrowano następujące wyrobiska w kopalni bocheńskiej (Fig. 3):

- na poziomie August (C1, F4): podłużnia August, okolice schodów Tesch, stajnia Mysiur, kaplica św. Kingi, komora Ważyn, komora Wernier, poprzecznik Manna, wschodnie dojście do komór Kołdras, obejście szybu Campi;
- na między poziomie Dobosz znajdującym się pomiędzy poziomem Wernier (F3) i poziomem August (F4, C1): komory Krystian, dojście do komór Krystian;
- zejście Lichtenfels rozciągające się pomiędzy poziomem August (C1, F4) a poziomem Lobkowicz (C2, F5), podłużnię Lobkowicz;
- na poziomie Sienkiewicz (C3, F6): podłużnię Sienkiewicz;
- na poziomie Wernier (F3): schody Regis, otoczenie komory Pasjonis;
- na poziomie Podmoście (C5, F7): podłużnię Podmoście, rejon ładowni akumulatorów.

Dokonano pomiarów elementów zalegania żył soli włóknistej, fałdów, powierzchni nasunięć, powierzchni złustrowania. Zwrócono uwagę na rodzaje deformacji soli i łowców będące wynikiem procesów tektonicznych. Analizowano również wpływ litologii na rodzaj deformacji. Przeprowadzono charakterystykę opisową mezostruktur oraz zwrócono uwagę na wpływ litologii na rodzaj deformacji. Wykonano ogółem około 300 zdjęć, jednak ze względu na ograniczoną ilość miejsca w artykule zamieszczono tylko szesnaście z nich.

MEZOSTRUKTURY NA OCIOSACH WYROBISK KOPALNI BOCHEŃSKIEJ

Największa liczba pomiarów obejmuje żyły soli włóknistej (Fig. 4B), które licznie występują na ociosach kopalni bocheńskiej. Żyły wypełniają płaszczyzny spękań, a także miejsca niezgodności tektonicznych, tj. powierzchnie nasunięć oraz małej skali uskoki. Ponadto żyły soli włóknistej obrzeżają oraz przecinają bloki skał tworzących brekcję oraz przecinają skrzydła fałdów.

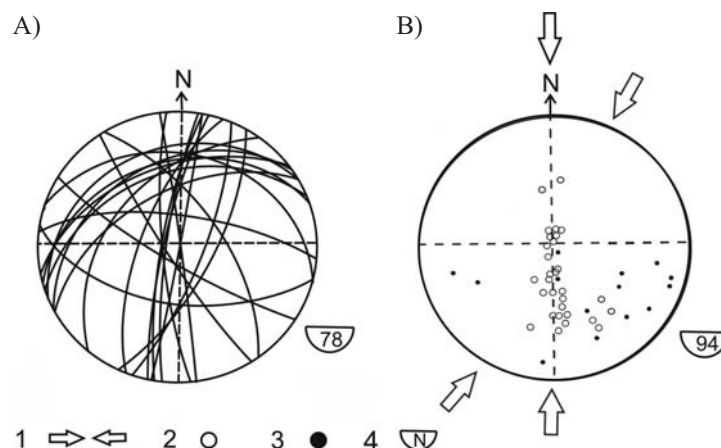


Fig. 4. Diagramy elementów zalegania mezostruktur tektonicznych w odwzorowaniu na siatce Lamberta–Schmidta: A) Diagramy elementów zalegania żył soli włóknistej. B) Diagram punktowy położenia powierzchni luster tektonicznych i osi fałdów: 1 – kierunek nacisku tektonicznego, 2 – powierzchnia lustra tektonicznego, 3 – oś fałdu, 4 – półkula południowa, N – liczba pomiarów

Fig. 4. Diagrams of tectonic mezostructures orientation (Lambert–Schmidt diagram): A) Diagram showing planes of fibrous halite veins. B) Diagram showing the position of slickenside surfaces: 1 – direction of compression, 2 – slickenside surface, 3 – fold’s axis, 4 – lower hemisphere projection, N – number of measurements

Pomiarów żył soli włóknistej dokonano w utworach iłowca i iłowca z anhydrytem oraz zubrach w następujących wyrobiskach:

- na schodach stanowiących dojście do komór Krystian (międzypoziom Dobosz) (Fig. 5A);
- w poprzeczniku dojściowym do komór Krystian (międzypoziom Dobosz);
- w dojściu do komór Kołdras (poziom August);
- w dojściu do szybu Campi (poziom August);
- w zejściu Lichtenfels (pomiędzy poziomem August i Lobkowicz) (Fig. 5B);
- w podłużni Podmoście (poziom Podmoście) (Fig. 5C);
- w ładowni akumulatorów na poziomie Podmoście.

W obserwowanych odsłonięciach żyły soli włóknistej charakteryzują się zmienną grubością i nieregularnością konturów. W większości przypadków grubsze żyły mają nieregularne, powyginane krawędzie i tworzą palczaste odgałęzienia (Fig. 5A, B, D). Wyjątek stanowią grube żyły o prostych krawędziach występujące w iłowcach z podłużni Podmoście (Fig. 5C). Żyły tworzące palczaste odgałęzienia często składają się z kilku generacji żył wzajemnie się przecinających. Może to świadczyć o kilku etapach ruchów tektonicznych, co również znajduje potwierdzenie w literaturze (Poborski & Skoczylas-Ciszewska 1963). Krawędzie cienkich żył tworzą natomiast linię prostą. Zauważono ponadto, że włókna niektórych żył nie są prostopadłe do krawędzi żyły, ale skrócone. Jest to wynikiem działania nacisków tektonicznych. Może to wskazywać na występowanie kilku faz ruchów tektonicznych, ale także na współczesne ruchy górotworu (Kortas 2004).

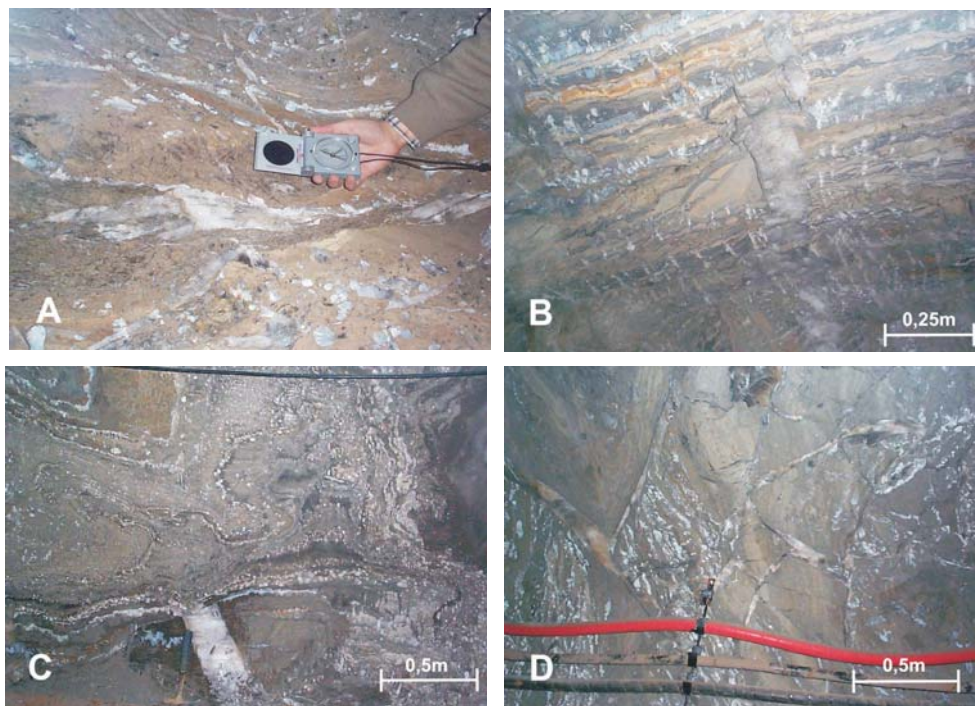


Fig. 5. Żyły soli włóknistej: A) Żyły soli włóknistej w utworach zubra przy schodach stanowiących dojście do komór Krystian. B) Żyły soli włóknistej w warstwach iłowca i iłowca z anhydrytem, zejście Lichtenfels. C) Żyła soli włóknistej w warstwach iłowca, podłużnia Podmoście. D) Brekcja z żyłami soli włóknistej, podłużnia Podmoście

Fig. 5. Systems of fractures filled with fibrous halite: A) Fractures filled with fibrous halite in zuber, fragment of wall at stairs leading to Krystian chambers. B) Fractures filled with fibrous halite in claystones and claystones with anhydrite, Lichtenfels dip heading. C) Fracture filled with fibrous halite in claystones, Podmoście gallery. D) Fractures filled with fibrous halite in breccia, Podmoście gallery

Przebieg żył jest zróżnicowany co do kierunków biegu i upadu, jednak wyraźnie wyróżniają się dwa systemy żył, co jest widoczne na diagramie Schmidta (Fig. 4A). Biegi pierwszego systemu żył znajdują się w przedziale od 50–70°, a kąty upadu mają wartości z przedziału 20–40° oraz NW kierunek zapadania. Drugi system charakteryzuje się wysokimi wartościami kątów upadu od 70° do 90°, biegami 170–200° oraz W kierunkiem zapadania.

Kolejnym analizowanym elementem były powierzchnie zlustrowania (Fig. 4B), które występują w warstwach iłowca i iłowca z anhydrytem w komorze Pasjonis, podłużni Podmoście, podłużni Sienkiewicz, obejściu szybu Campi, zejściu Lichtenfels. Utwory odsłaniające się w rejonie zejścia Lichtenfels budują skrzydło fałdu (Fig. 6A), gdzie zlustrowaniu i sprasowaniu uległy grube warstwy iłowca, iłowca z anhydrytem oraz tufitu. Na powierzchni lustra wyraźnie widoczne są prostopadłe do biegu warstwy rysy tektoniczne.

Zlustrowane iłowce, występujące na ociosach podłużni Sienkiewicz (Fig. 6B), w rejonie zaciśniętego wyrobiska, mogą być kontynuacją utworów z rejonu Lichtenfels. Wskazuje na

to zarówno rodzaj, litologia utworów, jak i pomiary elementów zalegania warstw. W obu przypadkach powierzchnie zlustrowania zapadają w kierunku SE (Fig. 4B) oraz kontaktują z zafałdowanymi solami. Z kolei płaszczyzny zlustrowania znajdujące się w podłużni Podmoście i obejściu szybu Campi zapadają w kierunku NE i charakteryzuje je w większości przypadków prawie pionowe zapadanie. W podłużni Podmoście (Fig. 5C) zlustrowane iłowce również występują przy strefie kontaktu z zafałdowanymi solami. Natomiast w obejściu szybu Campi płaszczyzny zlustrowania pomierzono w silnie zafałdowanych przerostach iłowych w soli. Różnica kierunków zapadania wiąże się z faktem, że w pierwszym przypadku zlustrowane warstwy budują skrzydło fałdu. Biorąc pod uwagę przebieg osi tego fałdu (Fig. 4B), można przypuszczać, że oś nacisku tektonicznego przebiegała w kierunku SW-NE. Powierzchnie zlustrowania natomiast są wynikiem ślizgania się warstw o zróżnicowanych własnościach mechanicznych (iłowce i sole), w czasie procesu fałdowania. Pomiary azymutów upadu powierzchni zlustrowania na diagramie (Fig. 4B) grupują się głównie w południowej części diagramu, a także wzdłuż linii S-N. Na podstawie tych danych można przypuszczać, że nacisk tektoniczny działał w kierunku S-N, ale występowało także odchylenie od tego kierunku wzdłuż osi NE-SW (Fig. 4A, B).

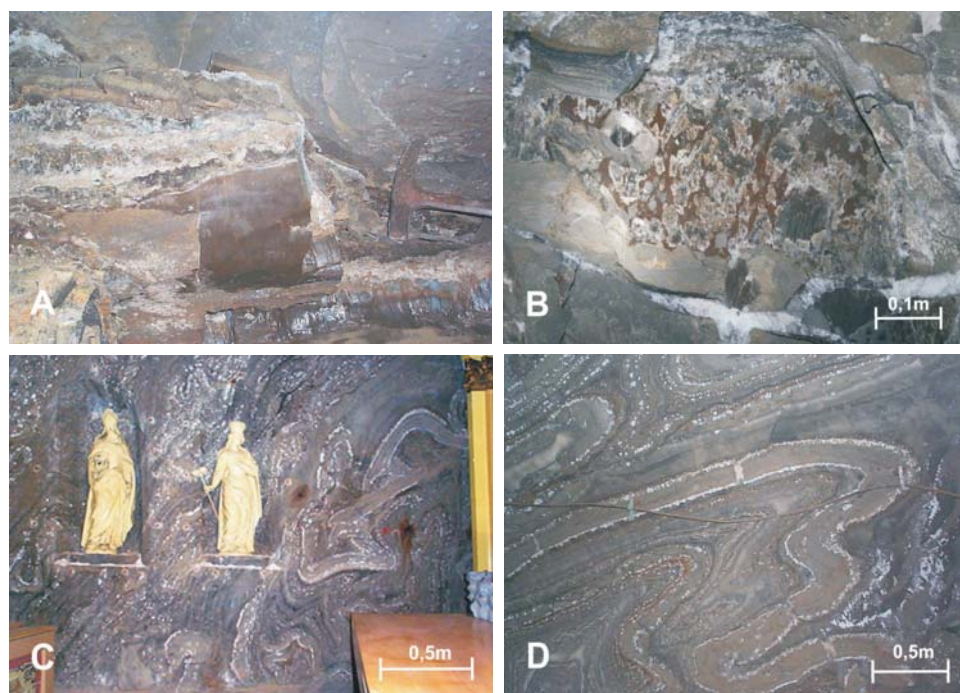


Fig. 6. Powierzchnie zlustrowania i fałdy: A) Lustro tektoniczne, zejście Lichtenfels. B) Lustro tektoniczne, podłużnia Sienkiewicz. C) Fałdy w przerostach iłowca w soli, kaplica św. Kingi. D) Fałdy w przerostach iłowca w soli, zachodni wylot szybu Campi

Fig. 6. Slickenside surface and folds: A) Tectonic slickenside, Lichtenfels dip heading. B) Tectonic slickenside, Sienkiewicz gallery. C) Folded salt with claystone girdles, St. Kinga's chapel. D) Folded salt with claystone intercalations, the western outlet of Campi shaft

Na ociosach wyrobisk kopalni bocheńskiej widoczne są liczne formy fałdowe. Występują one zarówno w grubszych przerostach iłowców i iłowców anhydrytowych, jak również w warstwach czystych soli kamiennych oraz soli kamiennych z wkładkami iłowców. Pomiarów elementów zalegania fałdów przeprowadzono w kaplicy św. Kingi (Fig. 6C), obejściu szybu Campi (Fig. 6D) oraz podłużni August. Osie tych fałdów w większości grupują się w SE części diagramu (Fig. 4B). Jednak na diagramie widoczne jest również równoleżnikowe grupowanie się osi niektórych fałdów, co zostało opisane we wcześniejszych pracach (Tarka 1992). Z powyższych informacji można wywnioskować, że oś nacisku tektonicznego przebiegała w kierunku S-N z odchyleniem w kierunku NE-SW.

Ważnym elementem dowodzącym silnego zaangażowania tektonicznego utworów złoża bocheńskiego są brekcje. Występują one m.in. w podłużni Podmoście w pobliżu punktu poligonowego 3199, w pobliżu ładowni akumulatorów również na poziomie Podmoście, dojściu do komór Kołdras, podłużni Lobkowicz oraz obejściu szybu Campi. Brekcje budują iłowce i iłowce z anhydrytem oraz zuber. Bloki skał tworzących brekcję są poprzecinane żyłami soli włóknistej, które często stanowią ich okonturowanie. Składnikiem brekcji są także porozrywane fragmenty wcześniej sfałdowanych utworów. Również rozmiary bloków tworzących brekcje są zróżnicowane. Pomiedzy blokami często pojawiają się charakteryzujące się nieregularnym, rozmytym kształtem wystąpienia soli zmienionej tektonicznie lub soli włóknistej.

WPLYW WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNYCH SKAŁ NA DEFORMACJĘ

Oprócz czynników tektonicznych na rodzaj, charakter i intensywność deformacji utworów serii solnej mają także wpływ własności mechaniczne i ich zróżnicowanie w obrębie kompleksów, miąższość warstw budujących kompleksy itp. W złożu bocheńskim występują utwory o skrajnie różnych własnościach mechanicznych, tj. warstwy soli kamiennych, iłowce i iłowce z anhydrytem. Przyczyniło się to do dużej intensywności deformacji i powstania różnorodnych form tektonicznych.

Grube warstwy iłowców, obserwowane np. w podłużni August, w wyniku działających naprężeń, zostały podzielone na bloki. Bloki te zostały następnie przemieszczone w różnych kierunkach względem siebie na niewielkie odległości, rzędu od kilku do kilkudziesięciu centymetrów. Krawędzie poszczególnych rozsuniętych lub nasuniętych na siebie fragmentów można dopasować, co świadczy o tym, że kiedyś tworzyły jedną warstwę (Fig. 7A). Przestrzeń pomiędzy rozerwanymi fragmentami iłowca wypełnia biała, tektonicznie zmieniona sól zwana solą cukrowatą o „wrzecionowatych” kształtach ziarn lub wypełnia je sól włóknista. Pomiedzy tymi rodzajami soli obserwuje się ciągłe przejścia. Sole cukrowate mogą się kontynuować również w otoczeniu przesuniętych fragmentów.

Innym przykładem deformacji warstw iłowców mogą być widoczne na ociosach podłużni August iłowce tworzące formy przypominające kształtem grzebienie (Fig. 7B). W tym przypadku iłowce prawdopodobnie uległy spękaniu w stropowej lub spagowej części warstwy. Powstałe w ten sposób fragmenty zostały wyruszone, następnie całkowicie lub częściowo oderwane od pozostałej części warstwy i ustawione do niej prawie prostopadle. Na uwagę zasługuje fakt, że w otoczeniu przemieszczonych fragmentów również znajduje się sól zmieniona tektonicznie, a jej okonturowanie stanowi anhydryt.

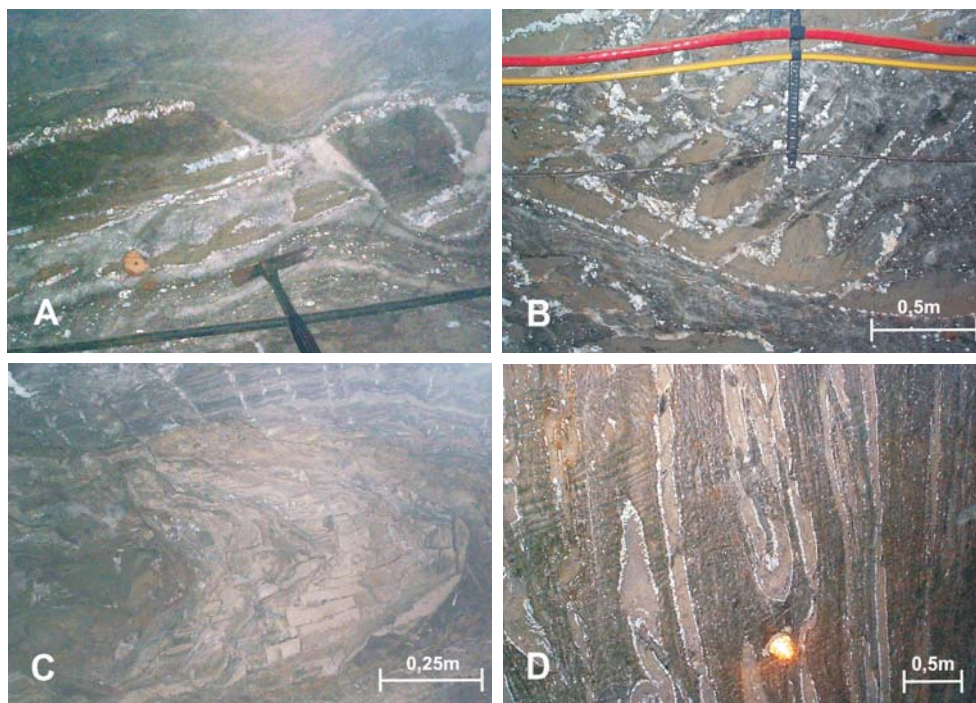


Fig. 7. Różnorodne struktury tektoniczne iłowców: A) Grube przerosty iłowców w soli, podłużnia August. B) Iłowce tworzące formy przypominające kształtem grzebień, podłużnia August. C) Fałd z budinażem w podłużni Lichtenfels. D) Cieńsze przerosty iłowca, w otoczeniu soli w kaplicy św. Kingi

Fig. 7. Different tectonic structures of claystones: A) Thick intercalations of claystone in salt, August gallery. B) Interesting form of claystone's bed, August gallery. C) Fold with boudinage, Lichtenfels dip heading. D) Thinner intercalations of claystone in salt, St. Kinga's chapel

Widoczny w podłużni Lichtenfels fałd z budinażem (Fig. 7C) jest kolejnym potwierdzeniem wpływu własności mechanicznych utworów na rodzaj deformacji. Według Dadleza & Jaroszewskiego (1994) powstanie budinażu świadczy o występowaniu warstw iłowców różniących się własnościami mechanicznymi. Ławice kruche popękały i utworzyły budiny, a ławice podatniejsze uległy plastycznemu odkształceniu i stanowią otoczenie budin.

Bardziej podatne na deformacje niż grube przerosty są cienkie wkładki iłowców i iłowców z anhydrytem w solach kamiennych. Widoczne w kaplicy św. Kingi (Fig. 6C, 7D), podłużni Podmoście (Fig. 8A) czy obejściu szybu Campi (Fig. 6D) cieńsze warstwy iłowca znajdujące się w otoczeniu plastycznej soli zostały razem z nią sfałdowane. Utworzone fałdy charakteryzują się wysoką amplitudą i małym promieniem. Charakterystyczne jest, że im cieńszy jest przerost iłowca w sfałdowanych solach kamiennych, tym wyższa jest amplituda fałdu.



Fig. 8. Różnorodne deformacje warstw soli: A) Sfałdowane sole z wkładkami iłowca, podłużnia Podmoście. B) Sfałdowana sól z przerostami iłowców, zachodni wylot szybu Campi. C) Zafałdowane sole o różnej zawartości materiału terygenicznego, podłużnia Lichtenfels. D) Zafałdowane sole o różnej zawartości materiału terygenicznego, podłużnia August

Fig. 8. Different tectonic deformations of salt beds: A) Folded salt with claystone intercalations, Podmoście gallery. B) Folded salt with claystone girdles, the western outlet of Campi shaft. C) Folded salt with different content of clastic material, Lichtenfels dip heading. D) Folded salt with different content of clastic material, August gallery

W związku z powyższym obecność przerostów płonnych oraz ich grubość ma również wpływ na charakter i intensywność deformacji soli. Plastyczna i podatna na fałdowanie sól dopasowuje się do kształtu sfałdowanych przerostów iłowcowych (Fig. 6C, D, 8A, B). Prawidłowością jest, że im grubsze są sfałdowane przerosty iłowe w solach, tym większy promień mają fałdy tworzone przez te sole. Ponadto, w sfałdowanych pakietach soli z przerostami iłowca, przeguby fałdów w warstwach soli są ostrzejsze w porównaniu z przegubami fałdów w warstwach iłowców (Fig. 6D, 8B).

Zmienna zawartość materiału terygenicznego w solach także wpływa na różnorodność ich deformacji. Prawidłowość ta jest widoczna w podłużni Lichtenfels i podłużni August (Fig. 8C, D), gdzie występują zafałdowane sole o różnej zawartości materiału terygenicznego. W obrębie tych fałdów warstwy soli czystych są często dodatkowo zafałdowane. Sugeruje to, że czystsze sole są bardziej plastyczne i podatne na fałdowanie niż sole z dużą zawartością materiału terygenicznego.

WNIOSKI

Powyższe rozważania zdają się potwierdzić, funkcjonujący w literaturze pogląd (Poborski & Skoczyła-Ciszewska 1963, Garlicki 1979, Tarka 1992), że oś nacisku tektonicznego w rejonie złoża bocheńskiego, przebiegała w kierunku S-N. Niemniej jednak, stwierdzono (Fig. 4A, B) występowanie odchyłeń w kierunku SW-NE. Odchylenia te mogą być związane ze zmianami pola naprężeń wynikającymi z przebudowy Karpat zewnętrznych i ich przedpola. Osady miocenne rejonu Bochni, jak wspomniano powyżej, biorą udział w budowie brzegu Karpat, wchodząc w skład jednostki zgólbickiej (Połtowicz 1991, 1993) określanej również mianem jednostki bocheńskiej (Olewicz 1973a, b) i zostały sfałdowane w wyniku ruchów górotwórczych Karpat i ich przedpola. Płaszczyzny karpackie zostały w późnym oligocenie oraz wczesnym i środkowym miocenie przesunięte ku N i NW, a następnie w późnym miocenie jeszcze raz przełałdowane ku NE (Aleksandrowski 1985). Ruchy te spowodowały powstanie naprężeń, które działały na osady serii solnej również w okolicy Bochni. Proces nasuwczy przebiegał przynajmniej w czterech fazach, ostatni z nich trwa do dnia dzisiejszego (Zuchiewicz 1998). Przejawy dzisiejszej aktywności górotworu karpackiego zostały również stwierdzone w kopalni bocheńskiej (Kortas 2004). Analizę tego zjawiska na obszarze zachodniej części Karpat, w tym także w okolicach Bochni, przeprowadzono na podstawie analizy sieci dolin, profili podłużnych rzek, parametrów dopływów, topografii terenu. Udowodniła ona, że w omawianym rejonie odbywa się odprężeniowy ruch wypiętrzający (Zuchiewicz 1998). Potwierdzeniem tych obserwacji są pomiary naprężeń (analiza struktur breakouts) w zachodniej części Karpat zewnętrznych, które dodatkowo wykazały, że w sfałdowanych osadach miocennych dominuje NE kierunek naprężenia (Jarosiński 1997).

Procesy związane z przebudową Karpat i ich przedpola zapisały się na ociosach wyrobisk kopalni bocheńskiej. Odczytanie i jednoznaczna interpretacja tych zjawisk są trudne ze względu na ich polifazowość i nakładanie się na siebie efektów działania poszczególnych faz.

Powyższe badania przeprowadzono w ramach prac własnych AGH, finansowanych przez KBN nr 10.10.140.309.

LITERATURA

- Aleksandrowski P., 1985. Tektonika regionu babiogórskiego: interferencja zachodnio- i wschodniokarpaccich kierunków fałdowych. *Rocznik PTG*, 55, 375–442.
- Bukowski G., 1932. Objaśnienia Szczegółowej mapy geologicznej strefy podkarpacciej w okolicy Bochni. *Spraw. PTG*, 7, 227–256.
- Dadlez R. & Jaroszewski W., 1994. *Tektonika*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Garlicki A., 1967. Tektonika miocenu okolicy na zachód od Bochni. *Kwart. Geol.*, 2, 442–443.
- Garlicki A., 1968. Autochtoniczna seria solna w miocenie Podkarpaccia między Tarnowem a Skawiną. *Biuletyn IG*, 215, 5–77.

- Garlicki A., 1979. Sedymentacja soli mioceńskich w Polsce. *Prace Geologiczne PAN*, 119, 1-67.
- Jarosiński M., 1997. Contemporary stress field distortion in Polish part of the Western Outer Carpathians and their basement. *Tectonophysics*, 297, 91-119.
- Kortas G. (red.), 2004. *Ruch górotworu i powierzchni w otoczeniu zabytkowych kopalń soli*. Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków, 1-175.
- Kuhl J., 1933. Zarys budowy geologicznej złóż soli kamiennej w Bochni i Wieliczce. *Przeg. Górn.-Hutn.*, 25, 514-516.
- Ney R., Burzewski W., Bachleđa T., Górecki W., Jakóbczak K. & Słupczyński K., 1974. Zarys paleogeografii i rozwoju litologiczno-facjalnego utworów miocenu zapadliska przedkarpacciego. *Prace Geologiczne PAN*, 82, 1-65.
- Niedźwiecki J., 1886. Stosunki geologiczne formacji solonosnej Wieliczki i Bochni. *Kosmos*, 11, 137-155.
- Olewicz Z., 1968. Stratygrafia warstw jednostki bocheńskiej i brzegu jednostki śląskiej i podśląskiej między Wieliczką a Bochnią oraz pierwotne ich położenie w basenach sedymentacyjnych Karpat lub Przedgórza. *Prace Inst. Naft.*, Katowice, 1-76.
- Olewicz Z., 1973a. Geologia przedkarpacciego obszaru między Wieliczką a Bochnią. *Prace Inst. Naft.*, Katowice, 1-53.
- Olewicz Z., 1973b. Tektonika jednostki bocheńskiej i brzegu jednostki śląskiej między Rabą a Uszwicą. *Acta Geol. Pol.*, 23, 701-761.
- Poborski J., 1952. Złoże solne Bochni. *Biuletyn PIG*, 78, 1-160.
- Poborski J. & Skoczylas-Ciszewska K., 1963. O miocenie w strefie nasunięcia karpacciego w okolicy Wieliczki i Bochni. *Rocznik PTG*, 33, 339-348.
- Póltowicz S., 1991. Miocen strefy karpacciej między Wieliczką a Dębicą. *Kwart. AGH Geologia*, 17, 19-57.
- Póltowicz S., 1993. Palinspastyczna rekonstrukcja paleogeografii badeńskiego salinarnego zbiornika sedymentacyjnego w Polsce. *Kwart. AGH Geologia*, 19, 203-233.
- Tarka R., 1992. Tektonika wybranych złóż soli w Polsce na podstawie badań mezostrukturalnych. *Prace PIG*, 1-47.
- Tołwiński K., 1956. Główne elementy tektoniczne Karpat z uwzględnieniem górotworu Salidów. *Acta Geol. Pol.*, 6, 75-226.
- Windakiewicz E., 1926. *Solnictwo. T. 1-4*. Kraków.
- Zuchiewicz W., 1998. Quaternary tectonics of the Outer West Carpathians, Poland. *Tectonophysics*, 297, 121-132.

Summary

The Bochnia salt deposit is situated at the front of the Carpathian overthrust (Fig. 1). In this region, salt series underwent strong folding and thrusting during the Lower Sarmatian.

Situated in the northern limb of the Bochnia anticline (Fig. 2), the Bochnia salt deposit is characterized by a complicated structure. Generally, the steep dip to the south dominates in the upper part of the deposit, but in the lower part folds are overturned (Fig. 3).

Complicated tectonics of the deposit results from different behaviour of salt and barren rocks during deformation. Salt beds, as more plastic, were deformed into irregular folds of high amplitude (Fig. 8B–D). Folding of claystones was less intense due to their mechanical properties (Fig. 7A, B). However, the thinner was claystone's layer, the stronger deformations they underwent (Figs 6C, D, 7D, 8A).

As a result of tectonic disturbances different types of tectonic mesostructures such as tectonic slickensides (Fig. 6A, B), folds with boudinage (Fig. 7C), tectonic breccias (Fig. 6D), systems of fractures in claystone filled with fibrous halite (Fig. 5A–D) are visible in mine's workings. Measurements of these tectonic mezostructures confirmed the commonly accepted S-N direction of tectonic compression (Fig. 4A, B). Nevertheless, measurements also indicated NE-oriented direction of principal horizontal stress (Fig. 4A, B). These deviations were probably related to changes of the stress field which occurred during formation of the Outer Carpathians and their foredeep. Moreover, measurements of the present-day horizontal stress direction and the study of Quaternary tectonic activity in the Western Carpathians confirmed NE-oriented recent compression.

Apart from tectonic factors, the type, character and intensity of deformation depend on mechanical properties of the deformed rocks, the diversity of mechanical properties within the complex, and the layer's thickness. Salt and claystones which build the salt series in the Bochnia salt deposit show different mechanical properties which contributed to strong intensity of rock deformations and the origin of variable tectonic structures.