

Konwergencja w warunkach nieregularnie rozproszonych wyrobisk, na przykładzie kopalni Wieliczka

AGNIESZKA MAJ

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

Streszczenie

Prognozując wpływy eksploatacji na zabudowę terenu wywołane nieregularnie rozproszonymi wyrobiskami komorowymi wykorzystuje się powiązanie ich zaciskania z osiadaniami i deformacją powierzchni. Mierzalną właściwością zaciskania wyrobisk jest konwergencja, zależna od czynników geometrycznych i fizycznych. Ten związek był dotychczas przedmiotem publikacji, w których rozpatrywano wpływy zaciskania pojedynczego wyrobiska lub zespołu wyrobisk tworzących regularną strukturę.

W badaniach relacji pomiędzy zaciskaniem nieregularnie rozproszonych wyrobisk a warunkami geologiczno-górnictwymi występuje problem uporządkowania obszernych danych pomiarowych, to jest stworzenia jednolitej bazy danych z wieloletnich obserwacji, określenia kryteriów dokładności pomiarów i ich celów. Na podstawie dotychczasowych obserwacji konwergencji w kopalni soli Wieliczka, sporządzono wycinkowe bazy danych i wyłoniono cele, jakim służyć powinny te pomiary. Pokazano różnorodność metod pomiarów, stosowane przyrządy, przeprowadzono analizę ich dokładności i powiązanej z tym częstotliwości pomiaru. Na wykresach zależności konwergencji od czasu pokazano zróżnicowanie tego związku wynikające z warunków geologiczno-górnictwowych oraz typowy proces narastania konwergencji z jednakową prędkością. Omówiono stosowane w praktyce górniczej prezentacje wyników pomiarów, wskazując na potrzebę powiązania dokładności pomiaru z częstotliwością pomiaru uzależnioną od warunków geologiczno-górnictwowych. Praca pokazuje charakterystykę zachowania się wyrobisk komorowych w Wieliczce, jednak powiązanie obserwowanych przemieszczeń ze skomplikowanymi warunkami geologiczno-górnictwowymi wymaga dalszych studiów, których warunkiem jest dalsze, pełniejsze uporządkowanie baz danych.

Słowa kluczowe: konwergencja, górotwór solny, kopalnia Wieliczka

Wstęp

Struktura wielopoziomowych kopalń soli może być regularna, jak np. w kopalni Kłodawa lub nieregularna, jak w historycznych kopalniach soli w Wieliczce i w Bochni. W warunkach wielopoziomowych kopalń soli do prognozowania wpływów eksploatacji na zabudowę terenu wykorzystuje się powiązanie ich zaciskania z osiadaniami i deformacją powierzchni (Kortas 1989, Hejmanowski 2004). Mierzalną właściwością zjawiska zaciskania jest konwergencja (Maj 2009). Zależność konwergencji od czynników geometrycznych i fizycznych dla pojedynczego wyrobiska lub regularnej struktury wyrobisk była przedmiotem wielu publikacji (Jeremic, 1994; Kortas, 2004; Kortas i Maj, 2005; Maj, 2008a, 2008b). W warunkach nieregularnie rozproszonych wyrobisk powiązanie zaciskania komór z warunkami geologiczno-górnictwowymi i jego określenie w przy zastosowaniu modeli fizycznych jest bardzo trudne ze względu na skomplikowane warunki geometryczne i niejednorodność górotworu. W fazie początkowych prac badawczych najpierw rozpoznać trzeba te warunki, ale także wyniki wieloletnich pomiarów. Obszerny zbiór wyników pomiarów konwergencji udostępniony został przez Kopalnię Soli Wieliczka w 2011 r. (*Wykonanie...* 2005, 2010; *Wyniki...* 2011).

W pracy przedstawiono charakterystykę warunków geologiczno-górnictwowych i dotychczasowych pomiarów. Główne prace polegały jednak na uporządkowaniu danych pomiarowych i przygotowaniu wycinkowych baz danych, które umożliwiły przedstawienie związku konwergencji z czasem. Pokazano różnorodność technik prowadzenia pomiarów i przetworzeń wyników w praktyce górniczej, dokładność pomiarów i ich częstotliwość oraz charakterystyczne zaciskanie się wyrobisk komorowych w Wieliczce.

1. Warunki geologiczno-górnice kopalni soli Wieliczka

Złoże soli kamiennej Wieliczka stanowi niewielki wycinek osadów morskiego miocenu wypełniających zapadlisko przedkarpackie i posiada ścisły związek genetyczny z budową geologiczną tego rejonu. Powstało około 13,6 mln lat temu w wyniku sedymentacji osadów w morzu miocenijskim, a następnie uformowane zostało tektonicznymi ruchami górotwórczymi. Profil litostratygraficzny złoża i jego otoczenia obejmuje utwory mezozoiczne (jura i kreda) oraz kenozoiczne (neogen i czwartorzęd). Utwory solne i ich otoczenie poddawane były procesom tektonicznym związanym z formowaniem się górotworu karpackiego. Konsekwencją tego jest skomplikowana budowa wewnętrzna złoża (Toboła, 2004).

Zasadniczą cechą budowy geologicznej złoża soli kamiennej Wieliczka jest jego dwudzielność. Dzieli się na górne złożo bryłowe i dolne pokładowe. Złożo bryłowe zbudowane jest z brył soli kamiennych o zróżnicowanych wymiarach, rozmieszczonych w iłowcach marglistych z halitem zwanych zubrami. Złożo pokładowe to zróżnicowane litologicznie warstwy soli kamiennych poprzedzielane iłowcami i mułowcami z anhydrytem.

Początkowo eksploatowano w Wieliczce bryły soli, zalegające na głębokości nie przekraczającej 140 m. Chodniki, prowadzone w kierunku wschód-zachód (wzdłuż rozciągłości) i północ-południe (wzdłuż upadu), napotykały na losowo rozłożone w górotworze skupiska soli, które eksploatowano systemem komorowym ze schodowo-stropowym lub schodowo-spągowym wybieraniem złoża. System ten polegał na udostępnianiu bryły chodnikami w górnej i dolnej jej części; następnie przebijano szybik lub pochylnię i wybierano bryłę z góry na dół schodowo, pozostawiając przy granicy bryły ochronną warstwę soli. Większe komory wzmocniano konstrukcjami drewnianymi. Taki system wydobywania zastosowano na poziomach: I, II wyższym, II niższym, III i IV. Na poziomach niższych (od V do IX) złożo soli pokładowej eksploatowano systemem komorowym właściwym (z pozostawieniem filarów między komorami). Od 1911 r. wprowadzono w kopalni ługowanie soli; początkowo systemem komorowym z ługowaniem natryskowym i dosycaniem solanki w wieżach ługowniczych, a od 1948 r. – systemem ługowania komorowego. Wykorzystanie złoża wynosiło od 20% do 25%, w zależności od systemu wydobywania.

Obecnie w kopalni znajduje się dziewięć poziomów eksploatacyjnych (najniższy z nich – IX – został zatopiony w 1992 r. podczas katastrofalnego wypływu wody do poprzeczni „Mina”). Odległość między skrajnymi wyrobiskami wynosi 5,5 km z zachodu na wschód i około 1 km z północy na południe. Przez okres eksploatacji zgłębiono ogółem 20 szybów; spośród nich 7 przetrwało do dziś. Sumaryczna objętość wyrobisk w kopalni „Wieliczka” wynosi około 7,5 mln m³ (Szewczyk, 2004).

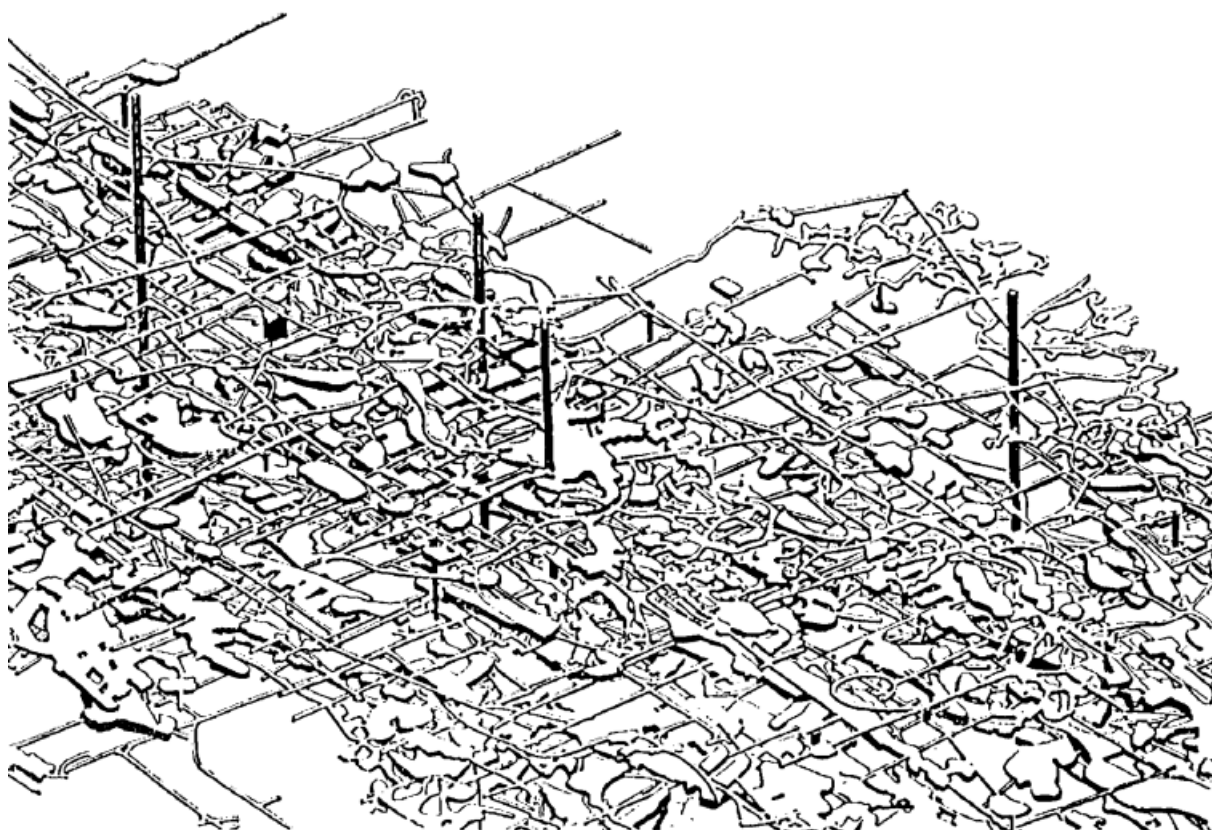
Wielowiekowa eksploatacja spowodowała powstanie nadzwyczaj skomplikowanego systemu wyrobisk, nie spotykanego w innych kopalniach podziemnych. Pojęcie o stopniu tej komplikacji można uzyskać na podstawie mapy przestrzennej, przedstawiającej wyrobiska w centralnej części kopalni (rys. 1). Degradacja kopalni w wyniku procesów zawałowych i konwergencji powoduje, że znaczna część wyrobisk jest obecnie niedostępna.

2. Pomiary konwergencji w Wieliczce

Po katastrofalnym zatopieniu kopalni soli Wapno w 1977 wprowadzono obowiązek prowadzenia pomiarów konwergencji we wszystkich podziemnych kopalniach soli. Stąd rozbudowa w wielu kopalniach stacji pomiarowych pod koniec lat 70-tych ub. wieku, w tym w kopalni Wieliczka. Głównym tego celem było uzyskanie danych o zaciskaniu wyrobisk i monitorowanie ewentualnego zwiększenia się ruchu górotworu, a w kopalniach zabytkowych także w miejscach szczególnego zagrożenia dla przebywających tam ludzi.

W Wieliczce dla uchwycenia powiązania konwergencji ze zróżnicowanymi warunkami geologiczno-górnictwymi założono kilkadziesiąt baz rozmieszczonych na wielu poziomach, w różnych częściach kopalni. Zakładanie w jednym wyrobisku kilkunastu baz pomiarowych miało na celu próbę rozpoznania zjawiska zaciskania w złożonych geometrycznie bryłach komór. Tak obserwowanych jest wiele wielickich wyrobisk, a wśród nich Kaplica Św. Kingi. Innym celem pomiarów jest szacowanie właściwości geomechanicznych górotworu czy określenie aktywności deformacyjnej górotworu.

Trudności z uporządkowaniem olbrzymiego i niejednorodnego materiału pomiarowego oraz zróżnicowanie warunków geologiczno-górnictwowych, zaznaczające się w znacznym rozrzucie wartości konwergencji, nie pozwalają na pełne osiągnięcie tych celów. Obecnie stwierdzić można, że w obszarze struktury górniczej kopalni rozpoznane są tylko objawy zaciskania wyrobisk (Maj, 2009).



Rys. 1. Mapa przestrzenna centralnej części wyrobisk Wieliczki (wg J. Siembaba w: Szewczyk 2004)

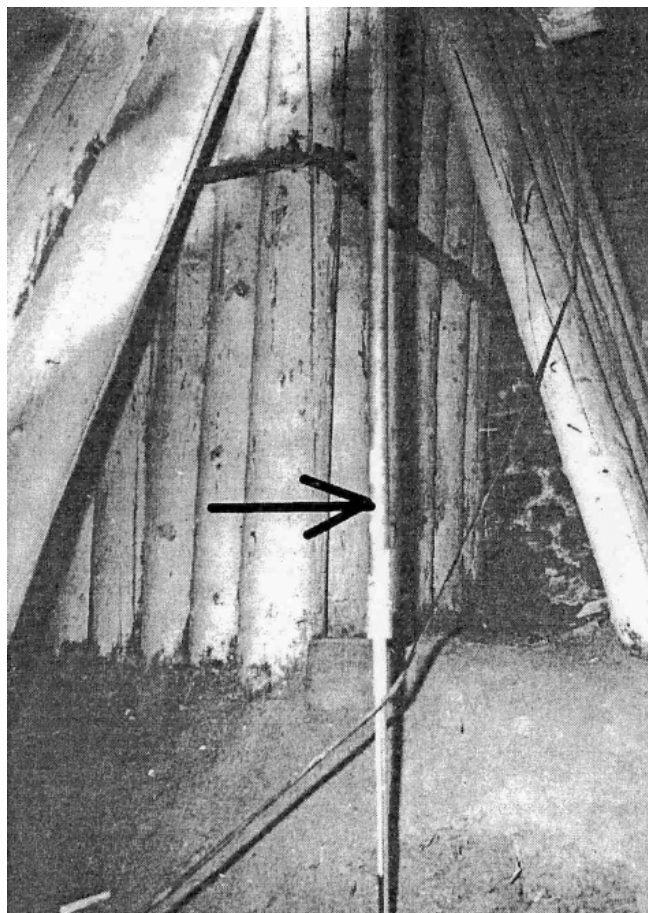
W roku 2010 pomierzone zostały w Wieliczce łącznie 652 bazy, w tym: 452 bazy przez Chemkop i 180 bazy przez DM Kopalni Wieliczka. Pełna analiza wyników pomiarów konwergencji tak obszernego i niejednolicie zestawionych danych pomiarowych wymaga sporządzenia numerycznej, uporządkowanej bazy danych o konwergencji, która poza wynikami pomiarów zawierałaby lokalizację wyrobiska, dane o lokalizacji i pozycji baz w wyrobisku, kształcie i wymiarach mierzonego wyrobiska, jego położeniu względem innych wyrobisk, warunkach geologicznych i hydrogeologicznych panujących wokół wyrobiska, rodzaju i umiejscowieniu obudowy czy wzmocnień, a także innych czynników mających wpływ na proces zaciskania, w tym np. dane o sposobie wentylacji oraz o czasie i rodzaju prowadzonych w wyrobisku lub jego okolicach robót górniczych.

W bazie takiej powinny znajdować się również informacje o rodzaju przyrządu pomiarowego i wartości błędu średniego określenia konwergencji. Baza spełniająca wymogi numerycznej bazy danych pozwala na właściwe przetwarzanie danych w celu ich analizy i interpretacji. Dopiero po takim wstępnym przetworzeniu można przystąpić do kierunkowych studiów, dotyczących szczególnych przypadków i ich uogólnień. Prace w kierunku sporządzenia takiej bazy zapoczątkowane zostały w 2011 r. Dotychczasowe prace wskazują, że brak pełnej bazy danych pozwala jedynie na fragmentaryczną analizę konwergencji, którą tutaj przedstawiono na kilku charakterystycznych przykładach.

3. Stosowane przyrządy pomiarowe i dokładność pomiaru

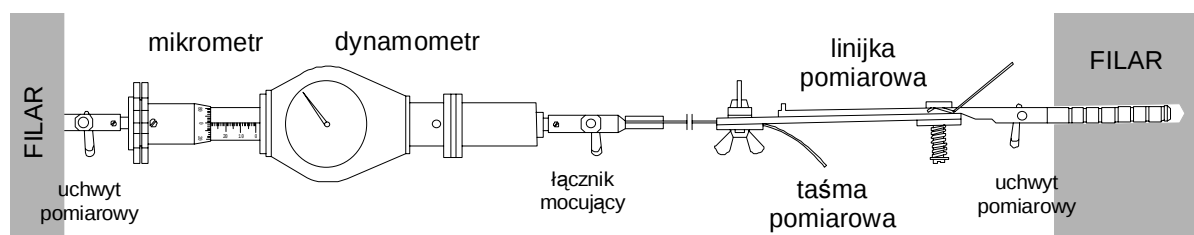
Do pomiarów konwergencji stosowane są przyrządy o różnej konstrukcji i różnych dokładnościach, stacjonarne i przenośne. Najstarszym przyrządem w kopalni Wieliczka jest tak zwana „baza rurowa” założona na przykład w komorze Michałowice (rys. 2). Dwie stalowe rury zakotwiczone są w spągu i stropie w ten sposób, że jedna wchodzi w drugą. Długość odczytuje się z milimetrowej linijki i czujnika mikrometrycznego o rozdzielczości 0,01 mm. Niestety kilka lat temu baza została zniszczona podczas przebudowy wyrobiska.

Przyrządami przenośnymi są konwergometr taśmowy, prętowy i dalmierz laserowy. W konwergometrze taśmowym (rys. 3) urządzeniem pomiarowym jest taśma miernicza naciągana z siłą 100 N, linijka i śruba

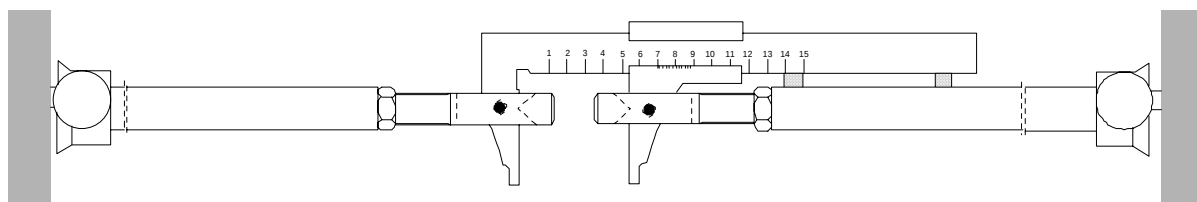


Rys. 2. Baza rurowa w komorze Michałowie (Bieniasz i Wojnar, 2007)

mikrometryczna. Konwergometr z urządzeniem pomiarowym w postaci prętów (rys. 4) jest tak skonstruowany, aby zapewnić sztywność całego przyrządu. Urządzeniem odczytowym jest suwmiarka. Najczęściej stosowanym obecnie przyrządem do pomiaru konwergencji jest dalmierz laserowy (rys. 5).



Rys. 3. Konwergometr taśmowy ze śrubą mikrometryczną GK-1 (*Opomiarowanie...*, 1987)



Rys. 4. Konwergometr prętowy z suwmiarką (*Opomiarowanie...*, 1987)



Rys. 5. Dalmierz laserowy i tarcza celownicza przymocowane do specjalnie zastabilizowanych znaków pomiarowych (www.chemkop.pl)

Określenie dokładności pomiaru jest konieczne dla oceny jakości i częstotliwości pomiaru. Dokładność zależy od stosowanych urządzeń, czynności pomiarowych i warunków, w jakich prowadzone są pomiary. Konwergometri taśmowe ze stałym naciągami i z wbudowanymi śrubami mikrometrycznymi osiągają według producenta dokładność $\pm 0,3$ mm, a średni błąd określenia konwergencji to ok. $\pm 0,5$ mm/25 m. Podczas badania dokładności w warunkach kopalnianych maksymalny średni błąd pojedynczego spostrzeżenia wyniósł $\pm 0,27$ mm, a maksymalny średni błąd średniej arytmetycznej $\pm 0,16$ mm. Błędy względne, obliczone jako stosunek błędu średniego pomiaru długości do długości, nie przekraczały wartości 1:15000, z tym, że tylko 15% błędów względnych przekraczało wartość 1:50000. Średni błąd wyznaczenia konwergencji w kopalni Kłodawa wyniósł $\pm 0,06$ mm/3 m, a średni błąd konwergencji względnej to $\pm 0,02\%$ L . Stąd błąd graniczny wynosi $\pm 0,06\%$ L . Średni błąd pomiaru konwergencji względnej w Kaplicy Św. Kingi w kopalni Wieliczka, z uwagi na trudniejsze warunki, jest zapewne większy i przy niekorzystnie usytuowanych bazach osiągać może $\pm 0,05\%$ L , a dla baz pionowych $\pm 0,03\%$ L .

Wobec braku oznaczenia błędów średnich pomiaru dalmierzem Disto w realnych warunkach pomiarowych, przytoczono wyniki oznaczeń laboratoryjnych, w których porównywane są długości zmierzone przez dalmierz i interferometr (Wykonanie..., 2005, 2010). W warunkach laboratoryjnych błędy pojedynczego pomiaru odległości dalmierzem wynoszą:

$$m_{D2010} = \pm 1,1 \text{ mm} ; \quad m_{D2005} = \pm 2,0 \text{ mm}$$

i nie zależą od długości. Średnie błędy średnich arytmetycznych z trzech powtórzeń wynoszą:

$$m_{\bar{D}2010} = \pm \frac{m_{D2010}}{\sqrt{n}} = \pm \frac{1,1}{\sqrt{3}} = \pm 0,635 \text{ mm}; \quad m_{\bar{D}2005} = \pm \frac{m_{D2005}}{\sqrt{n}} = \pm \frac{2,0}{\sqrt{3}} = \pm 1,155 \text{ mm}$$

Średnie błędy średnich arytmetycznych są podstawą do wyznaczenia błędu pomiaru konwergencji. Jeżeli $k = D_{2010} - D_{2005}$, to z prawa przenoszenia błędów średnich Gaussa:

$$m_k = \pm \sqrt{m_{\bar{D}2010}^2 + m_{\bar{D}2005}^2} = \pm 1,318 \text{ mm}$$

Z uwagi na określenie średniego błędu pojedynczego pomiaru długości w warunkach laboratoryjnych a nie kopalnianych, pomiar konwergencji można uznać za istotny, gdy jej wartość przekracza trzykrotny błąd średni czyli ok. ± 4 mm. Wartości mniejszych nie można interpretować jako zaciskania wyrobiska. Na 632 bazy pomierzone w 2010 r. 176 baz nie spełnia kryterium przekroczenia 3-krotnego błędu średniego pomiaru konwergencji.

Częstotliwość pomiarów, czyli odstęp pomiędzy dwiema seriami pomiarów długości baz, zależeć powinna od szybkości procesu zaciskania wyrobiska. Aby zauważyć proces w wynikach pomiarów, prędkość konwergencji powinna być większa niż błąd graniczny jej wyznaczenia, czyli: $|\dot{k}| > 3|m_k|$. Błąd wyznaczenia

prędkości konwergencji jest równy błędowi pomiaru konwergencji podzielonemu przez odstęp czasu między pomiarami, ponieważ błąd pomiaru czasu można pominąć: $m_k = \frac{m_k}{\Delta t}$. Można więc napisać: $|\dot{k}| > 3 \frac{|m_k|}{\Delta t}$,

stąd minimalny odstęp między pomiarami wynosi: $\Delta t_{\min} = 3 \frac{|m_k|}{|\dot{k}|}$. Przy prędkości konwergencji osiągającej

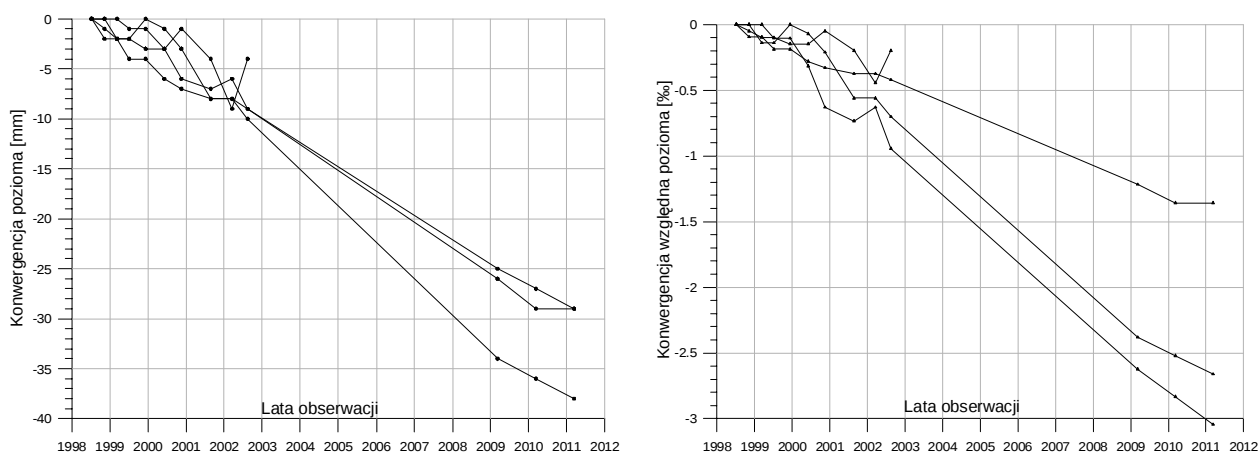
w wyrobiskach kopalni w Wieliczce wartość ok. -1 mm/rok częstotliwość pomiarów powinna wynosić 4 lata, pod warunkiem zachowania powyższych błędów pojedynczych pomiarów odległości.

4. Wyniki pomiarów konwergencji w kopalni Wieliczka

Na 180 baz pomierzonych przez pracowników Kopalni (*Wyniki...*, 2011) 82 założone były w ciągu ostatnich 3 lat. Określone dla tych baz wartości konwergencji nie spełniają kryterium istotności. Z tego względu nie były analizowane. Dotyczy to baz poziomych zakładanych w komorach na trasie turystycznej, w Muzeum Żup Krakowskich i w komorze Jezioro Wessel oraz baz w komorach na poziomie III: Stajnia Gór Wschodnich, Ferdynand, Ferdynand d'Este, Wałczyn, Brygida, Sartory, Margielnik, Saurau.

Bazy mierzone w dłuższym przedziale czasu spełniają kryterium istotności. Są to bazy pionowe, zakładane w celu kontroli procesów obwałowych w komorach. Wyjątkiem są poziome bazy w komorze Jezioro Wessel mierzone od 1998 r., na których wznowiono w 2009 r. pomiary po 7 latach przerwy.

Konwergencja pozioma w komorze Jezioro Wessel osiągnęła wartość od -29 do -38 mm w ciągu 13 lat, czyli $-2,2$ do $-3,0$ mm/rok, a w wartościach względnych to od $-0,1$ do $-0,2$ ‰/rok. Konwergencję w komorze pokazano na rys. 6.

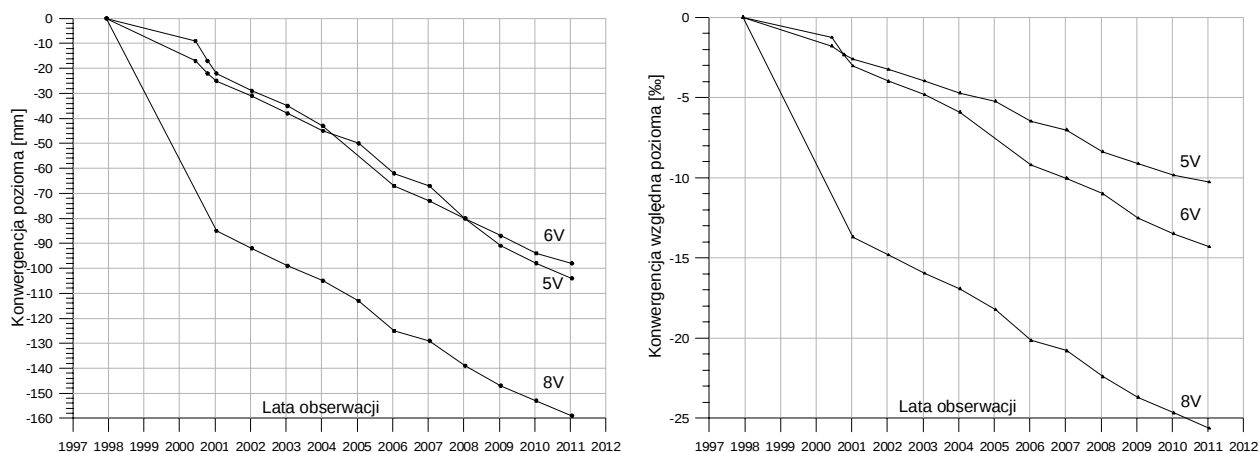


Rys. 6. Konwergencja w komorze Jezioro Wessel

Konwergencja pionowa jest bardzo zróżnicowana: od 0 do -8 mm/rok. Zróżnicowanie zaznacza się nawet w obrębie jednego wyrobiska. Przykładem może być komora Pieskowa Skała. Dwie bazy pionowe o zbliżonej długości (2,2 m) wykazują skrajne wartości: -33 mm ($-5,5$ mm/rok; $-2,5$ ‰/rok) i praktycznie 0 mm. Takie zróżnicowanie to wynik bardzo złożonej geometrii tego wyrobiska.

Brak zaciskania w kierunku pionowym wykazują komory: Kopernik, Legenda, Kazimierz Wielki, Wioska, Barącza, Michałowice, Staszic (jedna z baz wykazuje rozciąganie), Wisła. Wyznaczona w tych wyrobiskach konwergencja znajduje się w granicach 3-krotnego błędu średniego.

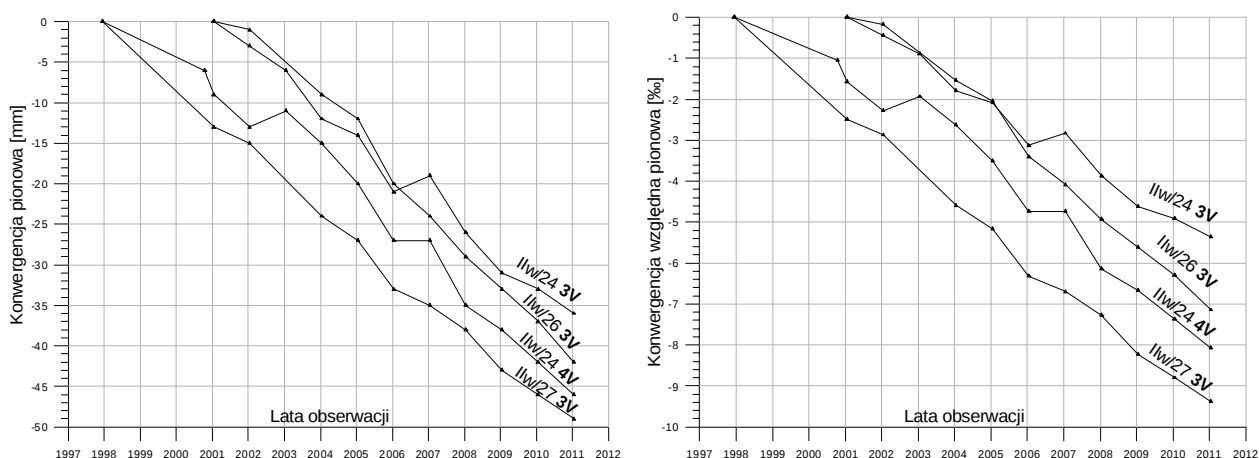
Maksymalne konwergencje pionowe obserwowane są w zespole komór Ksawery: od -98 do -159 mm w ciągu 13 lat. Prędkość konwergencji wynosi ok. -8 mm/rok, a prędkość konwergencji względnej od $-0,7$ do $-1,1$ ‰/rok. Na rys. 7 widoczna jest prawie liniowa w czasie konwergencja w komorach Ksawery. W pozostałych komorach zapadliskowych prędkość konwergencji nie przekracza $-0,75$ ‰/rok. Zauważyć trzeba, że prędkość konwergencji mierzona dla bazy 8V w ostatnich 10 latach jest taka sama, jak dla baz 5V i 6V, a widoczna na wykresach różnica konwergencji wynikać może z błędu pomiarowego popełnionego w 1998 r. Brak wyników konwergencji z 2000 r. może wskazywać na uszkodzenie bazy w tym miejscu komory.



Rys. 7. Konwergencja w komorach Ksawery na poziomie II n

Również na wyższym poziomie – II w – w zespole komór Ksawery na wielu bazach obserwowane są prawie jednakowe prędkości konwergencji, osiągające wartość ok. $-0,7$ ‰/rok (rys. 8).

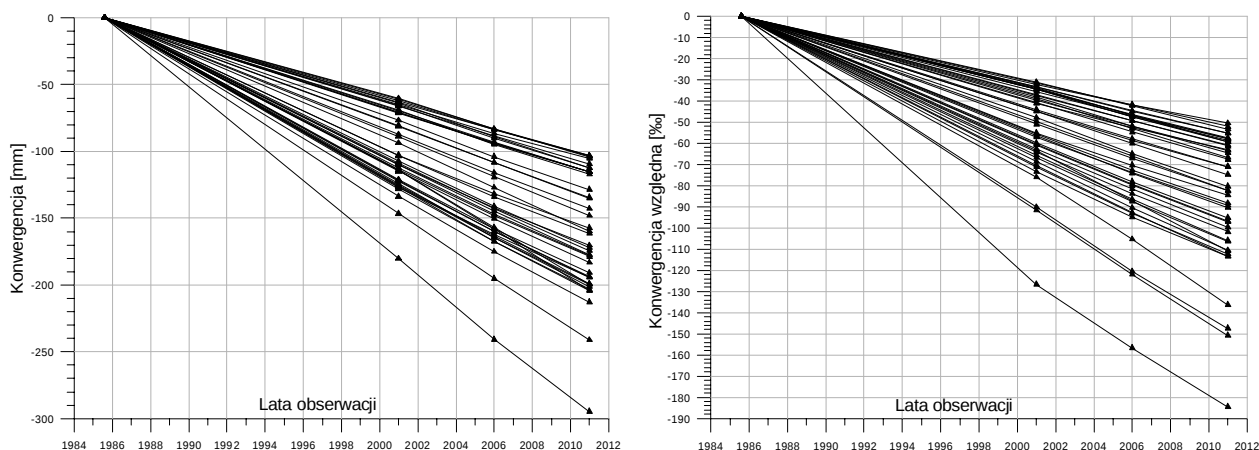
Na 452 bazy pomierzone w 2010 r. przez OBR Chemkop (*Wykonanie...*, 2005, 2010) 94 nie spełnia kryterium przekroczenia 3-krotnego błędu średniego pomiaru konwergencji. W tym czasie na bazie pionowej 6V w komorze Saurau stwierdzono konwergencję o wartości -396 mm, co może być wynikiem znacznego lokalnego odspojenia skał w stropie wyrobiska, bo we wcześniejszym okresie konwergencja wynosiła -5 mm.



Rys. 8. Konwergencja w komorach Ksawery na poziomie II w

Największą konwergencję na I poziomie kopalni o wartości -44 mm ($-8,8$ mm/rok) odnotowano w komorze Kazimierz Wielki na bazie 1H. Największa konwergencja względna to $-5‰$ (-1 ‰/rok) na bazie 3H w komorze Gospoda. Na poziomie II w maksymalna konwergencja wynosiła -60 mm (-12 mm/rok) w komorze Ksawery, a maksymalna konwergencja względna to $-20‰$ (-4 ‰/rok) również w komorze Ksawery. Na poziomie II n odpowiednio -51 mm (-10 mm/rok) w komorze II n/45 i $-22,4‰$ ($-4,5$ ‰/rok) w Ferro, a na poziomie III: $-53,9$ mm ($-10,8$ mm/rok) w komorze Wojciech i $-30,9‰$ ($-6,2$ ‰/rok) również w komorze Wojciech – W183.

W wynikach pomiarów z 2011 r. na 14 bazach pojawiły się dodatnie wartości konwergencji. W czterech przypadkach wartości dodatnie pojawiły się też w pomiarach z roku 2006, dotyczy to wyrobisk: komora Baum – bazy W57 i W61, podłużnia Geramb na poz. III – baza SC21Hd oraz komora Mazurczak – baza 1H. Należy zauważyć, że rozszerzanie w/w baz nie jest znaczące i nie przekracza $+0,25‰$ /rok. Pozostałe rozciągania baz będą wiarygodne, jeżeli tendencja ta powtórzy się w następnych obserwacjach. Większość wyników znajduje się poniżej kryterium 3-krotnego błędu średniego pomiaru konwergencji.



Rys. 9. Maksymalne konwergencje mierzone przez Chemkop (zespoły komór Ksawery, Baum, Ferro, Wojciech i Magdalena)

Największe wartości konwergencji określonej od pomiaru początkowego rejestrowane są w zespołach komór Ksawery, Baum, Ferro, Wojciech i Magdalena. Chociaż nie są dostępne wyniki pomiarów pomiędzy 1985 a 2001 rokiem, można uznać, że w 25-letnim okresie obserwacji konwergencja prawdopodobnie narastała liniowo w czasie, co potwierdza zgodność prędkości konwergencji w okresach 1985-2001 i 2001-2010. Maksymalna konwergencja to $-295,1$ mm od 1985 roku, czyli $-11,6$ mm/rok ($-7,3$ ‰/rok) na bazie W241 w komorze Wojciech na III poziomie. Baza ta w ciągu 25 lat skróciła się prawie o 20%, długość pozostałych baz przedstawionych na rys. 9 zmniejszyła się o 5-15%. Należy zaznaczyć, że jest to bardzo duża prędkość zaciskania na stosunkowo małej głębokości.

Obserwowana w Wieliczce konwergencja na charakter zbliżony do liniowego (rys. 9). Trudno doszukać się charakterystycznej dla procesu zaciskania w górotworze solnym potęgowej zależności konwergencji z czasem. Należy jednak pamiętać, że wyrobiska wielickie mają po kilkaset lat, a okres obserwacji to co najwyżej 25 lat. Ponadto jest to okres najmniej zauważalnych zmian. W tak krótkim w stosunku do okresu istnienia wyrobiska okresie obserwacji wystarczające jest aproksymowanie wyników pomiarów funkcją liniową czasu.

4. Podsumowanie

1. Gromadzenie danych z obserwacji konwergencji wymaga ścisłego zachowania reguł prowadzenia numerycznych baz danych. Obecny sposób stwarza ogromne trudności przy przetwarzaniu danych standardowymi programami analizy danych. Wszelkie dalsze prace analityczne w zakresie obserwacji konwergencji wymagają opracowania graficznej bazy danych o komorach, w których prowadzone są pomiary konwergencji.

2. Pomiary konwergencji prowadzone są w kilkudziesięciu wyrobiskach kopalni na ok. 650 bazach. Obserwowane wyrobiska zlokalizowane są głównie na 4 najwyższych poziomach i skupione w kilku rejonach, nie zapewniając objęcia rejestracją całego obszaru poszczególnych poziomów. Pomimo tak olbrzymiego i zróżnicowanego materiału pomiarowego nie jest możliwa analiza statystyczna wyników pomiarów, ze względu na wybitnie nielosowy wybór miejsc pomiaru.

3. Do pomiaru konwergencji wykorzystywane są przede wszystkim precyzyjne dalmierze DISTO zapewniając możliwość określania konwergencji z błędem średnim $m_k = \pm 1,3$ mm. Określenie konwergencji we wcześniejszych okresach obarczone było większymi błędami ze względu na stosowanie mniej dokładnych przyrządów. Z dokładnością określenia konwergencji związana jest częstotliwość wykonywania pomiarów. Przy prędkości konwergencji ok. -1 mm/rok i $m_k = \pm 1,3$ mm, pomiary powinny być wykonywane z częstotliwością nie mniejszą niż 4 lata. Częściej wykonywane pomiary mają sens pod warunkiem zastosowania bardziej dokładnych przyrządów. Wyniki pomiarów konwergencji w granicach 3-krotnego błędu, czyli konwergencje o wartościach do -4 mm, uważa się za nieistotne.

4. Wyniki pomiarów pokazują generalnie liniową zależność konwergencji od czasu. Najbardziej jest to widoczne na bazach zlokalizowanych w wyrobiskach zapadliskowych, gdzie konwergencje dochodzą

do prawie 20% w ciągu 25 lat. Uwzględniając niewielką głębokość wyrobisk, takie wartości konwergencji należy uznać za bardzo znaczące. Zauważa się także zależność konwergencji od głębokości wyrobiska. Maksymalne prędkości konwergencji wynoszą: -1 ‰/rok na I poziomie, -4 ‰/rok na poziomie IIw, $-4,5\text{ ‰/rok}$ na poziomie IIIn i $-6,2\text{ ‰/rok}$ na poziomie III.

5. Praca pokazuje wstępną charakterystykę zachowania się wyrobisk komorowych w Wieliczce. Powiązanie obserwowanych przemieszczeń ze skomplikowanymi warunkami geologiczno-górnictwymi wymaga dalszych studiów, których warunkiem jest dalsze pełniejsze uporządkowanie baz danych o konwergencji w kopalni Wieliczka.

Praca została wykonana w roku 2011 w ramach prac statutowych realizowanych w IMG PAN w Krakowie, finansowanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Literatura

- Bieniasz J., Wojnar W., 2007: *Zarys historii pomiarów i wybrane wyniki obserwacji zjawiska konwergencji wyrobisk w pokładowych złożach soli*, Gospodarka Surowcami Mineralnymi, T. 23, z. spec., s. 133-142.
- Hejmanowski R., 2004: *Czasoprzestrzenny opis deformacji górotworu wywołanych filarowo-komorową eksploatacją złoża pokładowego*, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Rozprawy-Monografie Nr 131, Kraków.
- Jeremic M.L., 1994: *Rock Mechanics in Salt Mining*, AA Balkema, Rotterdam, Brookfield, 1994.
- Kortas G., 1989: *Przemieszczenia i odkształcenia w wielopoziomowych komorowo-filarowych kopalniach soli*, Zeszyty Naukowe AGH Nr 1207, Geodezja z. 101, Kraków.
- Kortas G. (red.), 2004: *Ruch górotworu i powierzchni w otoczeniu zabytkowych kopalń soli*, Wydawnictwo Inst. Gosp. Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków.
- Kortas G., Maj A., 2005: *Modelowanie konwergencji w modularnej strukturze wielopoziomowej kopalni soli*, Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN Tom 7, Nr 3-4, Kraków.
- Maj A., 2008a: *Wpływ parametrów ośrodka sprężysto-lepkiego na konwergencję powierzchniową prostokątnego chodnika na podstawie obliczeń numerycznych*, Górnictwo i geoinżynieria, Rok 32, Zeszyt 1.
- Maj A., 2008b: *Zależność konwergencji wyrobiska górniczego od czasu w górotworze sprężysto-lepkim na podstawie badań modelowych*, Gospodarka Surowcami Mineralnymi, Tom 24, Zeszyt 3/2, s. 97-109.
- Maj A., 2009: *Opracowanie modelu konwergencji wyrobisk w podziemnych kopalniach soli*, Rozprawa doktorska, AGH Kraków.
- Opomiarowanie konwergencji wyrobisk rejonu komór cylindrycznych. Sprawozdanie z wykonania odczytów i bieżąca interpretacja wyników*, OBRGSCHEM. CHEMKOP, Kraków, styczeń 1987.
- Szewczyk J., 2004: *Rys historyczny i warunki górnicze w kopalniach w Wieliczce i w Bochni* [w:] Kortas G. (red.) *Ruch górotworu i powierzchni w otoczeniu zabytkowych kopalń soli*, Wydawnictwo Inst. Gosp. Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków.
- Toboła T., 2004: *Warunki geologiczne* [w:] Kortas G. (red.) *Ruch górotworu i powierzchni w otoczeniu zabytkowych kopalń soli*, Wydawnictwo Inst. Gosp. Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków.
- Wykonanie pomiarów konwergencji wyrobisk górniczych w strefie ochrony konserwatorskiej z opracowaniem i analizą wyników*, OBRGSCHEM. Chemkop dla Kopalni Soli Wieliczka, Kraków, grudzień 2005, archiwum KS Wieliczka.
- Wykonanie pomiarów konwergencji wyrobisk górniczych w strefie ochrony konserwatorskiej z opracowaniem i analizą wyników*, OBRGSCHEM. Chemkop dla Kopalni Soli Wieliczka, Kraków, grudzień 2010, archiwum KS Wieliczka.
- Wyniki pomiarów konwergencji w komorach zabytkowych*, materiały Działu Mierniczego KS Wieliczka, lipiec 2011.

Convergence in irregularly scattered workings, as illustrated by the example of the Wieliczka Salt Mine

Abstract

When forecasting the effects of mining activity on land development, caused by irregularly scattered chamber excavations, researchers study the connection between the process of room closure and the phenomenon of land subsidence and surface deformation. A measurable property of room closure is convergence, which depends on geometrical and physical factors. So far, this connection has been discussed in articles that looked at the effects of room closure of a single chamber or a group of chambers forming a regular structure. Research into the connection between the room closure of irregularly scattered workings and geological/mining conditions poses a significant

problem with organizing considerable measurement data, i.e. with creating a uniform database on the basis of long-term observation, determining the criteria for measurement accuracy, and outlining the objectives of the measurement procedures. On the basis of the observations of convergence carried out to date in the Wieliczka Salt Mine, fragmentary databases were created, and the objectives for measurements were established. The diversity of the measuring methods was demonstrated, as well as the devices being used; additionally, the accuracy of measuring devices was analyzed, together with the measurement frequency related with it. On the graph showing the relationship of convergence and time, the diversity of this relationship – resulting from geological/mining conditions – was presented, together with a typical process of convergence increasing at a steady speed. The paper also discusses the popular methods of presenting the measurement results, used in mining. At the same time, it points to the need of relating the accuracy of the measurement to the measurement frequency, linked to geological/mining conditions. The paper describes the behavior of chamber workings in Wieliczka. However, relating the observed shifts to complex geological/mining conditions requires further study, for which it is necessary to carry on organizing databases in a comprehensive manner.

Keywords: convergence, salt rock mass, Wieliczka Salt Mine