

PRZEJAWY RUCHÓW NEOTEKTONICZNYCH I WSPÓŁCZESNYCH W BOCHEŃSKIEJ KOPALNI SOLI KAMIENNEJ

Neotectonic and recent movements revealed in the Bochnia salt mine

TOMASZ TOBOŁA¹ & ANDRZEJ BEZKOROWAJNY²

¹*Akademia Górniczo-Hutnicza; Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska,
Zakład Złóż Rud i Soli,*

al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; e-mail: tob@geolog.geol.agh.edu.pl

²*A&B Flint, ul. Głowackiego 18a, 32-800 Brzesko; e-mail: abflint@poczta.onet.pl*

Treść: Badania nad neotektoniką i współczesnymi ruchami tektonicznymi Karpat oraz przyległych struktur geologicznych trwają już od kilkudziesięciu lat. Rejon Bochni położony na granicy Karpat fliszowych i zapadliska przedkarpackiego zaliczony został w oparciu o badania geologiczne i geomorfologiczne do stref podnoszonych neotektonicznie. Złoże soli kamiennej Bochnia, eksploatowane od połowy XIII wieku, może stanowić bardzo dobry obiekt do obserwacji zjawisk geodynamicznych oraz wpływu neotektonicznych i współczesnych ruchów na wglębną budowę geologiczną. W niniejszej pracy autorzy podjęli próbę analizy występowania przejawów współczesnych i neotektonicznych ruchów w obrębie górotworu kopalni. Podstawowym celem było wyznaczenie takich wskaźników, które umożliwiałyby jednoznaczne stwierdzenie istnienia ruchów tektonicznych po ostatecznym uformowaniu się złoża oraz współczesnych, związanych wyłącznie z możliwymi dalszymi ruchami Karpat. Na podstawie przeprowadzonych w kopalni obserwacji za wskaźniki takie uznano: deformacje utworów wtórnych, żyły soli włóknistych, zaburzenia niektórych powierzchni nieciągłości i zróżnicowany stopień zaciskania wyrobisk górniczych.

Słowa kluczowe: zapadlisko przedkarpackie, miocen, złoża soli, neotektonika

Abstract: Examination of neotectonics and recent tectonic movements of the Carpathian mountains and neighbouring geological structures have been carried out since a few decades. On the basis of geological and geomorphological examination Bochnia, the district situated at the border of the Carpathian flysch and the Carpathian Foredeep, has been ranked among neotectonically uplifted structures. The Bochnia salt deposit has been exploited since middle of the 13th century and may be a very convenient object for the study of geodynamic events and influence of neotectonic and recent movements on geological structure of the deposit. In the present paper the authors make an attempt at evaluation of recent and neotectonic movements within the rock mass. The main task was to distinguish such indicators which would make it possible to recognize the presence of tectonic movements originating after the last stage of salt deposit formation as well as those resulting from present-day activity of the Carpathians. Observations carried out in the Bochnia salt mine enable us to list the following indicators as: deformations of such secondary rocks as fibrous salt veins, disturbances of some surfaces of discontinuity and differentiated rate of convergence of the mine galleries.

Key words: Carpathian Foredeep, Miocene, salt deposits, neotectonic

WSTĘP

Badania nad neotektoniką i współczesnymi ruchami tektonicznymi Karpat trwają już od kilkudziesięciu lat. Opierają się one przede wszystkim na obserwacjach geologicznych i geomorfologicznych, a także na analizie współczesnego pola naprężeń, historycznej i współczesnej sejsmiczności itp. (m.in. Wójcik & Zuchiewicz 1979, Zuchiewicz 1984a, b, c, 1986, 1987, 1992, 1993, 1995, 1998, 1999a, b, 2001, Jarosiński 1997). Na ich podstawie stwierdzono, że mobilność tektoniczna polskich Karpat zewnętrznych była stosunkowo słaba, a zróżnicowane tempo podnoszenia poszczególnych struktur było największe w późnym pliocenie i wczesnym plejstocenie (Zuchiewicz 2001). W oparciu o przesłanki geomorfologiczne wyznaczone zostały także strefy ruchów czwartorzędowych (Zuchiewicz 1998, 2001), które są stosunkowo wąskie i ułożone równolegle do orientacji głównych nasunięć oraz złuskowanych fałdów.

Obszar Bochni położony jest na granicy dwóch jednostek geologicznych: Karpat zewnętrznych i zapadliska przedkarpackiego. Jest to strefa o silnie zaangażowanej i skomplikowanej tektonice. W związku z tym może podlegać neotektonicznym i współczesnym ruchom, wykorzystującym naturalne strefy osłabień skał, jak np. liczne powierzchnie nieciągłości. Potwierdzeniem istnienia tych ruchów mogą być strefy podnoszone neotektonicznie, które wyznaczone zostały na podstawie anomalnie wysokich spadków koryt rzecznych i niskich wartości wskaźnika „szerokości dna – wysokości zboczy doliny” (Zuchiewicz 1999a, 2001). Pozostają zatem kwestiami otwartymi i dotychczas szerzej nie analizowanymi takie zagadnienia, jak:

- sposób, w jaki odzwierciedlają się ruchy neotektoniczne Karpat w budowie geologicznej złoża bocheńskiego;
- przesłanki mogące być wskaźnikami ruchów neotektonicznych i współczesnych w obrębie kopalni;
- to, na ile obserwowane współczesne ruchy górotworu w obrębie kopalni są spowodowane czynnikami wywołanymi przez obecną aktywność tektoniczną Karpat, a na ile eksploatacją i likwidacją złoża;
- współczesne ruchy górotworu mogące nieść zagrożenia dla kopalni.

ZARYS BUDOWY GEOLOGICZNEJ ZŁOŻA BOCHEŃSKIEGO I SPOSOBU JEGO EKSPLOATACJI

Bocheńskie złożo soli kamiennej występuje w strefie miocenu sfałdowanego (Fig. 1) zwanego allochtonicznym (Poborski & Skoczylas-Ciszewska 1963, Garlicki 1979). W przekroju południe – północ przez okolice Bochni (Fig. 2) seria solna występuje w dwóch fałdach o jądrach zbudowanych z fliszu karpackiego (Poborski 1952). W antyklinie południowej, zwanej antykliną Uzborni, ewaporaty wykształcone są jedynie w facji siarczanowej. Sole kamienne pojawiają się natomiast w fałdzie północnym, tj. „bocheńskim”, którego północne skrzydło uznawane jest za właściwe złożo soli kamiennej. W skrzydle tym, głównie w wyniku tektonicznych powtórzeń, ewaporaty wykazują największą miąższość. Górna jego część, do głębokości około 200 m, jest wąska i ustawiona niemal pionowo.



Fig. 1. Zasięg i strefy facjalne badeńskich ewaporatów w zapadlisku przedkarpackim (wg Garlicki 1979)

Fig. 1. Distribution and facies zones of the Badenian evaporites in the Carpathian foreland (after Garlicki 1979)

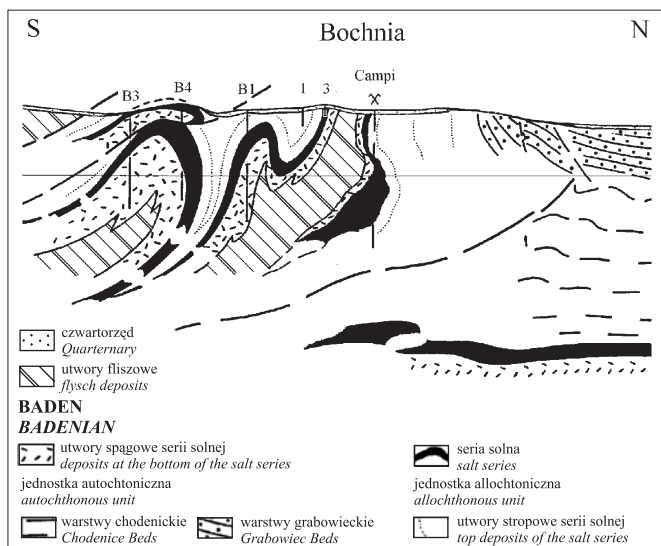


Fig. 2. Przekrój przez okolice Bochni (wg Garlicki 1968)

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

Poniżej stopniowo rozszerza się i zapada pod kątem 30–40° na południe, osiągając największą szerokość w granicach 300–400 m (Fig. 2). W planie poziomym złoże rozciąga się w kierunku W-E, osiągając szerokość około 200 m i długość około 3.5 km. W kierunku wschodnim wyklinowuje się, natomiast ku zachodowi przechodzi w złoże Siedlec – Moszczenica.

W obrębie profilu litostratygraficznego złoża wydzielono pięć cyklotemów solnych, z których trzy zawierają ewaporaty wyższego rzędu, tj. wykształcone w facji chlorkowej (Poborski 1952, Garlicki 1979). Są to: zuber dolny przechodzący w sposób ciągły w sole południowe, zuber górny, sole środkowe oraz północne. Dwa najniższe cyklotemy obejmujące zuber dolny, sole południowe i zuber górny, dla ułatwienia korelacji z obszarami sąsiednimi, zostały połączone w jedno wydzielenie (Garlicki 1979). Ostatni, piąty cyklotem jest niepełny i wykształcony w facji siarczanowej.

Tektonika wewnętrzna złoża jest bardzo skomplikowana, z wyraźnym dostosowaniem przebiegu warstw do zewnętrznego kształtu złoża. W całym złożu warstwy solne są silnie zafałdowane i ściśnięte, tworząc system fałdów wąskopromiennych o osiach ułożonych generalnie równoległe do rozciągłości złoża. W górnej części dominują fałdy stojące lub pochylone, o stromo zapadających skrzydłach. W dolnej części, łagodniej zapadającej na południe, przeważają fałdy obalone o znacznie mniejszych w porównaniu z wyższą partią kątach upadu skrzydeł. W obu częściach często obserwowane są również wyciśnięcia warstw solnych i przerostów płonnych, tektoniczne wyklinowania lub rozerwania, tak że poszczególne kompleksy solne pierwotnie rozdzielone przerostami płonnymi, mogą bezpośrednio kontaktować ze sobą (Poborski 1952, Tarka 1992).

Od pierwszych wieków istnienia kopalni bocheńskiej złoże solne było eksploatowane w specyficzny sposób, uwarunkowany jego budową wewnętrzną. Eksploatowane były jedynie warstwy soli czystych, których niewielka miąższość powodowała, że komory posiadały nieduże szerokości w porównaniu z ich wysokością i długością. Występowanie tych soli w systemie silnie wydłużonych fałdów wąskopromiennych pochylonych lub obalonych wymuszało wykonywanie bardzo wysokich komór, często łączących sąsiadujące poziomy kopalniane. Jednocześnie nieregularność eksploatowanych warstw solnych odzwierciedla się w nieregularnym, zarówno w poziomie, jak i pionie – przebiegu komór. Generalnie, dłuższe osie tych wyrobisk mają przebieg wschód – zachód, natomiast pochylenie uwarunkowane jest kierunkiem i kątem zapadania warstw. Przykładem mogą być komory wykonane od strony południowej i północnej, komory Stajnia na poziomie August oraz komora Stannetti pomiędzy poziomami Danielowiec (FI) i Sobieski (FII).

Dolna część złoża eksploatowana była głównie od początku XX wieku. Eksploatację w tej części prowadzono komorami o innych kształtach niż w części górnej, tj. bardziej zbliżonych do sześciennych.

WYNIKI OBSERWACJI

Prowadzona od kilkunastu lat likwidacja wyrobisk kopalni bocheńskiej poprzez ich podsadzanie powoduje, że w chwili obecnej dostępne do obserwacji są jedynie górne poziomy kopalniane. Poziomy te, przebudowywane i zabezpieczane w ostatnich latach, mają bardzo ważne znaczenie dla dalszej egzystencji kopalni. Przeznaczone są one do celów rekreacyjno-turystyczno-dydaktycznych jako obiekty muzealne oraz sanatoryjne ze względu

na panujący w nich specyficzny mikroklimat. Z tego względu podstawowe obserwacje zjawisk geodynamicznych wykonano na poziomach: Danielowiec (FI), Sobieski (FII), August (CI) i Podmoście (CV).

Deformacje wyrobisk

Przeprowadzone obserwacje wykazały, że charakterystyczną cechą złoża są bardzo duże różnice pod względem tempa zaciskania i destrukcji wyrobisk prostopadłych i równoległych do rozciągłości złoża. Zjawisko to obserwowane jest niemal w całej kopalni. Najlepszym przykładem może być rejon podłużni Wernier, która wraz z prowadzącymi od niej w kierunku północnym i południowym poprzeczniami wykonana została w pierwszej połowie XIX wieku jako wyrobisko poszukiwawcze. Od tego okresu obiekty te nie były przebudowywane i pozostawione są bez obudowy. Stanowią one zatem bardzo dobrą ilustrację zróżnicowanego stopnia zaciskania równowiekowych wyrobisk, o skrajnie różnym przebiegu w stosunku do rozciągłości złoża i brzegu Karpat.

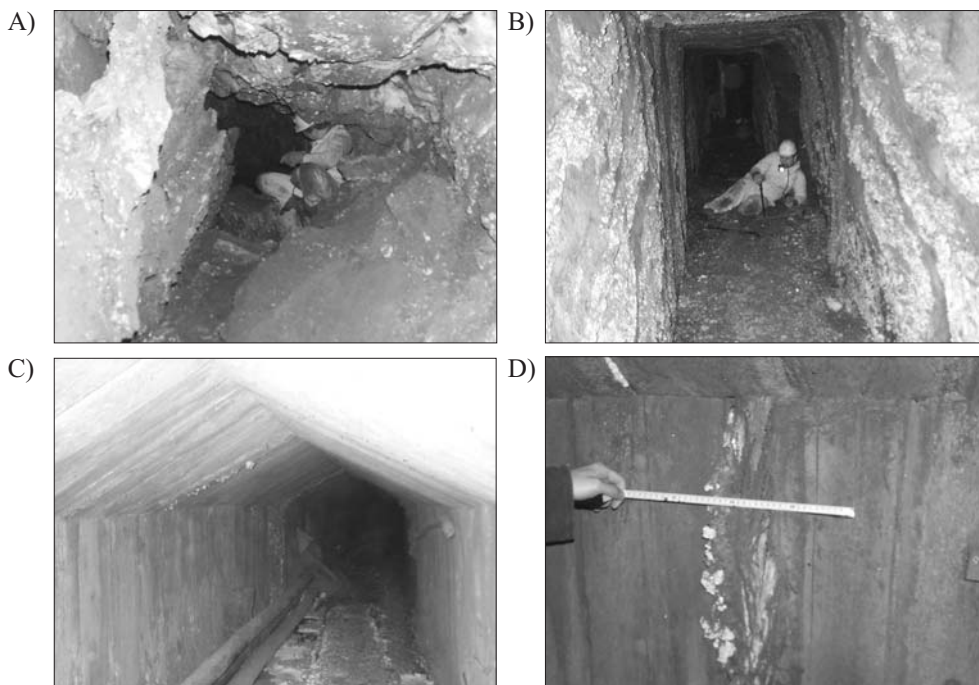


Fig. 3. A) Prześwit podłużni Wernier. Poz. Sobieski; B) Prześwit poprzeczni prowadzącej od strony północnej do podłużni Wernier. Poz. Sobieski; C) Stary poprzecznik dojsciowy do szybu Trynitatis. Poz. August; D) Zmiażdżona belka w ociosie wschodnim. Poprzecznik dojsciowy do szybu Trynitatis. Poz. August

Fig. 3. A) Opening of the Wernier lengthwise drift; B) Opening of the transverse drift leading from the N to the Wernier lengthwise drift. Position Sobieski; C) An old transverse drift, approach to the shaft Trynitatis. Position August; D) Crushed bar in the west side wall. A transverse drift, approach to the shaft Trynitatis. Position August

Podłużnia na całej swej długości uległa silnej destrukcji, z licznymi obrywami bloków skalnych i spękaniem w ociosach co spowodowało, że na niektórych odcinkach prześwit jest na tyle mały, że przejście przez nią jest znacząco utrudnione (Fig. 3A). Przeciwnie, wszystkie poprzecznie zachowane są w stanie praktycznie nienaruszonym, z bardzo dobrze widocznym prostokątnym przekrojem (Fig. 3B).

Zróznicowanie stopnia zaciskania wyrobisk górniczych można obserwować także w rejonach kopalni najmniej obciążonych wpływem eksploatacji, jak rejon szybu Trynitatis. W bezpośrednim sąsiedztwie szybu najstarszymi wyrobiskami dojsciowymi są: stara część podłużni August i poprzecznia łącząca ją z szybem.

Poprzecznia prowadząca od szybu do starej części podłużni August zabudowana została charakterystyczną obudową drewnianą wykonaną przed I wojną światową (Fig. 3C). Pomimo tak długiego okresu obudowa ta zachowana jest praktycznie w stanie nienaruszonym. Jedyne w jednym miejscu zaobserwowano jej zgniecenie, nie powodujące jednak wygięcia w kierunku osi wyrobiska (Fig. 3D).

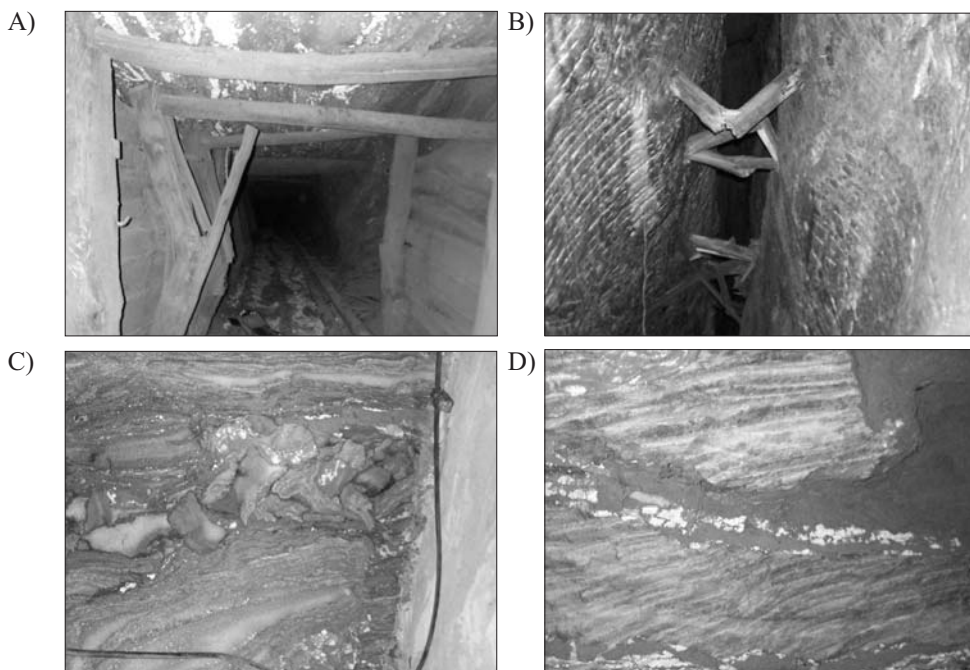


Fig. 4. A) Poz. August (CI). Stara podłużnia August; zdjęcia w kierunku wschodnim; B) Wygięcia bon w komorze Stanetti. Widok ku górze w kierunku zachodnim; C) Okopcone okruchy solne. Podłużnia August; poz. (CI), zachodni objazd szybu Campi; D) Ślad po zaciśniętym i niepodsadzonym wyrobisku. Poz. August (CI) podłużnia August; 8 m na zachód od punktu poligonowego 3181

Fig. 4. A) Position August (CI). Old transverse drift August; leading towards east; B) Bending of a bench bar in Stanetti cave. The view upwards in the west direction; C) Sooted salt blocks. The lengthwise drift August; position (CI), the western bypass of the shaft Campi; D) Remnants of a tightened and not filled excavation. Position August, the transverse drift August; 8 m west of the reference point 3181

Belki obudowy są wyraźnie ściśnięte, co wskazuje na duże naprężenia wzdłuż wyrobiska, czyli w kierunku północ – południe, i przemieszczenia górotworu w tym kierunku.

Odcinek starej podłżni August prawdopodobnie był przebudowywany w okresie późniejszym, na co wskazuje inny styl obudowy (Fig. 4A). Obudowany został w sposób nierównomierny. Zabudowany został głównie ocios północny, natomiast południowy jedynie fragmentarycznie. W stropie zamontowano pojedyncze stropnice, łącząc je ze stojakami w ociosie północnym i nie stosując przy tym wykładki.

W porównaniu z poprzeczną fragment starej części podłżni August uległ znacznie większym deformacjom. Cechą charakterystyczną jest nierównomierne niszczenie obudowy poszczególnych ociosów i stropu. Stosunkowo niewielkie deformacje obudowy i calizny skalnej odnotowano w stropie i ociosie południowym. Największemu zniszczeniu natomiast uległa obudowa w ociosie północnym. Na całej długości wyrobiska stojaki zostały złamane na wysokości od kilkudziesięciu centymetrów, licząc od spągu wyrobiska, do maksymalnie 1.5 metra. Znajdująca się pomiędzy nimi wykładka nie uległa złamaniu.

Ocena tempa zaciskania wyrobisk

Istotnym zagadnieniem staje się oszacowanie tempa konwergencji wyrobisk w okresie dłuższym, niż pozwalał na to rozwój metod geodezyjnych. Oszacowania tego dokonano w oparciu o przesłanki geologiczno-górnice, takie jak stopień skrócenia podpór i bon w starych wyrobiskach komorowych oraz analizę odsłoniętych w trakcie przebudowy wyrobisk śladów po całkowicie zaciśniętych komorach i innych wyrobiskach wykonanych w pierwszym okresie istnienia kopalni.

Pomiary skróceń podpór i bon wykonano w komorze Stanetti łączącej poziomy Sobieski i Danielowiec, w której eksploatację prowadzono w pierwszej połowie XIX wieku (Fig. 4B). Pomierzone skrócenie najczęściej waha się od 40 do 80 cm, co przy pierwotnej długości tych elementów wynoszącej od 1.5 do 2 m daje stopień zaciśnięcia od 20 do 40%. Biorąc pod uwagę okres istnienia komory, tj. około 150 lat, można obliczyć, że tempo konwergencji wynosiłoby zatem około 3 mm/rok, osiągając maksymalnie 6 mm/rok.

Należy zwrócić uwagę na to, że stopień zaciskania poszczególnych wyrobisk jest często nierównomierny. W komorze, podobnie jak w innych wyrobiskach, istnieją strefy, dla których zaciskanie jest znacznie wolniejsze, a pozostawione bona i inne elementy obudowy drewnianej nie uległy do tej pory zniszczeniu. Istnienie tego typu stref może być związane z warunkami geologicznymi, np. zmianą sposobu zaburzeń tektonicznych, występowaniem powierzchni nieciągłości, lub też odprężeniem górotworu wywołanym wcześniejszą eksploatacją.

Słuszne wydaje się przyjęcie tempa konwergencji wyrobisk wynoszącego znacznie ponad 3 mm/rok dla całego złoża i w ciągu całego okresu istnienia kopalni. Wskazuje na to m.in. szereg odsłoniętych po przebudowie w latach 90. XX wieku podłżni August śladów po całkowicie zaciśniętych wyrobiskach górniczych. Występują one przede wszystkim pomiędzy szybem Campi a Sutoris oraz we wschodniej części, w rejonie „Starych Gór”. Dokładny czas ich eksploatacji jest trudny do ustalenia. Wyrobiska zlokalizowane w pobliżu szybu Campi można uznać za pochodzące z okresu XVII–XVIII w., tzn. że powstały po uruchomieniu szybu (Fischer 1962). Występujące natomiast w rejonie „Starych Gór” mogą być jeszcze starsze. Ślady po ich przebiegu widoczne są jako mocno skonsolidowane

„pseudobrekcje” (Fig. 4C, 4D, 5A, 5B) zbudowane z okruchów przerostów płonnych lub soli zanieczyszczonych, którym często towarzyszą fragmenty obudowy drewnianej. Stanowiły one podszkawkę dla wyrobisk lub też zostały oderwane od ociosów z górnej części wyrobiska po zakończeniu jego eksploatacji. Ich szerokość waha się w granicach od kilkudziesięciu centymetrów do ponad 1 m, w zależności od sposobu podszkawania. W miejscach gdzie nie zastosowano tego typu podszkawki, szerokość śladów po wyrobiskach zmniejsza się do kilku lub kilkunastu centymetrów (Fig. 4D). Na ciekawe ślady natrafiono przy wschodnim wlocie do starej podłużni August oraz zachodnim objeździe szybu Campi (Fig. 4A, 5B). Są to wyrobiska, w którym eksploatację przerwał bliżej nieokreślony w czasie pożar w kopalni. Wskazują na to okopcone okruchy solne oraz cienkie ślady po spalonej obudowie drewnianej.

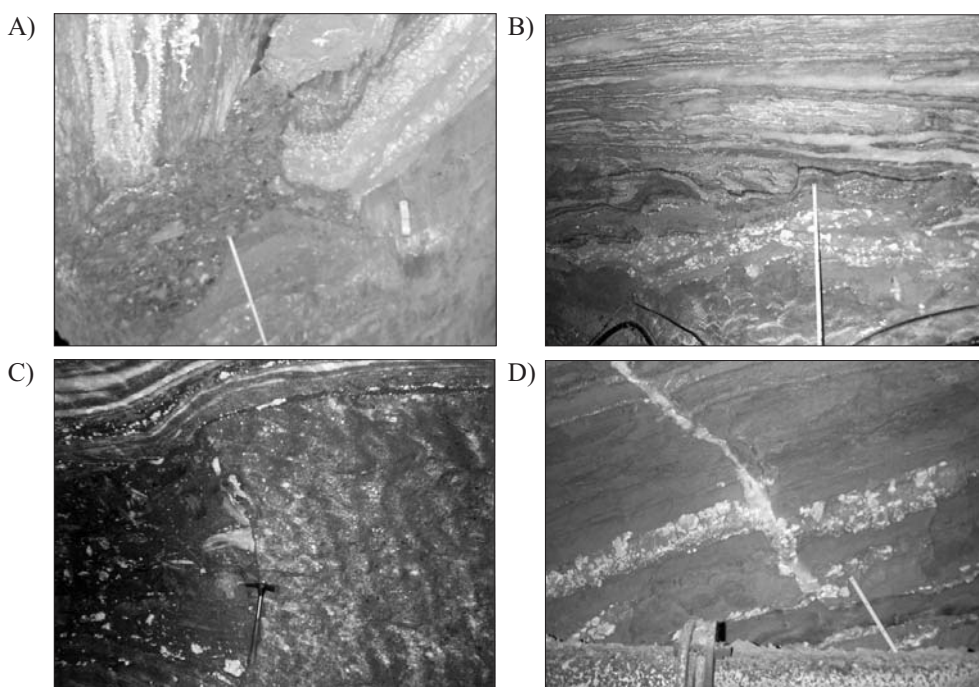


Fig. 5. A) Fragment podszkawionego wyrobiska. Podłużnia August; poz. CI, wschodni wlot do starej podłużni August; B) Ślad po zaciśniętym i niepodszkawionym wyrobisku ze zwęgloną warstwą. Poz. August (CI) podłużnia August; wschodni wlot do starej podłużni August; C) Wyeksploatowane i podszkawione wyrobisko (z lewej) i pozostawiona warstwa solna (z prawej). Poz. Podmoście, rejon szybika Mysiur; D) Żyły soli włóknistej o przebiegu generalnie N-S z lekkim wygięciem włókien. Poz. Podmoście (CV), 35 m na E od punktu poligonowego PP3198A

Fig. 5. A) part of a backfilled excavation. The lengthwise drift August; position CI, the eastern entrance to the old lengthwise drift August; B) Remnants of a tightened and not filled excavation with a charred layer. Position August, the transverse drift August; the eastern entrance to the old lengthwise drift August; C) A worked out and backfilled excavation (on the left) and a salt layer (on the right). Position Podmoście, the vicinity of the small shaft Mysiur; D) Veins of fibrous salt with a general course N-S with slight bending of fibres. Position Podmoście (CV), 35 m E of the reference point PP3198A

W najbliższym sąsiedztwie całkowicie zaciśniętych starych wyrobisk górniczych nie zaobserwowano śladów występowania szczelin rozwartych. W strefach tych uwidacznia się natomiast bardzo wyraźnie plastyczne zachowanie górotworu solnego. Warstwy solne ulegają plastycznemu ugięciu, dostosowując się do nierówności po zaciskanych wyrobiskach górniczych. Szczególnie wyraźne jest to na granicach pomiędzy wyrobiskiem a pozostawioną, nie wyeksploatowaną częścią warstwy solnej (Fig. 5C).

Zakładając, że ówczesne wyrobiska miały szerokość około 1.5 m i zostały całkowicie zaciśnięte w okresie krótszym niż 400 lat, otrzymujemy prędkość zaciskania wynoszącą około 4–5 mm/rok. W rzeczywistości tempo to mogło być jeszcze większe, gdyż nieznaną jest przede wszystkim faktyczny moment pełnego zaciśnięcia oraz rzeczywista szerokość wyrobisk. Tempo to w pierwszych okresach eksploatacji złoża należy uznać za większe niż obecnie, ponieważ eksploatowany górotwór posiadał pierwotny stan naprężeń wywołany m.in. tektonicznym formowaniem się złoża. Na obecny stan naprężeń natomiast ma wpływ dawna eksploatacja w znacznym stopniu odprężająca górotwór.

Obserwacje górotworu

Jednym z przejawów neotektonicznych ruchów górotworu mogą być szczeliny zablżnione halitem lub gipsem włóknistym. Są to utwory, które powstały po ostatecznym uformowaniu się złoża jako wypełnienia tworzących się szczelin i pustek w trakcie późniejszych ruchów „dosuwczych”. Za tak późnym okresem ich powstawania przemawiają przede wszystkim bardzo słabe zaburzenia w przebiegu oraz brak dostosowania do deformacji otaczających utworów. Ich powstawanie można obserwować obecnie w wyrobiskach górniczych i powstających szczelinach jako tzw. „włosy św. Kingi”. Zmiany geodynamiczne w obrębie tych utworów, jak np. wygięcia włókien oraz przerwanie ich ciągłości przez dyslokacje, mogą być dobrym wskaźnikiem przemieszczeń mas skalnych.

Z przeprowadzonych w kopalni obserwacji wynika, że tego typu utwory występują jedynie w przerostach ilastych, ilasto-anhydrytowych lub zubrachs. Zanikają one natomiast gwałtownie na warstwach soli, dla których nie obserwuje się kontynuacji nieciągłości, a jedynie plastyczne wciskanie się soli z warstw solnych w obręb żyły (Fig. 5D). Miąższość żył soli włóknistych zmienia się od kilku milimetrów do najczęściej kilku centymetrów. Grubsze żyły o kilkunastocentymetrowej szerokości spotykane są bardzo rzadko.

Drobne żyłki o miąższości do kilku centymetrów bardzo często towarzyszą przerostom płonnym. Tworzą one sieci o zróżnicowanym przebiegu. Mogą one tworzyć bardzo nieregularne, o zakłóconym przebiegu zespoły, jak np. w wyrobisku biegnącym od komory Stanetti w kierunku północnym (Fig. 6A). Ich długość dochodzi maksymalnie do kiludziesięciu centymetrów. Na krańcach na ogół wyklinowują się i przechodzą w słabo zaznaczające się zwarte szczeliny (Fig. 6A). Bardziej regularny przebieg systemu żył zaobserwowano w jednej z poprzeczni prowadzącej do podłużni Wernier (Fig. 6B). Pomiedzy oboma typami często obserwuje się stadia pośrednie. We wszystkich tych żyłach włókna halitu lub gipsu są na ogół prostopadłe do ścian żyły lub bardzo nieznacznie wygięte.

Grubsze żyły, o miąższości powyżej kilku centymetrów, spotykane są znacznie rzadziej. Na większe ich nagromadzenie natrafiono w podłużni Podmoście, około 300 m na zachód od szybu Campi (Fig. 6C, D, 7A) oraz na zejściu Lichtenfels na wschód od szybu Sutoris, pomiędzy poziomami August i Lobkowicz. Ponadto spotykane są one na obszarze

całej kopalni w formie pojedynczych żył, jak np. w pobliżu szybu Campi na poziomie August, w podłużni Wernier czy szybiku Gazaris (Fig. 7B). We wszystkich obserwowanych odsłonięciach nie tworzą one wyraźnych systemów i zbudowane są przede wszystkim z halitu. Na ogół w ich obrębie włókna są grubsze i wykazują ślady rekrystalizacji. Wynika z tego, że stanowią one wcześniejszą generację w stosunku do cieńszych żył.

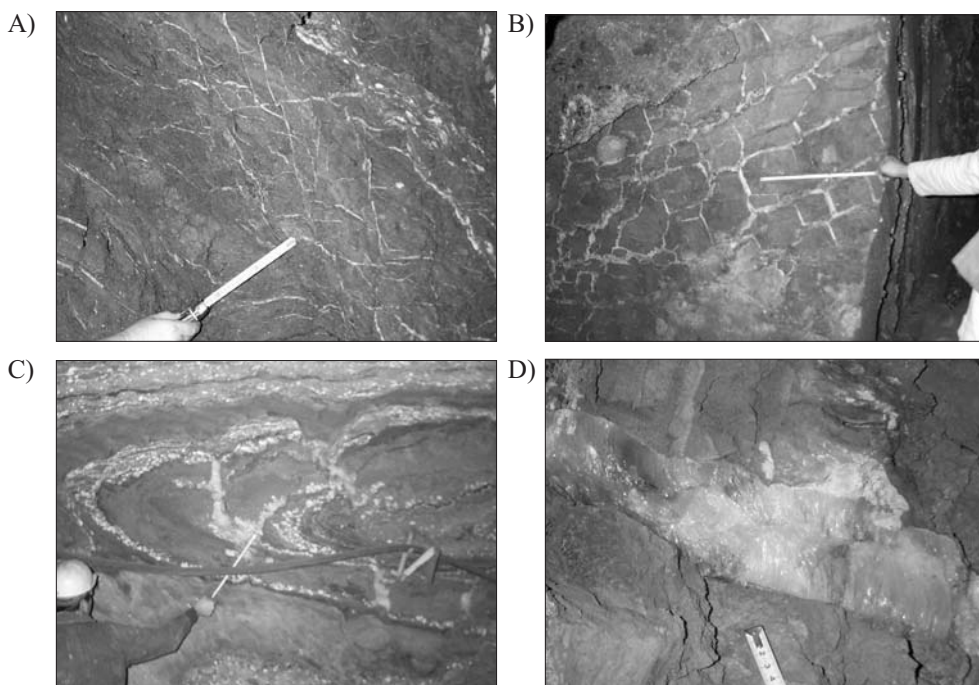


Fig. 6. A) System nieregularnych szczelin zabliznionych halitem lub gipsem włóknistym. Wyrobisko chodnikowe prostopadłe do rozciągłości przebiegające od komory Stanetti do północnej granicy złoża. Ocios wschodni; B) Regularny system szczelin zabliznionych halitem włóknistym. Południowy ocios komory na poziomie Wrenier FIII; C) Żyły soli włóknistych w fałdzie iłowców anhydrytowych. Podłużnia Podmoście (CV); D) Gruba żyła o wyraźnie wygiętych włóknach halitu. Poz. Podmoście (CV), przy punkcie poligonowym PP3199, ocios południowy

Fig. 6. A) A system of irregular fissures filled with halite or fibrous gypsum. A drift excavation perpendicular to the lengthwise run of the deposit from the cave Stanetti to the N end of the deposit. The western side Wall; B) An irregular system of fissures filled with fibrous halite. The southern side wall of the cave at the Wrenier level; C) Veins of fibrous halite in the fold of anhydrite claystone. The lengthwise drift Podmoście (CV); D) A thick vein with significantly bent halite fibres. Position Podmoście (CV), near the reference point PP3199, the southern side wall

W obrębie tych utworów stosunkowo często obserwuje się wygięcia włókien o różnym stopniu zaangażowania, wskazujące na przemieszczenia mas skalnych. Wygięcia te świadczą o przesunięciach od kilku do kilkunastu centymetrów. W niektórych przypadkach, szczególnie tam, gdzie włókna wykazują bardzo duże wygięcia, przesunięcia mogą być

znacznie większe, gdyż w ścianach pojawiają się ślady zlustrowań równoległe do przebiegu żył. Przykład niewspółmierności wygięcia włókien halitu i przemieszczenia ścian przedstawia uskoki w podłużni Podmoście (Fig. 5D). Wygięcie włókien w tym przypadku jest niewielkie i wynosi poniżej 1 cm, podczas gdy zrzut całego uskoku, określony na podstawie przesunięcia charakterystycznie wykształconych warstw iłowców anhydrytowych, osiąga wartość około 10 cm.

Bardzo często w grubszych żyłach soli włóknistych włókna halitu posiadają charakterystyczne wygięcia (Fig. 6D). Przy granicy żyły są one prostopadłe lub w niewielkim stopniu wygięte. Ku środkowi następuje zmiana ich przebiegu, tak że przyjmują one kształt łukowaty. Świadczy to o tym, że w początkowym stadium tworzenia się szczeliny i jej zasklepiania halitem nie było względnych ruchów ścian lub szczelina rozszerzała się szybciej, niż następował wzrost halitu, a narastające na przeciwległych ścianach włókna nie miały ze sobą kontaktu. W dalszym etapie rozwoju szczelin, gdy włókna halitu były na tyle długie, że z przeciwległych ścian bezpośrednio się kontaktowały, następowało względne przemieszczanie ścian powodujące wygięcie tych włókien.

Oprócz deformacji włókien w żyłach soli włóknistych, wskazujących na przejawy ruchu górotworu po ostatecznym uformowaniu się złoża, najmłodsze ruchy mogą wykorzystywać niektóre powierzchnie nieciągłości powstałe w trakcie fałdowania serii solnej jako elementy osłabione tektonicznie. Bardzo prawdopodobne jest także, że część z nich powstała po fałdowaniu, o czym świadczy, podobnie jak w przypadku żył soli włóknistych, ich przebieg zbliżony do prostoliniowego i zarazem brak dostosowania do stylu fałdowania (Fig. 7C). Generalnie systemy powierzchni nieciągłości w formie uskoków o niewielkich zrzutach spotykane są stosunkowo często i podobnie jak żyły soli włóknistych rozwinięte są w przerostach ilastych i ilasto-anhydrytowych. Są one najlepiej dostrzegalne w utworach warstwowanych, takich jak iłowce anhydrytowe, gdzie łatwo można obserwować przesunięcia warstw. Znacznie trudniejsze jest prześledzenie ich przebiegu w iłowcach bezanhydrytowych. W tych przypadkach o ich istnieniu świadczą powierzchnie zlustrowań. Stosunkowo rzadko ich kontynuacje można obserwować w warstwach soli, gdzie zatracają swój charakter powierzchni nieciągłości, przechodząc w strefy soli geodynamicznie zmienionych o charakterystycznie wydłużonym pokroju kryształów. Szczególnie słabo zaznaczają się powierzchnie nieciągłości przebiegające równoległe do warstwowania. Dla większości wszystkich z tych powierzchni trudno jest ustalić okres ich tworzenia się oraz ewentualnego odnawiania.

Szczególnie interesujące odsłonięcie strefy kilku powierzchni nieciągłości zaobserwowano w dolnej części ociosu północnego podłużni Podmoście. Rozprzestrzenia się ona na odcinku od około 320 m do 50 m na W od szybu Campi i posiada rozciągłość równoległą do rozciągłości złoża. Najwyraźniej jest ona widoczna w rejonie wschodnim, gdzie przebiega przez warstwę iłowców. Rysy ślizgowe na tych powierzchniach wskazują na względne przesunięcia skrzydeł w kierunku południe – północ. Ku zachodowi strefa ta zaznacza się słabiej, gdyż przebiega przez warstwy soli kamiennej. Na jej istnienie w tej części wskazują występujące na powierzchniach nieciągłości kryształy halitu o wyraźnie wydłużonych pokrojach ziaren. O aktywności całej tej strefy mogą świadczyć liczne obrywy i odspojenia mas skalnych, tworzące się przy powierzchniach nieciągłości pomimo niedawnej przebudowy wyrobiska. Południowy ocios oraz strop i górna część ociosu północnego podłużni zachowane są w stanie nienaruszonym.

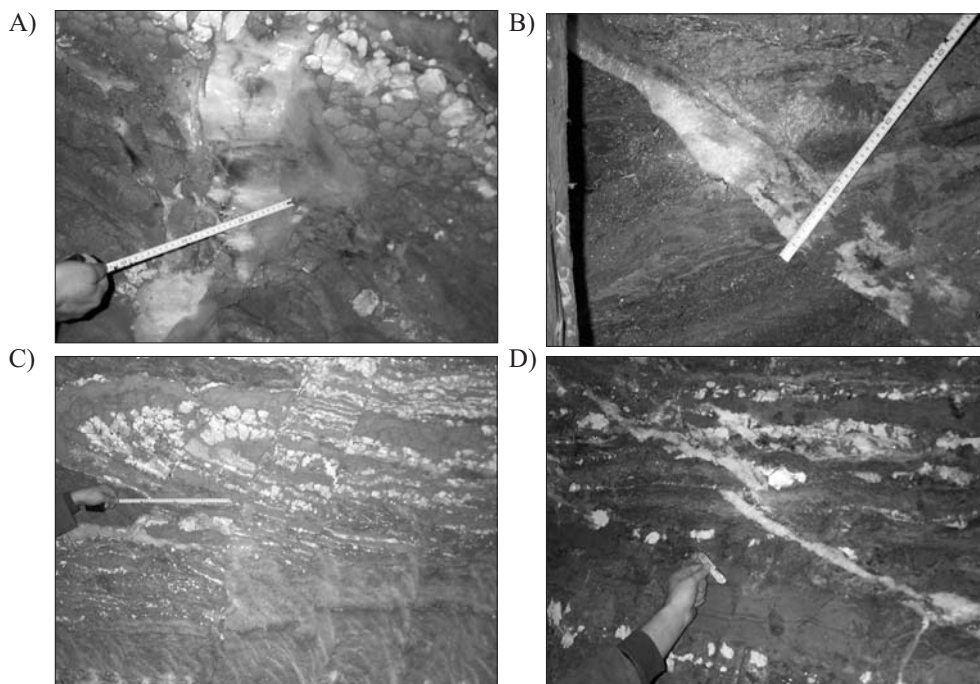


Fig. 7. A) Gruba żyła o wygiętych włóknach w kierunku ociosu. Poz. Podmoście (CV), 4 m na E od punktu PP3199; B) Żyła soli włóknistej. Szybik Gazaris. Poz. Sobieski; C) Uskoki przecinające fałd ilowców anhydrytowych i warstwy soli kamiennej. Podłużnia August; D) Żyła soli włóknistej przecięta powierzchnią dyslokacji o przebiegu W-E. Poz. Podmoście (CV)

Fig. 7. A) A thick vein with fibres bent towards the side wall. Position Podmoście (CV), 4 m. E of the reference point PP3199; B) A vein of fibrous salt. The small shaft Gazaris. Position Sobieski; C) Faults cutting the fold of anhydrite claystone and beds of rock salt. The lengthwise drift August; D) The vein of fibrous salt cut by the W-E – oriented dislocation. Position Podmoście (CV)

Wyraźnym przejawem młodej aktywności niektórych powierzchni może być odsłonięcie w podłużni Podmoście (Fig. 7D). Zaobserwowana powierzchnia nieciągłości w tym przypadku przecina i przesuwca najmłodsze utwory, tj. żyły soli włóknistej. Może to sugerować, że okres ruchu jest młodszy od okresu powstawania szczelin i zasklepienia ich halitem, a zarazem bliski współczesnemu.

UWAGI KOŃCOWE

Istnienie współczesnych przemieszczeń górotworu w obrębie złoża, wywołanych wyłącznie czynnikami tektonicznymi, jest bardzo trudne do wykazania ze względu na odprężenie górotworu spowodowane wielowiekową eksploatacją. Odprężenie to jest jednocześnie czynnikiem dominującym w obrębie złoża, powodując wraz z zaciskaniem wyrobisk efekty w górotworze, które są trudne do odróżnienia od tektonicznych i łatwo mogą być z nimi

mylone. Należą do nich przede wszystkim: systemy spękań, szczeliny rozwarłe oraz przemieszczenia bloków skalnych w otoczeniu komór i wyrobisk chodnikowych. Są one bezspornie związane z eksploatacją, a na ich rozwój i przebieg wywiera także wpływ tektonika wewnętrzna złoże i litologia skał.

Brak jest natomiast bezpośrednich dowodów, które jednoznacznie wskazywałyby na obecnie trwający ruch wywołany przesunięciem Karpat. Spośród wszystkich zjawisk geodynamicznych mogących być pośrednim świadectwem współczesnego oddziaływania ruchu fliszu karpackiego najistotniejszy staje się nierównomierny rozkład naprężeń w górotworze. Przejawia się on różnym tempem zaciskania wyrobisk równoległych oraz prostopadłych do rozciągłości złoże i zarazem posiadających skrajnie różny przebieg w stosunku do przemieszczeń karpackich. Wyrobiska o przebiegu N-S, tj. prostopadłe do rozciągłości złoże i zarazem równoległe do kierunku przemieszczania Karpat, ulegają znacznie słabszemu zaciskaniu, pozostając często w stanie nienaruszonym przez długi okres. Przeciwnie, wyrobiska o przebiegu W-E znacznie szybciej ulegają zaciskaniu. Różnicowanie to obserwowane jest zarówno w tych częściach złoże, które były intensywnie eksploatowane, jak i rejonach, w których eksploatacji nie prowadzono. Obserwacje w kopalni wskazują także na brak zachowanych i dostępnych wyrobisk liczących sobie więcej niż 200–300 lat, co jest wskaźnikiem intensywnej konwergencji wyrobisk.

Istnieją natomiast bardzo wyraźne przesłanki potwierdzające przemieszczenia górotworu w obrębie złoże po jego ostatecznym uformowaniu. Należą do nich niektóre żyły soli włóknistych posiadające charakterystycznie wygięte włókna. Wygięcia te spowodowane są przesunięciem względem siebie fragmentów łowców. Dodatkowo podkreślone są one powierzchniami zlustrowań równoległymi do przebiegu żył. Trudno jest jednak określić dokładny wiek tych przemieszczeń i ustalić, na ile w chwili obecnej są one nadal aktywne. Ze względu na ich prostopadły przebieg w stosunku do zafałdowań skał otaczających należy je uznać za powstałe po głównym okresie fałdowań, a zarazem można je traktować jako przejaw ruchów neotektonicznych.

Podobnie jak w przypadku soli włóknistych, część z obserwowanych powierzchni nieciągłości wykazuje cechy, które można uznać za przejaw współczesnego ruchu górotworu. Kwestią sporną jest natomiast, na ile ruch ten jest wynikiem wpływu czynników zewnętrznych, tj. tektonicznych, a jak duży udział ma odprężenie górotworu, a przede wszystkim zaciskanie wyrobisk i związane z tym przemieszczenia górotworu.

LITERATURA

- Fischer S., 1962. Dzieje bocheńskiej żupy solnej. *Mat. z prac Państw. Rady Górnictwa*, 3(E3), 1–162.
- Garlicki A., 1968. Autochtoniczna seria solna w miocenie Podkarpacia między Skawiną a Tarnowem. *Biul. IG*, 215, 5–78.
- Garlicki A., 1979. Sedymentacja soli mioceńskich w Polsce. *Prace Geologiczne PAN*, 119, 1–67.
- Jarosiński M., 1997. Rozwarstwienie współczesnego pola naprężeń w zachodniej części polskich Karpat zewnętrznych. *Prz. Geol.*, 45, 8, 768–776.

- Poborski J., 1952. Złoże solne Bochni na tle geologicznym okolicy. *Biul. Inst. Geol.*, 78, 1–160.
- Poborski J. & Skoczylas-Ciszewska K., 1963. O miocenie w strefie nasunięcia karpackiego w okolicy Wieliczki i Bochni. *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, 33, 3, 339–348.
- Tarka R., 1992. Tektonika wybranych złóż soli w Polsce na podstawie badań mezostruktuuralnych. *Prace PIG*, CXXXVII, 1–47.
- Wójcik A. & Zuchiewicz W., 1979. Dotychczasowy stan badań nad neotektoniką Karpat Zachodnich. *Prz. Geol.*, 8, 458–461.
- Zuchiewicz W., 1984a. Ewolucja poglądów na genezę i wiek karpackich powierzchni zrównania. *Prz. Geol.*, 8–9, 468–477.
- Zuchiewicz W., 1984b. Neotectonic movements in the Carpathians. *Tectonophysics*, 104, 195–204.
- Zuchiewicz W., 1984c. Late Neogene-Quaternary tectonics of the Polish Carpathians in the light of neotectonic mapping. *Tectonophysics*, 108, 51–69.
- Zuchiewicz W., 1986. Plio/Quaternary Crustal Movements in the Polish Carpathians. *Gerlands Beitr. Geophysik*, 95 (2), 106–116.
- Zuchiewicz W., 1987. Ewolucja i strukturalne założenia sieci rzecznej Karpat w późnym neogenie i wczesnym czwartorzędzie. W: Problemy młodszego neogenu i eopejstocenu w Polsce, 211–225, Wyd. Ossolineum, Wrocław.
- Zuchiewicz W., 1992. Pozycja stratygraficzna tarasów Dunajca w Karpatach Zachodnich. *Prz. Geol.*, 7, 436–445.
- Zuchiewicz W., 1993. Dorobek badań neotektonicznych w Polsce w latach 1970–1990: próba podsumowania. *Prz. Geol.*, 5, 360–370.
- Zuchiewicz W., 1995. Selected aspects of neotectonics of the Polish Carpathians. *Folia Quaternaria*, 66, 145–204.
- Zuchiewicz W., 1998. Quaternary tectonics of the Outer West Carpathians, Poland. *Tectonophysics*, 297, 121–132.
- Zuchiewicz W., 1999a. Przydatność metod morfometrycznych w ocenie tendencji neotektonicznych Karpat polskich. *Prz. Geol.*, 9, 851–854.
- Zuchiewicz W., 1999b. Zróżnicowane tempo erozji rzecznej w polskich Karpatach zewnętrznych: wskaźnik młodych ruchów tektonicznych? *Prz. Geol.*, 9, 854–858.
- Zuchiewicz W., 2001. Geodynamika i neotektonika polskich Karpat zewnętrznych. *Prz. Geol.*, 49, 8, 710–716.

Summary

The Bochnia salt deposit is situated in a narrow belt of folded Miocene strata, called the allochthonous unit, that spreads along the northern border of the Carpathians (Figs 1, 2). Uplift of the deposit was directly associated with overthrust movements of the Flysch Carpathians over the strata of the Carpathian Foredeep. Due to these movements, the salt series of an initial small thickness has been substantially thickened and pushed towards the ground surface (e.g. Poborski 1952, Poborski & Skoczylas-Ciszewska 1963, Garlicki 1968, 1979).

Examination of young and recent tectonic movements of the Outer Carpathians has been taking place for several decades. A few uplifted zones have been recognised, alongside with the uplift intensity, rate and duration in different parts of the orogen (Zuchiewicz 1984a, b, c, 1998, 2001). These zones are aligned subparallel to the Carpathian belt, and the area of Bochnia represents one of them. The problem of how neotectonic movements affect development of the deposit and how they can be manifested within the rock mass of the mine is open and has not been discussed up to now. Taking into account the stability of mining galleries, it is also important to determine the nature of recent movements within the rock mass of the deposit and to find out whether they result from mining-induced decompression of rocks or primary tectonics.

The observations carried out in the Bochnia mine indicate that non-uniform distribution of stress within the mine can be associated with the overthrust of the Carpathians. Such a stress is revealed by different convergence rates of the mine galleries that are both parallel and perpendicular to the strike of the deposit, thus showing extreme different orientation against the Carpathian massif and the direction of overthrusting. The galleries oriented north-south, i.e. perpendicularly to the strike of the salt deposit and, simultaneously, parallel to the general movement of the Carpathians, are relatively stable and can often remain intact for longer periods of time (Fig. 3B–D). In contrast, the destruction of the galleries running west-east is much faster, and exceeds over 6 mm/year (Figs 5D, 6A–D). This rate has been calculated basing on geological and mining indicators, such as: shortening of mine timbering elements and remnants after completely closed galleries due to the convergence of mine workings (Figs 4B–D, 5A–C). Such a diversification of stress indicates the existing rock pressure directed from the Carpathians northwards; implying, thereby possible recent move of the Carpathians.

Manifestation of rock mass movements within the deposit after its final formation can be seen in secondary rocks, such as some veins of fibrous salts (Figs 5D, 6, 7). They occur, first of all, within barren interbeddings, i.e. claystones and anhydrite claystones. Their almost rectilinear strike, clearly contrasting with the strongly folded salt series, suggests that these forms are much younger than folding. The fibrous salts with characteristically bent fibres can often be seen among these veins, particularly among their thicker varieties. The bending seems to have originated from displacement of the adjacent claystone blocks. Such movements are also often manifested by slickensides present along the vein walls. It is difficult to determine precise age of these displacements and to establish whether they are still active. Considering their orientation in respect to fold axes in the enclosing rocks they must be interpreted as formed after the main episode of folding, and – by the same virtue – can be identified as a result of neotectonic movements.

Like in the case of fibrous salts, some of discontinuities reveal the features that can be attributed to modern rock mass movements. It is a matter of argument to what extent these movements have resulted from external factors (e.g. a supposed movement of the Carpathians), and how big is the contribution from rock mass decompression and displacement associated with convergence of the underground workings. The suggested decompression must have been a main factor within the Bochnia salt deposit being responsible for the development of younger structural forms which are difficult to distinguish from those resulting from primary tectonics.