



## Zmienność zjawiska zaciskania wyrobisk komorowych w przestrzeni pola nr 2 w Kopalni Soli „Kłodawa”

### Variability of the convergence phenomenon in the post-exploitation voids of the mining areas in Field 2 of the “Kłodawa” Salt Mine

Józef BIENIASZ<sup>1</sup>, Jakub PIETRAS<sup>1</sup>, Jolanta MARCOLA-SADOWSKA<sup>2</sup>, Damian KURDEK<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Górnictwa Surowców Chemicznych „CHEMKOP” Sp. z o.o., 31-261 Kraków, ul. Wybickiego 7; e-mail: jozef.bieniasz@chemkop.pl, jakub.pietras@chemkop.pl

<sup>2</sup> Kopalnia Soli „KŁODAWA” S.A. 62-650 Kłodawa, Aleja 1000-lecia 2; e-mail: jmarcola@sol-klodawa.com.pl, dkurdek@sol-klodawa.com.pl

<sup>1</sup> The Research and Development Centre for Mining of Chemical Raw Materials “CHEMKOP” Ltd., Jozefa Wybickiego 7, 31-261 Cracow; e-mail: jozef.bieniasz@chemkop.pl, jakub.pietras@chemkop.pl

<sup>2</sup> “Kłodawa” Salt Mine, Aleja 1000-lecia 2, 62-650 Kłodawa; e-mail: jmarcola@sol-klodawa.com.pl, dkurdek@sol-klodawa.com.pl

#### STRESZCZENIE

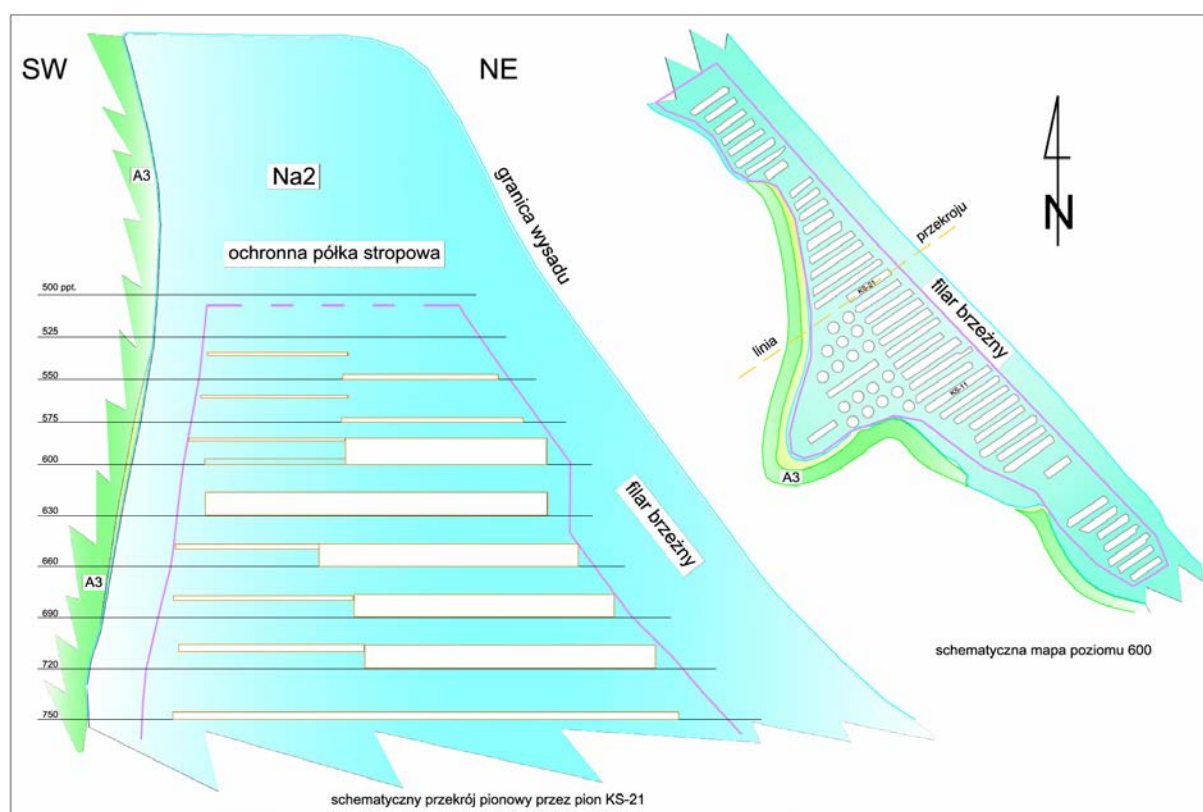
Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Górnictwa Surowców Chemicznych „Chemkop” Sp. z o.o. od ponad 40 lat wykonuje pomiary zjawisk deformacji poeksploatacyjnych w Kopalni Soli „Kłodawa” S.A., stosując własne, oryginalne rozwiązania pomiarowe. W ostatnich kilkunastu latach systematycznie rozbudowywano sieć monitoringu zjawisk deformacyjnych w wyrobiskach kopalni. Dotyczy to także pola nr 2 będącego rejonem najbardziej skoncentrowanej eksploatacji złoża solnego w wysadzie. Rozbudowa sieci pomiarowej, podążająca za schodzącą coraz głębiej eksploatacją, objęła zarówno rejon centralny pola nr 2 jak i jego obszary peryferyjne.

Zgromadzone dane pomiarowe pozwalają po raz pierwszy na próbę opisanie obserwowanej zmienności zjawiska zaciskania pustek poeksploatacyjnych w całej przestrzeni eksploatacyjnej pola nr 2. Obliczone wartości parametru względnej szybkości zaciskania pionowego komór skorelowano z ich lokalizacją w strukturze wyrobisk pola eksploatacji, analizując rozkład parametru w przekrojach podłużnym i poprzecznym pola.

Otrzymano generalny obraz pokazujący niewielkie szybkości zaciskania pionowego charakterystyczne dla peryferyjnych rejonów pola rozumianych jako strefy przygranicz-

#### ABSTRACT

The workers of the “Chemkop” Research and Development Centre for Mining of Chemical Materials Ltd. have been surveying the deformation phenomena in the post-exploitation voids of the “Kłodawa” Salt Mine S.A. for over forty years, using original in-house measurement methods. In the last dozen of years, the deformation monitoring network was regularly expanded in the workings of entire mine. The network also covered Field 2: the area of the most concentrated mining operations conducted in the salt-dome deposit. The expansion of the measurement network followed the deep mining operations and covered both central and peripheral areas of Field 2. The measurement data collected in the mine allow for the first time for an attempt at describing the observable variability of the convergence phenomena occurring in the post-exploitation voids of the entire mining space of Field 2. The calculated values of the relative vertical chamber convergence rate parameter were correlated with the chamber locations, within the structure of the mining Field excavations, by analysing the parameter distribution in longitudinal and transverse cross-sections. The research results show low vertical convergence rates that are characteristic for the peripheral regions of the Field, understood as border zones of the mining space, with



Ryc. 1. Lokalizacja wyrobisk w złożu soli kamiennej białej i przestrzeni pola nr 2

Fig. 1. Locations of the workings, within the white rock salt deposit, Field 2.

ochronna półka stropowa: *protective ceiling shelf*; granica wysadu: *salt dome boundary*; filar brzeżny: *edge pillar*;  
linia przekroju: *cross-section line*; schematyczna mapa poziomu 600: *schematic map of Level 600*

ne przestrzeni eksploatacji, oraz strefę większych wartości szybkości zaciskania w centralnej części pola i rejonie środka przestrzeni strefy eksploatacji.

**Słowa kluczowe:** pomiary deformacji poeksploatacyjnych, Kopalnia Soli „Kłodawa”, monitoring deformacji, konwergencja

## 1. WSTĘP

Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Górnictwa Surowców Chemicznych „Chemkop” Sp. z o.o. od ponad 40 lat wykonuje pomiary zjawisk deformacji poeksploatacyjnych w Kopalni Soli „Kłodawa” S.A., stosując własne, oryginalne rozwiązania pomiarowe. Uzupełniają one obserwacje prowadzone standardowo przez służby miernicze Kopalni. W ostatnich kilkunastu latach systematycznie rozbudowywano sieć monitoringu zjawisk deformacyjnych w wyrobiskach całej kopalni. Obecnie obejmuje ona wszystkie znaczące pola eksploatacyjne i pozwala na rejestrowanie przejawów deformacji w miejscach i rejonach istotnych ze względu na bezpieczeństwo Kopalni.

Pole nr 2 (ryc. 1) jest rejonem najbardziej skoncentrowanej eksploatacji złoża solnego w wysadzie. Wykonana w ostatnich latach rozbudowa przestrzenna sieci konwergen-

cy jest to strefa wyższych wartości prędkości zbieżności w centralnej części pola i w rejonie środka przestrzeni strefy eksploatacji.

**Key words:** post-exploitation deformations, “Kłodawa” Salt Mine, deformation monitoring, convergence

## 1. INTRODUCTION

The workers of the “Chemkop” Research and Development Centre for Mining of Chemical Materials Ltd. have been surveying the deformation phenomena in the post-exploitation voids of the “Kłodawa” Salt Mine S.A. for over forty years, using original in-house measurement methods. The works complement the standard observations conducted by the Salt Mine surveyors. In the last dozen of years, the deformation monitoring network was regularly expanded in the workings of entire mine. Presently, the network covers all essential mining fields and it allows for keeping records of deformation events in the locations and areas that are essential for the Salt Mine’s safety.

Field 2 (Fig. 1) is the area of the most concentrated mining operations conducted in the salt dome deposit. The expansion of the convergence monitoring network completed in recent years allows for observation of the deformation phenomena within the whole depth profile of the Field, including its cen-

cyjnej umożliwia obecnie obserwację zjawisk w całym profilu głębokościowym pola, zarówno w jego części centralnej, jak też w rejonach peryferyjnych, przy granicach eksploatacji.

Zgromadzone dane pomiarowe pozwalają po raz pierwszy na próbę opisanie obserwowanej zmienności zjawiska zaciśnięcia pustek poeksploatacyjnych w całej przestrzeni eksploatacyjnej pola nr 2.

## 2. CHARAKTERYSTYKA POLA EKSPLOATACJI NR 2

Cechsztyńskie złoża kłodawskie składa się z warstw soli kamiennych czystych oraz w różnym stopniu zanieczyszczonych, a także z występujących lokalnie warstw soli potasowo-magnezowych i anhydrytów. Ilościowo w wysadzie zdecydowanie przeważają, nieposiadające znaczenia przemysłowego, utwory płonne tj. sole ilaste, zubry, ilowce oraz anhydryty. Z tych powodów wybieranie złoża prowadzone jest w kilku odrębnych polach eksploatacji i ogranicza się do soli o najlepszych parametrach użytkowych.

Pole nr 2 starszej soli kamiennej białej (Na<sub>2</sub>) leży przy NE granicy wysadu. Od strony wnętrza wysadu SW białe sole pola przechodzą stopniowo w potasonośne warstwy przejściowe, kończące cyklotem PZ2, kontaktujące się z szarym iłem solnym i anhydrytem głównym cyklotemu PZ3 (PZZ 2018).

Parametry wytrzymałościowe soli białej jako ośrodka skalnego, w którym zachodzą zjawiska deformacyjne, zależne są od jego miejscowych cech fizycznych oraz metodyki ich wyznaczania. Wytrzymałość doraźna na ściskanie jednoosiowe  $R_c$  wynosi od ok. 25 do 40 MPa w zależności od ziarnistości badanej próbki (Bieniasz i in. 2008; Flisiak 2008). Wyznaczone numerycznie moduły odkształceń i sprężystości na podstawie badań obciążeniowo-odkształceniowych próbek soli białej wynoszą;  $E_o$  od 5,2 do 6,5 GPa i  $E_s$  od 6,2 do 8,1 GPa.

W polu nr 2, od 1964 roku do chwili obecnej, eksploatowana jest sól biała na głębokościach od 500 do 750 m. Pole ma kształt nieregularny (ryc. 1), o długości ok. 1,5 km oraz największej szerokości (w części środkowej) wynoszącej ok. 0,5 km i malejącej do kilkudziesięciu metrów (przy granicach SE i NW). Złożę wybierane jest w większości systemem komór niskich (prostokątnych), z wyjątkiem fragmentu rozszerzonej części centralnej, gdzie w przedziale głębokości 500-600 m ppt. zastosowano układ komór cylindrycznych o średnicach ok. 24 m.

Na każdym z 10-ciu istniejących między poziomów w polu wybrano ok. 50 komór prostokątnych o długościach od kilkudziesięciu do niemal 300 m. Według stanu na koniec 2020 roku, wybranych zostało łącznie ponad 400 komór, a sumaryczna objętość pustek wynosi ok. 9,5 mln m<sup>3</sup>, co stanowi 48% objętości pustek w kopalni. Obecnie trwają prace przy udostępnianiu nowych poziomów eksploatacyjnych na głębokościach 780 i 810 m ppt.

tral and peripheral areas, close to the mining area's boundaries.

The measurement data collected in the mine allow for the first time for an attempt at describing the observable variability of the convergence phenomena occurring in the post-exploitation voids of the entire mining space of Field 2.

## 2. DESCRIPTION OF MINING FIELD 2

The Zechstein salt deposit of the "Kłodawa" Salt Mine is composed of both pure and impure rock salt layers, as well local layers of potassium-magnesium salts and anhydrites. In quantitative terms, the salt dome is highly dominated by gangue deposits without industrial application, e.g. silt salts, zubers, mudstone, or anhydrites. For that reason, the deposit is mined within several separate Mining Fields and is limited to the salts representing the best performance parameters.

Field 2 of the white Older Halite unit (Na<sub>2</sub>) is situated NE of the salt dome's boundary. SW of the salt dome's centre, white rock salt is gradually changing in nature to transition potassium layers, concluded by cyclothem PZ2, being in contact with The Grey Pelite and Main Anhydrite units of cyclothem PZ3 (PZZ 2018).

The strength parameters of white rock salt, as a rock medium in which deformation phenomena occur, depend on local physical properties and the strength determination methods applied. Temporary uniaxial compression strength  $R_c$  ranges from ca. 25 to 40 MPa, depending on the sample's granularity (Bieniasz et al. 2008; Flisiak 2008). The deformation and elasticity moduli, determined numerically on the basis of load and deformation tests conducted on white rock salt samples, were as follows:  $E_o$  from 5.2 to 6.5 GPa and  $E_s$  from 6.2 to 8.1 GPa.

White rock salt has been mined at the depths of 500–700 m in Field 2 since 1964. The Field has an irregular shape (Fig. 1), with the length of ca. 1.5 km and the largest width in its central section of ca. 0.5 km, decreasing to about a dozen of metres (close to SE and NW boundaries). The deposit is mined mostly by the low rectangular chamber method, with the exception of a wider section in the central area, where cylindrical chambers were cut out, with the diameter of ca. 24 m, at the depth of 500–600 m under the surface level.

At each of the ten inter-levels of the Field, ca. 50 rectangular chambers were cut out, with the lengths from a dozen to nearly 300 m. According to the status at the end of 2020, more than 400 chambers were cut out in total, with the total volume of voids amounting to ca. 9.5 mio. m<sup>3</sup>, equivalent to 48% of the total Salt Mine's void volume. Presently, the works concentrate on making new mining levels available at the depths of 780 and 810 m under the surface level.

### 3. SIEĆ POMIAROWA I TECHNIKI OBSERWACJI

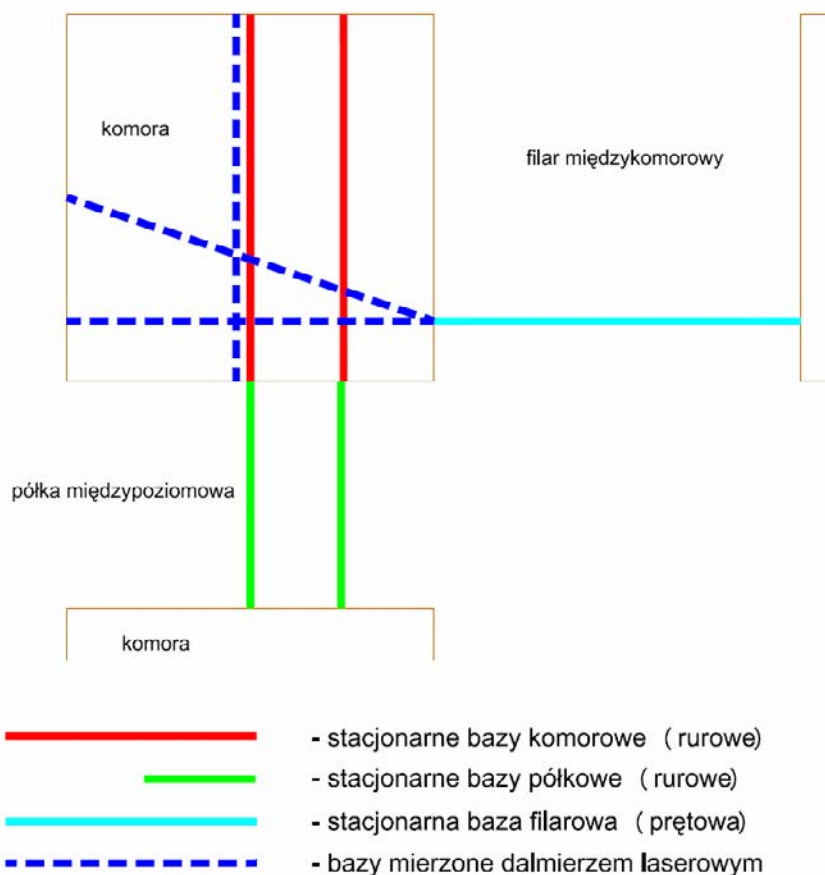
Systematyczne, cykliczne pomiary deformacji komorowych pustek poeksploatacyjnych, filarów i półek w polu nr 2 rozpoczęto w 1980 roku, w pionie KS-11, instalując bazy stacjonarnych urządzeń pomiarowych. Stanowiły je wiszące kolumny rur stalowych zakotwionych w stropie komory i sięgające do jej spągu, w którym zamocowano indeks odczytowy. W przypadku półek międzypoziomowych i filarów międzykomorowych ciągi rurowe lub prętowe zainstalowano w otworach przewiercających te calizny. Dokładność odczytu zmian długości tych baz wynosi ok. 1 mm. Po ponad 40 latach stosowania tej technologii można stwierdzić, że to rozwiązanie pomiarowe jest trwałe i nadal skuteczne, jednakże ze względu na koszty i trudności techniczne nie może być stosowane na szeroką skalę.

Typowe, kilkubazowe stanowisko pomiarowe lokalizowano w okolicach środka geometrycznego komory na danym poziomie (ryc. 2). W tym samym czasie rozpoczęto obserwacje zaciskania wyrobisk chodnikowych na dwóch ciągach wielobazowych stanowisk, zlokalizowanych w pionach KS-0 i KS-21, od strony filara brzeżnego.

### 3. MONITORING NETWORK AND OBSERVATION TECHNIQUES

Regular measurements of post-exploitation void, pillar, and protective shelf deformations were initiated in Field 2 in 1980. Measurement stations were installed in Vertical Section KS-11. Hanging steel pipe columns were anchored in the chamber ceilings, reaching down to the chamber floors where reading panels were mounted. In the cases of inter-level shelves and inter-chamber pillars, the pipe or rod station sets were installed in the boreholes drilled within virgin rock. The pipe or rod length changeability accuracy was ca. 1 mm. After more than 40 years of using that measurement technology, we concluded that the solution applied there had been durable and effective. However, the method cannot be applied on a wide scale due to high costs and certain technical difficulties.

A typical surveying position, composed of several measurement stations, was installed near the geometric chamber centre at the selected Level (Fig. 2). At the same time, corridor convergence observations were initiated at two multi-station series, situated in Section KS-0 and KS-21, on the edge pillar's side.



Ryc. 2. Schemat lokalizacji baz pomiarowych w przekroju poprzecznym komory i calizn otaczających

Fig. 2. Locations of the measurement stations, within the transverse cross-section of the chamber and the surrounding virgin rock  
 komora: chamber; filary międzykomorowy: inter-chamber pillar; półka międzypoziomowa: inter-level protective shelf; stacjonarne bazy komorowe: stationary chamber stations; stacjonarne bazy półkowe: stationary shelf stations; stacjonarna baza filarowa: stationary pillar station; (rurowe): (pipe); (prętowa): (rod); bazy mierzone dalmierzem laserowym: stations measured by a laser range finder

W latach 90-tych ubiegłego wieku wdrożono tańszą technikę pomiarową wykorzystującą baz dalmierz laserowy do pomiaru długości baz (Bieniasz i in. 2003). Bazy pomiarowe sygnalizowane są specjalnymi znakami, niemal dowolnie rozmieszczanymi na caliznach wyrobiska. Tworzą one układ baz poziomych, pionowych i ukośnych pozwalających pomiarowo uchwycić zaciskanie przekroju komory (ryc. 2). Dokładność pomiaru zmian długości baz wynosi ok. 1 mm. Rozwiązanie to pozwoliło na wzbogacenie tradycyjnego układu baz na dolnych poziomach w pionie KS-11. Rozszerzono także zakres pomiaru konwergencji o rejon zjawisk wodnych nr 30, 31 i 32 w chodniku WZ619/2 w SE skrzydle pola nr 2, a także o komory sąsiednie do komory KS-20/600 wybieranej na zasadzie odstępstwa od generalnego kierunku eksploatacji.

Pierwotną, lokalną sieć monitoringu wybierania komory KS-20/600, obejmującą poziomy 575, 600 i 630, rozbudowano na cały rejon pionu KS-21, na poziomach od 660 do 750, a następnie uzupełniono o bazy zainstalowane na poziomach 525 i 550, jako element kontroli stropowej półki ochronnej nad polem nr 2. Cechą charakterystyczną tego fragmentu sieci konwergencyjnej było lokalizowanie kilku stanowisk pomiarowych w jednej, długiej komorze lub w ciągu współosiowych komór.

W chwili obecnej system kontroli zjawisk poeksploatacyjnych zachodzących wewnątrz górotworu w polu nr 2 obejmuje:

- ciąg urządzeń pomiarowych w pionie KS-11 na poziomach 525-750 (pomiar deformacji komór, filarów i półek w rejonie centrum pola),
- ciąg urządzeń pomiarowych w pionie KS-21 na poziomach 525-750 (pomiar deformacji komór, sporadycznie filarów i półek w rejonie centrum pola),
- ciąg baz pomiarowych w rejonie tzw. „komór literowych” w SE części pola na poziomach 500-720, (pomiar zaciskania pionowego komór w rejonie peryferyjnym pola),
- bazy w 9-ciu komorach najwyższych poziomów eksploatacyjnych pod półką ochronną na poziomach 500-550 (pomiar zaciskania pionowego w przystropowym rejonie peryferyjnym pola),
- ciąg baz pomiarowych na skrzyżowaniach chodników pionów KS-0 i KS-21 z chodnikiem przyfilarowym na międzypoziomach w przedziale głębokości 500-780 (pomiar zaciskania pionowego i poziomego wyrobisk chodnikowych),
- sieć pomiaru globalnych przemieszczeń pionowych i poziomych górotworu pod półką ochronną na poziomach 487-500-525 (w tym pomiar zaciskania pionowego wyrobisk chodnikowych na 25-ciu stanowiskach).

W ujęciu statystycznym, w polu nr 2 obserwowane są obecnie 162 bazy rejestrujące zaciskanie 41 komór, 11 filarów międzykomorowych i 10 półek międzypoziomowych oraz ok. 100 baz monitorujących zaciskanie chodników. Obecnie

A less expensive technology was implemented in the 1990's, using laser range finders at the stations to measure the pipe or rod lengths (Bieniasz et al. 2003). The stations are marked with special benchmarks, almost freely distributed on the virgin rock in the workings. Those marks constitute a system of horizontal, vertical and perpendicular benchmarks that allow for chamber convergence measurements (Fig. 2). The station length variability accuracy is ca. 1 mm. That solution expanded the traditional station distribution system at the lower levels in Section KS-11. The measurement stations were also mounted in the areas of Water Hazards No. 30, 31, and 32 of Corridor WZ619/2 in the SE wing of Field 2, as well as in the chambers adjacent to Chamber KS-20/600 cut out outside the general direction of mining operations.

The original local monitoring network of the mining operations in Chamber KS-20/600, conducted at Levels 575, 600, and 630, was expanded to cover the whole area of Section KS-21, at Levels from 660 to 750, followed by adding measurement stations installed at Levels 525 and 550, as the components of the ceiling protective shelf monitoring system over Field 2. The installation of several measurement stations in one long chamber, within a series of coaxial chambers, was a significant feature of that fragment of the convergence measurement network.

Presently, the post-exploitation phenomena monitoring system inside the rock mass of Field 2 includes the following:

- A series of measurement stations in Section KS-11, Levels 525-750 (deformation measurements of chambers, pillars, and protective shelves in the centre of the Field).
- A series of measurement stations in Section KS-21, Levels 525-750 (deformation measurements of chambers, including sometimes pillars and protective shelves, in the centre of the Field).
- A series of measurement stations in the area of the so-called "Letter-numbered chambers," in the SE section of the Field, Levels 500-720 (vertical convergence measurements in chambers, in the peripheral zones of the Field).
- Measurement stations in nine chambers at the highest Mining Levels under the ceiling protective shelf, Levels 500-550 (vertical convergence measurements in the ceiling of the peripheral zones of the Field).
- A series of measurement stations at the intersections of the corridors of Sections KS-0 and KS-21, with the pillar corridor, Sublevels 500-780 (vertical and horizontal convergence measurements in the corridors).
- A measurement network for global vertical and horizontal relocation measurements of the rock mass under the protective shelf, Levels 487-500-525 (including the vertical convergence measurements of corridors at 25 stations).

Statistically, Field 2 contains presently 162 stations that measure and record convergence in 41 chambers, 11 inter-chamber pillars, 10 inter-level protective shelves, plus ca.

pomiary wykonywane są w interwale rocznym, a ich wyniki gromadzone w komputerowych bazach danych. Obliczenia parametrów deformacji wykonywane są z wykorzystaniem własnego oprogramowania i prezentowane w formie graficznej w technice CAD. Dzięki tak rozbudowanej sieci monitoringu, pochodzący z corocznych, systematycznych obserwacji obszerny materiał pomiarowy pozwala na wstępną charakterystykę zmienności zjawisk deformacyjnych zachodzących w całej przestrzeni pola nr 2.

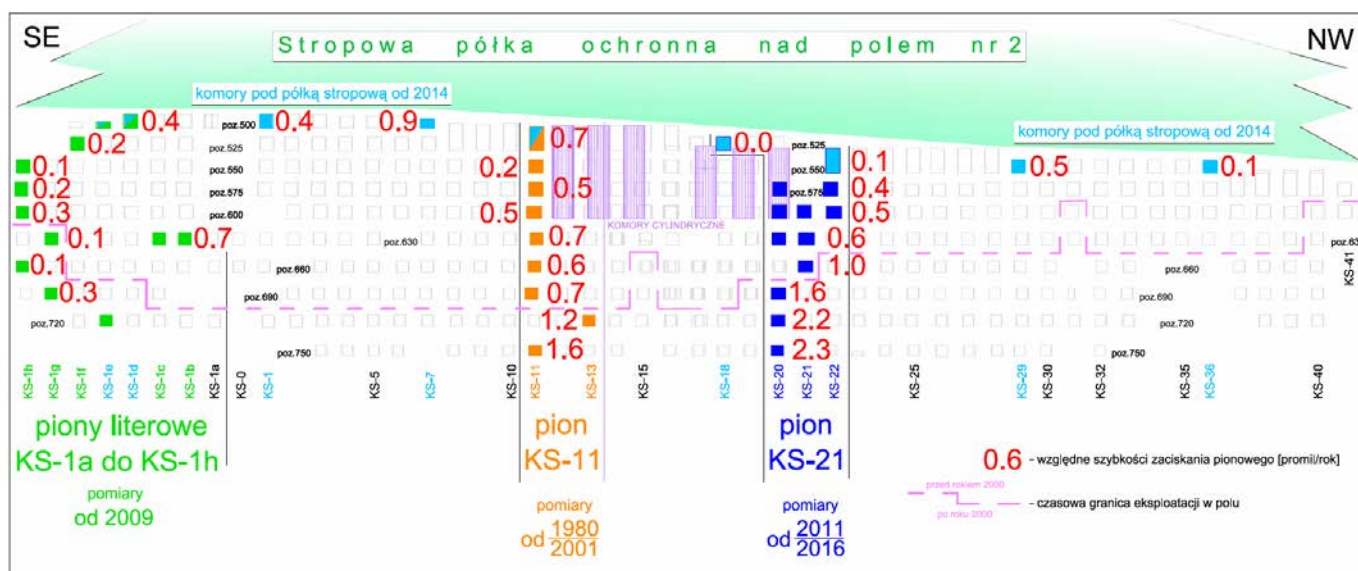
#### 4. ANALIZA WYNIKÓW OBSERWACJI ZACISKANIA KOMÓR W POLU NR 2 DLA USTALENIA PRZESTRZENNEJ ZMIENNOŚCI ZJAWISKA

Cykliczne pomiary sieci konwergencyjnej w polu nr 2 pozwoliły zgromadzić stosunkowo bogaty materiał pomiarowy, dający podstawę do interpretacji w ujęciu statystycznym. Dla celów analizy wykorzystano wyniki pomiarów zaciskania pionowego komór prostopadłościennych z ostatnich 4 lat, czyli okresu, kiedy sieć pomiarowa w polu była już dobrze rozwinięta w sensie przestrzennym. Umożliwia to porównanie rejestrowanego zaciskania pionowego w różnych częściach pola nr 2, tj. w rejonach centralnych pionów KS-11 i KS-21, w rejonach peryferyjnych, czyli, tzw. „komór literowych” (KS-1a do KS-1h) oraz w strefie przystopowej. Otrzymane wartości średniej szybkości względnej zaciskania pionowego z lat 2016–2020, na tle przekroju podłużnego pola nr 2, pokazano na rycinie 3.

100 stations monitoring convergence in the mine’s corridors. Currently, the measurements are taken yearly and their results are collected in computer databases. The deformation parameter calculations are conducted with the use of the Chemkop’s in-house software and presented in the CAD graphic form. Owing to the expanded monitoring network, the large measurement database collected yearly allows for providing a preliminary description of the variability of the deformation phenomena occurring in the entire space of Field 2.

#### 4. ANALYSIS OF THE CHAMBER CONVERGENCE OBSERVATION RESULTS IN FIELD 2 TO ESTABLISH THE SPATIAL VARIABILITY OF THE CONVERGENCE PHENOMENA

Our regular convergence measurements conducted in Field 2 provided us with a fairly reach database allowing for statistical data interpretation. We used for our analysis the vertical convergence data collected in rectangular chambers in the past four years, or the period in which the measurement network was well developed spatially. Consequently, it is possible to make comparisons of vertical convergence rates in various sections of Field 2, i.e. the central areas of Sections KS–11 and KS–21, the peripheral section or the so-called “Letter-numbered chambers” (KS–1a to KS–1h), and in the ceiling zones. The average vertical convergence rate values of 2016–2020 are presented in Fig. 3 on the layout of the longitudinal cross-section of Field 2.



Ryc. 3. Względna szybkość zaciskania pionowego komór w przekroju podłużnym pola nr 2

Fig. 3. Relative vertical convergence rates in the mine chambers, presented on the longitudinal cross-section of Field 2. stropowa półka ochronna nad polem nr 2: ceiling protective shelf over Field 2; komory pod półką stropową od 2014: chambers under the ceiling protective shelf since 2014; pion literowe KS-1a do KS-1h, pomiary od 2009: “Letter-numbered sections” (KS-1a to KS-1h), measurements since 2009; pion KS-11, pomiary 1980–2009: Section KS-11, measurements of 1980–2009; pion KS-21, pomiary 2011–2016: Section KS-21, measurements of 2011–2016; względne szybkości zaciskania pionowego [promil/rok]: relative vertical convergence rates [per mil/year]; czasowa granica eksploatacji w polu przed rokiem 2000, po roku 2000: time limit of the mining operations in the Field before and after year 2000; poz.: Level

Generalnie konwergencja pionowa komór w rejonach pionów KS-11 i KS-21 na poziomach od 525 do 630 jest na zbliżonym poziomie wielkości, dla porównywalnych głębokości i porównywalnego wieku komór. Można ją uznać za charakterystyczną dla górnej, centralnej części pola nr 2 i typową dla komór w wieku 35-50 lat. Na poziomach niższych obecnie rejestrowane są wyższe wartości szybkości zaciskania w pionie KS-21 w porównaniu z pionem KS-11. Wynika to z młodszego średnio o ok. 5 lat wieku komór i wygasającego wpływu robót eksploatacyjnych, prowadzonych na najniższych poziomach w tym rejonie i zakończonych niespełna 3-4 lata temu. Ogólnie wartości szybkości zaciskania pionowego w rejonie centralnym pola są średnio kilkakrotnie wyższe niż notowane w peryferyjnych komorach KS-1g i KS-1h, na ekwiwalentnych głębokościach. W tym peryferyjnym rejonie pola nie obserwuje się praktycznie zmienności szybkości zaciskania w funkcji głębokości.

Podjęto także próbę określenia charakteru narastania szybkości zaciskania w funkcji odległości od brzegu pola. W tym celu wykorzystano interesujący rozkład pomierzonych wartości zaciskania na poziomie 630 w rejonie SE. W tym przypadku widoczny jest wzrost szybkości zaciskania: od wartości 0,1 promila/rok w peryferyjnej komorze KS-1g, do wartości 0,7 promila/rok w komorze KS-1b, charakterystycznej raczej dla centrum pola. Komora KS-1b jest odległa od SE granicy eksploatacji jedynie o 150 m. Może to wskazywać, że rejestrowane, niewielkie szybkości zaciskania dotyczą jedynie komór zlokalizowanych bezpośrednio przy granicy eksploatacji.

Pierwsze obserwacje (z lat 2011-15) pierwotnej sieci na poziomach 575-630, w otoczeniu komory KS-21/600, pozwoliły uchwycić nowe, ciekawe zjawisko, polegające na występowaniu wyraźnej zmienności wartości zaciskania pionowego w stosunkowo niewielkiej przestrzeni górotworu, często nawet w tym samym wyrobisku komorowym. Było to możliwe dzięki rozmieszczeniu w jednej komorze (na danym poziomie) kilku stanowisk pomiarowych. Wcześniej typowe było lokalizowanie tylko jednego stanowiska pomiarowego, zwykle w rejonie środka geometrycznego komory.

Znana jest, potwierdzona wieloma pomiarami zależność szybkości zaciskania pustek poeksploatacyjnych od ich głębokości w górotworze i wieku wyrobiska. Dlatego zrozumiałym wydaje się występowanie niskich wartości konwergencji pionowej (rzędu dziesiątych części promila/rok) na najwyższych poziomach eksploatacyjnych, gdzie znajdują się najstarsze komory liczące ponad 40 lat. Natomiast najwyższe, zanotowane szybkości zaciskania (przekraczające 2 promile/rok) są charakterystyczne dla najniższych poziomów eksploatacyjnych, gdzie wiek komór wynosi jedynie kilka lat.

Dysponując wynikami pomiarowymi z całego profilu eksploatacji, sporządzono szkic pokazujący schematyczny rozkład szybkości zaciskania pionowego w pionowym prze-

Generally, the vertical convergence rates of the chambers situated in Sections KS-11 and KS-21, Levels from 525 to 630, are similar at comparable depths and chamber ages. We can recognize that the rates are typical for the top and central sections of Field 2 and typical for the chambers aged 35-50 years. However, we are recording presently higher convergence rate values at lower levels of Section KS-21, in comparison to those of Section KS-11. That fact results from the younger age of ca. 5 years of the chambers in question and the decreasing impact of the mining operations conducted at the mine's lowest levels in those areas which works were concluded only 3-4 years ago. Generally, the vertical convergence rates recorded in the central section of the Field are several times higher on the average than those recorded in peripheral Chambers KS-1g and KS-1h, considering equivalent depths. Practically, we have not observed any variability of the vertical convergence rates in the function of depth in that peripheral section of the Field.

An attempt at describing the nature of increasing convergence rates in the function of distance from the Field's edge was made. An interesting distribution of the measured convergence values at Level 630, SE area, was used for that purpose. In that case, we observed the increase of the convergence rates, from 0.1 per mil/year in the peripheral Chamber KS-1g to 0.7 per mil/year in Chamber KS-1b, which is rather typical for the centre of the Field. Chamber KS-1b is only 150 m away SE of the mining field's border. That can indicate that the low convergence rates recorded there concerned only the chambers situated close to the mining field's border.

The first data of 2011-2015, collected at the original station network at Levels 575-630, around Chamber KS-21/600, allowed for identification of new and interesting phenomenon consisting in the occurrence of clear changeability of vertical convergence rates, within a relatively small rock-mass space, often even within the same chamber working. That was possible to record owing to the distribution of several measurement stations in one chamber (at the given level). Earlier, only one measurement station was usually situated, mostly in the geometric centre of the chamber.

The dependence of the convergence rate of the post-exploitation voids on the chamber depth within the rock mass and the working age has been known and confirmed by many measurements. For that reason, it seems to be understandable why low vertical convergence values occurred (in the order of the tenth parts of per mil/year) at the highest mining levels where the oldest chambers are situated. Those chambers are more than 40 years old. However, the highest recorded convergence rates (exceeding 2 per mil/year) are typical for the lowest mining levels where the chamber ages amount to only several years each.

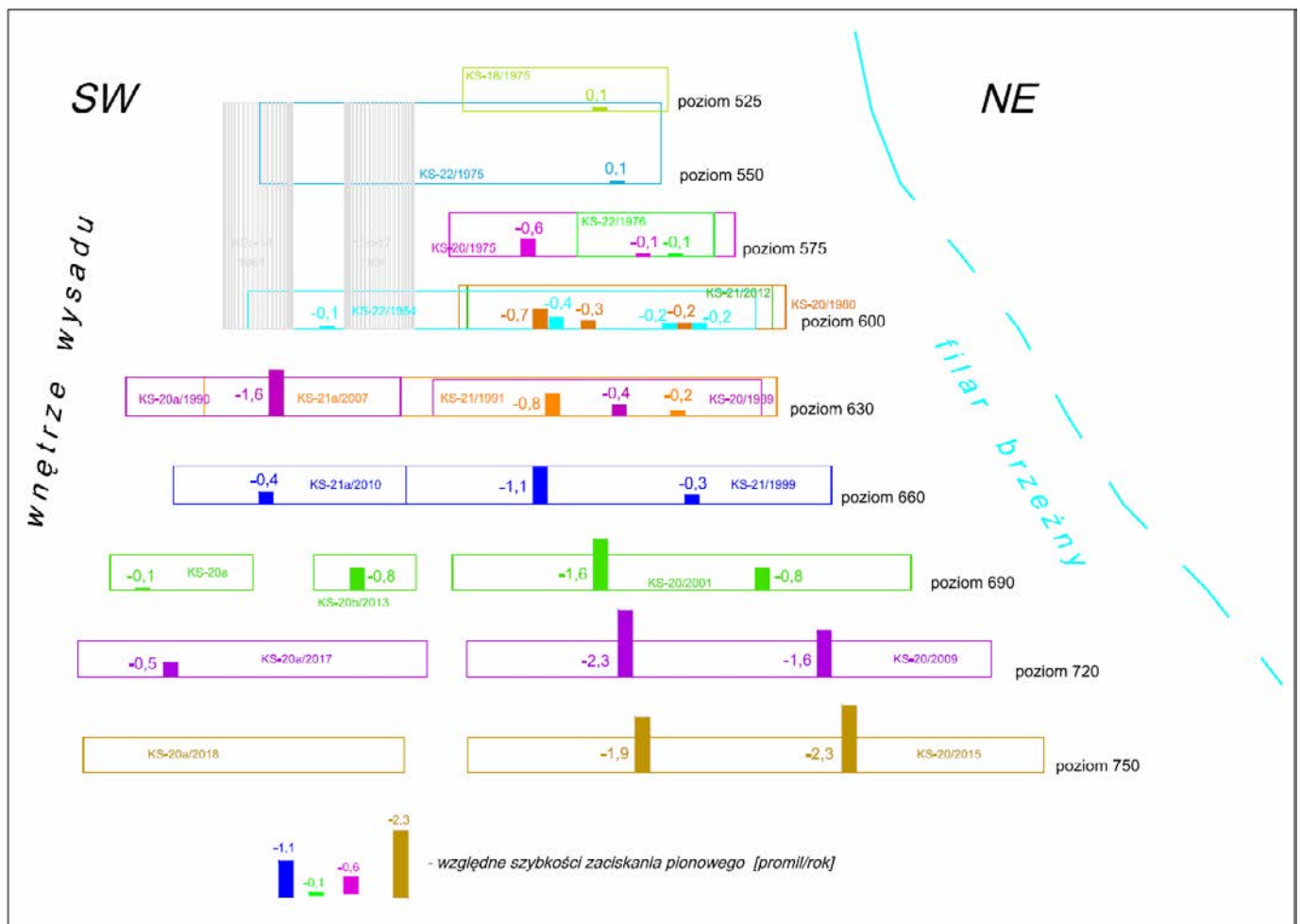
Once we obtained the measurement results from the whole mining field profile, we drafted a diagram showing the distri-

kroju poprzecznym centralnej części pola nr 2, tj. w rejonie pionu KS-21 (ryc. 4). Stanowi on wstępną odpowiedź odnośnie przyczyn obserwowanej, przestrzennej zmienności zjawiska. Dla każdego horyzontu głębokościowego (poziomu) charakterystyczne jest występowanie większych wartości zaciskania w centralnej części strefy eksploatacji, malejących w miarę podążania ku krawędziom eksploatacji. Generalnie, rozkład szybkości zaciskania w przekroju poprzecznym pola pokazuje występowanie większych wartości parametru w centralnym i przyspągowym obszarze strefy eksploatacji. Natomiast w rejonach od strony filara brzeżnego i przeciwnieległej, od strony wnętrza wysadu szybkości zaciskania są wyraźnie niższe.

Te wstępne wyniki pokazują, że szybkość zaciskania pustek poeksploatacyjnych w polu jest funkcją nie tylko znanych dotychczas czynników, tj. głębokości i wieku wyrobiska, ale także jego lokalizacji w przestrzeni pola. Czynnik ten powinien być uwzględniany w analizach stateczności górotworu dotyczących całych pól eksploatacji.

bution of the vertical convergence rates in the transverse vertical cross-section of the Field 2 centre, i.e. the area of Section KS-21 (Fig. 4). The diagram gives a preliminary presentation of the reasons of the observable spatial variability of convergence. For each depth horizon (or Level), the occurrence of higher convergence rates in the central mining area was typical, with the rate decrease towards the edges of the mining field. Generally, the distribution of convergence rates in the transverse cross-section of the mining field indicated the occurrence of higher values of the parameters in the central and bottom zones of the mining field. However, the convergence rates were clearly lower in the areas on the side of edge pillar and opposite, on the side of the interior of the salt dome.

Our preliminary results demonstrate that the convergence rates of the post-exploitation voids in the mining field are the function of not only previously known factors, i.e. working's depth and age, but also of the working's location, within the mining field's space. The latter factor should be taken into consideration when analysing the rock mass stability referring to entire mining fields.



Ryc. 4. Zmienność szybkości zaciskania pionowego komór w poprzecznym przekroju pionowym centrum pola nr 2

Fig. 4. Variability of vertical convergence rates in chambers, in the transverse vertical cross-section of Field 2 centre.

wnętrze wysadu: salt-dome interior; poziom: Level; filar brzeżny: edge pillar; względne szybkości zaciskania pionowego [promil/rok]: relative vertical convergence rates [per mil/year]



Wyniki kolejnych, cyklicznych pomiarów pozwolą na zweryfikowanie tych wstępnych spostrzeżeń, tym bardziej, że stosunkowo krótki, trzyletni okres obserwacji baz na dolnych poziomach nie pozwala obecnie na szerszą interpretację.

## 5. PODSUMOWANIE

Od ok. 5-ciu lat w polu nr 2 kopalni kłodawskiej funkcjonuje rozbudowana, sieć pomiaru konwergencji wyrobisk solnych, obejmująca całą przestrzeń eksploatacji soli białej na głębokościach od 500 do 750 m. Wyniki systematycznych pomiarów zaciskania komorowych pustek poeksploatacyjnych pozwoliły na uchwycenie zmienności względnej szybkości zaciskania, w zależności od głębokości, wieku i po raz pierwszy, od lokalizacji w przestrzeni górotworu pola. Niewielkie szybkości zaciskania (poniżej 0,5 promila/rok) notowane są w peryferyjnych rejonach pola, traktowanych jako strefy przygraniczne przestrzeni eksploatacji. Większe wartości (dochodzące do 2 promil/rok) są charakterystyczne dla centralnej części pola i rejonu środka przestrzeni strefy eksploatacji. Taki rozkład szybkości konwergencji pionowej w polu został zaobserwowany w jego przekrojach podłużnym i poprzecznym, pomimo widocznego wpływu czynnika głębokości i wieku komór (charakteryzującego się dużą zmiennością od kilku do ponad 50 lat).

The results of subsequent regular measurements will be used to verify our preliminary observations. The more so because a fairly short monitoring period of three years at the measurement stations located at the lowest mining levels is not a good basis for general interpretations.

## 5. CONCLUSION

An expanded underground void convergence measurement network has been operating in Mining Field 2 of the "Kłodawa" Salt Mine for about five years. The network covers the entire rock salt mining space at the depths from 500 to 750 m. The results of regular post-exploitation void convergence measurements allowed for the identification of the variability of relative convergence rates, depending on chamber depth, age, and, for the first time ever, location, within the mining field's rock mass. Low convergence rates (below 0.5 per mil/year) were recorded in the peripheral areas of the mining field, being the border zones of the entire mining area. Higher values (reaching 2 per mil/year) were typical for the central section of the mining field and the areas of the centre of the entire mining zone. Such a distribution of the vertical convergence rates in Field 2 was observed in the longitudinal and transverse cross-sections of the Field, despite the visible impact of the chamber depth and age factors (the chamber age ranged from several to more than 50 years).

## LITERATURA/REFERENCES

- BIENIASZ J., KURDEK D., MARCOLA-SADOWSKA J. 2016. System kontroli deformacji poeksploatacyjnych górotworu nad polami eksploatacji w KS Kłodawa. *Przegląd Solny*, 12: 28-35.
- BIENIASZ J., PIETRAS J. 2018. Deformacje górotworu wywołane eksploatacją pola nr 2 w Kopalni Soli „Kłodawa” S.A., *Przegląd Solny*, 14: 15-20.
- KURDEK D. 2019. Pomiary konwergencji wyrobisk chodnikowych w Kopalni Soli „Kłodawa” S.A. *Przegląd Solny*, 15: 56-61.
- BIENIASZ J., PIETRAS J. 2020. Wykonanie pomiarów konwergencji komór, filarów i półek międzykomorowych w polach eksploatacyjnych nr 1, 2, 3 i 5 Kopalni. Archiwum OBR GSChem CHEMKOP Sp. z o.o., 1171.
- BIENIASZ J., CIĄGŁO W., WOJNAR W. 2003. Nowa metoda pomiarów deformacji solnej struktury filarowo-komorowej wykorzystująca dalmierz laserowy. *Geodezja. Półrocznik AGH*, 9, (2/1): 187-193
- BIENIASZ J., WOJNAR W. 2008. Analiza porównawcza deformacji poeksploatacyjnych kłodawskiego systemu komorowo-filarowego przy pionowym i ukośnym układzie wyrobisk. *Przegląd Solny*, 24, (3/2): 111-123
- FISIAK D. 2008. Laboratoryjne badania właściwości geotechnicznych soli kamiennej z wybranych złóż cechsztyńskich. *Przegląd Solny*, 24, (3/2): 121-140
- PAŃSTWOWY INSTYTUT GEOLOGICZNY. 2018. Projekt Zagospodarowania Złoże Kłodawa. Warszawa