



Specyfika zaciskania wyrobisk komorowych w polach eksploatacji soli różowych w Kopalni Soli „Kłodawa”

Specificity of convergence in the mining fields of pink salt in the „Kłodawa” Salt Mine

Józef BIENIASZ¹, Jakub PIETRAS¹, Jolanta MARCOLA-SADOWSKA², Damian KURDEK²

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

²Kopalnia Soli „KŁODAWA” S.A. 62-650 Kłodawa, Aleja 1000-lecia 2; dkurdek@sol-klodawa.com.pl

¹The Research and Development Center for Mining of Chemical Raw Materials “CHEMKOP” Ltd., 31-261 Krakow, 7 Wybickiego Street; jozef.bieniasz@chemkop.pl, jakub.pietras@chemkop.pl

²“KŁODAWA” Salt Mine S.A. 62-650 Kłodawa, 2 Aleja 1000-lecia; dkurdek@sol-klodawa.com.pl

STRESZCZENIE

Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Górnictwa Surowców Chemicznych „CHEMKOP” Sp. z o.o. od niemal 20 lat wykonuje pomiary zjawisk deformacji poeksploatacyjnych w dwóch polach cechsztyńskich soli różowych Kopalni Soli „Kłodawa” S.A. Złoże charakteryzuje się swoistym kształtem przestrzennym o znacznej rozciągłości (długości) i niewielkiej szerokości poziomej. Z tego względu komory eksploatacyjne rozmieszczane są zgodnie z jego rozciągłością i bez zachowania pionowej współosiowości filarów międzykomorowych.

Wyniki pomiarów zaciskania komór pozwoliły na uchwycenie zmienności względnej szybkości deformacji, w zależności od głębokości, wieku i wzajemnych relacji pomiędzy pionową a poziomą składową zaciskania przekroju wyrobiska. Przedstawione wyniki pomiarów zaciskania komór pokazują, że zjawisko to jest funkcją nie tylko znanych dotychczas czynników, tj. głębokości położenia i wieku wyrobiska, ale także ma związek z układem wyrobisk w złożu będącym następstwem jego formy geologicznej.

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

ABSTRACT

The Research and Development Center for Mining of Chemical Raw Materials “CHEMKOP” Ltd. has been conducting measurements of post-exploitation deformations in two fields of Zechstein pink salt at the “Kłodawa” Salt Mine for nearly 20 years. The deposit is characterized by a specific spatial shape with considerable elongation (length) and small horizontal width. Therefore, the exploitation chambers are arranged in accordance with its elongation, without maintaining vertical axisymmetry between interchamber pillars.

The results of convergence measurements allowed capturing the variability of relative deformation rates, depending on the depth, age, and mutual relations between the vertical and horizontal components of the convergence in the mine workings. The presented results of convergence measurements show that this phenomenon is influenced not only by known factors such as the depth and age of the mine workings but also by the arrangement of workings in the deposit resulting from its geological structure.

Keywords: post-exploitation deformation measurements, “Kłodawa” Salt Mine, deformation monitoring, convergence.

1. WSTĘP

Eksploatacja cechsztyńskich soli różowych w wydzie kłodawskim prowadzona jest w polach eksploatacyjnych nr 3 i nr 5 (Ryc. 1). Ta część złoża wydobywanego ma w rzucie poziomym kształt długiej i wąskiej „wstęgi” najmłodszej soli kamiennej różowej „Na4a”, otoczonej utworami zuber brunatnego „Na3t”. Wymuszyła, w sensie przestrzennym, forma złoża wymusiła zastosowanie systemu eksploatacji komorowej w wariantcie odmiennym od stosowanego w polach eksploatacyjnych w złożu soli białych.

Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Górnictwa Surowców Chemicznych „CHEMKOP” Sp. z o.o. od niemal 20 lat wykonuje pomiary zjawisk deformacji poeksploatacyjnych w polach nr 3 i nr 5 stosując własne, oryginalne rozwiązania pomiarowe. Cyklicznym pomiarom towarzyszy wykonywana systematycznie rozbudowa sieci konwergencyjnej, umożliwiająca obserwację zjawisk w całym profilu głębokościowym i w różnych rejonach pól eksploatacyjnych w złożu soli różowych. W ostatnich latach, podążając za eksploatacją w polu nr 5, schodzącą poniżej poziomu 600, stanowiska pomiarowe instalowano niemal bezpośrednio po zakończeniu wybierania wyrobisk komorowych. Umożliwiło to obserwowanie początkowej fazy deformacji calizn otaczających wyrobisko, co przyniosło bardzo cenne wyniki pomiarowe.

Zebrane dane pomiarowe pozwalają na charakterystykę zjawiska zaciskania pustek w polach eksploatacyjnych w złożu soli różowych oraz uchwycenie istotnych różnic w stosunku do obserwowanych w dłuższym okresie pól nr 1 i nr 2, gdzie prowadzona jest eksploatacja soli białej (brzeźna NE części wydobywanego). Dodatkowo, w kilku komorach zlokalizowanych w polach nr 3 i nr 5 rozbudowano system obserwacji zaciskania poziomego, co pozwala na wstępną analizę porównawczą w stosunku do typowych obserwacji konwergencyj pionowej.

2. CHARAKTERYSTYKA PÓL EKSPLOATACJI SOLI RÓŻOWEJ NR 3 I 5

W polu nr 3 od 1962 r., a w polu nr 5 od 1984 r. do chwili obecnej, eksploatowana jest sól różowa. Przedmiotem eksploatacji jest wąskie „pasma” soli o szerokości od kilkunastu do ok. 100 m i długości (rozciągłości) niemal 3 km, na głębokościach poniżej 450 m p.p.t. Eksploatacja prowadzona jest wielopoziomowym systemem komorowym (Ryc. 1). Komory eksploatacyjne rozmieszczane są w złożu dłuższymi osiami zgodnie z jego rozciągłością i bez zachowania pionowej współosiowości filarów międzykomorowych. Szerokość złoża na danym poziomie pozwala na rozmieszczenie jedynie od 1 do 4 komór (przeciętnie 2 komory). Te charakterystyczne czynniki, wymuszone formą złoża, odróżniają stosowany tu sposób eksploatacji od klasycznego wariantu modularnego,

1. INTRODUCTION

The exploitation of Zechstein pink salts in the Kłodawa salt dome is conducted in mining fields No. 3 and No. 5 (Fig. 1). This part of the domal deposit has a spatially elongated and narrow “strip” shape of the youngest pink rock salt “Na4a,” surrounded by sediments of brown zuber “Na3t”. The slender spatial form of the deposit required the implementation of a chamber exploitation system different from the one used in the mining fields of white salt.

The Research and Development Center for Mining of Chemical Raw Materials “CHEMKOP” Ltd. has been conducting post-exploitation deformation measurements in mining fields No. 3 and No. 5 for almost 20 years, employing their own original measurement solutions. The cyclic measurements are accompanied by a systematically expanding convergence network, enabling the observation of phenomena throughout the entire depth profile and in various areas of the pink salt mining fields. In recent years, following the exploitation in field No. 5, which extended below the level 600, measurement stations were installed almost immediately after completing the mining operations in the chamber. This allowed for the observation of the initial phase of deformation in the surrounding rock mass, which yielded valuable measurement results.

The collected measurement data allows for the characterization of the phenomenon of void convergence in the exploitation fields of pink salt and capturing significant differences compared to those observed in the long-term fields No. 1 and No. 2, where white salt exploitation (located in the edge of the NE part of the Kłodawa salt dome) is conducted. Additionally, in several chambers located in fields No. 3 and No. 5, the horizontal convergence observation system has been expanded, enabling preliminary comparative analysis with typical vertical convergence observations.

2. CHARACTERIZATION OF PINK SALT EXPLOITATION FIELDS NO. 3 AND 5

Pink salt has been exploited in Field No. 3 since 1962 and in Field No. 5 since 1984 to the present day. The subject of exploitation is a narrow “strip” of salt with a width ranging from a few to about 100 meters and a length (stretch) of nearly 3 kilometers at depths below 450 meters below ground level (m.b.g.l.). The exploitation is carried out using a multi-level chamber system (Fig. 1). The exploitation chambers are arranged in the deposit with their longer axes aligned according to its elongation and without maintaining vertical axial symmetry of the interchamber pillars. The width of the deposit at a given level allows for the distribution of only 1 to 4 chambers (on average 2 chambers). These characteristic factors, dictated by the deposit's shape, distinguish the applied method of exploitation from the classical modular variant adopted in the exploitation fields No. 1 and No. 2 of the white salt deposit.

przyjętego w polach eksploatacyjnych nr 1 i nr 2 w złożu soli białych.

Według stanu na koniec 2021 r. sumaryczna objętość pustek w polach eksploatacyjnych nr 3 i nr 5 wynosi ponad 8,4 mln m³, co stanowi 42% objętości pustek w całej kopalni. Obecnie trwają prace przy wybieraniu złoża w polu nr 5 (w przedziale głębokości 630-750 m p.p.t.) i udostępnianiu nowych poziomów w obu polach eksploatacyjnych, poniżej poziomu 750 m p.p.t..

3. SIEĆ POMIAROWA I TECHNIKA OBSERWACJI

Cykliczne pomiary zaciskania komorowych pustek poeksploatacyjnych w polu nr 3 rozpoczęto w 2003 r. w rejonie pionu KSR-6 w NW części pola, natomiast w 2017 r. pomiarem objęto rejon komór KSR-24 w przeciwległej SE części pola. W polu nr 5 obserwacje rozpoczęto w 2004 r. w rejonie pionu KSR-52 (Ryc. 1).

Do pomiaru długości baz zastosowano technikę pomiarową wykorzystującą dalmierz laserowy, co pozwoliło na rozpoznanie składowych procesów zaciskania wyrobisk (pionowe, poziome, ukośne). Na typowym stanowisku pomiarowym zaciskanie pionowe mierzone jest w osi przekroju poprzecznego komory, a zaciskanie poziome na wysokości ok. 1,5 m nad spągami, przy czym kierunek pomiaru zaciskania poziomego jest prostopadły do rozciągłości złoża (wynika to z przyjętego sposobu rozmieszczenia komór).

Sieć pomiarowa była sukcesywnie uzupełniana wraz z wybieraniem kolejnych, niższych poziomów. W chwili obecnej system kontroli zjawisk poeksploatacyjnych, zachodzących wewnątrz górotworu w polach nr 3 i 5, obejmuje:

- ciąg baz pomiarowych w rejonie pionu KSR-6 pola nr 3, na poziomach 475-750 m,
- ciąg baz pomiarowych w rejonie pionu KSR-24 pola nr 3, na poziomach 475-690 m,
- ciąg baz pomiarowych w rejonie pionu KSR-52 pola nr 5, na poziomach 475-720 m.

W ujęciu statystycznym, w polach nr 3 i 5 obserwowanych było (i jest obecnie) łącznie 147 baz, rejestrujących proces zaciskania 33 komór. Cechą charakterystyczną sieci w polach nr 3 i 5 jest rozbudowanie niektórych stanowisk o dodatkowe bazy, pozwalające dokładniej rejestrować zaciskanie przekroju typowej komory, a nawet zaciskanie całej strefy eksploatacji w kierunku poprzecznym do rozciągłości.

4. ANALIZA WYNIKÓW OBSERWACJI ZACISKANIA KOMÓR W POLACH NR 3 I 5

Systematyczne, kilkunastoletnie pomiary sieci konwergencyjnej w polach eksploatacyjnych nr 3 i nr 5 pozwoliły zgromadzić stosunkowo bogaty materiał pomiarowy dotyczący wielkości, zmienności zaciskania i relacji pomiędzy składową pionową a składową poziomą.

As of the end of 2021, the total volume of voids in exploitation fields No. 3 and No. 5 amounts to over 8.4 million cubic meters, constituting 42% of the total volume of voids in the entire mine. Currently, mine works are underway in the mining field No. 5 (within the depth of 630-750 m.b.g.l.) and on providing access to new levels in both exploitation fields, below the 750 m.b.g.l..

3. MEASUREMENT NETWORK AND OBSERVATION TECHNIQUE

Cyclic measurements of post-exploitation void convergence in Field No. 3 began in 2003 in the KSR-6 vertical section in the NW part of the field, while in 2017, the measurements were extended to include the KSR-24 chamber area in the opposite SE part of the field. In Field No. 5, observations began in 2004 in the KSR-52 vertical area (Fig. 1).

To measure the length of the stations, a laser rangefinder measurement technique was employed, enabling the recognition of the components of the convergence (vertical, horizontal, and inclined) in mine workings. At a typical measurement station, vertical convergence is measured in the axis of the cross-section of the chamber, while horizontal convergence is measured at a height of approximately 1.5 meters above the chamber floor, with the direction of horizontal convergence measurement being perpendicular to the elongation of the deposit (resulting from the adopted chamber distribution).

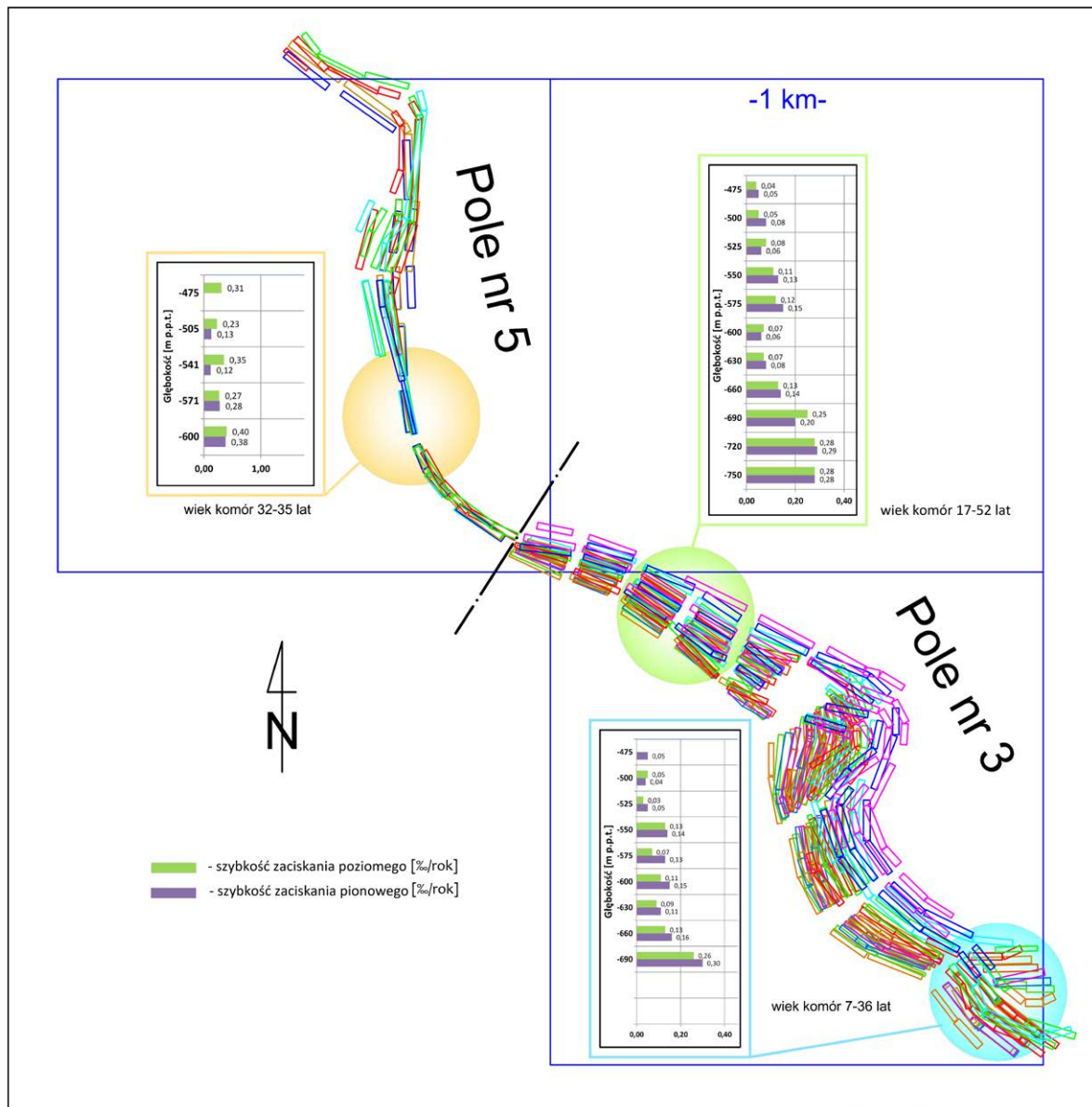
The measurement network has been progressively extended with the mining of deeper levels. At present, the monitoring system of post-exploitation phenomena occurring within the rock mass in fields No. 3 and 5 includes:

- a series of measurement stations in the KSR-6 vertical area of mining field No. 3, at levels from 475 to 750 meters,
- a series of measurement stations in the KSR-24 vertical area of mining field No. 3, at levels from 475 to 690 meters,
- a series of measurement stations in the KSR-52 vertical area of mining field No. 5, at levels from 475 to 720 meters.

In a statistical sense, a total of 147 measurement stations were (and currently are) observed in mining fields No. 3 and 5, recording the convergence process in 33 chambers. A notable aspect of the network in fields No. 3 and 5 is the expansion of specific stations with additional measurement points, enabling a more precise registration of convergence in a typical chamber and even across the entire exploitation zone transversely to the elongation.

4. ANALYSIS OF THE RESULTS OF CHAMBER CONVERGENCE OBSERVATIONS IN MINING FIELDS NO. 3 AND 5

Systematic, multi-year measurements of the convergence network in fields No. 3 and No. 5 have provided a relatively substantial dataset concerning the magnitude, variability of



Ryc. 1. Lokalizacja miejsc pomiaru i wyniki obserwacji zaciskania pionowego i poziomego w przekroju komór w polach eksploatacyjnych w złożu soli różowych na poziomach od 475 do 750 m p.p.t.

Fig. 1. Location of measurement points and results of vertical and horizontal convergence observations in the cross-sections through the chambers in the exploitation fields of pink salt at levels from 475 to 750 m.b.g.l.. Pole nr 5: *Field No 5*; Pole nr 3: *Field No 3*; głębokość (m.p.p.t): *depth [below ground level]*; wiek komór 32-35 lat: *chamber age 32-35 years*; szybkość zaciskania poziomego [%/rok]: *horizontal convergence rate [%/year]*; szybkość zaciskania pionowego [%/rok] - *vertical convergence rate [%/year]*

Generalnie szybkość zaciskania komór w trzech objętych pomiarami rejonach pól eksploatacyjnych w złożu soli różowych jest niska o wartościach: poniżej 0,4 %/rok (Ryc.1). Dotyczy to szczególnie górnej strefy eksploatacji (450-600 m p.p.t.), dla której obecny wiek wyrobisk komorowych wynosi ponad 30 lat. Małe wartości szybkości zaciskania dotyczą zarówno zaciskania pionowego jak i poziomego, przy jednoczesnym braku wyraźnej tendencji w ich wzajemnych relacjach na poszczególnych poziomach. Ledwie widoczny jest też przyrost szybkości konwergencji w funkcji głębokości. Zaobserwowane w polach eksploatacyjnych nr 3 i nr 5 wartości szybkości zaciskania są średnio kilkakrotnie mniejsze, niż

convergence, and the relationship between the vertical and horizontal components.

The chambers in the surveyed regions of the pink salt exploitation fields generally exhibit a low convergence rate, with values below 0.4‰ per year (Fig. 1). This is especially notable in the upper exploitation zone (450-600 m.b.g.l.), where the age of the chamber workings exceeds 30 years. The small convergence rates apply to both vertical and horizontal convergence, with no distinct trend observed in their mutual relationships at different mining levels. Additionally, the increase in convergence rate with depth is barely noticeable. The observed convergence rates in mining fields No. 3 and

obserwowane na ekwiwalentnych głębokościach w polach eksploatacyjnych w złożu soli białych (Ryc. 3).

Ze względów praktycznych, zaciskanie poprzeczne (poziome) przekroju komory mierzone jest w strefie położonej nieco ponad spągiem, czyli nie w osi przekroju poprzecznego, jak to ma miejsce w przypadku standardowego pomiaru zaciskania pionowego. Dla wyznaczenia zmienności zaciskania poziomego na różnych wysokościach ociosu komory stosowane są bazy ukośne. Rozbudowano także wybrane stanowiska o dodatkowe bazy poziome, rozmieszczone na różnych wysokościach nad spągiem.

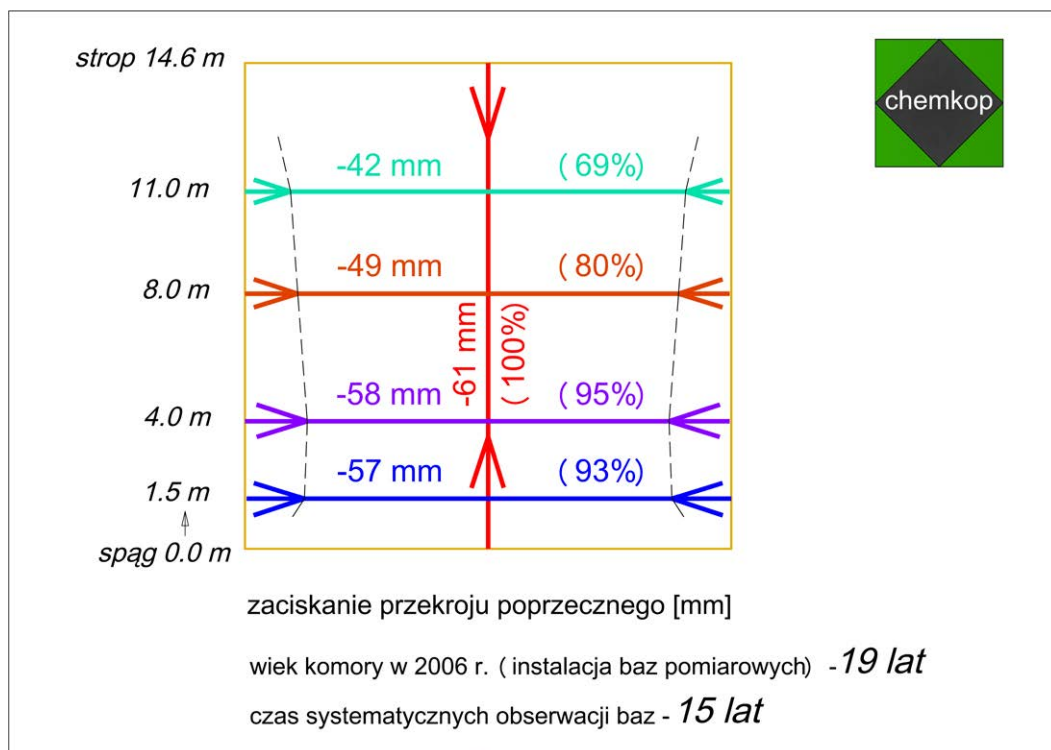
Najbardziej reprezentatywne wyniki obserwacji zaciskania poziomego pochodzą z komory KSR-57 na poziomie 571,5 w polu nr 5. Szerokość złoża na tym poziomie pozwoliła na wybranie tylko jednej komory. W pionowym przekroju poprzecznym komory liczącej wówczas 19 lat o wysokości 14,6 m zainstalowano nietypowe stanowisko pomiarowe składające się m.in. z 4 baz poziomych na wysokościach od 1,5 do ok. 11 m nad spągiem – Ryc. 2. Wyniki systematycznych, cyklicznych pomiarów wykonywanych w kolejnych 15 latach pokazują udział kierunków składowych w zaciskaniu przekroju komory. Przyjmując zaciskanie pionowe w osi przekroju komory jako 100%, składowe poziome zaciskania są niewiele mniejsze i wynoszą od ponad 90% (w dolnych strefach ociosów) do 80%-70% (dla strefy powyżej połowy wysokości ociosów) – Ryc. 2. Znacznie krócej obserwowana-

No. 5 are, on average, several times smaller than those observed at equivalent depths in the exploitation fields of the white salt deposit (Fig 3).

For practical reasons, the horizontal convergence of the chamber cross-section is measured in a zone located slightly above the chamber floor, rather than in the axis of the cross-section, which is the standard method for measuring vertical convergence. In order to assess the variability of horizontal convergence at different heights along the side wall of the chamber, inclined measurement stations are employed. Additionally, certain stations have been expanded to include supplementary horizontal measurement points at various heights above the chamber floor.

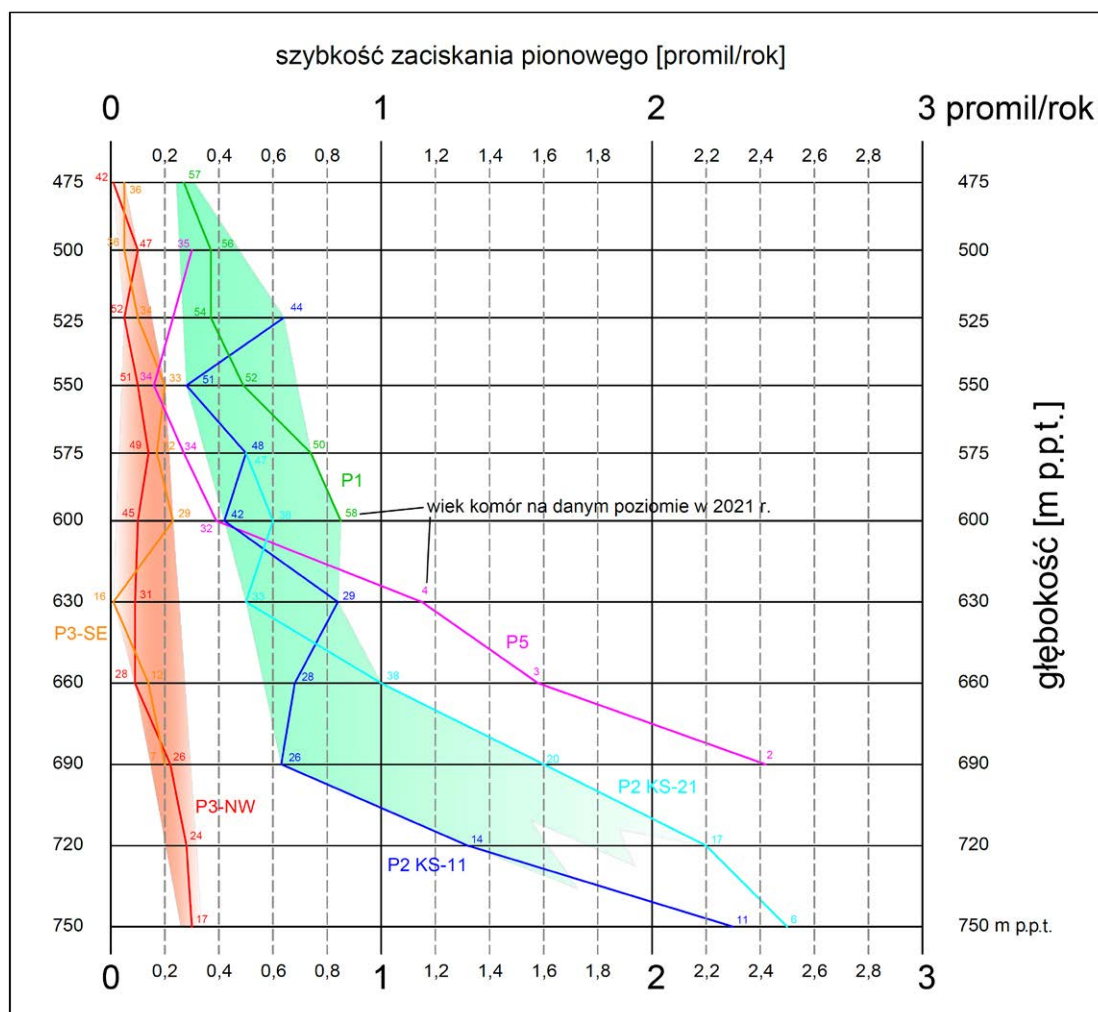
The most representative results of horizontal convergence observations come from chamber KSR-57 at level 571.5 in mining field No. 5. Due to the limited width of the deposit at this level, only one chamber could be selected for examination. The chamber, which was then 19 years old and had a height of 14.6 meters, had an atypical measurement station installed in its vertical cross-section, consisting of 4 horizontal stations placed at heights ranging from 1.5 to approximately 11 meters above the chamber floor - see Fig. 2.

The results of systematic and cyclical measurements conducted over a period of 15 years demonstrate the contribution of directions of components in the convergence of the chamber's cross-section. Assuming vertical convergence in the



Ryc. 2. Relacje pomiędzy zaciskaniem poziomym a pionowym w przekroju komory KSR-57 na poziomie 571,5

Fig. 2. Relations between horizontal and vertical convergence in the cross-section through the chamber KSR-57 at level 571.5. strop: chamber ceiling; spąg: chamber floor; zaciskanie przekroju poprzecznego: convergence of the transverse cross-section; wiek komory w 2006 r. (instalacja baz pomiarowych) – 19 lat: chamber age in 2006 (installation of measurement bases) – 19 years; czas systematycznych obserwacji baz - 15 lat: years of regular base observations – 15.



Ryc. 3. Wartości szybkości zaciskania pionowego komór w solach białych i różowych w funkcji głębokości z uwzględnieniem wieku wyrobiska

Fig. 3. Vertical convergence rates of chambers in white and pink salt beds as a function of depth, considering the age of the excavation. szybkość zaciskania pionowego (promil/rok): vertical convergence rate (per mil/year); wiek komór na danym poziomie w 2021 r.: age of chambers at a given level in 2021; głębokość [m p.p.t.]: depth [m.b.g.l.]; promil/rok: per mil/year; 750 m p.p.t.: 750 m.b.g.l.

ne ok. 4,5 roku, pojedyncze, dodatkowe bazy poziome w komorach położonych na poziomach 525 m i 600 m pokazują podobne relacje między zaciskaniem pionowym a poziomym. Rejestrowane na nich przemieszczenia poziome wynoszą od 70% do 130% osiowego zaciskania pionowego. Wszystkie omawiane przypadki wzajemnej zależności między zaciskaniem pionowym a poziomym dotyczą komór w wieku od 20 do 30 lat, czyli w fazie powolnego, niemal jednostajnego narastania deformacji po okresie intensywnych ruchów w pierwszych latach istnienia wyrobisk.

Zupełnie odmienny charakter deformacji poeksploatacyjnych zaobserwowano natomiast w świeżo wybranych komorach w polu eksploatacyjnym nr 5 na poziomach 630 m, 660 m i 690 m. Ich wiek wynosi jedynie od 2 do 4 lat, zatem obserwowana jest pierwsza faza intensywnej reakcji górotworu po wykonaniu wyrobiska. Zaobserwowane wartości szybkości zaciskania są znacznie większe i wynoszą od 1 do (incydentalnie) ponad 4 ‰/rok (Ryc. 3). Drugą cechą charakterystyczną tej wczesnej fazy deformacji jest wyraźna dominacja

axis of the chamber's cross-section as 100%, the horizontal convergence components were found to be slightly smaller, varying from over 90% in the lower sections of the chamber walls to 80%-70% for the area above half of the chamber wall height, as shown in Figure 2. Additionally, shorter observations of about 4.5 years were made for single, additional horizontal stations in chambers at levels 525 meters and 600 meters, which displayed similar relationships between vertical and horizontal convergence. The recorded horizontal displacements in these cases ranged from 70% to 130% of the axial vertical convergence.

All the discussed cases of mutual dependency between vertical and horizontal convergence pertain to chambers aged between 20 and 30 years, representing a phase of slow and almost uniform growth of deformation after a period of intensive movements during the early years of workings existence.

An entirely different character of post-exploitation deformations was observed in recently mined chambers in the mining field No. 5 at levels 630 m, 660 m, and 690 m. Their age

prędkości zaciskania poziomego nad pionowym, wynosząca od 130% do ponad 280% - na danym poziomie. Efekt ten można wstępnie łączyć z kształtem złoże, gdyż kierunek pomiaru zaciskania poziomego w wyrobiskach jest prostopadły do rozciągłości złoże soli różowych.

Czas obserwacji baz w polach soli różowych jest zbyt krótki, co nie pozwala na pełniejszą ocenę zjawiska. Jednak wstępnie można przyjąć, że w początkowych latach istnienia komór w polach eksploatacyjnych w złoże soli różowych rejestrowane są stosunkowo duże szybkości zaciskania (do kilku %/rok), a składowa boczna (pozioma) przeważa nad pionową. W przypadku obserwacji z poziomów 630-690 m (w polu nr 5) pewnym czynnikiem zakłócającym otrzymany obraz deformacji jest wpływ trwającej nadal w sąsiedztwie (i na poziomach niższych) eksploatacji.

Przedstawione wyniki pomiarów zaciskania komór w polach eksploatacyjnych w złoże soli różowych pokazują, że jego wartość jest funkcją nie tylko znanych dotychczas czynników, tj. głębokości położenia i wieku wyrobiska, ale także ma związek z układem wyrobisk w złoże będącym następstwem jego formy geologicznej. Możliwość obserwacji deformacji od pierwszych lat istnienia komory pozwoliła na wstępne uchwycenie zmienności składowych pionowego i poziomego zaciskania w funkcji czasu istnienia wyrobiska. Wyniki kolejnych, systematycznych pomiarów pozwolą na zweryfikowanie tych wstępnych spostrzeżeń.

5. PODSUMOWANIE

Złoże soli różowych, będące fragmentem wysadu kłodawskiego, charakteryzuje się swoistym kształtem przestrzennym o znacznej rozciągłości (długości) i niewielkiej szerokości poziomej. Czynnikiem ten powoduje, że sól różowa wybierana jest odmianą systemu komorowego dostosowanego do formy przestrzennej złoże. Eksploatacja trwa od kilkadziesiąt lat w polach eksploatacyjnych nr 3 i nr 5.

Od niemal dwóch dekad w polach, w których eksploatuje się sole różowe, funkcjonuje sieć pomiaru konwergencji wyrobisk, obejmująca całą przestrzeń eksploatacji złoże na głębokościach od 450 do 750 m p.p.t. Wyniki systematycznych pomiarów zaciskania komorowych pustek poeksploatacyjnych pozwoliły na uchwycenie zmienności względnej szybkości deformacji w zależności od głębokości, wieku oraz wzajemnych relacji pomiędzy pionową a poziomą składową zaciskania przekroju wyrobiska. Generalnie, dla pól eksploatacyjnych w złoże soli różowych charakterystyczne są niewielkie wartości szybkości zaciskania pionowego i poziomego - poniżej 0,4 %/rok w całym profilu głębokościowym eksploatacji. Słabo widoczny jest typowy dla pól nr 1 i 2 wzrost szybkości konwergencji w funkcji głębokości. Wnioski te dotyczą starszych wyrobisk, w wieku powyżej kilkunastu lat.

ranges from only 2 to 4 years, thus, the observed phenomenon represents the initial phase of an intense rock mass response immediately after excavation. The observed convergence rates are significantly higher, ranging from 1 to (occasionally) over 4 %/year (Fig. 3). Another characteristic feature of this early deformation phase is the clear dominance of horizontal convergence over vertical convergence, ranging from 130% to over 280% at a given level. This effect can be tentatively linked to the deposit's shape, as the direction of horizontal convergence measurements in the excavations is perpendicular to the elongation of the pink salt deposit.

The observation period of the measurement stations in pink salt fields is relatively short, which limits a comprehensive assessment of the phenomenon. However, preliminary findings suggest that during the initial years of chamber existence in pink salt exploitation fields, relatively high convergence rates are recorded (up to several %/year), with the horizontal component prevailing over the vertical one. It should be noted that observations from levels 630-690 m (in field No. 5) may be influenced by ongoing mining activities in the vicinity (and at lower levels), which could impact the obtained deformation picture.

The results presented from chamber convergence measurements in pink salt exploitation fields reveal that its magnitude is influenced not only by well-known factors, such as the depth and age of the excavation, but also by the arrangement of excavations in the deposit, which is a consequence of its geological structure. The ability to observe deformations from the early years of chamber existence provides a preliminary insight into the variations in vertical and horizontal convergence components over time. Further systematic measurements will allow for the validation of these initial observations.

5. CONCLUSION

The pink salt beds, which are a part of the Kłodawa salt dome, are characterized by a distinct spatial shape with considerable elongation (length) and small horizontal width. This inherent characteristic has led to the implementation of a specialized chamber system tailored to the deposit's spatial shape. Exploitation activities have been conducted for several decades in mining fields No. 3 and No. 5.

For nearly two decades, a comprehensive underground convergence measurement network has been active in the mining fields dedicated to pink salt exploitation. This network comprise the entire mining area at depths ranging from 450 to 750 meters below the surface. The systematic measurements of post-exploitation void convergence have yielded insights into the varying rates of deformation, depending on depth, age, and the mutual relationships between the vertical and horizontal components of the chamber's convergence.

Natomiast ostatnie pomiary, wykonane w niedawno wybranych komorach na poziomach 630-690 m, pokazały odmienną charakterystykę deformacji w pierwszych latach po wybraniu wyrobiska. Zarejestrowano wyraźnie większe wartości szybkości zaciskania (z przedziału od 1,1 do 4,3 ‰/rok) oraz znaczącą przewagę zaciskania poziomego nad pionowym (1,3 do 2,8 razy). Krótki czas prowadzenia tych obserwacji nie pozwala na ustalenie przyczyn obserwowanej odmienności zjawiska. Wydaje się, że wzrost szybkości zaciskania w tej fazie deformacji wynika przede wszystkim z wieku wyrobisk i ich głębokości. Czynnikiem zaburzającym może być jednak oddziaływanie trwającej w sąsiedztwie eksploatacji. Natomiast przewagę wartości zaciskania poziomego nad pionowym można wstępnie wiązać z układem wyrobisk, determinowanym specyficznym kształtem przestrzennym złoża. Spostrzeżenia te wymagają pomiarowego potwierdzenia w kolejnych cyklach obserwacyjnych.

In the context of pink salt beds exploitation, modest values of both vertical and horizontal convergence rates prevail, remaining below 0.4 ‰ per year across the entire depth profile of exploitation. The typical increase in convergence rates with depth, often observed in fields No. 1 and 2, is weakly visible. These conclusions pertain to mature excavations, aged beyond a dozen years.

However, recent measurements taken in newly excavated chambers at depths ranging from 630 to 690 meters have revealed a distinct deformation pattern in the initial years post-excavation. Clearly higher convergence rates (ranging from 1.1 to 4.3 ‰ per year) were recorded, along with a significant prevalence of horizontal convergence over vertical convergence (1.3 to 2.8 times). The relatively short duration of these observations precludes a definitive identification of the exact reasons behind this observed difference in the phenomenon.

It seems that the escalation in convergence rates during this deformation phase is primarily attributable to the excavations' age and depth. However, the presence of an influencing factor, such as the ongoing neighboring extraction activities, cannot be dismissed. Furthermore, the dominance of horizontal convergence values over vertical convergence could tentatively be linked to the layout of the excavations, influenced by the unique spatial shape of the deposit. These observations merit further substantiation through measurements conducted in subsequent observational cycles.

LITERATURA/REFERENCES

- BIENIASZ J., WOJNAR W. 2008. Analiza porównawcza deformacji poeksploatacyjnych kłodawskiego systemu komorowo-filarowego przy pionowym i ukośnym układzie wyrobisk. *Przegląd Solny 2008. Kwartalnik IGSMiE, tom 24, zeszyt 3/2 111-120.*
- BIENIASZ J., PIETRAS J. 2018. Deformacje górotworu wywołane eksploatacją pola nr 2 w Kopalni Soli „Kłodawa” S.A., *Przegląd Solny 2018. Rocznik Polskiego Stowarzyszenia Górnictwa Solnego, tom 14, 15-20.*
- BIENIASZ J., PIETRAS J. 2019 Wykonanie instalacji baz pomiarowych do pomiaru konwergencji komór w polu nr 5 wraz z wykonaniem pierwszego pomiaru na poz. 630. *Archiwum OBR GSChem CHEMKOP Sp. z o.o., 1162.*
- BIENIASZ J., PIETRAS J. 2021 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.*