



# System kontroli deformacji poeksploatacyjnych górotworu nad polami eksploatacji w KS „Kłodawa”

## *The control system of the rock mass deformation over the fields of exploitation in Kłodawa Salt Mine*

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

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

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

### STRESZCZENIE

Kilkadziesiąt lat eksploatacji złoża kłodawskiego spowodowało powstanie w górotworze znaczących objętości pustek, skoncentrowanych w kilku polach eksploatacji. Ich wpływ na otaczający górotwór jest kontrolowany pomiarowo wewnątrz pól eksploatacji oraz na powierzchni terenu nad kopalnią. Służą temu, obserwowane cyklicznie, sieci pomiarowe rejestrujące zaciskanie pustek i przemieszczenia pionowe powierzchni. W ostatnich latach system monitoringu oddziaływania kopalni uzupełniono o sieć przestrzenną do obserwacji deformacji na horyzoncie spągu stropowej półki ochronnej nad kopalnią. Oprócz przemieszczeń pionowych pozwala ona mierzyć przemieszczenia poziome na wydzielonych liniach i zaciskanie wytypowanych komór na najwyższych poziomach eksploatacyjnych. W konstrukcji sieci i sposobie jej pomiaru zastosowano kilka nowych rozwiązań przetestowanych wcześniej w rejonie przystropowym pola nr 1. Wyniki pomiarowe uzyskane z tego rejonu pokazują tworzenie się wewnątrz górotworu niecki osiadań. Wielkości podstawowych wskaźników deformacji określone z tej niecki interpretowane łącznie z wynikami pomiarów na powierzchni pozwolą na pełniejszą kontrolę deformacji w górotworze nad kopalnią.

**Słowa kluczowe:** górotwór, pola eksploatacji, pomiary deformacji

### ABSTRACT

Decades of exploitation of the Kłodawa deposit has resulted in a significant volume of subsurface voids concentrated in a mining panels. Their impact on the surrounding rock mass is controlled thanks to measurement inside the panels and also on the ground surface above the mine. Observations consist of periodically observed measurement network that record clinching and a surface vertical displacement. Over the last few years, the system that is monitoring mine influence, was complemented by a measurement network that allows to monitor a deformation on the horizon of the floor ceiling shelves protective over mine. In addition to vertical displacement, the network allows to measure horizontal displacements on separate lines and clamping of selected caves at the highest levels of exploitation. In the design of the network and its way to measure, some new solutions, that have been tested previously in the area of panel No. 1, were used. The results obtained from this area show forming subsidence inside the rock.

The size of the basic deformation indicators defined by the basin interpreted together with the results of measurements on the surface will allow for better control the deformation of the rock mass above the mine.

**Key words:** rock mass, exploitation fields, deformations measurements

## WSTĘP

W Kopalni Soli Kłodawa od ponad 60 lat eksploatowane jest cechsztyńskie złożo wysadowe. Kłodawski wysad solny jest elementem największej na Niżu Polskim struktury solnej Izbica Kujawska–Łęczyca, o długości ponad 60 km, szerokości ok. 4 km, zalegającej na głębokościach do 6 km. Cechsztyńskie skały solne w środkowej części struktury przebijają nadległe twory mezozoiczne tworząc kłodawski wysad solny, którego środkową część eksploatuje kopalnia. Całkowita długość wysadu wynosi około 26 km, a maksymalna szerokość około 2 km. W przekroju poprzecznym wysad ma kształt pnia rozszerzającego się ku podstawie. Pod względem litologicznym cechsztyńska seria solna w wysadzie kłodawskim stanowi zespół stromo ułożonych ławic soli kamiennych czystych i zanieczyszczonych oraz lokalnie soli magnezowo-potasowych, mających znaczenie przemysłowe. Jednak ilościowo w wysadzie zdecydowanie przeważają twory płonne tj. sole ilaste, zubry, ilowce oraz anhydryty.

Stropową powierzchnię wysadu tzw. zwierciadło solne przykrywa utwór zwietrzelinowy tzw. czapa ilowo-gipsowo-anhydrytowa o grubości do 170 metrów. Twory czapy przy ścianach bocznych wysadu przechodzą w cienki, kilkunastometrowy płaszcz ilowo-gipsowo-anhydrytowy, oddzielający wysad od otaczających skał mezozoiku. Górna powierzchnia czapy zwietrzelinowej przykryta jest osadami trzeciorzędu i czwartorzędu. W tak zróżnicowanym geologicznie, a zatem i geomechanicznie, ośrodku skalnym rozwijają się procesy deformacji poeksploatacyjnych towarzyszące eksploatacji. Od wielu lat są one przedmiotem badań i prób matematycznego opisu zjawiska przez wielu autorów (Sałustowicz 1968, Knothe 1984), początkowo głównie dla górotworu karbońskiego. Dopiero w ostatnich dziesięcioleciach potwierdzono i opisano specyfikę deformacyjną górotworu solnego (Pielok 1985).

Złożo kłodawskie udostępnione zostało z powierzchni trzema szybami – Ryc.1, oraz rozcięte licznymi górniczymi wyrobiskami geologiczno-rozpoznawczymi, udostępniającymi i eksploatacyjnymi oraz wieloma otworami. Stosowany jest klasyczny sposób wybierania kopaliny wielopoziomym systemem komorowo-filarowym przy zastosowaniu materiałów wybuchowych. Eksploatacja prowadzona jest w układzie kilku oddzielnych pól rozmieszczonych w przestrzeni wysadu solnego. Już w latach 50-tych ubiegłego wieku, wraz z rozpoczęciem eksploatacji pierwszego Pola nr 1 zapoczątkowano obserwacje niwelacyjne dla uchwycenia przemieszczeń pionowych powierzchni i wnętrza górotworu. W tamtym okresie stosowano rozwiązania pomiarowe będące pochodną sposobów obserwacji powszechnie stosowanych dla kopalń węgla i górotworu karbońskiego. Jak wykazały zdobyte później doświadczenia tamte pionierskie sposoby obserwacji zjawisk poeksploatacyjnych nie zawsze odpowia-

dały specyfice eksploatacyjnej złóż soli i odrębności deformacyjnej górotworu solnego.

Po katastrofalnym zatopieniu kopalni w Wapnie w 1977 r. okazało się, że przestrzeganie podstawowych kanonów eksploatacji złóż soli, ale też właściwe rozpoznanie górotworu i zjawisk deformacyjnych w nim zachodzących, ma decydujące znaczenie dla bezpieczeństwa eksploatacji i istnienia kopalń soli. Od tego zdarzenia rozpoczęto bardziej systematyczne i prowadzone na szerszą skalę obserwacje wszelkich przejawów deformacji poeksploatacyjnych wnętrza górotworu i powierzchni, w tym pomiary naturalnego zaciskania wyrobisk i destrukcji calizn solnych (Dec i in., 1985). Znalazło to także swoje odbicie w prawodawstwie górniczym.

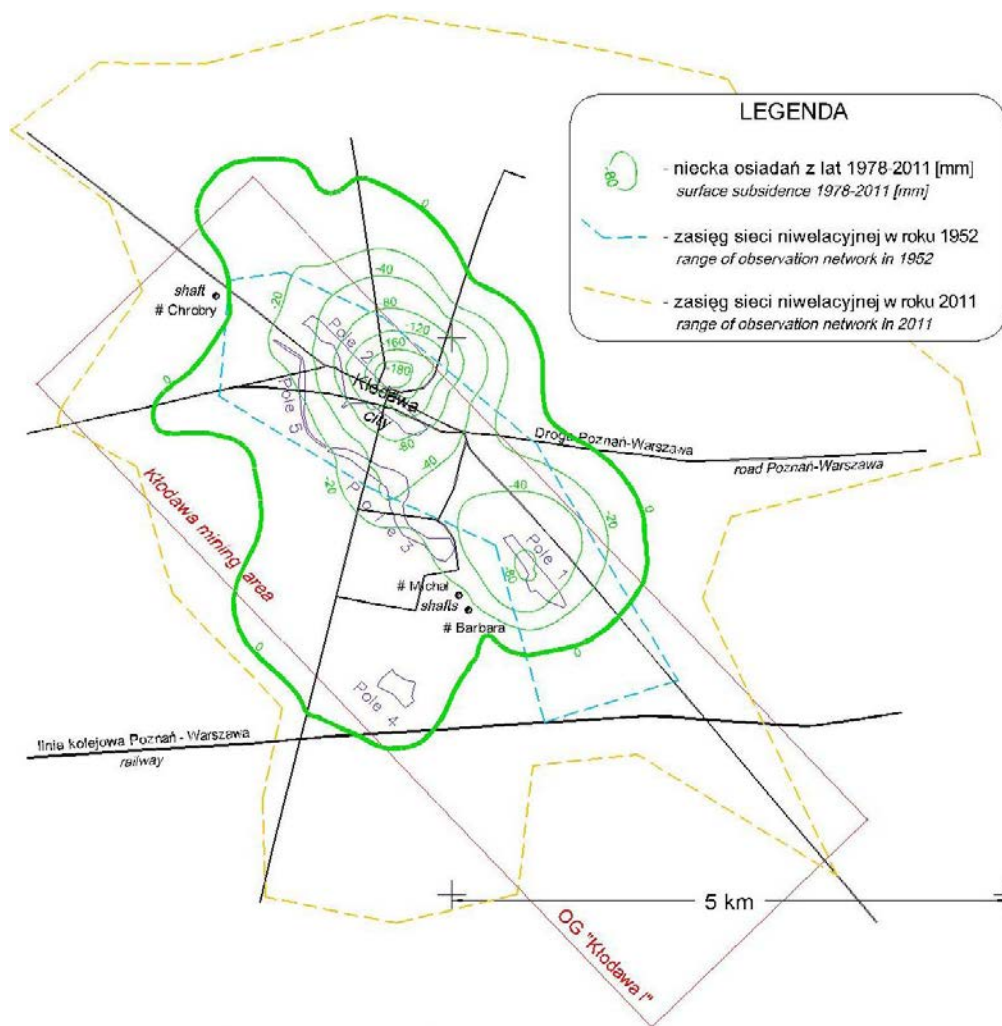
W pracach tych szeroko uczestniczył OBR Chemkop współpracując wspólnie ze służbami kopalnianymi nowe sposoby i techniki pomiaru, dotyczące głównie obserwacji zaciskania wyrobisk. W tym samym czasie klasyczne pomiary niwelacyjne sieci dołowej i pomiary zaciskania wyrobisk chodnikowych były prowadzone przez Dział Mierniczy Kopalni.

Trwające kilkadziesiąt lat wybieranie złoża solnego doprowadziło do powstania w górotworze znacznych objętości pustek poeksploatacyjnych rozmieszczonych nieregularnie w przestrzeni wysadu – Ryc.1. Ich sumaryczną objętość szacuje się obecnie na ok. 19 mln m<sup>3</sup>. Powstawały one w różnym czasie i na różnych głębokościach, co pokazuje poniższa, syntetyczna charakterystyka pól eksploatacji:

- pole nr 1 ok. 1.9 mln m<sup>3</sup>, głębokości od 450 do 600 m, w latach 1958-1986,
- pole nr 2 ok. 9 mln m<sup>3</sup>, głębokości od 500 do 750 m, od roku 1964 do chwili obecnej,
- pola nr 3 i 5 ok. 8 mln m<sup>3</sup>, głębokości od 450 do 750 m, od roku 1962 do chwili obecnej,
- pole nr ok. 0.3 mln m<sup>3</sup>, głębokości od 450 do 600 m, w latach 1984-1989.

Pustki te są źródłem deformacji, którym poddawany jest otaczający je górotwór. Szczególnie dotyczy to strefy górotworu bezpośrednio nadległej nad rejonami eksploatacji zwanej stropową półką ochronną. Stanowi ona kluczowy element w zapewnieniu bezpieczeństwa Kopalni i powierzchni terenu. W Kłodawie półkę stropową stanowi nienaruszona partia złoża solnego o miąższości min. 150-200 m, pozostawiona nad najwyższymi poziomami eksploatacji. Z oczywistych względów kontrola deformacji w półce stropowej jest możliwa jedynie na horyzontach wspomnianych najwyższych poziomów eksploatacyjnych i to w niepełnym zakresie ograniczonym układem wyrobisk. Pośrednio o stanie deformacji w półce i całym górotworze nad eksploatacją można wnioskować z obserwacji na powierzchni terenu.

W 2014 r. po kilku latach testowania nowych rozwiązań pomiarowych założono i rozpoczęto obserwacje specjalistycznej sieci przestrzennej w wyrobiskach rejonu spągu



Ryc. 1. Obserwacje skutków eksploatacji na powierzchni terenu.

Fig. 1. Observations of the post-exploitation effects on the surface.

stropowej półki ochronnej nad polami nr 1, 2 i 3. Sieć pozwala rejestrować przemieszczenia pionowe, przemieszczenia poziome oraz zaciskanie wyrobisk komorowych i chodnikowych wewnątrz górotworu, w strefie stropowej pól eksploatacyjnych. Konstrukcja sieci jak też sposoby jej pomiaru i nawiązania zawierają kilka nowych, nietypowych rozwiązań dostosowanych empirycznie do swoistych warunków górniczych eksploatacji kłodawskiej i specyfiki deformacji w górotworze solnym.

Systematyczne, cykliczne pomiary tej sieci analizowane i interpretowane łącznie z obserwacji powierzchni terenu powinny stanowić skuteczne narzędzie monitoringu strefy górotworu nad eksploatacją w wysadzie kłodawskim. Przydatność zastosowanego rozwiązania potwierdzają wyniki uzyskane z kilkuletnich obserwacji fragmentu sieci nad polem nr 1, pokazujące tworzącą się wewnątrz górotworu nieckę osiadań.

#### OBSERWACJE SKUTKÓW EKSPLOATACJI NA POWIERZCHNI TERENU.

Pierwsze obserwacje niwelacyjne powierzchni terenu nad kopalnią pochodzą z 1952 r. czyli okresu budowy kopal-

ni i odnoszą się do szczątkowej sieci reperów pokrywającej niewielką część dzisiejszego obszaru wpływów. Te fragmentaryczne dane pozwalają jednak oszacować sumaryczne przemieszczenia pionowe powierzchni w interesujących rejonach w początkowym okresie eksploatacji 1952-1978. Powierzchniowa sieć niwelacyjna z czasów powstawania kopalni liczyła ok 70 znaków i obejmowała niewielki obszar terenu nad wysadem – Ryc. 1. Jej częścią składową były dwie prostopadłe, krótkie linie pomiarowe nad konturem pola nr 1. Pomiary wykonywano techniką niwelacji precyzyjnej w cyklach nieregularnych, w nawiązaniu do reperów położonych poza obszarem wpływów. W kolejnych latach sieć powierzchniowa była rozwijana w dostosowaniu do powiększającego się zasięgu wpływów eksploatacji. Obecnie sieć liczy ponad 280 znaków obejmując powierzchnię ok. 44 km<sup>2</sup> – Ryc.1. Pomiary wykonywane są techniką niwelacji precyzyjnej w cyklach 6 letnich.

Pełniejsze i reprezentatywne dane z lat 1978-2011, po rozbudowie sieci, pozwalają na określenie ruchu pionowego powierzchni na całym obszarze wpływów i odnoszą się do okresu rozwiniętej eksploatacji – Ryc.1. Nad

Kopalnię wykształca się rozległa, swoista niecka osiadań. Charakterystyczne dla niej są dwa centra nad polami nr 1 i nr 2 i brak wyraźnego oddziaływania od układu wydłużonych pól nr 3 i 5 i szczytkowego pola nr 4. Wykształcanie się dwóch lokalnych centrów osiadań nad polami nr 1 i 2 wynika ze stosunkowo zwartego kształtu tych pól, tj. skoncentrowania znacznych objętości komór na wielu poziomach i na niewielkiej przestrzeni złoże, szczególnie w centralnych częściach pól. W przypadku pól nr 3 i 5, o zbliżonej sumarycznej objętości pustek, eksploatowana jest wielopoziomowo warstwa soli różowej o średniej szerokości kilkudziesięciu metrów i długości niemal 3 km. W tym przypadku objętość wybranych przestrzeni jest rozproszona na znacznej rozciągłości złoże i brak jest miejsc jej koncentracji powodującej powstawanie centrów osiadań. Niewielka objętość pustek wybrana w peryferyjnym polu nr 4 zaznacza się w niecce powierzchniowej jedynie jako poszerzenie zasięgu niecki w kierunku południowym, bez wykształcenia lokalnego centrum.

W głównym centrum osiadań nad polem nr 2 sumaryczne obniżenie w latach 1978-2011 wyniosło -207 mm, a w centrum nad polem nr 1 odpowiednio -95 mm w okresie 33 lat.

Rejestrowane współcześnie przemieszczenia pionowe powierzchni terenu nad wysadem rozwijają się na znacznym obszarze, którego wielkość jest determinowana przez głębokość eksploatacji. Centra ujawniania się wpływów ciągłych powiązane są przestrzennie z polami eksploatacyjnymi nr 1 i 2. Dane pomiarowe z ostatniego cyklu 2005-2011 pokazują, że w ostatnich latach osiadania powierzchni w centrach niecek lokalnych charakteryzują się szybkością osiadań odpowiednio ok. -6.6 mm/rok nad polem nr 2 i ok. -1.8 mm/rok nad polem nr 1. Widoczne jest przesunięcie centrów w stosunku do środków konturów pól w kierunku NE wynikające z pochylego ułożenia strefy eksploatacji w polach. Trwające obecnie i projektowane dalsze obniżanie się spągu eksploatacji w wysadzie będzie powodować powiększanie się obszaru ujawniania się wpływów na powierzchni.

#### POMIARY DEFORMACJI W REJONIE SPĄGU PÓKI OCHRONNEJ NAD KOPALNIĄ.

Pierwsze pomiary niwelacyjne wnętrza górotworu kopalnia rozpoczęła w 1962 r., głównie na liczącej kilkadziesiąt znaków sieci na poziomie 450 nad polem nr 1 oraz na mniej licznych ciągach niwelacyjnych na pozostałych poziomach. Z czasem dołowa sieć niwelacyjna obejmowała też pozostałe pola eksploatacji i coraz niższe międzypoziomy. Była ona obserwowana nieregularnie, ujawniły się też problemy z trwałością i własnymi ruchami reperów wynikającymi ze sposobu i miejsca stabilizacji. Jednak niwelacyjna sieć kopalniana pozwoliła w przybliżeniu uchwycić generalne ruchy pionowe wnętrza górotworu.

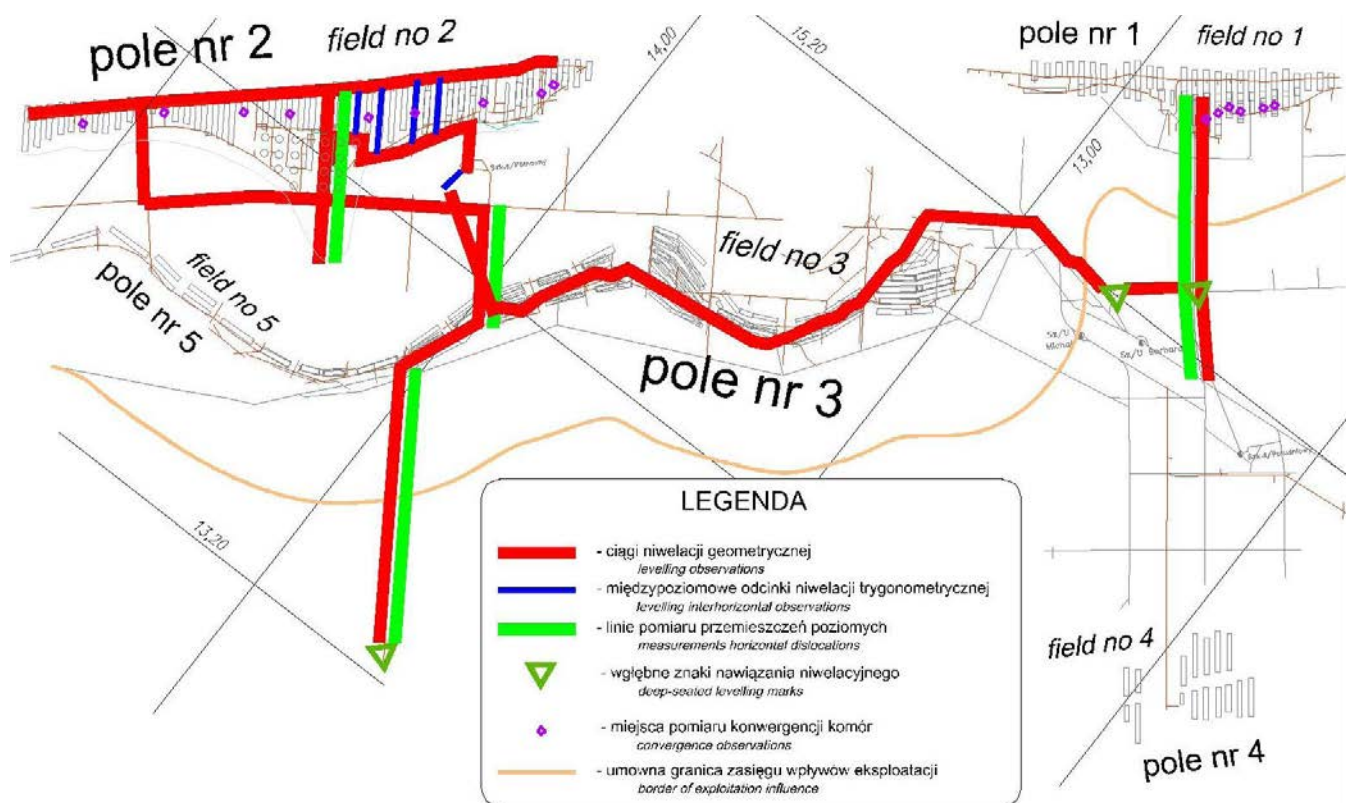
Najbardziej klarowny obraz przemieszczeń pionowych wnętrza górotworu uzyskany z pomiarów niwelacyjnej sieci kopalnianej ujawnił się nad polem nr 1. Eksploatację prowadzono w nim na 6 międzypoziomach od głębokości 475 do 600 m w latach 1959-1985. Wyeksploatowano łącznie ok. 130 komór o sumarycznej objętości ok. 1.9 mln m<sup>3</sup>. W polu tym na horyzontach przy stropie eksploatacji, tj. poziomach 450 i 525 zaobserwowano osiadania o szybkościach od kilku do kilkunastu mm/rok.

Pole nr 1, w którym przed 30 laty zakończono eksploatację, położone jest peryferyjnie w stosunku do ch rejonów eksploatacji, poza strefą jej oddziaływania. Stanowi zatem dobry model do badania zjawisk poeksploatacyjnych nie zakłócających wpływami trwającej eksploatacji. Wykorzystując ten fakt i korzystny układ wyrobisk chodnikowych na poziomie 450 w stropowej części pola nr 1, rozpoczęto w 2005 r. testowanie nowych rozwiązań pomiarowych (Bieniasz, Wojnar 2004). Zamierzano obserwować deformacje ujawniające się na tym horyzoncie wewnątrz górotworu, a pochodzące od położonych poniżej wyrobisk komorowych pola nr 1. W ciągu kilku lat sprawdzano i zweryfikowano następujące, nowe rozwiązania dotyczące konstrukcji sieci obserwacyjnej i sposobu jej pomiaru:

- założenie i kontrola stabilności reperów wgłębnych
- nawiązanie dołowej sieci obserwacji przemieszczeń pionowych do lokalnych, wgłębnych reperów nawiązania położonych poza zasięgiem wpływów eksploatacji,
- stabilizacja reperów sieci w formie pary znaków umieszczonych w spągu i stropie na większej głębokości w caliznie, (nowa forma znaku i jego głowicy),
- sposób ochrony znaku przed zniszczeniem,
- utworzenie linii pomiarowej wychodzącej z centrum pola poza granice wpływów i możliwość pomiaru przemieszczeń poziomych
- wykorzystanie metody niwelacji trygonometrycznej do przenoszenia wysokości pomiędzy poziomami,
- stosowanie niwelatora kodowego w pomiarach niwelacji geometrycznej w wyrobiskach,
- włączenie do sieci znaków i baz pomiaru konwergencji pionowej w komorach najwyższego poziomu eksploatacyjnego,

Te kilkuletnie prace badawcze nad rejonem pola nr 1 prowadzone we współpracy z Działem Mierniczym Kopalni pozwoliły na optymalne określenie w/w podstawowych elementów składowych projektowanej sieci, stosowanych narzędzi pomiarowych i sposobu obserwacji. Część wyników tych prac testowych przedstawiono na konferencji PSGS w Toruniu w 2011 r. i opublikowano w Przeglądzie Solnym (Bieniasz i in., 2012)

W końcu 2013 r. rozpoczęto stabilizację znaków sieci w wyrobiskach najwyższych poziomów, a następnie w 2014 r.



Ryc. 2. Sieć pomiaru deformacji nad polami eksploatacji  
Fig. 2. Measurement network of deformations over mining panels.

po kilku miesiącach wykonano jej pierwszy pomiar (Bieniasz i in., 2014). Założona sieć pomiarowa do obserwacji przemieszczeń pionowych, poziomych i konwergencji w wyrobiskach pod stropową półką ochronną pozwala obserwować deformacje nad dominującymi pod względem wielkości pustek polami nr 2 i 3, a także polem nr 1 i częściowo nr 5 – Ryc. 2. Jest narzędziem monitoringu deformacji w strefie górotworu kluczowej dla bezpieczeństwa kopalni.

Kompleksowa sieć obserwacyjna liczy kilkadziesiąt znaków, w tym 46 podwójnych reperów niwelacyjnych w wyrobiskach chodnikowych na poziomach 450, 487, 500 i 525. Segment niwelacyjny sieci o sumarycznej długości ciągów ponad 8 km, nawiązany jest w układzie lokalnym do 3 wgłębnych znaków nawiązania w wyrobiskach kopalni położonych poza zasięgiem przewidywanych oddziaływań poeksploatacyjnych na poziomach 450 i 525. W strukturze sieci niwelacyjnej występuje 5 prześel niwelacji trygonometrycznej na odcinkach przejść międzypoziomowych, podczas gdy odcinki płaskie mierzone są metodą podwójnej niwelacji geometrycznej. Analiza dokładności uwzględniająca stosowany sprzęt pomiarowy i parametry sieci niwelacyjnej na odcinku pomiędzy znakami wgłębnej nawiązania (odległość ok. 5.1 km, różnica wysokości ok. 75 m, w tym dwa odcinki niwelacji trygonometrycznej) wykazała dokładność określenia przewyższenia tego odcinka wynoszącą ok. 15 milimetrów.

Sieć niwelacyjną uzupełnia 17 baz pomiaru konwergencji pionowej w komorach najwyższych poziomów 475, 500, 525

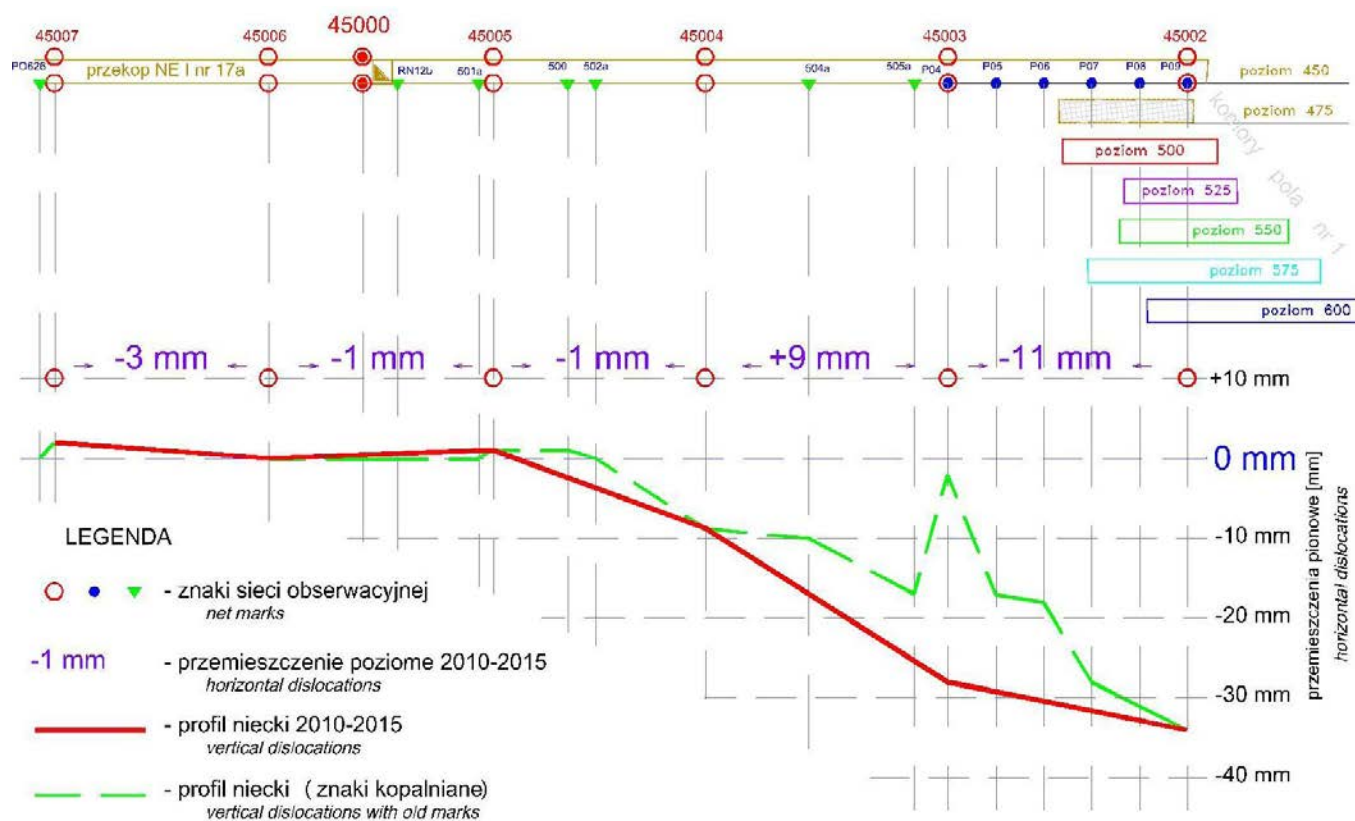
i 550 w polach nr 1 i 2, tworząc segment konwergencyjny sieci - Ryc.2. Większość znaków spągowych baz konwergencyjnych została włączona do sieci niwelacyjnej. Stabilizacja baz konwergencyjnych i pomiar zmian długości baz w komorach wykonywany jest w technice stosowanej przez OBR Chemkop z użyciem dalmierza laserowego jako urządzenia odczytowego.

Trzeci segment pomiarów długościowych dla określenia przemieszczeń poziomych stanowi 14 boków linii obserwacyjnych o długości ponad 2 km, prostopadłych do rozciągłości pól eksploatacji nr 1, 2, 3 i 5. Wymagało to niewielkiej modyfikacji głowicy znaków niwelacyjnych dla umożliwienia centrowania dalmierza nad znakiem. Dwukrotny pomiar długości baz w wydzielonych liniach obserwacyjnych wykonano przy pomocy tachimetru.

#### WYNIKI POMIARÓW Z WNĘTRZA GÓROTWORU NAD POLEM NR 1

Pierwszy pomiar całej sieci obserwacyjnej wykonano w 2014 r. ale jej spodziewaną przydatność i skuteczność pokazują wyniki kilkuletnich obserwacji pierwotnej linii pomiarowej nad polem nr 1, która była miejscem testowania rozwiązań pomiarowych, i została włączona do ogólnej sieci kopalnianej.

Kontrola stałości dwóch podwójnych reperów wgłębnych służących do nawiązania pomiarów niwelacyjnych sieci na poziomie 450 wykazała zbieżność pionową każdego z nich



Ryc. 3. Wyniki pomiaru przemieszczeń nad polem nr 1.

Fig. 3. Deformations over panel no 1.

wynoszącą ok. 0.7 mm w ciągu 8.6 roku. W tym samym okresie ich wzajemne przewyższenie zmieniało się w granicach 2.8 mm. Wyniki te pokazują, że ruchy własne znaków nawiązania są niewielkie i stabilne w dłuższych okresach czasu, co pozwala wykorzystywać je do nawiązania sieci.

Kolejny cykl pomiarów niwelacyjnych potwierdził wstępne wyniki rozkładu przemieszczeń pionowych w spągu półki ochronnej nad polem nr 1. Uzyskany z pomiarów z lat 2010-2015 rozkład przemieszczeń pionowych jest bardzo klarowny i zgodny z oczekiwaniami opartymi na teorii ujawniania się wpływów poeksploatacyjnych – Ryc.3. W rejonach oddalonych od pola nr 1 zarejestrowano ruchy pionowe rzędu pojedynczych milimetrów, natomiast im bliżej pola profil niecki wykazuje narastanie osiadań, do maksimum wynoszącego - 34 mm nad komorami pola, co odpowiada szybkości przemieszczeń pionowych wynoszącej ok. 7 mm/rok. Jest to zatem szybkość przemieszczeń pionowych ok. 3 do 4 razy większa od rejestrowanej obecnie na powierzchni terenu nad polem nr 1.

Uzyskany w tym samym interwale pomiarowym rozkład przemieszczeń poziomych z pomiarów różnic długości boków linii obserwacyjnej – Ryc.3, wykazuje cechy zgodności z profilem niecki osiadań. Bezpośrednio nad komorami pola nr 1, w dnie lokalnej niecki, zanotowano skrócenie boku o wartości -11 mm w okresie ponad 4 lat. Nad pochyłym zboczem lokalnej niecki zaobserwowano wydłużenie boku o wartości

+9 mm. Natomiast pozostałe boki linii obserwacyjnej znajdujące się na obszarze granicy zasięgu oddziaływań i poza nią wykazują różnice w długościach mieszczące się w dokładności pomiaru i wynoszące od -1 mm do -3 mm, w omawianym okresie czasu.

Są to pierwsze uzyskane z bezpośredniego pomiaru wartości przemieszczeń poziomych wewnątrz górotworu, w spągu półki ochronnej nad polem nr 1. Ich niewielkie wartości bezwzględne i równie niewielkie szybkości ruchu poziomego o wartościach nie przekraczających 2 do 3 mm/rok, są okolicznością korzystną dla zachowania ochronnej funkcji półki stropowej. Należy jednak nadal traktować je bardzo ostrożnie, jako że uzyskano je w stosunkowo krótkim, kilkuletnim interwale pomiarowym. Konieczna jest zatem ich weryfikacja w dłuższym okresie obserwacji.

Najdłużej mierzone jest zaciskanie pionowe wszystkich 6 dostępnych komór poeksploatacyjnych na najwyższym w polu nr 1 poziomie eksploatacyjnym 475. Sumaryczne wartości zaciskania pionowego w komorach objętych pomiarem wynoszą od 36 do 61 mm za okres 9.2 roku, co daje średnią szybkość konwergencji pionowej od -4 do -7 mm/rok. Obserwowane szybkości zaciskania są charakterystyczne dla tej głębokości eksploatacji i dla wieku komór wynoszącego ok. 50 lat. W zestawieniu z wynikami wieloletnich pomiarów konwergencji z całego profilu eksploatacyjnego pola nr 1 są to wartości niewielkie, stanowiące ok. 25% ruchu obserwo-

wanego na najgłębszym horyzoncie eksploatacji w polu tj. poziomie 600. Świadczy to o typowym, powolnym zaciskaniu pustek komorowych na najwyższym poziomie eksploatacyjnym pod półką ochronną.

### WNIOSKI

- w kopalni kłodawskiej od momentu jej powstania prowadzone są pomiary deformacji poeksploatacyjnych wnętrza górotworu i powierzchni terenu,
- zakres pomiarów ewoluował od początkowych rozwiązań wzorowanych na doświadczeniach z górnictwa węglowego do ch przestrzennych sieci obserwacyjnych pozwalających rejestrować zjawiska zachodzące w skali całej kopalni oraz w układach lokalnych wyrobisk i calizn w miejscach uznanych za istotne dla kontroli bezpieczeństwa eksploatacji,
- wyniki cyklicznych pomiarów przemieszczeń pionowych powierzchni terenu i wnętrza górotworu pokazują powolne tworzenie się nad wyrobiskami kopalni rozległej niecki osiadań, o dwóch lokalnych centrach skorelowanych z polami eksploatacji nr 1 i 2. Wynika to z dużej koncentracji wielopoziomowych pustek w centralnych częściach tych pól, przy jednoczesnym rozproszeniu eksploatacji w bardzo wydłużonych kształtach pól nr 3 i 5.
- założona w 2014 r. przestrzenna sieć pomiarowa w górotworze w stropie pól eksploatacji pozwala rejestrować podstawowe przejawy deformacji jak; przemieszczenia pionowe i poziome oraz zaciskanie komór w miejscu styku wyrobisk eksploatacyjnych z calizną półki ochronnej nad kopalnią. Wspólnie z funkcjonującą od kilkudziesięciu lat siecią niwelacyjną na powierzchni terenu stanowią istotny element kontroli bezpieczeństwa eksploatacji w Kopalni oraz ochrony powierzchni nad wysadem,
- pierwsze wyniki pomiarowe uzyskane w stosunkowo krótkim czasie kilku lat z obserwacji fragmentu sieci pod półką ochronną nad polem nr 1 pokazały powolne wykształcanie się wewnątrz górotworu lokalnej niecki osiadań z niewielkimi szybkościami przyrostu przemieszczeń pionowych i poziomych rzędu pojedynczych milimetrów na rok,
- podstawą dalszej skutecznej kontroli przebiegu deformacji poeksploatacyjnych w otoczeniu kopalni jest konsekwentne, cykliczne wykonywanie pomiarów na istniejących sieciach pomiarowych, dbałość o jak najdłuższe funkcjonowanie znaków i baz pomiarowych, oraz wprowadzanie do systemu monitoringu nowoczesnych technik pomiarowych.

### SUMMARY

The Salt Mine Kłodawa from more than 60 years has been operating Zechstein deposit domes. It is exploited, by the classic method of choosing a mineral, called room and pillar system with using explosives. Several decades of exploitation has originated with significant subsurface voids distributed irregularly in the dome, currently estimated at approx.

19 million m<sup>3</sup>. Voids are concentrated in a few mining panels and they are the source of deformation, which is subjected to the surrounding rock mass. Deformation is particularly significant in the rock mass just above the regions of operation called roof protective shelf. The roof is an important element in ensuring the safeness of the mine and the ground surface. In Kłodawa the protective shelf is made of unimpaired salt deposit with a thickness of min. 150-200 m that is located above the highest level of exploitation. Control of deformation in the roof shelf and in the whole rock mass above exploitation is possible on two horizons, i.e. at the uppermost mine exploitation level and on the surface.

The first leveling observations of the ground surface above the mine was done in 1952 it is the period of constructing of the mine and relate to the residual network of benchmarks covering a small part of today's area of influence. However, it allows to estimate total vertical displacement of the surface in an interesting area. Fragmentary leveling data from the years 1952 to 1978 allows to define summary surface movement in the center point above the mining panels No. 1 and No. 2 since the mine beginning - Fig.1. In the main center of subsidence above the field No. 2 total subsidence amounted to -207 mm, and in the center of the field No. 1 respectively -95 mm during the 33 years. In next years, the surface network was developed and currently has approx. 280 marks covering an area of approx. 44 km<sup>2</sup> - Fig.1. Nowadays registered disclosure centers of continuous influences are spatially associated with mining panels No. 1 and 2. In recent years, speed of the disclosure centers subsidence reaches approx. -6.6 mm/year for panel No. 2 and approx. -1.8 mm/year for panel No. 1.

The first underground leveling measurements took place in 1962 with use of several dozen network marks on the level 450, above the panel No. 1 and also fewer leveling strings at other levels. With time, the underground leveling network covered all mining panels. The panel No. 1, where mining has been completed, is located peripherally in relation to the current areas of operation, outside the zone of its influence. Therefore it provides a good model to study the phenomena of rock mass behavior excluding influence combined with ongoing operation. Taking advantage of this fact and propitious layout of workings paving of level 450 in its top part, in 2005 launched a new measurement solutions (Bieniasz, Wojnar 2004) with the intention of using them for founding the network to observe the phenomena of deformation in the roof above the mining panels. Several years of research on the region of panel No. 1 in association with the Mine Surveyor Department, allowed to determine the optimal components of the proposed network, used measuring tools and method of observation.

In 2014 measurement network was founded and first measurement of vertical and horizontal displacement and also convergence has been made in the excavations under the roof

shelf, above protective panels No. 2 and 3, as well as panel No. 1 and partially No. 5 - Fig. 2 (Bieniasz et al, 2014). Comprehensive observation network has dozens of marks, including 46 double benchmarks in workings paving at levels 450, 487, 500 and 525. Leveling network, with a total length over 8 km, has reference in a local system that is based on 3 marks located beyond the anticipated influence of excavations at levels 450 and 525. The leveling network is complemented by 17 bases which allow to measure vertical convergence in the excavation of the highest levels 475, 500, 525 and 550 in panels No. 1 and 2, creating a convergence network segment - Fig.2. The third segment of length measurement for determining the horizontal displacement is made of 14 lines of observation of 2 km in length, perpendicular to the extent panels No. 1, 2, 3 and 5.

The usefulness and effectiveness of the new network measurement solutions is based on the results of several years of observation of the measuring line above the panel No. 1, which was the place of measurement solutions test and has been incorporated into the overall network mine. Checking the stability of benchmarks pit used to establish measurements of leveling network of level 450 showed a vertical convergence of approx. 0.7 mm over 8.6 years, which is so little that they can be used to establish networks. Obtained from leveling from the years 2010-2015 distribution of vertical displacements is very clear and consistent with expectations based on the theory of disclosure void influences - Fig.3. In remote areas from the panel No. 1, vertical movements amount to single millimeter, while the closer to the panel, the basin shows a growth of subsidence, to a maximum of -34 mm above the excavation, which corresponds to the vertical displacement of approx. 7 mm / year.

Obtained in the same measurement interval distribution of horizontal displacement measured by differences in the length of the line of observation - Figure 3. shows similarity with the profile of subsidence basin. Directly above the caves of panel No. 1, in the bottom of the local basin, appeared shortening of the side of the value of -11 mm in the period of over 4 years. Above the inclined slope of the local basin extending the side was observed of the value of +9 mm. The rest sides of the observation lines are located within the boundary of the influence area and outside this area and their lengths difference are estimating in the measurement accuracy, and ranging from

-1 mm to -3 mm, during that period of time. These results should be treated with caution because they were obtained in a relatively short measurement interval and there is a needed to verify them in the long term observation.

Measured over 9 years vertical clamping of 6 caves on the highest panel No. 1 at level 475 ranged from 36 to 61 mm, which gives an average rate of vertical convergence between -4 and -7 mm/year. The observed speed of crimping is characteristic for that deep exploitation and for caves at the age of approx. 50 years. Launched in 2014 spatial measurement network in the subsurface in the roof of the main mining panels allows to register the basic signs of deformation as; vertical and horizontal displacements and caves tightening at the protective shelf over mine. The spatial network with the functioning of several decades network of leveling the surface are an important element of exploitation safety control in mines and surface protection of the salt dome.

#### LITERATURA/REFERENCES

- BIENIASZ J., WOJNAR W., 2004, Koncepcja pomiaru deformacji stropowej półki ochronnej nad filarowo-komorowym górotworem kopalni soli z wykorzystaniem technik pomiarów konwergencyjnych i niwelacyjnych. Archiwum OBR GSChem Chemkop Sp. z o.o, 1058.
- BIENIASZ J., WOJNAR W., MARCOLA-SADOWSKA J., 2012, Pomiar deformacji rejonu stropowej półki ochronnej nad polem nr 1 w Kopalni Soli Kłodawa. *Przegląd solny 2012/1. Kwartalnik AGH Geology, Geophysics & Environment*, 38, (1): 83-92
- BIENIASZ J., BIENIASZ M., WOJNAR W., 2014, Korekta projektu, stabilizacja i pierwszy pomiar sieci do pomiarów deformacji stropowej półki ochronnej nad filarowo-komorowym górotworem pola nr 2 kopalni soli z wykorzystaniem technik pomiarów konwergencyjnych, niwelacyjnych i długościowych. Etap I i II. Archiwum OBR GSChem Chemkop Sp. z o.o. 1120.
- SALUSTOWICZ A., 1968, Zarys mechaniki górotworu. *Wydawnictwo „Śląsk” Katowice*.
- PIELOK J., 1985, Przebieg osiadania powierzchni w czasie przy komorowo-filarowej eksploatacji złóż soli. *Zeszyty naukowe AGH, Geodezja*, 93: 1-15.
- DEC T., KOTARSKI E., KOPCZYŃSKI CZ., LENIAK K., 1981, Określenie odkształceń górotworu solnego wysadu kłodawskiego. Wydawnictwo WAT im. Jarosława Dąbrowskiego, Warszawa.
- KNOTHE S. 1984. Prognozowanie wpływów eksploatacji górniczej. Wydawnictwo „Śląsk” Katowice.