



Dziesięciolecie pomiarów zaciskania wyrobisk w złożu solnym O/ZG Polkowice-Sieroszowice

Decade of convergence measurements in O/ZG Polkowice-Sieroszowice salt deposit

Józef BIENIASZ¹, Jakub PIETRAS¹, Andrzej SADOWSKI², Joanna WRZOSEK²

¹ Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Górnictwa Surowców Chemicznych „CHEMKOP”,
ul. Wybickiego 7, 31-261 Kraków; jozef.bieniasz@chemkop.pl

² KGHM Polska Miedź S.A., Oddział Zakłady Górnicze „Polkowice-Sieroszowice”
59-101 Polkowice Kaźmierzów 100; andrzej.sadowski@kgmh.com

STRESZCZENIE

Od 2009 r. w O/ZG Polkowice-Sieroszowice funkcjonuje, sukcesywnie rozbudowywana, sieć pomiaru konwergencji wyrobisk solnych. Do połowy 2019 r. zainstalowano ok. 50 typowych stanowisk konturowych mierzonych z częstotliwością kilkumiesięczną. Pomiary te prowadzone są do chwili obecnej a dziesięcioletni czas ich wykonywania pozwala na podsumowanie zebranego materiału obserwacyjnego poprzez opisanie i graficzne zaprezentowanie obserwowanej zmienności zjawiska zaciskania pustek poeksploatacyjnych na znacznej głębokości w funkcji czasu istnienia wyrobisk. Dla pełniejszego poznania charakterystyki zjawiska naturalnego zaciskania pustek poeksploatacyjnych niezwykle istotny jest długi czas systematycznych obserwacji, co wymaga wieloletniego funkcjonowania baz pomiarowych w wyrobiskach. Wyniki pomiarów są wykorzystywane w bieżącej działalności zakładu górniczego.

Słowa kluczowe: zaciskanie wyrobisk, pomiary deformacji, eksploatacja soli

ABSTRACT

Since 2009, in O / ZG Polkowice-Sieroszowice, a convergence measurement network for salt excavations has been gradually being developed. By mid-2019, approximately 50 typical contour stations were installed and measured with a several months frequency. These measurements are per-

med up to now and the ten-year time of their execution allows to summarize registered observational material by describing and graphically presenting observed variability of post-mining empties convergence at a significant depth as a function of lifetime of excavations. For a more precise/complete understanding the phenomenon of natural convergence of post-mining empties, a long period of systematic observations is extremely important, which requires many years of functioning of the measurement stations in the excavations. Measurement results are used in the ongoing operations of the mine.

Key words: convergence of excavations, deformation measurements, salt exploitation

WSTĘP

W Zakładzie Górniczym Polkowice-Sieroszowice KGHM Polska Miedź S.A. od początku lat 90-tych ubiegłego wieku rozpoznawany był robotami górnictwami cechsztyński pokład najstarszej soli kamiennej położony nad eksploatowanym złożem rud miedzi. Obecnie, po uzyskaniu koncesji, trwa jego eksploatacja w granicach utworzonego OG „Bądzów”. Pokład soli kamiennej cechuje zmienna miąższość od 21,6m w S części obszaru górniczego do 180,1m w NE części obszaru górniczego. Ma bieg zbliżony do kierunku WNW-ESE oraz upad 3-8° (lokalnie do 15°) w kierunku NE. Głębokość zalegania spągu pokładu zmienia się od ~684,66m ppm w rejonie SW do ~857,20m ppm w rejonie NE, a stropu pokładu od ~663,06m ppm w kierunku SW do ~774,51m ppm w kierun-

ku NE. Jest to zatem największa głębokość eksploatacji złoża soli w Polsce klasycznymi metodami górniczymi. Eksploatacja odbywa się przy użyciu kombajnów mechanicznych. Sól po urobieniu kombajnem jest transportowana wozidłami oponowymi do podziemnego zakładu przerobczego, gdzie poddawana jest procesowi kruszenia i przesiewania. Gotowy produkt jest transportowany na powierzchnię a pył solny jest składowany w wyeksploatowanych komorach. W złożu soli wykonywane są wyrobiska chodnikowe o dużych przekrojach poprzecznych rzędu 40-50 m² oraz komory eksploatacyjne o przekroju 15x15 m i długości do 200 m, wybierane trzema warstwami.

OBR CHEMKOP od kilkudziesięciu lat specjalizuje się m. in. w pomiarach deformacji poeksploatacyjnych, w tym naturalnego zaciskania wyrobisk w kopalniach soli, stosując własne rozwiązania pomiarowe. Tematyka ta była wielokrotnie prezentowana i publikowana, m. in. na konferencjach i w wydawnictwach PSGS.

W O/ZG Polkowice-Sieroszowice pomiary konwergencji konturowej i wgłębnej wyrobisk chodnikowych OBR CHEMKOP rozpoczął i prowadził w początkowych latach rozpoznawania złoża 1991-1997 na 3 stanowiskach pomiarowych (Bieniasz i in., 2011). Po 12-letniej przerwie rozpoczęto w 2009 r. nową fazę obserwacji konwergencji wyrobisk w znacznie bardziej rozciętym wyrobiskami złożu solnym. Pomiary te prowadzone są do chwili obecnej, a dziesięcioletni czas ich wykonywania na rozbudowanej sieci pomiarowej pozwala na przynajmniej częściowe podsumowanie zebranego, bogatego materiału obserwacyjnego.

Przykładem wykorzystania zgromadzonych danych pomiarowych jest próba opisanie obserwowanej zmienności zjawiska zaciskania pustek poeksploatacyjnych na znacznej głębokości w funkcji czasu istnienia wyrobisk.

SIEĆ POMIAROWA I TECHNIKA OBSERWACJI

W strukturze solnej części kopalni O/ZG Polkowice-Sieroszowice dominują wielkogabarytowe wyrobiska chodnikowe. Dla pomiaru ich konwergencji zastosowano sprawdzony model typowego stanowiska pomiarowego składającego się z 2 baz, w pionowej i poziomej osi przekroju poprzecznego chodnika. Końce baz konwergencyjnych są sygnalizowane znakami pomiarowymi w formie bolca mosiężnego i tarczy sygnalizacyjnej, trwale zamocowanymi do konturu calizny. Znaki spągowe są chronione przed zniszczeniem lub uszkodzeniem ze strony pracujących maszyn przykrywką z grubego tworzywa i warstwą urobku. Przy współpracy kierownictwa oddziału solnego wybierano takie miejsca lokalizacji stanowisk pomiarowych, które z jednej strony realizują założone cele użytkowe wskazane przez Kopalnię a przy okazji dostarczają cennych danych poznawczych. Do połowy roku 2019 r. zainstalowano 45 typowych stanowisk pomiarowych w wyrobiskach solnych.

Uzupełnieniem standardowej sieci pomiarowej w pokładzie soli są 2 stanowiska pomiaru konwergencji wgłębnej z bazami pomiarowymi sięgającymi do 10 m w głąb calizn oraz dwa typowe stanowiska w skałach otaczających złożo soli tj. w pokładach anhydrytu dolnego i wapienia cechsztyńskiego (złożo rud miedzi).

Pomiary konwergencji liniowej w przekroju poprzecznym wyrobiska są wykonywane zestawem, wykorzystującym laserowy dalmierz DISTO D5 firmy Leica i specjalny uchwyt do tego dalmierza. Uchwyt służy do powtarzalnego i jednoznacznego mocowania dalmierza na znaku bazowym w kolejnych cyklach pomiarowych. Zastosowane urządzenie odczytowe pozwala mierzyć długość baz z dokładnością odczytu 0.1 mm. Praktyczna dokładność pomiaru długości baz, potwierdzona świadectwami komparacji dalmierza, wynosi ok. 1 mm. Jest to wartość wystarczająca wobec zakresu obserwowanych zmian długości wynoszącego od kilkudziesięciu do kilkuset milimetrów rocznie.

Obserwacje wykonywano początkowo w cyklach kilkumiesięcznych, zbliżonych do kwartalnego, a obecnie interwał pomiarowy jest dostosowany do szybkości zaciskania rejestrowanej na danym stanowisku (Bieniasz i in., 2018).

PODSTAWOWE USTALENIA Z ANALIZY MATERIAŁU POMIAROWEGO Z LAT 2009-2019

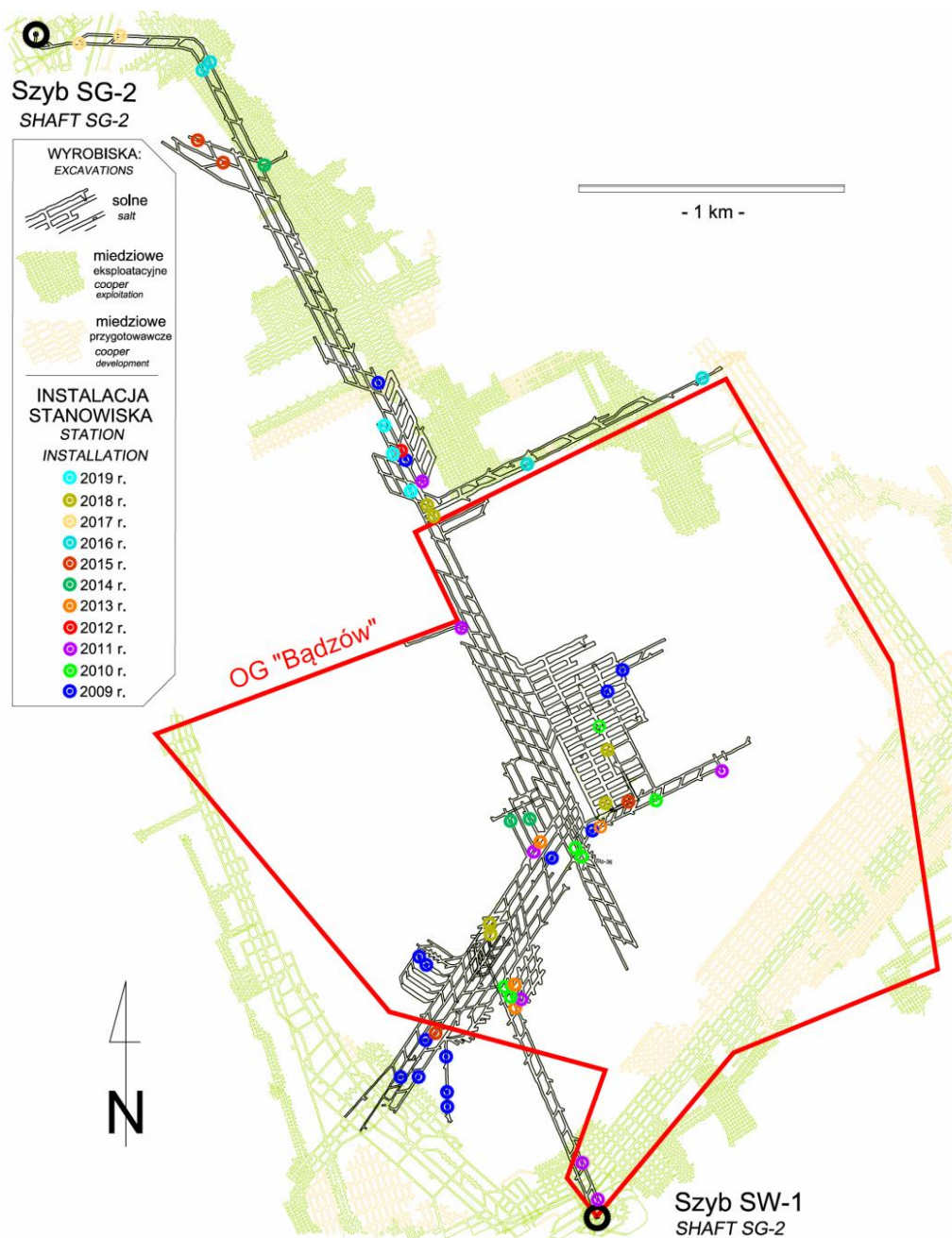
Obserwacje naturalnego zaciskania wyrobisk wykonane w minionym dziesięcioleciu pozwoliły na uchwycenie kilku wyraźnych cech charakterystycznych dla tego zjawiska ujawniającego się jako deformacje poeksploatacyjne w pokładzie solnym na głębokości ponad 900 m. Poniżej przedstawiono ich listę i krótkie omówienie:

- wyraźna zależność szybkości zaciskania od wieku wyrobiska – analiza w rozdziale następnym,
- duże wartości ustalonej szybkości liniowej konwergencji względnej dochodzące do kilkudziesięciu promili na rok, zdecydowanie większe niż obserwowane w innych kopalniach soli, (ustalona faza deformacji po zakończeniu okresu dużych deformacji bezpośrednio po wybraniu wyrobiska),
- duże zróżnicowanie szybkości zaciskania w różnych rejonach pokładu solnego powiązane prawdopodobnie z lokalnymi, deformacyjnymi własnościami górotworu solnego,
- proporcjonalna zależność szybkości zaciskania od miąższości pokładu solnego,
- zasięg mierzalnych deformacji górotworu solnego wokół konturu wyrobiska wynoszący ok. 1 ekwiwalentnej średnicy przekroju poprzecznego, w tym zasięg deformacji znaczących (30-50% wartości konturowej), sięgający kilku metrów w głąb calizny,

- potwierdzenie odmienności deformacyjnej skał otaczających pokład solny – minimalne wartości konwergencji w górotworze anhydrytowym i dolomitowym na granicy dokładności pomiaru,
- uchwytne pomiarowo wpływ eksploatacji złoża miedzi na stan wyrobisk solnych tj. oznaki sugerujące mniejsze wartości konwergencji ustalonej w rejonach położonych nad wyeksploatowanym złożem miedzi (np. rejon szybu SG-2 – Ryc. 1) oraz nasilenie destrukcji wyrobisk solnych położonych nad przechodzącym frontem „miedziowym” (rejon mostu wentylacyjnego na N od granicy OG „Bądzów” – Ryc. 1).

ANALIZA WYNIKÓW OBSERWACJI DLA USTALENIA ZMIENNOŚCI ZJAWISKA ZACISKANIA W FUNKCJI CZASU

Rozbudowa konwergencyjnej sieci pomiarowej w latach 2009-2019 postępowała wraz z poszerzaniem zasięgu wyrobisk górniczych w złożu. Towarzyszyło jej ustawiczne odtwarzanie zniszczonych lub uszkodzonych starszych stanowisk pomiarowych. Systematyczne, cykliczne pomiary baz sieci obserwacyjnej pozwoliły zgromadzić stosunkowo bogaty materiał pomiarowy, możliwy do interpretacji w ujęciu statystycznym.



Ryc. 1. Lokalizacja stanowisk pomiaru konwergencji wyrobisk solnych w O/ZG Polkowice-Sierszowice na tle układu wyrobisk w złożu rud miedzi (zielone).

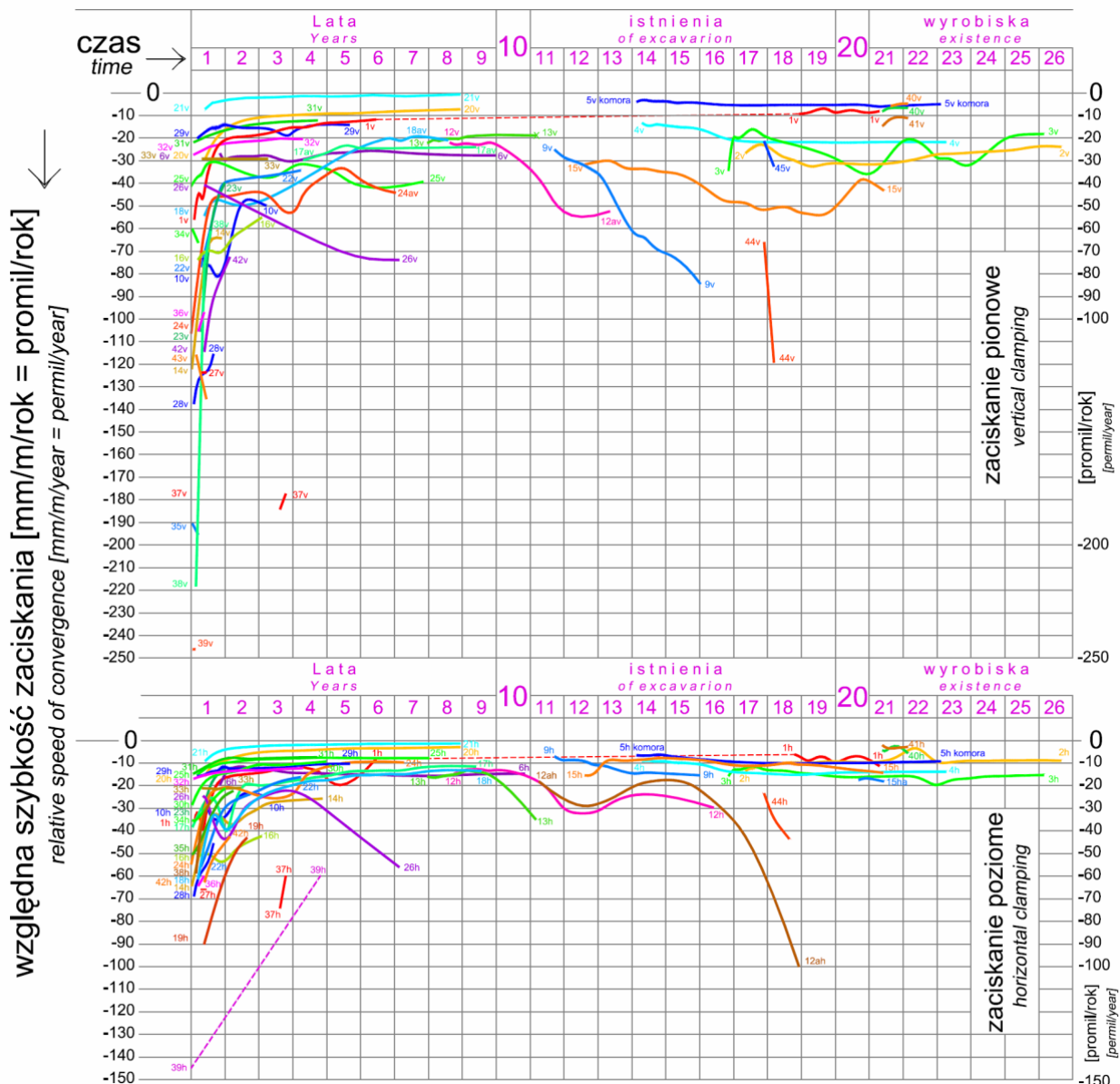
Fig. 1. Location of salt convergence measurement stations in O/ZG Polkowice-Sierszowice with a background of the excavation system in the copper ore deposit (green).

W omawianym dziesięcioleciu pomiary prowadzono na niemal 50 stanowiskach typowych i dwóch wgłębnych (Ryc.1). Część z nich w chwili obecnej nie funkcjonuje w systemie pomiarowym ze względu na zniszczenie lub odcięcie dróg dojazdowych. Pomiarom objęto wyrobiska w różnym wieku. Najwięcej stanowisk zakładano w nowych wyrobiskach przy rozcinianiu nowych rejonów złoża. Stabilizację znaków bazowych prowadzono bezpośrednio po wykonaniu nowego fragmentu chodnika (nawet 1 dzień po wybraniu), ale także w wyrobiskach kilkunastoletnich i starszych, czasem wielokrotnie przebudowywanych. Ustawicznie odtwarzano także zniszczone i uszkodzone bazy pomiarowe lub przenoszono je do wyrobisk sąsiednich dla zachowania ciągłości pomiarów w danym rejonie złoża.

Dane pomiarowe zebrane w ciągu dekady z rozproszonej sieci pomiarowej pozwoliły na sporządzenie syntetycznego wykresu pokazującego wielkość i zmienność szybkości za-

ciskania pionowego i poziomego wyrobisk chodnikowych w funkcji czasu (Ryc. 2). Jest to pierwsze tego typu opracowanie dotyczące zaciskania głęboko położonych wyrobisk solnych wykorzystujące dość obszerny i wiarygodny materiał pomiarowy.

Stosunkowo dobrze reprezentowany jest na wykresie pierwszy okres istnienia wyrobisk dzięki zakładaniu baz i obserwacji konwergencji w nowych wyrobiskach. Kolejne lata istnienia wyrobisk dokumentuje znacznie mniejsza liczba pomiarów, co jest pośrednim skutkiem dużych początkowych wartości zaciskania powodujących stosunkowo szybkie pogarszanie się stanu wyrobiska. Bezpieczeństwo funkcjonowania kopalni wymusza w takim przypadku przeprowadzenie prac przywracających właściwy stan wyrobiska (obrywki, przybierki, przebudowy) lub jego zamknięcie, co w każdym przypadku powoduje destrukcję lub całkowitą utratę stanowisk pomiarowych.



Ryc. 2. Względna szybkość zaciskania pionowego i poziomego w funkcji czasu istnienia wyrobiska.
 Fig. 2. Relative speed of vertical and horizontal convergence as a function of an excavation existence.

W pierwszym roku istnienia wyrobisk chodnikowych analizowany materiał pomiarowy pochodził z ponad 25 baz pionowych i niemal 30 poziomych. Notowano bardzo zróżnicowane szybkości pionowego zaciskania względnego od ok. 10 promili/rok do niespełna 140 promili/rok, przy incydentalnych wartościach sięgających niemal irracjonalnego poziomu 240 promili/rok. Średnią szybkość zaciskania pionowego w pierwszym roku istnienia wyrobiska, oszacowano na ok. 70 promili/rok.

Szybkość zaciskania poziomego była mniej zróżnicowana i wynosiła od kilku do 90 promili/rok z incydentalną wartością wynoszącą ponad 140 promili/rok na stanowisku, na którym zanotowano wspomnianą ekstremalną szybkość zaciskania pionowego. Średnią szybkość zaciskania poziomego w pierwszym roku istnienia wyrobiska oszacowano na ok. 40 promili/rok, co stanowi ok. 60% średniej szybkości konwergencji pionowej.

Wydaje się, że duża rozpiętość mierzonych wartości szybkości zaciskania w początkowej fazie istnienia wyrobiska wynika z współwystępowania wielu czynników natury geologiczno-górnictwej, w tym zróżnicowanej budowy wewnętrznej złoża. Zarejestrowane jednorazowe, bardzo wysokie wartości szybkości zaciskania na jednym ze stanowisk mogą wynikać ze zbiegu okoliczności pomiarowo-środowiskowych. Jednak na kilku innych stanowiskach zanotowano także przypadki dużej szybkości konwergencji pionowej z przedziału 180-220 promili/rok. Sugeruje to możliwość incydentalnego, lokalnego występowania chwilowych szybkości zaciskania wynoszących ok. 200 promili/rok w początkowych miesiącach istnienia wyrobiska.

Charakterystyczną cechą omawianej pierwszej fazy istnienia wyrobisk jest dla większości stanowisk bardzo szybki spadek początkowych, dużych szybkości zaciskania, nawet do 30% wartości pierwotnej w okresie 1 roku. W pojedynczych przypadkach obserwowane jest zjawisko utrzymywania się szybkości zaciskania na jednym poziomie lub nawet jej wzrost.

W drugim roku istnienia wyrobiska obserwowano zaciskanie pionowe z szybkościami ze znacznie niższego przedziału wartości od 10 do 70 promili/rok, przy średniej wynoszącej ok. 40 promili/rok. Dane te pochodzą z ok. 15 baz, czyli połowy obserwowanych w pierwszym roku, co pokazuje skalę trudności w zachowaniu stanowisk w systemie pomiarowym.

Szybkość zaciskania poziomego obserwowana na ok. 20 bazach była w tym okresie mniej zróżnicowana i wynosiła od kilku do ok. 60 promili/rok. Średnią szybkość zaciskania poziomego w drugim roku istnienia wyrobiska, oszacowano na ok. 25 promili/rok, co stanowi ok. 60% średniej szybkości konwergencji pionowej.

W trzecim roku istnienia wyrobiska, na jeszcze nieco mniejszej liczbie stanowisk, notowano zaciskanie pionowe z szybkościami od 10 do ponad 50 promili/rok, przy średniej ok. 30 promili/rok. Szybkość zaciskania poziomego obserwowana na ok. 15 bazach była w tym okresie mniej zróżnicowana i wynosiła od kilku do ok. 30 promili/rok, przy średniej wynoszącej ok. 15 promili/rok, co stanowi ok. 50% średniej szybkości konwergencji pionowej.

W kolejnych kilku latach istnienia wyrobiska względna szybkość zaciskania pionowego stabilizowała się na poziomie od 10 do 40 promili/rok. Wartość średnia szybkości zaciskania pionowego dla wyrobisk 4-9 letnich wynosi ok. 15 promili/rok i została określona z pomiaru na mniej niż 10 stanowiskach.

W podobnym przedziale czasu względna szybkość zaciskania poziomego stabilizowała się na poziomie od kilku do 20 promili/rok. Wartość średnia szybkości zaciskania poziomego dla tego wieku wyrobisk wynosi ok. 10 promili/rok i została określona z pomiaru na mniej niż 10 stanowiskach.

Zaciskanie w kolejnych latach istnienia wyrobiska, dla wieku wynoszącego ponad 10 lat, rejestrowane jest jedynie na pojedynczych stanowiskach. Wiek najstarszych wyrobisk objętych pomiarem wynosi ponad 25 lat. Notowane szybkości zaciskania pionowego zawierają się w przedziale od 5 do 50 promili/rok, przy średniej wynoszącej ok. 20 promili/rok. Dla szybkości zaciskania poziomego przedział zmienności jest mniejszy i wynosi od kilku do ok. 30 promili/rok, przy średniej wynoszącej ponad 10 promili/rok.

Wykresy zmienności szybkości w funkcji czasu dla tych stanowisk mają charakter powtarzających się cyklicznie spadków i wzrostów wartości. Odpowiada to obserwowanemu wizualnie rozwojowi zjawisk nieciągłych na caliznach konturu, gdzie zainstalowane są znaki bazowe.

Typowy schemat zmienności rejestrowanej szybkości zaciskania w powiązaniu z sytuacją górnictwą w wyrobisku jest następujący:

- instalacja baz w nienaruszonych caliznach konturu = rozpoczęcie cyklicznych pomiarów,
- bezobjawowe zaciskanie przekroju wyrobiska = rejestracja generalnie malejącej szybkości zaciskania,
- pojawienie się pierwszych spękań i odspojeń calizny = początek wzrostu szybkości zaciskania,
- narastanie odspojeń (łaty, wybrzuszenia calizn) = przyspieszenie szybkości zaciskania,
- obwał naturalny lub obrywka odspojeń = zniszczenie bazy i jej odtworzenie na odsłoniętej caliźnie,
- pomiary odtworzonej bazy = spadek szybkości w stosunku do okresu bezpośrednio poprzedzającego.

Przedstawiony schemat zależności obserwowanej szybkości zaciskania od zmian zachodzących w wyrobisku dokumentują wykresy dla nielicznych „długowiecznych” stanowisk o numerach 3, 9, 12, 15 na Ryc. 2.

Drugą wyraźnie widoczną zależnością na syntetycznym wykresach szybkości konwergencji (Ryc.2), jest stosunkowo mała i stabilna szybkość zaciskania obserwowana w chodnikach zlokalizowanych w pokładzie o niewielkiej miąższości soli wynoszącej kilkanaście metrów, pomimo „młodego” wieku wyrobisk – stanowiska 20 i 21.

Przedstawione wyniki pomiarów naturalnego zaciskania wyrobisk są uzupełnieniem postępującego, geologicznego rozpoznania złoża i pozwalają optymalnie projektować eks-

ploatację kolejnych jego rejonów oraz efektywnie zarządzać przestrzenią istniejących wyrobisk.

Kontynuacja systematycznych pomiarów, dalsza rozbudowa sieci i dbanie o funkcjonowanie istniejących stanowisk pomiaru konwergencji pozwoli na uściślenie podanej charakterystyki zaciskania wyrobisk w funkcji czasu oraz zidentyfikowanie innych czynników decydujących o przebiegu procesów deformacyjnych w wyrobiskach solnych.

Nowym kierunkiem rozwoju sieci pomiarowej jest szersze poznanie wpływu eksploatacji złoża miedzi na stan wyrobisk solnych z uwzględnieniem kolejnych faz przechodzenia frontu „miedzowego” pod pokładem soli. W pracach nad monitoringiem wzajemnych oddziaływań obu eksploatacji należy uwzględnić wyniki istniejących opracowań poświęconych temu zagadnieniu, wykorzystujących metody modelowania numerycznego i prognozowania wpływów (Popiołek i in., 2012; Hejmanowski i in., 2018)

PODSUMOWANIE

Od 2009 r. w O/ZG Polkowice-Sieroszowice funkcjonuje sukcesywnie rozbudowywana sieć pomiaru konwergencji wyrobisk solnych. Do połowy 2019 r. zainstalowano ok. 50 typowych stanowisk konturowych, głównie w wielkogabarytowych wyrobiskach chodnikowych, mierzonych z częstotliwością kilkumiesięczną.

Proces naturalnego zaciskania wyrobisk w górotworze solnym ma zmienną dynamikę w funkcji czasu istnienia wyrobiska, bardzo wyraźnie obserwowaną w pokładzie solnym na głębokości ok. 900 m. Wyniki 10 lat obserwacji pozwoliły na sporządzenie syntetycznego wykresu zależności szybkości zaciskania od wieku wyrobiska.

Bezpośrednio po wybraniu wyrobiska obserwuje się intensywne zaciskanie calizn konturu solnego z szybkościami w dużym zakresie wartości konwergencji liniowej od 10 do 140 promili/rok. W pierwszym roku istnienia wyrobiska średnie wartości szybkości konwergencji pionowej wynoszą ok. 70 promili/rok a poziomej ok. 40 promili/rok. W kolejnych latach proces zaciskania ulega znacznemu wyhamowaniu i po kilku latach stabilizuje się na poziomie średniej szybkości zaciskania pionowego wynoszącej ok. 20 promili/rok i o około połowę mniejszej szybkości zaciskania poziomego. W tej fazie zjawisku zaczyna towarzyszyć zwykle nieciągła destrukcja calizn powodująca konieczność renowacji i odtwarzania stanowisk pomiarowych.

Zebrane dane pomiarowe pozwoliły stwierdzić znacząco mniejsze szybkości zaciskania wyrobisk charakterystyczne dla niewielkich (kilkunastometrowych) miąższości pokładu solnego.

Dla pełniejszego poznania charakterystyki zjawiska naturalnego zaciskania pustek poeksploatacyjnych niezwykle istotny jest długi czas systematycznych obserwacji, co wymaga wieloletniego funkcjonowania baz pomiarowych w wyrobiskach.

SUMMARY

Since 2009, the Polkowice-Sieroszowice Mine Division operates a regularly developed network for the measurement of convergence in salt excavations. About 50 typical contour measurement systems were installed until mid-2019, mainly in large-size corridors, and the measurements are taken every several months.

The dynamics of the natural convergence of excavations in rock mass has been changing in time, in the period of the excavation existence, and that process is clearly visible at the level of ca. 900 m. The records of the last ten years of our observations allowed us to draw a synthetic graph showing the relationship between the convergence rate and the excavation age.

Right after the completion of the excavation, one could observe fast convergence of the virgin rock profile, within a large range of linear convergence values, from 10 to 140 per mille/year. In the first year of the excavation's existence, average vertical convergence rate values reached ca. 70 per mille/year, and ca. 40 per mille/year in the case of horizontal convergence rate. During the subsequent years, the convergence process considerably slowed down and, after several years, convergence was stabilised at the level of the average vertical convergence rate of ca. 20 per mille/year and about a half of that rate in the case of horizontal convergence rate. The phenomenon is usually accompanied at that stage by a discontinuous destruction of virgin rock, requiring renovation and recreation of the measurement station positions.

The recorded measurement data allowed for obtaining much lower excavation convergence rates that were typical for small salt-seam thicknesses of about a dozen of centimetres.

To understand fully the characteristics of the natural phenomenon of excavation convergence, it is essential to keep regular and long-time observations, and that requires the operation of measurement stations underground during many years.

LITERATURA

- BIENIASZ J., WOJNAR W., SADOWSKI A., WRZOSEK J., 2011. Zaciskanie wyrobisk na dużych głębokościach w górotworze solnym. *Przegląd Solny, Kwartalnik AGH Geologia*, 37, (2): 207-214.
- BIENIASZ J., WOJNAR W., PIETRAS J., 2018. Pomiary konwergencji wyrobisk solnych oraz deformacji wgłębnych górotworu solnego wokół wyrobisk w O/ZG „Polkowice-Sieroszowice”. Operaty pomiarowe z lat 2009-2018. OBR CHEMKOP Kraków, NT1085, NT1104, NT1110, NT1119, NT1130, NT1133, NT1139, NT1146, NT1158.
- POPIOLEK E. I IN., 2012. Określenie wzajemnych wpływów eksploatacji złoża miedzi i złoża soli dla warunków kopalń LGOM. Stowarzyszenie Naukowe im. Stanisława Staszica, Kraków
- HEJMANOWSKI R. I IN. 2018. Określenie wpływów eksploatacji złoża miedzi i złoża soli dla koncesji Bądźów. Etap I. Weryfikacja założeń dotyczących eksploatacji złoża soli kamiennej w OG „Bądźów”. Stowarzyszenie Naukowe im. Stanisława Staszica, Kraków.