

# Pomiar ruchu górotworu w kopalniach soli

AGNIESZKA MAJ 

Instytut Mechaniki Górniczej PAN, ul. Reymonta 27; 30-059 Kraków

## Streszczenie

Kopalniane wyrobiska generują zagrożenia. Zapewnienie bezpieczeństwa jest głównym zadaniem nadzoru górniczego. W podziemnych kopalniach soli jednym z głównych zagrożeń jest zagrożenie zawałowe. Jego opanowaniu służy znajomość zachowania się górotworu. Wiedzę tę nabywa się analizując ruch górotworu. W polskich kopalniach soli monitorowany jest on różnymi metodami. Prowadzone są obserwacje niecki osiadań na powierzchni, zaciskania wyrobisk oraz deformacji pólek i filarów. W artykule opisano sposoby pomiarów ruchu górotworu z podaniem przykładowych wyników i przedstawiono przykładowe efekty analiz wyników obserwacji.

**Słowa kluczowe:** ruch górotworu, podziemne kopalnie soli, przemieszczenia, konwergencja wyrobisk

## 1. Wstęp

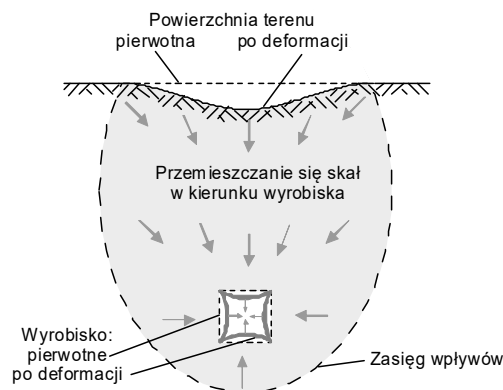
Wyrobiska w polskich kopalniach soli generują zagrożenia. W podziemnych kopalniach soli głównymi zagrożeniami są zagrożenie wodne i zawałowe, które często są ze sobą powiązane. Przejawami zagrożenia wodnego są wycieki, przeługowania i awarie wodne, które mogą doprowadzić nawet do katastrofalnego zatopienia kopalni. Oznakami zagrożenia zawałowego jest pęknięcie ociosów i stropów, odspajanie skał i ich odpadanie, co doprowadzało w minionych wiekach do zawałów stropów a nawet do zapadlisk na powierzchni terenu.

Kontrola zagrożenia zawałowego jest zwykle sprowadzana do monitoringu ruchu górotworu w zakresie globalnym i lokalnym. Ruch globalny obserwowany jest poprzez okresowe pomiary niecki osiadań na powierzchni i przemieszczeń pionowych na poszczególnych poziomach kopalni. Ruch lokalny obserwowany jest kilkoma metodami: przez pomiar konwergencji wyrobisk, deformacji pólki i filarów oraz deformacji przypowierzchniowej warstwy skał spągowych, stropowych i ociosowych. Pomiary ruchu globalnego przeprowadzane są zwykle co 5 lat. Częstotliwość obserwacji ruchu lokalnego zależy od dokładności pomiaru i zwykle wynosi od jednego do czterech razy na rok. W przypadku stosowania elektronicznych mierników przemieszczeń odczyty można wykonywać z dowolną częstotliwością. W artykule opisano sposoby pomiarów ruchu górotworu z podaniem przykładowych wyników i przedstawiono przykładowe efekty analiz wyników obserwacji.

## 2. Ruch górotworu wywołany działalnością górniczą

Wydrążenie wyrobiska podziemnego powoduje naruszenie pierwotnej równowagi statycznej górotworu w jego sąsiedztwie i ruch górotworu wywołany niezrównoważonymi siłami ciężkości (Rys. 1). Na przemieszczanie się masywu naruszonego wytworzeniem pustki wpływają również naprężenia pierwotne panujące w górotworze, które poza składowymi geostatycznymi posiadają także inne składowe, np. pochodzące od naturalnych oddziaływań tektonicznych czy sąsiedztwa wyrobisk już istniejących. Taki ruch powoduje wciśnięcie skał na konturze pustki do jego środka. Zjawisko to nazywa się zaciskaniem wyrobiska [Maj, 2012].

Ruch górotworu określany jest zależnością przemieszczenia od czasu. W kopalniach soli ma on głównie charakter powolny i przebiega z malejącą prędkością. Trwa do całkowitego zaciśnięcia pustki.



Rys. 1. Zaciskanie wyrobiska i ruch górotworu w jego kierunku

Z prowadzonych badań wynika, że okres zaciskania wyrobisk może trwać od kilkudziesięciu lat w wyrobiskach zlikwidowanych (wypełnionych materiałem) do nawet tysięcy lat w przypadku wyrobisk zabytkowych [Kortas, 2004].

Efektom ruchu górotworu są deformacje wokół wyrobisk, które sięgają powierzchni terenu. Deformacje te mają zwykle charakter ciągły, chociaż poza trasami turystycznymi, w komorach pozostawionych bez zabezpieczenia obserwowane są spękania, odspojenia, obwały i zawały stropów.

### 3. Obserwacje ruchu górotworu

Ruch górotworu monitorowany jest we wszystkich kopalniach soli w Polsce. Obligatoryjnie mierzone są przemieszczenia pionowe na powierzchni terenu i konwergencje w wyrobiskach. Dodatkowo przy określaniu ruchu górotworu wykorzystywane są wyniki pomiarów przemieszczeń poszczególnych poziomów kopalni oraz pomiary odkształceń w sąsiedztwie wyrobisk, a także wyniki innych niż geodezyjne pomiarów, w tym monitoringu przemieszczeń stropu miernikami elektronicznymi.

#### 3.1. Pomiary przemieszczeń pionowych powierzchni terenu

W procesie deformacji górotworu na powierzchni terenu wykształca się łagodna niecka osiadań, która jest niecką niepełną, tzn., że – pomimo zakończenia eksploatacji soli – obecność wyrobisk stale oddziałuje na powierzchnię a niecka powiększać się będzie do całkowitego zaciśnięcia pustek w górotworze.

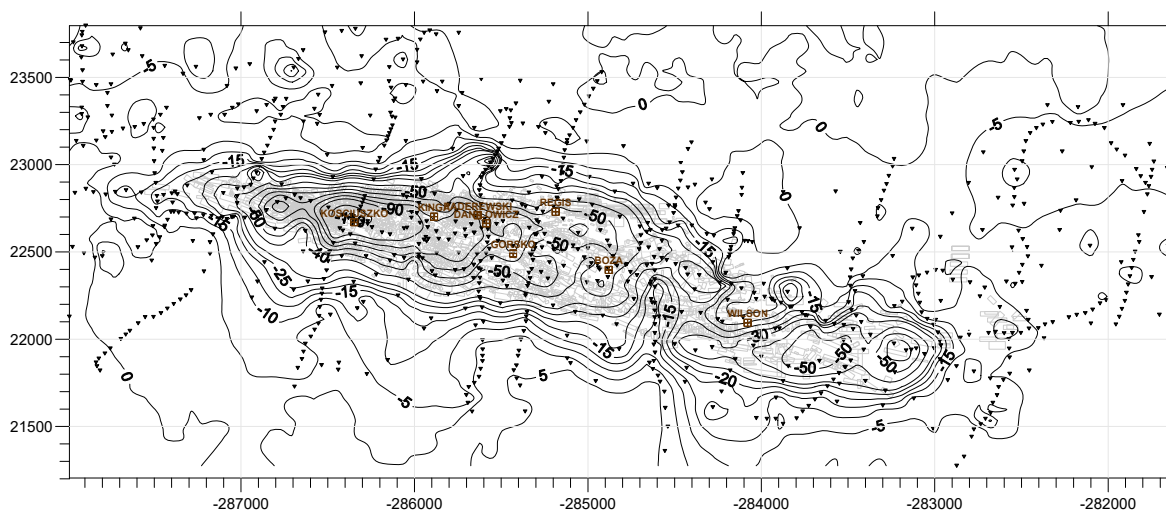
Pierwsze repery określające obniżenia terenu pod wpływem eksploatacji górniczej obserwowano w Wieliczce już w latach 20. ubiegłego wieku. Obecnie niecka wyznaczana jest co 5 lat w oparciu o wyniki obserwacji ponad 800 reperów, a obszar pomiarów to ponad 10 km<sup>2</sup>. Pomiary nad wszystkimi kopalniami spełniają wymogi niwelacji precyzyjnej II klasy.

Niecka w Wieliczce wykształca się nad polem eksploatacyjnym (Rys. 2). Centrum obniżen powierzchni terenu usytuowało się w strefie szybu Kościuszko. Maksymalne przyrosty rocznych obniżen powierzchni w okresie maksymalnego wydobycia przekraczały 0,1 m. Później maksymalne przemieszczenia pionowe na powierzchni terenu, zaczęły się zmniejszać z –50 mm/rok w latach 70. do ok. –20 mm/rok po roku 2000. Zmniejszanie tempa obniżen spowodowane jest przede wszystkim zaniechaniem eksploatacji złoża w 1996 roku oraz wypełnianiem wyrobisk podsadzką.

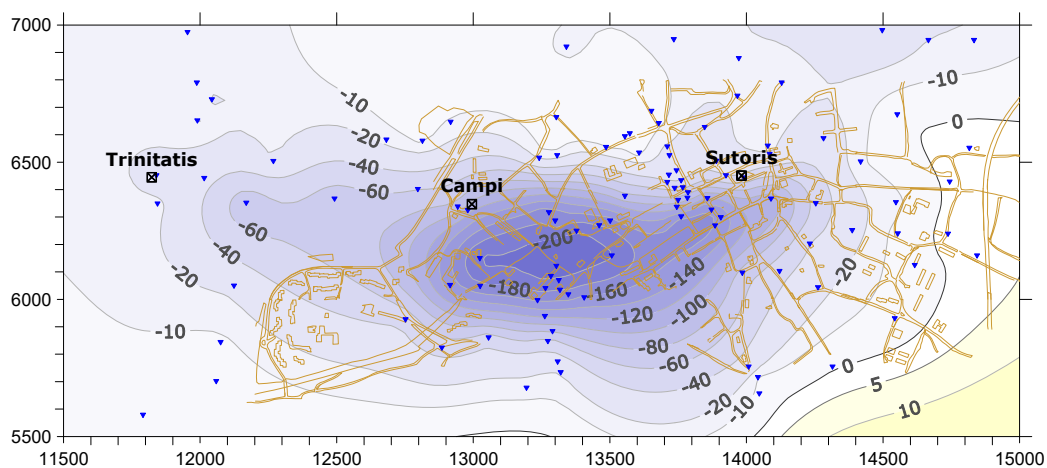
W Bochni wysokość reperów w strefie wpływów kopalni na powierzchnię terenu mierzona jest od 1972, obecnie z częstotliwością raz na cztery lata. Ostatnio mierzonych jest ponad 100 reperów na obszarze ponad 5 km<sup>2</sup>.

Niecka ma formę wydłużoną po rozciągłości złoża, zgodnie z kształtem pola górniczego (Rys. 3). Centrum niecki nie znajduje się nad wyrobiskami kopalni, ale jest przesunięte na południe, co jest spowodowane upadem złoża w tym kierunku.

W kopalni zaprzestano wydobywanie soli w 1990 r. Zabytkowe obszary kopalni pozostawiono, a reszta wyrobisk jest podsadzana. Obecność pustek sprawia, że niecka nadal się pogłębia. Maksymalne obserwowane przemieszczenia pionowe terenu w okresie 1997-2011 wynoszą ponad –220 mm. Repery wyznaczające centrum niecki obniżają się średnio z prędkością do 15,5 mm/rok, a prędkość ta maleje z upływem czasu.



Rys. 2. Niecka osiadań w Wieliczce 2000-2005 [Kortas, 2014]



Rys. 3. Niecka osiadań w Bochni 1997-2011 [Maj, 2017]

Nad kopalnią w Kłodawie pierwszy pomiar wykonano w 1964 roku na dwóch wzajemnie prostopadłych do siebie liniach pomiarowych. Rozbudowę sieci punktów rozproszonych zaczęto w 1978 r. Obecnie sieć niwelacyjna obejmuje niespełna 200 reperów i ok. 25 km<sup>2</sup>.

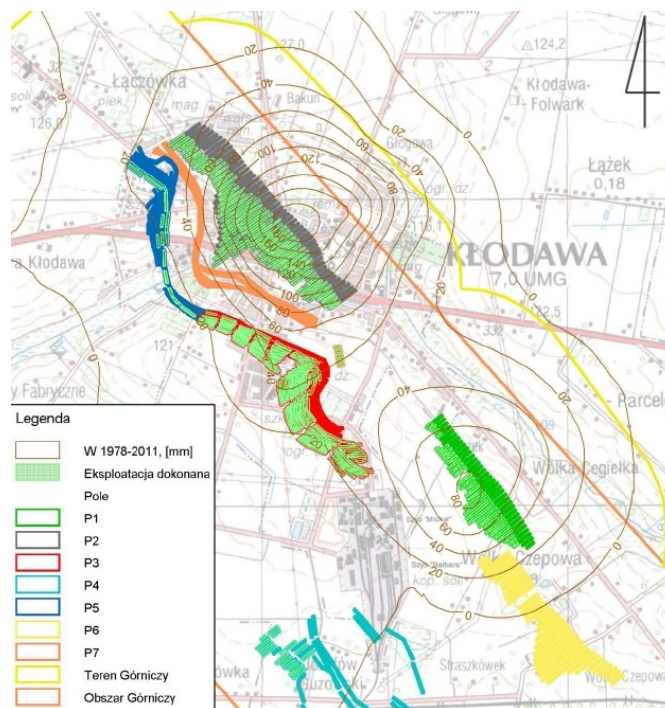
Sól w Kłodawie eksploatowana jest ze struktury wysadowej. Niecka osiadań wykształciła się w postaci połączonych lokalnych niecek związanych z oddziaływaniem pól eksploatacyjnych 1 i 2 (Rys. 4). Maksymalne obniżenia nad polem 2 wynoszą ok. 7 mm/rok. Prędkość przemieszczeń rośnie wraz ze zwiększaniem objętości pustek w górotworze. Nad nieeksploatowanym polem 1 utrzymują się obniżenia o wartości 2-3 mm/rok.

Oddziaływanie pól 3 i 5 położonych wzdłuż przecinającego wysad anhydrytu głównego nie zaznacza się w obrazie rozkładu przemieszczeń pionowych. Zjawisko to zostało wyjaśnione w 2012 r. [Kortas i Maj, 2012].

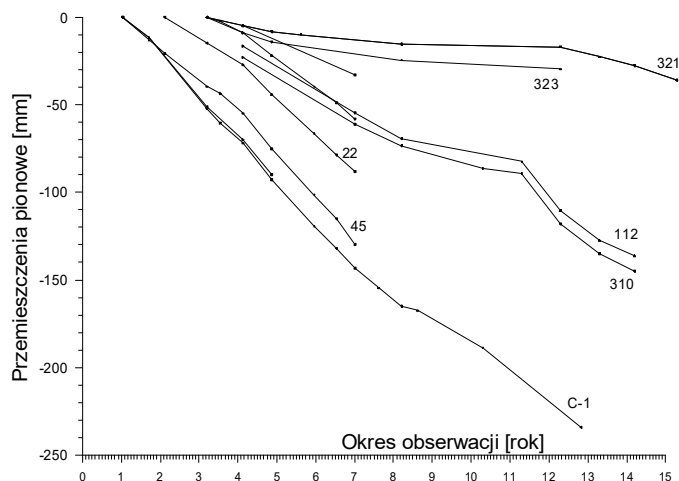
### 3.2. Pomiary przemieszczeń pionowych w wyrobiskach podziemnych

Okresowe pomiary wysokości reperów mierzone są wzdłuż głównych wyrobisk chodnikowych na kilku poziomach eksploatacyjnych kopalń soli. Pomiary prowadzone są metodą niwelacji precyzyjnej i dozwijane są do punktów stałych na powierzchni terenu.

W tym rozdziale przedstawione zostaną wyniki takich pomiarów w kopalni bocheńskiej. Repery zainstalowano na trzech poziomach kopalni: kilka na poziomie Danielowiec, kilkanaście na poz. Podmoście i kilkadziesiąt na głównym poziomie August. Największe przemieszczenia pionowe występują na najniższym poziomie Podmoście, a ich maksymalna prędkość przekracza  $-35$  mm/rok w rejonie szybu Campi. Mniejsza prędkość pionowych przemieszczeń występują na poziomie August (Rys. 5), maksymalna w ostatnich latach przekroczyła  $-16$  mm/rok. Znacznie mniejsze przemieszczenia zaobserwowano na najwyższym poziomie



Rys. 4. Nieckia osiadań w Kłodawie 1978-2011 [Hejmanowski i Malinowska, 2017]



Rys. 5. Przemieszczenia pionowe na poziomie August [Maj, 2017]

Danielowiec, maksymalne ok.  $-7,5$  mm/rok. Zróżnicowanie w maksymalnych wartościach obniżen spowodowane jest różną głębokością wyrobisk.

Przemieszczenia pionowe wewnątrz kopalń są bardzo zróżnicowane. Przyczyniają się do tego warunki lokalne. Jednak analizując główne ciągi chodnikowe między szybami można wyłonić globalne zależności.

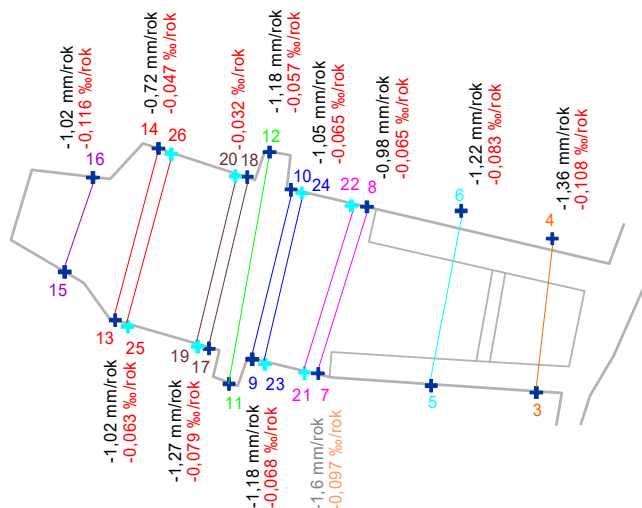
### 3.3. Pomiary konwergencji

Pomiar konwergencji polega na obserwacji zmiany odległości pomiędzy reperami zastabilizowanymi na przeciwległych ścianach wyrobiska. Rzadko mierzy się też konwergencję na bazach skośnych, między przylegającymi do siebie ścianami. Wyniki pomiarów dają informację o zaciskaniu wyrobiska, a tym samym o lokalnym ruchu górotworu w najbliższym otoczeniu pustki. Pomiary takie wykonywane są konwergencjami [Opomiarowanie..., 1987], niwelatorem z łątami precyzyjnymi [Kortas i Józefko, 2001] lub z wykorzystaniem dalmierzy laserowych [Bieniasz i in., 2003]. Częstotliwość pomiarów wynosi zwykle raz na rok.

Wyniki pomiarów konwergencji przedstawiono tutaj na przykładzie kopalni wielickiej, gdzie obserwowanych jest około 650 baz poziomych i pionowych w wyrobiskach komorowych i chodnikowych.

Szczególnym wyrobiskiem jest Kaplica Św. Kingi, najcenniejszy zbytek kultury górniczej w Polsce. Znajduje się ona w centralnym rejonie kopalni na głębokości 100 m. Założono tam 12 baz poziomych, 0,7 m nad spągiem i w środku wysokości komory, oraz 7 baz pionowych (Rys. 6 i 7).

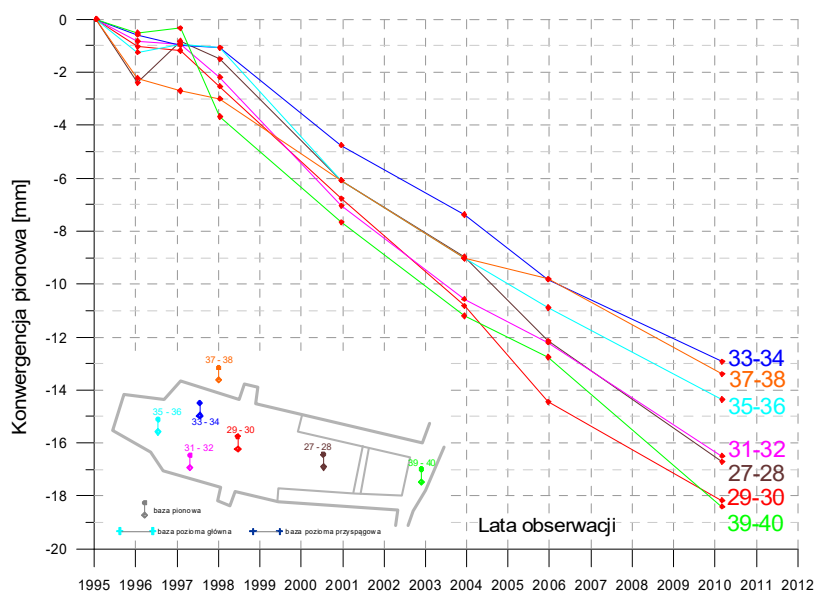
Największe wartości konwergencji poziomej obserwowane są w połowie wysokości komory (od  $-1,0$  do  $-1,3$  mm/rok), a mniejsze przy spągu (od  $-0,7$  do  $-1,2$  mm/rok). Największą prędkość konwergencji poziomej  $-1,4$  mm/rok odnotowano nad schodami (baza 3-4). Prędkości względnej konwergencji wahają się w granicach od  $-0,3$  do  $-1,0$  ‰/10 lat. Maksymalne wartości obserwowane są na skrajnych bazach w prezbiterium Kaplicy i nad schodami w chodniku dojściowym do komory.



Rys. 6. Zestawienie graficzne średnich prędkości konwergencji poziomych [Kortas i in., 2011]

Konwergencje pionowe narastają z czasem ze średnią prędkością około  $-1,1$  mm/rok (Rys. 7). Największą prędkość  $-1,3$  mm/rok występuje między schodami do Kaplicy i w centrum komory, a najmniejsze konwergencje  $-0,9$  mm/rok obserwuje się na półce w północnym ośrodku komory. Największą prędkość konwergencji względnej  $-5,6$  ‰/10 lat zaobserwowano w chodniku Kunegunda – dojściowym do Kaplicy. W zachodniej części komory prędkości wahają się od  $-1,3$  do  $-1,4$  ‰/10 lat. Pozostała część komory zaciska się z prędkością  $-1,10$  -  $-1,15$  ‰/10 lat.

Tak niewielkie tempo zaciskania Kaplica zawdzięcza swojemu położeniu na stosunkowo małej głębokości. Na niższych poziomach kopalni obserwowana jest konwergencja o wartości ponad  $-7$  ‰/rok,



Rys. 7. Konwergencje pionowe w Kaplicy w okresie 1995-2010 [Kortas i in., 2011]



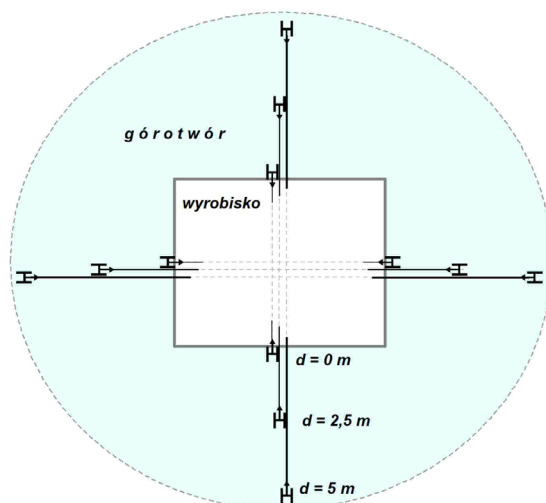
co oznacza, że w ciągu naszego życia baza skróci się o połowę. Szybkie tempo zaciskania jest korzystne w przypadku wyrobisk przeznaczonych do likwidacji, natomiast wyrobiska zabytkowe muszą być dodatkowo zabezpieczone.

Obserwowane wyrobiska w Bochni zaciskają się z prędkością do ok.  $-8,5$  %/rok na poziomie Podmoście [Maj, 2017], a w Kłodawie do ponad  $-20$  %/rok na poziomie 600 w polu 1 [Bieniasz i in., 2022]. Jeszcze szybsze tempo zaciskania zaobserwowano na głębokości 900 m ppt. w O/ZG Polkowice-Sierszowice. Oprócz głębokości dodatkowym czynnikiem przyspieszającym ruch jest wysoka temperatura górotworu. W tym przypadku obserwowana prędkość zaciskania zależy od czasu jaki upłynął od powstania wyrobiska. W początkowym okresie konwergencja może wynosić nawet 200 %/rok, po roku mierzone tempo zaciskania maleje do ok. 5-30 %/rok [Bieniasz i in., 2020]. Tak duża prędkość konwergencji powoduje konieczność przybierek w chodnikach transportowych.

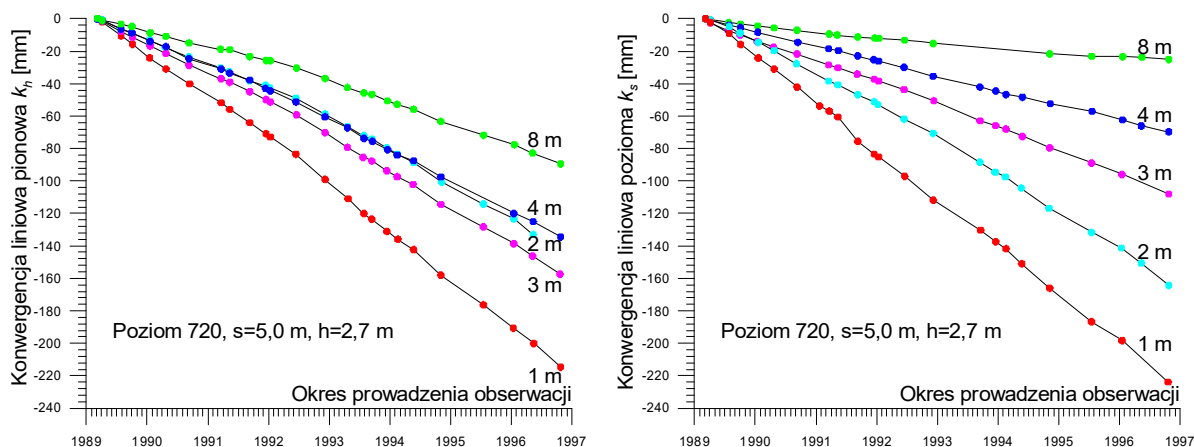
### 3.4. Pomiary odkształceń w caliznach

Odkształcenia w kopalni mierzone są ekstensometrami, złożonymi z prętów lub drutów, których końce zastabilizowane są w pewnych odległościach od konturu wyrobiska. Przy konturze wyrobiska mocowane jest urządzenie odczytowe [Projekt..., 1978].

Pierwotnie odkształcenia calizn mierzono podobnie jak konwergencję. Oprócz reperów założonych na konturze wyrobiska wiercono otwory o różnej długości i na ich końcach stabilizowano końce prętów wystające przez kontur pustki. Konwergometrem mierzono odległości między odpowiednimi końcówkami prętów. W Kłodawie założono kilka rozbudowanych stacji pomiarowych ze stabilizacją w odległościach  $d$  różnych: 1, 2, 3, 4 i 8 m. W O/ZG Polkowice-Sierszowice  $d$  wynosiło 2,5 i 5 m (Rys. 8).

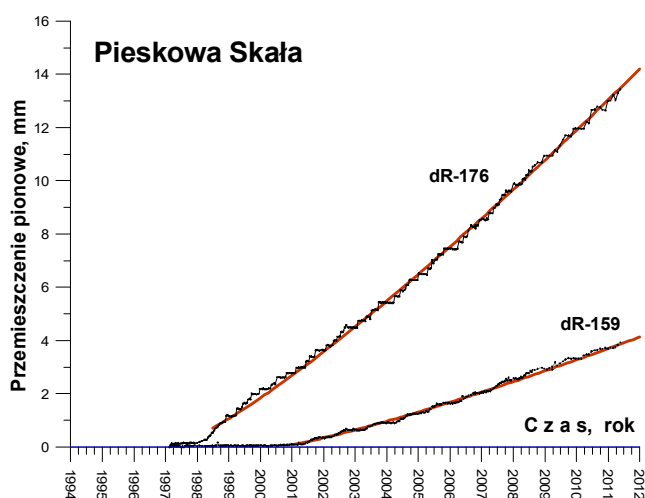


Rys. 8. Schemat stacji pomiarowej PS-2 w Sierszowicach [Maj, 2007]



Rys. 9. Porównanie pionwej i poziomej konwergencji liniowej na poziomie 720 kopalni w Kłodawie [Maj, 2012]

Obecnie coraz częściej wykorzystywane są nowoczesne mierniki elektroniczne [Orzepowski i Butra, 2004], które dokonują pomiarów z zadaną częstotliwością. Takie mierniki zainstalowano w wielu wyrobiskach kopalni w Wieliczce. Dzięki częstym pomiarom udało się zidentyfikować wiele interesujących zjawisk zachodzących w górotworze wielickim [Kortas, 2013].

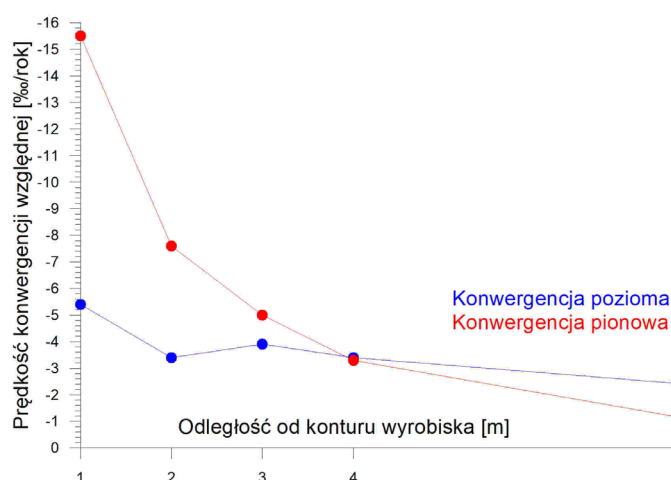


Rys. 10. Pionowe przemieszczenia stropu komory Pieskowa Skała w kopalni w Wieliczce [Kortas, 2013]

#### 4. Wykorzystanie wyników pomiarów w analizach ruchu górotworu

Skutki zjawisk zachodzących w górotworze są ze sobą powiązane, więc badania ruchu górotworu powinny porównywać ze sobą wyniki poszczególnych pomiarów. Znając wartości przemieszczeń na poszczególnych poziomach można oszacować deformacje górotworu między nimi. Na przykład w kopalni w Bochni generalnie obserwowane są deformacje rozciągające górotwór, przy czym prędkość rozciągania dochodzi do 0,3 ‰/rok [Kortas, 2004]. Pomiędzy szybami obserwowane są większe prędkości deformacji niż przy samych szybach.

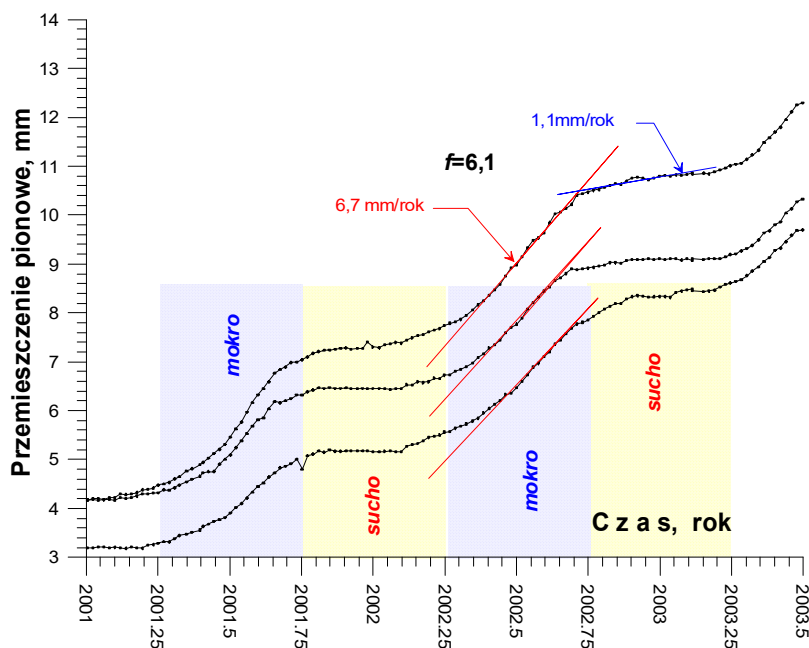
Analizując wyniki pomiarów konwergencji wyrobisk i odkształceń górotworu w kopalni w Kłodawie można zauważyć, że ruch górotworu w kierunku pionowym bardzo szybko wyhamowuje. Wartości przemieszczeń pionowych już w odległości 2 m są o połowę mniejsze niż w odległości 1 m od konturu wyrobiska (Rys. 11). Nie jest to jednak widoczne w znacznie wolniejszym ruchu poziomym, którego wartości maleją prawie liniowo.



Rys. 11. Zanikanie deformacji górotworu w oddaleniu od konturu wyrobiska na poziomie 720 kopalni w Kłodawie

Analiza wyników obserwacji przemieszczeń w stropach wyrobisk miernikami elektronicznymi, dzięki dużej częstotliwości pomiarów, dostarcza wielu cennych informacji. W Wieliczce wyraźnie widoczna jest

różnica ruchu górotworu między okresami zimowymi i letnimi (Rys. 12), kiedy do kopalni wprowadzane są znaczne ilości wilgotnego powietrza.

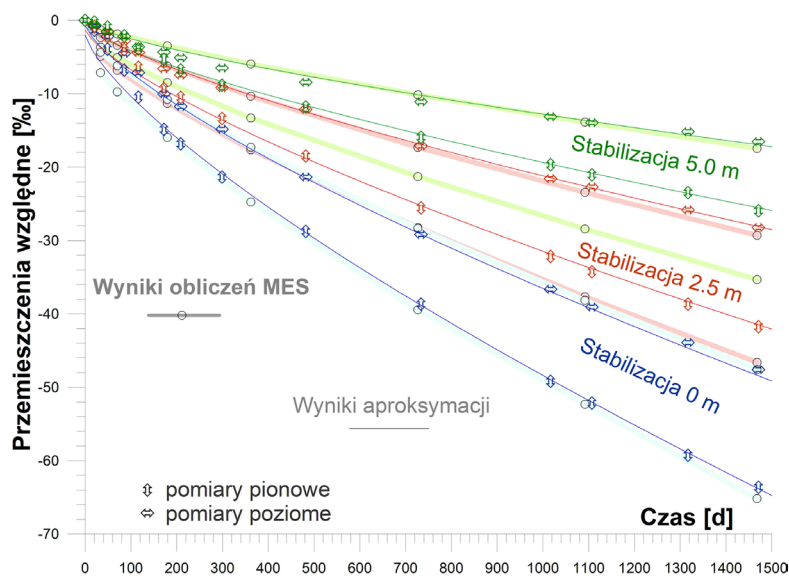


Rys. 12. Zróżnicowanie prędkości przemieszczeń w komorze Pompowni w kopalni w Wieliczce [Kortas, 2013]

Wpływ wilgotności widoczny jest także w innych wielickich komorach. Podobny proces obserwowano także w wynikach pomiarów konwergencji w komorze Ważyn w kopalni w Bochni, gdy obserwacje prowadzone były 4 razy w roku [Kortas, 2004].

Monitoring ruchu górotworu dostarcza danych wejściowych do modelowania numerycznego, w postaci wartości parametrów materiałowych, a także danych do kontroli poprawności przeprowadzanych obliczeń numerycznych. W O/ZG Polkowice-Sieroszowice w 2007 roku pracowano nad określeniem parametrów lepkich górotworu solnego zalegającego nad pokładem miedziowym [Maj, 2007]. Uzyskany wtedy zestaw wartości parametrów materiałowych weryfikowano wynikami pomiarów prowadzonych na stacji przedstawionej na rysunku 8.

Wyniki obliczeń modelem konwergencji pokrywały się z wynikami pomiarów konwergencji pionowej i poziomej, a także z wynikami pomiarów przemieszczeń poziomych w głębi górotworu (Rys. 13).



Rys. 13. Zgodność wyników obliczeń numerycznych z wynikami pomiarów [Maj, 2007]



Wyniki obliczeń przemieszczeń pionowych miały wtedy większe wartości niż wynikało to z pomiarów. Różnica spowodowana była nieuwzględnieniem w modelu występującego nad solą pokładu anhydrytu, którego wpływ zaznaczył się w wynikach pomiarów geodezyjnych. Ograniczający wpływ sztywnego anhydrytu na przemieszczenia jest widoczny również w kopalni kłodawskiej [Kortas i Maj, 2012].

## 5. Podsumowanie

Na terenach górniczych lub pogórnicych polskich kopalń soli obserwowane są przemieszczenia pionowe o wartości od 2-3 mm/rok (nad polem 1) i 7 mm/rok (nad polem 2) w Kłodawie do 15 mm/rok w Bochni i 20 mm/rok w Wieliczce. Obniżenia wewnątrz kopalń zależą od głębokości i obecności pustek nad i pod poszczególnymi poziomami. Na najniższych poziomach mogą przechodzić w wypiętrzenia [Kortas, 1984]. Ruch górotworu wokół poszczególnych wyrobisk jest bardzo zróżnicowany, jednak generalnie rośnie z głębokością. W kopalniach w Wieliczce i Bochni ruch ten jest prawie liniowy z tendencją malejącą. Takie zachowanie górotworu jest charakterystyczne dla kopalń, w których zakończono eksploatację soli, a część wyrobisk zostaje likwidowana poprzez wypełnianie. W kopalni kłodawskiej, nadal eksploatującej złoża, można zauważyć że tempo przyrostu przemieszczeń rośnie [Maj i Florkowska, 2013]. Jest to związane z ciągłym przyrostem objętości pustek.

W polskich kopalniach soli przeprowadza się szereg pomiarów, które wykorzystywane są do opisu ruchu górotworu w sąsiedztwie wyrobisk eksploatacyjnych. Każdy rodzaj pomiarów przyczynia się do lepszego opisu oddziaływania kopalń na ich otoczenie i służy innemu aspektowi rozpoznania zachowania się skomplikowanych wielopoziomowych struktur komorowo-filarowych. Jest to szczególnie istotne przy rozwijającym się trendzie przekształcania obiektów przemysłowych, w tym zakładów górniczych, w obiekty turystyczne, nawet w warunkach równoległego prowadzenia eksploatacji kopaliny, ponieważ wymusza na Zarządzających tymi obiektami obowiązek zapewnienia zwiedzającym bezpieczeństwa.

## Literatura

- Bieniasz J., Ciągło W., Wojnar W., 2003: *Nowa metoda pomiarów deformacji solnej struktury folarowo-komorowej wykorzystująca dalmierz laserowy*. Półrocznik AGH Geodezja. T. 9, z. 2/1.
- Bieniasz J., Pietras J., Marcola-Sadowska J., Kurdek D., 2022: *Zmienność zjawiska zaciskania wyrobisk komorowych w przestrzemi polu nr 2 w Kopalni Soli „Kłodawa”*. Przegląd Solny. S. 6: 20-28.
- Bieniasz J., Pietras J., Sadowski A., Wrzosek J., 2020: *Dziesięciolecie pomiarów zaciskania wyrobisk w złożu solnym O/ZG Polkowice-Sieroszowice*. Przegląd Solny. S. 62-67.
- Hejmanowski R., Malinowska A., 2017: *Wykorzystanie metody odwrotnej w estymacji osiadań powierzchni terenu dla złóż soli*. Gospodarka Surowcami Mineralnymi. Vol. 33, Iss. 3. S. 179-200.
- Kortas G., 1984: *Zachowanie filarów i półek w kopalni soli „Kłodawa”*, Górnictwo surowców chemicznych – Zbiorniki podziemne – Środowisko naturalne, Wydawnictwo Uczelniane AGH. S. 231-242.
- Kortas G. (red.), 2004: *Ruch górotworu i powierzchni w otoczeniu zabytkowych kopalń soli*. Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN. Kraków.
- Kortas G., 2013: *Long- and Short-Term Processes Indicated by the Displacement of the Chamber Roofs in the Monumental Wieliczka Salt Mine*. Archives of Mining Sciences. Vol. 58, Iss. 1. S. 119-130.
- Kortas G., 2014: *Podstawowe problemy ochrony powierzchni i górotworu w górnictwie solnym*. Przegląd Górniczy. Nr 10. S. 170-185.
- Kortas G., Józefko L., 2001: *Konwergencja komory Ważyn w zabytkowej kopalni soli Bochnia*. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska. Nr 7-8.
- Kortas G., Maj A., 2012: *Warunki geomechaniczne w caliznach chroniących kopalnię przed wodami na przykładzie kopalni soli „Kłodawa”*. Przegląd Górniczy. Nr 12. S. 112-113.
- Kortas G., Maj A., Ulmaniec P., 2011: *Ruch górotworu i konwergencje w Kaplicy Św. Kingi w kopalni soli Wieliczka*. Przegląd Górniczy. Nr. 1-2.
- Maj A., 2007: *Określenie konwergencji i właściwości lepkich górotworu solnego na przykładzie obserwacji w ZG Polkowice-Sieroszowice*. Przegląd Górniczy. Nr 6.
- Maj A., 2012: *Convergence of gallery workings in Underground salt mines*. Archives of Mining Sciences. Monograph. No. 14.
- Maj A., 2017: *Rock-Mass Movement Monitoring System in Historical Salt Mines, Using the Example of the Bochnia Salt Mine*. Procedia Engineering. Vol. 191. S. 496-503.

- Maj A., Florkowska L., 2013: *Obserwacja oddziaływania wyrobisk na powierzchnię terenu w warunkach kopalń soli*. Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN. T. 15, Nr 3-4. S. 107-113.
- Opomiarowanie konwergencji wyrobisk rejonu komór cylindrycznych. Sprawozdanie z wykonania odczytów i bieżąca interpretacja wyników*. OBRGSCHEM. CHEMKOP, Kraków, styczeń 1987 (archiwum Chemkop).
- Orzepowski S., Butra J., 2004: *Ocena stropów w wyrobiskach rud miedzi KGHM na podstawie pomiaru prędkości rozwarstwiania*. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie. Nr 11.
- Projekt prac badawczych w K. S. Kłodawa w zakresie lokalnych pomiarów odkształceń i naprężeń*. OBRGSCHEM. CHEMKOP, Kraków, styczeń 1978 (archiwum Chemkop).

## Measurement of rock mass movement in salt mines

### Abstract

Excavation voids generate hazards in mines. Ensuring safety is the primary task of mining supervision. One of the main hazards in underground salt mines is the risk of collapse. The analysis of the rock mass movement, through the knowledge of its behaviour, helps to control the collapse hazards. In Polish salt mines, the various methods of the rock mass movements have been used. Observations of subsidence trough on the surface, room closure and deformations of shelves and pillars are carried out. The methods of rock mass motion measurements with the examples of results and the exemplary effects of the analysis of observation results are presented in the article.

**Keywords:** rock mass movement, underground salt mines, displacements, convergence