

Zastosowanie elektronicznych pomiarów odkształceń górotworu na przykładzie wyrobiska KS Bochnia

Application of electronic measurements of rock mass deformations on the example of a mining cavity in The Bochnia Salt Mine



Dr hab. inż. Zbigniew Szczerbowski^{)}*



*Dr hab. inż. Zbigniew Niedbalski
prof. AGH^{*)}*



Dr inż. Mieczysław Józwiak^{)}*



*Mgr inż. Tomasz Migdas^{**)}*



*Mgr inż. Andrzej Kawalec^{**)}*



*Mgr inż. Karol Orzeł^{**)}*

Treść: Badania deformacji górotworu w rejonie zabytkowej Kaplicy św. Kingi Kopalni Soli „Bochnia” z zastosowaniem elektromagnetycznej sondy ekstensometrycznej dają nową jakość w analizie charakterystyki tego procesu. Pomiarzy przemieszczeń reperów stanowiących punkty osnowy kopalnianej z zastosowaniem klasycznych przyrządów i instrumentów geodezyjnych pozwalają jedynie na określenie geometrycznych zmian konturu wyrobisk, często wysoko dokładnych. Na bazie wyników klasycznych pomiarów mierniczych niemożliwe jest określenie sposobu propagacji deformacji wewnątrz górotworu. Wykonane badania z zastosowaniem sond ekstensometrycznych umożliwiły opracowanie charakterystyki odkształceń calizny górotworu solnego w KS Bochnia oraz powiązanie tych wyników z wieloletnimi pomiarami geodezyjnymi. Jak dotąd nie ma opracowań, które w wiarygodny sposób przedstawiają sposób rozchodzenia się deformacji w caliznie górotworu otaczającej wyrobiska. Jak się podejrzewa, jest on poddany dodatkowo naciskom wciąż aktywnych tektonicznie Karpat sąsiadujących ze złożem. Poza aspektem naukowym przybliżenia opisu zjawisk zachodzących wokół wyrobisk podziemnych w KS Bochnia, istotny jest również aspekt praktyczny, który dotyczy sposobu prowadzenia ewentualnych zabezpieczeń zabytkowych wyrobisk.

Abstract: Measurements of rock mass deformation with application of electromagnetic extensometer in the Saint Kinga Chapel of The Bochnia Salt Mine provided a new quality of in studies of the process's performance. Measurements of displacements of control points which are consisted of in the mine's geodetic network with the use of classical device devices and instruments enable to determine of changes of cavities' contours only, however with high accuracy. The carried out measurements with the use of electromagnetic extensometer supported elaboration of deformation of undisturbed rock mass surrounding the cavity in The Bochnia Salt Mine that could be combined the results with long standing geodetic observations. As far there is no studies which present reliably propagation of deformation within rock salt mass surrounding underground excavations. As suspected, the rock mass is subjected to additional stress of the Carpathians orogeny, neighboring the salt deposit and which is still tectonically active. Apart from the scientific aspect which brings closer the problem depicting propagation of phenomena ongoing around underground cavity in The Bochnia Salt Mine, there is a practical aspect pertaining to of eventual support methods being constructed in the historical excavations.

^{*)} AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków ^{**)} Kopalnia Soli „Bochnia”

Słowa kluczowe:

górotwór solny, pomiary deformacji, konwergencja, pomiary ekstensometryczne, neotektonika

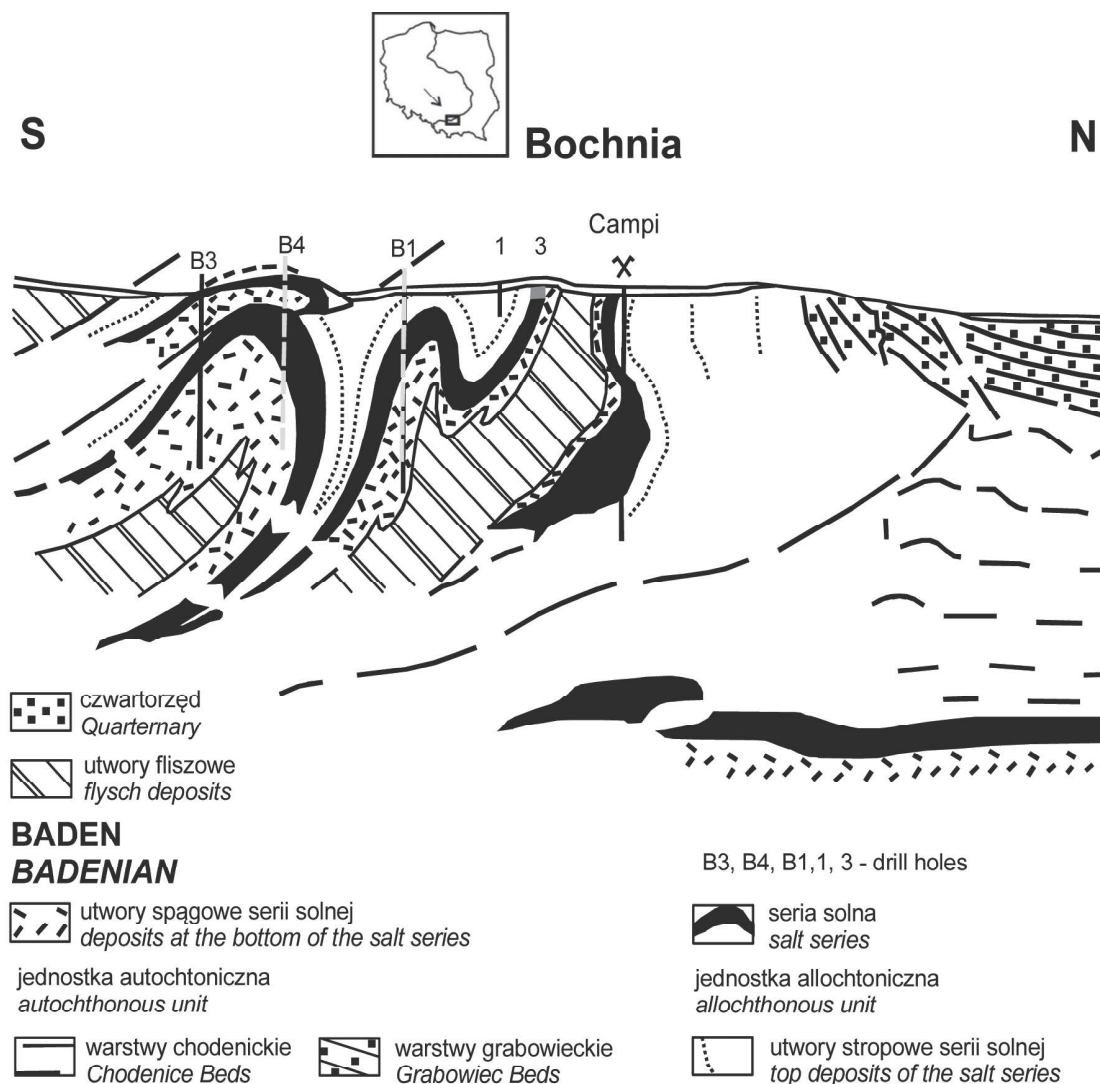
Key words:

rock salt mass, deformation measurements, convergence, extensometric measurements, neotectonics

1. Wprowadzenie

Badania skomplikowanej budowy geologicznej bocheńskiego złoża mają już wieloletnią tradycję, a informacje na ten temat można znaleźć m.in. w pracach (Poborski 1952, Garlicki 1979). Na formację solonośną rejonu Bochni składają się: utwory podsolne - iłowce margliste warstw skawińskich, seria solna - warstwy wielkie zawierające sól kamienną, anhydryt i gips, utwory nadsolne - warstwy chodenickie złożone z iłowców marglistych, mułowców i piaskowców oraz wkładki twardej margli dolomitycznych (Poborski 1952, Garlicki 1979). W czasie ruchów górotwórczych Karpat utwory ewaporatowe w południowej części zapadliska przedkarpackiego uległy sfałdowaniu wraz z utworami fliszu i przesunięte ku północy. W rejonie Bochni występuje granica części allochtonicznej (zaburzonej) i autochtonicznej (niezaburzonej) a skutkiem działania sił tektonicznych jest specyficzne ukształtowanie bocheńskiego złoża soli. Utwory ewaporatowe

rozprzestrzeniają się tu w pasie o długości ok. 12 km wzdłuż granicy nasunięcia Karpat, a złoże ma szerokość maksymalnie 200 m (Poborski 1952, Goner i in. 2011). Efektem działania sił tektonicznych jest układ fałdów, z których północny (antyklina bocheńska), a dokładniej jego skrzydło północne jest uznawane za właściwe złoże soli kamiennej (Toboła, 2002, Toboła, Bezkorowajny 2006). Współczesny obraz skomplikowanej budowy geologicznej daje wyobrażenie roli tych sił tektonicznych, które ukształtowały złoże soli w rejonie Bochni (rys. 1). Jednocześnie charakterystyka obserwowanych w górotworze deformacji wyznaczonych na drodze pomiarów geodezyjnych (Szczerbowski i in. 2016) oraz geologiczne obserwacje (Toboła, Bezkorowajny 2006) mogą przemawiać za współczesną aktywnością działania sił neotektonicznych. W celu oceny tych zjawisk pomocne może być zastosowanie pomiarów ruchów górotworu z wykorzystaniem sondy ekstensometrycznej. Dotychczas w KS „Bochnia” pomiarów w głębinach wokół wyrobisk nie prowadzono.



Rys. 1. Bochnia. Przekrój geologiczny przez złoże (Garlicki 1968): 1 – czwartorzęd, 2 – utwory fliszowe, 3 – utwory spagowe serii solnej, 4 – seria solna, 5 – warstwy chodenickie, 6 – warstwy grabowieckie, 7 – utwory stropowe serii solnej

Fig. 1. Bochnia. Geological cross-section through the deposit (according to Garlicki 1968)

2. Badania deformacji

Chociaż pomiary geodezyjne w kopalniach soli mają już długą historię, to nie były często wykorzystywane w badaniach deformacji górotworu otaczającego wyrobiska górnicze. Pomiary przemieszczeń będących rezultatem ruchów górotworu wywołanych prowadzoną eksploatacją górniczą prowadzone są od ok. 100 lat. Początkowo były to pomiary niwelacyjne reperów sieci dołowych. Z czasem w związku z rozwojem technik pomiarowych, jak i zmiany podejścia do problemu utrzymania wyrobisk w kopalniach soli po katastrofie w Wapnie w 1977 roku, zmienił się zarówno zakres realizowanych prac pomiarowych, jak i sposób prowadzenia obserwacji deformacji (zaciskania się pustek poeksploatacyjnych). Pomiary konwergencji wyrobisk realizowane były z zastosowaniem klasycznych geodezyjnych instrumentów pomiarowych oraz różnego rodzaju konwergometrami, np. suwmiarkowymi o dokładności pomiaru około 0,1 mm oraz taśmowymi lub drutowymi o dokładności pomiaru ok. 1 mm, które stosowane były na bazach o większych długościach (Bieniasz, Wojnar 2007). Z czasem stosowano coraz bardziej popularne instrumenty laserowe (Jóźwik, Szczerbowski 1998). W przypadku oceny deformacji powierzchni terenu kopalń soli analiza opiera się głównie na badaniach przemieszczeń pionowych (wyznaczanych zwykle na podstawie pomiarów niwelacyjnych) i w mniejszym zakresie na pomiarach przemieszczeń poziomych punktów linii obserwacyjnych (z reguły z pominięciem problematyki odkształceń). W przypadku deformacji wyrobisk górniczych kopalń soli te ostatnie pomiary są właśnie najbardziej istotne w ocenie bezpieczeństwa ich funkcjonowania.

W przypadku Bochni badania deformacji górotworu realizowane są aktualnie poprzez następujące pomiary w wyrobiskach górniczych (Chmura, Migdas 2005):

- niwelacyjne, którymi objęte są repery spągowe i stropowe, rzadziej ociosowe;
- konwergencji pionowej wyznaczonej na podstawie pomiarów niwelacyjnych wymienionych wcześniej;
- konwergencji poziomej realizowanych zwykle przy pomocy taśmy stalowej;
- współrzędnych osnowy poziomej, które umożliwiają opis przemieszczeń poziomych;
- rozwartości szczelin, wyznaczanych przy pomocy suwmiarki.

Wszystkie wymienione wyżej pomiary realizowane są także w pobliżu zlokalizowanego w rejonie kaplicy św. Kingi nowego stanowiska pomiarowego (rys. 2), na którym autorzy rozpoczęli pomiary odkształceń górotworu sondą ekstensometryczną ETM-X f-my Trolex. Trzeba jednak zaznaczyć, że pojęcie „pomiary deformacji górotworu” odnosi się zwykle do obserwacji ruchów punktów stropowych, spągowych lub ociosowych, a uzyskane rezultaty odnoszą się faktycznie do zmian wymiarów samych pustek. W ten sposób niejako ekstrapoluje się wyniki na górotwór (ruch ośrodka skalnego). Deformacje górotworu w otoczeniu wyrobisk opisuje się przemieszczeniami punktów zastabilizowanych w wyrobiskach, co może być prawdziwe w jakiejś ograniczonej przestrzeni. Tak naprawdę ruch wewnątrz calizny (np. filar między komorami) nie jest możliwy do rozpoznania za pomocą klasycznych instrumentów geodezyjnych. Takie obserwacje przemieszczeń są jednak możliwe np. z zastosowaniem sondy ekstensometrycznej.

Kaplica św. Kingi znajduje się w komorze pochodzącej z XVIII w. Jest to największa z istniejących kaplic w kopalni, a obecny wygląd i wystrój pochodzi z początku XX wieku. Kaplica składa się z kilku części, a jej powierzchnia całkowita wynosi ok. 260 m². Wyniki prowadzonych w niej do tej

pory pomiarów geodezyjnych na rozbudowanej sieci punktów obserwacyjnych wskazują na raczej stabilny proces jej deformacji, zróżnicowany w różnych jej miejscach. Ponadto w komorze widoczne są spękania, które są efektem ciśnienia górotworu solnego. Regularne pomiary deformacji komory prowadzone są od 1993 roku. Od 1998 roku wykonywane były regularnie w odstępach półrocznych, a od 2012 roku w odstępach rocznych.

Zmierzone geodezyjnie przemieszczenia pionowe reperów stropowych w rejonie założonej bazy pomiarowej w okresie ostatnich 5 lat są w granicach od -12 do -15 mm rocznie, natomiast w przypadku reperów spągowych wartości te są niższe: od -7 mm do -10 mm. Zlokalizowany w sąsiedztwie bazy pomiarowej reper 35 wykazuje w ostatnich latach osiadania rzędu 15 mm/rok. Wartość rocznego odkształcenia pionowego wyznaczana na tej bazy pomiarowej wynosi więc średnio 1,5 ‰. Dla większości innych baz pomiarowych w Kaplicy, względne roczne wartości konwergencji pionowych (iloraz różnicy długości baz w czasie do ich wartości początkowych), nie przekracza wartości jednego promila.

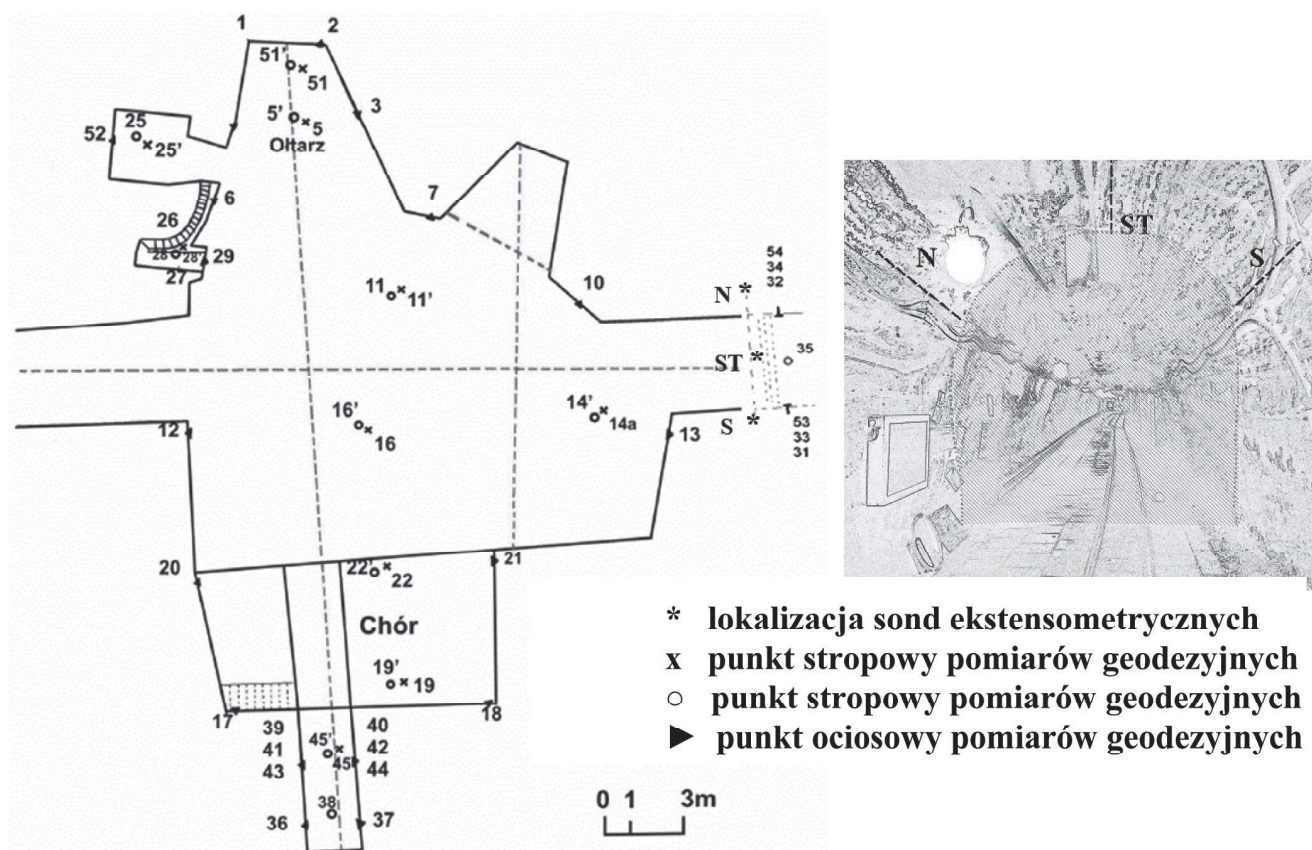
Względne wartości konwergencji poziomych w komorze, wyznaczone z pomiarów długości, są prawie takie same dla większości baz, zlokalizowanych w Kaplicy lub w jej sąsiedztwie (rys. 2).

Dla większości baz pomiarowych roczne odkształcenia poziome nie przekraczają wartości -1 ‰ (ściskania). W styczniu 2018 r., w chodniku dojściowym przy Kaplicy św. Kingi, w pobliżu istniejącego przekroju pomiarowego, wykonano trzy otwory badawcze – N, ST, S, o długości około 7,5 m każdy (rys. 2). Dwa z nich odwiercono w ociosach wyrobiska – północnym (N) i południowym (S) oraz jeden w jego stropie (ST).

W otoczeniu nowego przekroju pomiarowego, zmierzone geodezyjnie na bazach poziomych, odkształcenia poziome wykazują niewielkie zróżnicowania. Ich wartości rosną na kolejnych bazach, w kierunku od spągu do stropu. Od roku 2012 wynosiły odpowiednio: -2,0 ‰/rok (baza przyspągowa 31–32), -2,4 ‰/rok (baza ociosowa 33–34) i -2,7 ‰/rok (baza przystropowa 53–54). Wartości względnej konwergencji poziomej nie pozwalają na określenie udziału poszczególnych punktów wyznaczających bazy pomiarowe w obserwowanym procesie konwergencji. Brakuje szczegółowych danych o zróżnicowaniu tempa konwergencji i przemieszczeń poziomych poszczególnych punktów w każdym roku, np. wpływie czynników sezonowych (zmiany wilgotności) na kinematyczny przebieg tego procesu. Z rocznych pomiarów współrzędnych poziomych znana jest charakterystyka poziomych przemieszczeń dla rejonu nowego stanowiska pomiarów konwergometrycznych. Średnia wartość rocznych przemieszczeń poziomych wynosi 25 mm w kierunku północnym i 9 mm w kierunku wschodnim, co daje pogląd o kierunku przemieszczeń poziomych, który jest zgodny z kierunkiem działania głównych sił tektonicznych formujących złożę solne w tym rejonie.

3. Badania z zastosowaniem sondy ekstensometrycznej

Zastosowana w badaniach sonda ekstensometryczna ETM-X precyzyjnie wyznacza przemieszczenia poszczególnych punktów górotworu w otoczeniu wyrobiska względem stałego punktu odniesienia (Majherczyk i in. 2006). Ekstensometry mogą pracować w otworach o różnym nachyleniu. Pozwalają na wielokrotne pomiary i co najważniejsze, dają dużą dokładność wyznaczania zmian odległości między punktami pomiarowymi.



Rys. 2. Schemat rozmieszczenia punktów i profili pomiarów geodezyjnych oraz otworów wiertniczych (N,ST,S) w wyrobisku przy Kaplicy św. Kingi. Po prawej stronie lokalizacja otworów w przekroju chodnika dojściowego do Kaplicy
 Fig. 2. Scheme of control points and geodetic profile lines distribution and localization of drillings (N, S, ST) in the cavity nearby The Saint Kinga Chapel. On the right localization of the drillings in the cross section of the passage leading to the Chapel and values of annual horizontal strains and annual vertical displacements

Zasada działania zastosowanej w badaniach sondy ekstensometrycznej ETM-X wykorzystuje zjawisko magnetostrykcji. Jej budowa i zastosowana metoda pomiarów zapewniają jednoczesny pomiar długości wielu odcinków, wyznaczanych przez pierścienie magnetyczne, zastabilizowane w badanym obiekcie w jednej linii prostej. Długości tych odcinków wyznaczane są od jednego punktu referencyjnego. Punktem tym jest pierwszy punkt (pierścień magnetyczny) przy urządzeniu odczytowym sondy ekstensometrycznej.

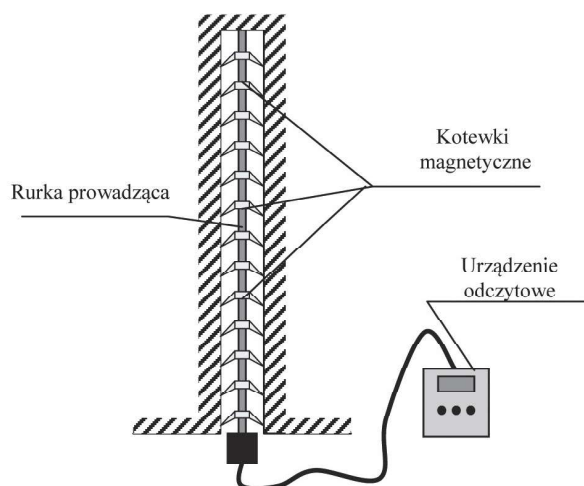
Wykonane w KS Bochnia stanowisko pomiarowe, składa się z trzech otworów wiertniczych o długości 7,5 m i średnicy 45 mm. W każdym otworze wprowadzono do niego na całą długość rurkę osłonową, na którą nasuwano kolejno od końca pierścienie magnetyczne. Pierścienie te stabilizowane są w górotworze rozpiętymi sprężystymi kotwicznymi. W każdym otworze założono kilkanaście takich pierścieni, w odległościach około 30 cm (rys. 3).

Im większa liczba i zagęszczenie pierścieni magnetycznych w otworze wiertniczym, tym dokładniejsze rozpoznanie stref deformacji w górotworze. Sama sonda ekstensometryczna ETM-X, składa się z przewodów umieszczonych w giętkiej plastikowej osłonie o średnicy 9 mm i długości 7 m. Na jednym jej końcu zamontowana jest głowica pomiarowa, do której w czasie pomiarów podłącza się urządzenie odczytowe. Po wsunięciu sondy do otworu i jej ustabilizowaniu podłącza się do niej urządzenie odczytowe i uruchamia tryb pomiarowy. Po około 30 sekundach na ekranie urządzenia pokazują się wartości wszystkich odcinków pomiarowych w otworze wiertniczym. Można je zarejestrować w pamięci urządzenia.

Czas pomiaru w jednym otworze badawczym nie przekracza 10 minut. Zastosowana w KS Bochnia sonda z powodzeniem stosowana jest od wielu lat w polskich kopalniach węgla kamiennego (Majcherczyk i in. 2005, 2006, 2008).

Dla wyznaczenia dokładności sondy ekstensometrycznej wykonane zostały pomiary kontrolne w Komparatorium Geodezyjnym AGH w Krakowie z zastosowaniem precyzyjnego interferometru laserowego Hewlett Packard, o dokładności 0,02 mm (rys. 4). Pomiary te polegały na porównaniu zmian długości odcinków wyznaczanych sondą ekstensometryczną ze zmianami tych odcinków wyznaczanych interferometrem laserowym. Średni błąd pomiarów sondą wyniósł 0,1 mm, co stanowi znacznie lepszy rezultat od tego, który podaje producent (0,5 mm). Maksymalna rozbieżność wyników osiągnęła wartość 0,3 mm w kilku zaledwie przypadkach na kilkadziesiąt wykonanych odczytów. Pomiary na wykonanym w KS „Bochnia” stanowisku konwergometrycznym, prowadzone są od 19.01.2018 roku z częstotliwością około 90 dni. Wyniki pomiarów sondą można interpretować jako przemieszczenia poszczególnych punktów pomiarowych (pierścieni magnetycznych) względem punktu referencyjnego (punkt 0). Punkt referencyjny też ulega przemieszczeniom, więc pomiary sondą określają względne zmiany długości (głębokości) mierzonych odcinków w górotworze.

Dla uzyskania wiarygodnego obrazu deformacji przyjęto, że wstępna analiza będzie wykonana po 12 miesiącach od pierwszego pomiaru.. Założenie to wynikało z dokładności



Rys. 3. Schemat zabudowy sondy ekstensometrycznej w górotworze oraz kotwiczki magnetyczne sondy ekstensometrycznej (po prawej)

Fig. 3. Scheme of casing of extensometric probe in rock mass with magnetic anchors of the probe (on the right)



Rys. 4. Komparatorium Geodezyjne AGH. Pomiary kontrolne wskazań sondy ekstensometrycznej

Fig. 4. The Geodetic Comparator in The AGH University of Science and Technology. Control measurements of the extensometric probe readings

metody pomiarowej. Zgodnie z danymi technicznymi sondy ETM-X, dokładność odczytu wynosi 0,5 mm, co dla odcinków 30 cm, na które mniej więcej podzielona została każda z baz pomiarowych (S, N, ST), daje wartość odkształcenia liniowego ok. 1,6‰. Przyjmując dla górotworu wartość odkształcenia równą wartości średniorocznej względnej konwergencji poziomej wyrobiska, wyznaczaną metodą geodezyjną, równą 2,6‰, łatwo obliczyć, że przy wspomnianej dokładności metody, znaczące odkształcenia mogą wystąpić po 8 miesiącach.

Wartości odkształceń liniowych w otworach wyznaczono na podstawie odczytów położonych poszczególnych pierścieni magnetycznych, dla okresu 19.01.2018 – 15.03.2019. W tabeli 1 przedstawiono wartości odkształceń poszczególnych odcinków pomiędzy pierścieniami magnetycznymi. Ich względne zmiany położenia wykorzystano w obliczeniach odkształceń liniowych. Na rys.5 przedstawione zostały rozkłady wartości tych odkształceń wraz z wyznaczonym trendem. Odkształcenia wyznaczone na poszczególnych odcinkach w otworach, cechują się zróżnicowaniami, którym jednak można przypisać trend. Przedstawione dalej na rysunkach wykresy

należy rozumieć jako rozkłady wartości odkształceń liniowych, dla poszczególnych odcinków, które zajmują określone położenie na bazie pomiarowej, tj. znajdują się w określonej odległości względem punktu początkowego, czyli zera bazy (punkt zlokalizowany w pobliżu wlotu wykonanego otworu). Odkształcenia liniowe obliczono według wzoru:

$$\varepsilon = \frac{l'_i - l_i}{l_i}$$

gdzie

l_i – długość kolejnego odcinka: 0-1,1-2,2-3..., którego końcami są punkty pomiarowe (miejsca położenia kolejnych pierścieni magnetycznych) wyznaczona w pomiarze 19.01.2018, l'_i – długość tego odcinka wyznaczona w pomiarze 15.03.2019.

Cechą charakterystyczną przedstawionych rozkładów odkształceń dla wszystkich baz (rys.5), jest malejący trend ich wartości w kierunku od ociosu wyrobiska do calizny. Jednak w poszczególnych otworach zaobserwowano różne wartości zmian długości całkowitej baz. W otworach N i ST, wartości skrócenia najdłuższych odcinków są zbliżone, odpowiednio: -8,6 mm i -6,2 mm; natomiast w przypadku otworu S, wartość skrócenia jest dużo mniejsza i wynosi -1,5 mm. Przekłada się to na zróżnicowanie wartości odkształceń w poszczególnych otworach: -1,4 ‰ (otwór N), -1,1‰ (otwór ST) i zaledwie -0,3‰ (otwór S). Przyjmując wartość ściskania wyrobiska od strony północnej w otworze N oraz południowej w otworze S, uzyskujemy wypadkową wartość zaciskania, która odpowiada konwergencji względnej wyznaczonej geodezyjnie. Podobnie jest w przypadku otworu ST, w którym uzyskano wartość odkształcenia na kierunku pionowym – wartość ta też jest zbliżona do wartości konwergencji względnej wyznaczonej geodezyjnie. Zaciskanie wyrobiska na tym kierunku odbywa się od góry w dół (spąg nie podnosi się) i na tym kierunku wyznaczone odkształcenia w caliznie stropu można uznać za reprezentatywne. Górotwór w otworze N w ociosie północnym wykazuje zróżnicowane odkształcenia na swej długości otworu, których przebieg nie daje jednoznacznego trendu. Charakterystyczna jest natomiast niesymetryczność odkształceń po obu stronach wyrobiska: odkształcenia liniowe na całej długości otworu S (ocios południowy) są kilkakrotnie mniejsze od tych stwierdzonych w otworze N (ocios północny), co może sugerować działanie dodatkowych sił w procesie

Tabela 1. Wartości odkształceń i przemieszczeń poszczególnych odcinków w otworach N,S,ST w okresie 19.01.2018-15.03.2019

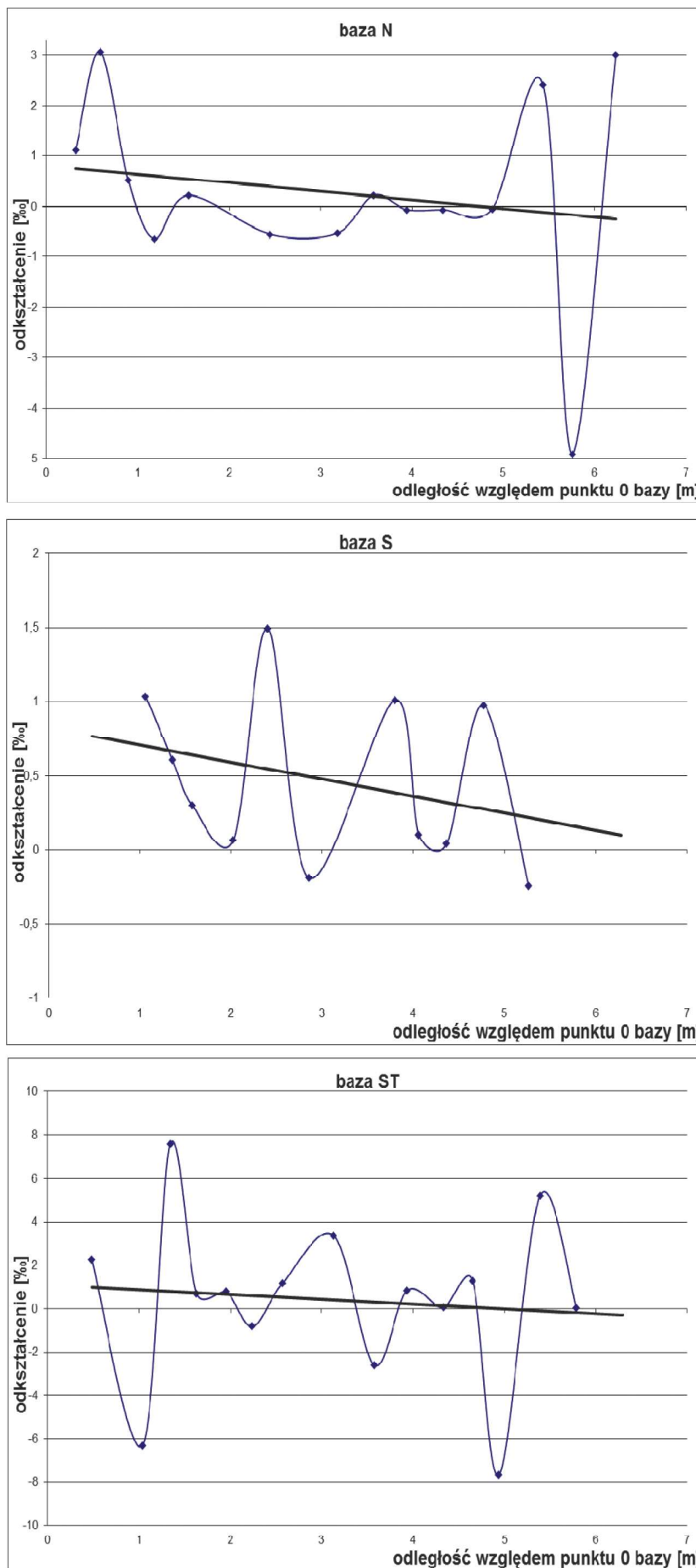
Table 1. Values of strains and displacements of particular sections in the N, the S and ST drillings in the period 19.01.2018-15.03.2019

odcinek	odkształcenie (%)	przemieszczenia [mm]	
baza N			
0-1	1,11	suma zmian długości odcinków	-8,6
1-2	3,06		
2-3	0,51		
3-4	-0,65		
4-5	0,21		
5-6	-31,12		
6-7	39,08		
7-8	-0,56		
8-9	-29,26	zmiana długości odcinka 0-17	-8,6
9-10	-0,54		
10-11	0,21		
11-12	-0,07		
12-13	-0,07		
13-14	-0,06		
14-15	2,42		
15-16	-4,91		
16-17	3,0		
średnia	-1,04		
baza S			
0-1	14,81	suma zmian długości odcinków	-1,5
1-2	-35,16		
2-3	1,03		
3-4	0,61		
4-5	0,30		
5-6	0,07		
6-7	1,49		
7-8	-0,19		
8-9	b.o.	zmiana długości odcinka 0-17	-1,4
9-10	b.o.		
10-11	1,01		
11-12	0,10		
12-13	0,04		
13-14	0,97		
14-15	-0,24		
15-16	0,00		
16-17	b.o.		
średnia	-1,08		
baza ST			
0-1	2,26	suma zmian długości odcinków	-6,2
1-2	-35,74		
2-3	-6,31		
3-4	7,59		
4-5	0,69		
5-6	0,78		
6-7	-0,81		
7-8	1,17		
8-9	3,36	zmiana długości odcinka 0-17	-6,2
9-10	-2,60		
10-11	0,83		
11-12	0,05		
12-13	1,29		
13-14	-7,66		
14-15	5,21		
15-16	0,03		
16-17	b.o.		
średnia	-1,87		

b.o. - brak odczytu

naturalnego zaciskania się pustki. Wyznaczone z wykonanych pomiarów wartości względnych odkształceń górotworu we wszystkich trzech otworach (N, S, ST), w porównaniu ich z

wynikami względnych konwergencji wyrobiska w ich pobliżu, wskazują na równoczesne występowanie konwergencji (zaciskania) wyrobiska oraz ściskania górotworu go otaczającego.



Rys. 5. Rozkład odkształceń na poszczególnych sondach wraz z trendem liniowym
 Fig. 5. Strain distribution of the particular probes with trend lines

3. Podsumowanie i wnioski

Uzyskane wartości odkształceń wyznaczone na podstawie pomiarów sondą ekstensometryczną ETM-X, na trzech 7-metrowych odcinkach wewnątrz górotworu, wykazały wartości zbliżone do tych wyznaczanych na drodze pomiarów geodezyjnych. Należy pamiętać, że w tym przypadku wyznaczona wartość konwergencji obejmuje również pewną partię górotworu, w której jej wartość maleje w miarę oddalania się od wyrobiska. Wartości odkształceń w otworze S, w ośrodku południowym, są dwukrotnie mniejsze od tych stwierdzonych w otworze N (ośrodek północny), co może wskazywać kierunek dodatkowego nacisku, być może tektonicznego, gdyż nie ma uzasadnienia z punktu widzenia sytuacji górniczej (brak w otoczeniu dodatkowo oddziaływujących wyrobisk).

Przedstawione wyniki badań odkształceń w otoczeniu wyrobiska górniczego sondą ekstensometryczną, prawdopodobnie po raz pierwszy w warunkach polskich kopalń soli, mają charakter wstępny. Opis faktycznego obrazu ruchu górotworu solnego w otoczeniu wyrobisk wymaga dłuższego okresu badań na większej liczbie stanowisk pomiarowych. Wstępne rezultaty pozwoliły jednak na stwierdzenie istotnych faktów o nierównomierności zachodzących ruchów w otoczeniu wyrobiska.

Literatura

- BIENIASZ J., WOJNAR W. 2007 - Zarys historii pomiarów i wybrane wyniki obserwacji zjawiska konwergencji wyrobisk w pokładowych złożach soli. „Gospodarka Surowcami. Mineralnymi” 23, wydanie specjalne, 13-18.
- CHMURA J., MIGDAS T. 2005 - Ocena stateczności wyrobisk trasy turystycznej i komór sanatoryjnych w Kopalni Soli „Bochnia” wraz z projektem opomiarowania nowych obiektów turystycznych. Wydawnictwa AGH. „Górnictwo i Geoinżynieria” z. 3/1, s. 119-133.

- GARLICKI A. 1968 - Autochtoniczna seria solna w miocenie Podkarpacia między Skawiną a Tarnowem. Biul. IG, 1968. 215, s. 5-78.
- JÓŻWIK M., SZCZERBOWSKI Z. 1998 - Propozycja wykorzystania dalmierza laserowego DISTO w warunkach K.S. „Bochnia”. Materiały konferencji naukowo-technicznej. Bochnia, wrzesień 1998.
- GONERA M., WIEWIÓRKA J., CHARKOT J., BUKOWSKI K., MIKULSKI D., DUDEK K. 2011 - Geochrona konserwatorska profilu wzorcowego warstw chodenickich (miocen zapadliska przedkarpacciego). „Przeegląd Geologiczny”, t. 59, nr 10, s. 671-677, 699.
- MAJCHERCZYK T., MAŁKOWSKI P., NIEDEBALSKI Z. 2005 - Separation of roof rock observed in headings under development. Proceedings of the 6th International Mining Forum 2005 “Underground Mining: new technologies, safety and sustainable development”. Cracow-Szczaryk-Wieliczka, 23-27 February 2005. E.J. Sobczyk, J. Kicki (eds.). A.A. Balkema Publisher, s. 53-62.
- MAJCHERCZYK T., MAŁKOWSKI P., NIEDEBALSKI Z. 2006 - Ruchy górotworu i reakcje obudowy w procesie niszczenia skał wokół wyrobisk korytarzowych na podstawie badań in situ. Wydawnictwo Wydziału Górnictwa i Geoinżynierii.
- MAJCHERCZYK T., MAŁKOWSKI P., NIEDEBALSKI Z. 2008 - Badania nowych rozwiązań technologicznych w celu rozrzedzenia obudowy podporowej w wyrobiskach korytarzowych. Wydawnictwa AGH, Kraków.
- POBORSKI J. 1952 - Złoże solne Bochni na tle geologicznym okolicy. Biul. Inst. Geol., 1952. Vol. 78, s. 1-160.
- SZCZERBOWSKI Z., KACZOROWSKI M., WIEWIÓRKA J., JÓŻWIK M., ZDUNEK R., KAWALEC A. 2016 - Monitoring of tectonically active area of Bochnia. Acta Geodynamica et Geomaterialia. vol. 13 no. 1, s. 59-67.
- TOBOŁA T. 2002 - Wstępne wyniki badań zawartości pierwiastków ziem rzadkich w solach kamiennych złoża bocheńskiego. „Przeegląd Geologiczny”. Vol. 50, nr 9, s. 762-766.
- TOBOŁA, T., BEZKOROWAJNY A. 2006 - Przejawy ruchów neotektonicznych i współczesnych w bocheńskiej kopalni soli kamiennej. Kwart. AGH, Geologia, 32, nr 1, s. 5-19; http://journals.bg.agh.edu.pl/GEOLOGIA/2006-01/Geologia_2006_1_01.pdf

Artykuł wpłynął do redakcji – październik 2019
Artykuł akceptowano do druku – 2.01.2020



LUBELSKI WĘGIEL
„BOGDANKA”
SPÓŁKA AKCYJNA

KOPALNIA
INTELIGENTNYCH
ROZWIĄZAŃ

jesteśmy notowani w indeksach:
mWIG40, WIG-GÓRNICZTWO, InvestorMS oraz Respect Index

www.lw.com.pl