

**Określenie stanu podporowej tamy przeciwwodnej i jej ruchów na podstawie obserwacji geodezyjnych w komorze Layer w kopalni Wieliczka**  
**Determination of the condition of the support water dam and its movements on the basis of geodetic observations conducted in the Layer Chamber of the Wieliczka Salt Mine**

dr. inż. Agnieszka Maj  
Instytut Mechaniki Górotworu PAN, Kraków  
maj@img-pan.krakow.pl

dr hab. inż. Kajetan d'Obyrn  
Kopalnia Soli „Wieliczka” S.A.  
Politechnika Krakowska, Kraków

**Słowa kluczowe:** tama podporowa, kopalnia soli, obserwacje geodezyjne, przemieszczenia reperów, deformacje tamy

**Key words:** support dam, salt mine, geodetic observations, benchmark displacement, dam deformations

**Streszczenie:**

Współdziaływanie obiektów trudno odkształcalnych z ośrodkiem o własnościach reologicznych jest ważnym problemem w górnictwie, a rozpoznać je można obserwując długotrwałe zachowanie obiektów i otaczającego je górotworu. Przykładem takiego zagadnienia jest współdziałanie tamy podporowej dla ujęcia wycieku V w komorze Layer kopalni Wieliczka z górotworem.

Zespół komór Layer usytuowany jest przy północnej granicy złoża na VII poziomie kopalni soli Wieliczka (rys. 1, 2). W grudniu 1972 r. ujawniono wyciek W VII-16 i ujęto go w chodniku tamy podporowej (rys. 4). Od chwili stwierdzenia wycieku rozpoczęto systematyczną jego obserwację hydrogeologiczną. Wpływ, początkowo do 20 m<sup>3</sup>/h, spadł do ok. 8,5 m<sup>3</sup>/h w 2014 r. Stężenie NaCl w wycieku, średnio wynosi ok. 62-63 g/dm<sup>3</sup> i utrzymuje się na stałym poziomie (rys. 3).

W okresie między stwierdzeniem wypływu w komorze Layer a zbudowaniem w niej tamy przemieszczenia pionowe powierzchni terenu nad komorą przekraczały -23 mm/rok. Obecnie wynoszą maksymalnie -10 mm/rok (rys. 5). Osiedlenia poziomu VII niedaleko chodnika dojściowego do komory Layer w latach 2001-2013 wyniosły -3,2 mm/rok (rys. 6).

Na tamie podporowej założono sieć pomiarową (rys. 7). Wszystkie punkty obniżały się względem bazowego reperu ZN 7-11. Początkowo tempo osiadania dochodziło do -30 mm/rok, a obecnie wynosi ok. -5 mm/rok w stropie komory i poniżej -1 mm/rok w spągu tamy (rys. 8, 9). Analiza przemieszczeń punktów wykazała, że pionowe deformacje tamy są generalnie ściskaniem, maksymalnie -1,13 ‰/rok (rys. 10-12). Dodatkowo obserwowane jest *wybrzuszenie się* tamy, maksymalnie 1,1 mm/rok (rys. 13-14). W stropie komory Layer zainstalowano cztery czujniki przemieszczeń (rys. 15), które wskazują na w przybliżeniu stałą prędkość obniżenia stropu, maksymalnie 6,0 mm/rok (rys. 16).

Zjawisko współoddziaływania tamy z podłożem ma charakter zanikowy. Nadal jednak będzie postępować jej deformacja wywołana naciskiem skał. Przejawem tego procesu będzie też zwiększanie odkształceń poziomych, szczególnie w środku wysokości tamy.

Przeprowadzone badania wykazały, że poprzez proste pomiary geodezyjne rozpoznać można ruch otoczenia tamy wodnej i jej deformacje określające stan tamy podporowej, a także wstępnie ocenić tendencje zmian tego stanu.

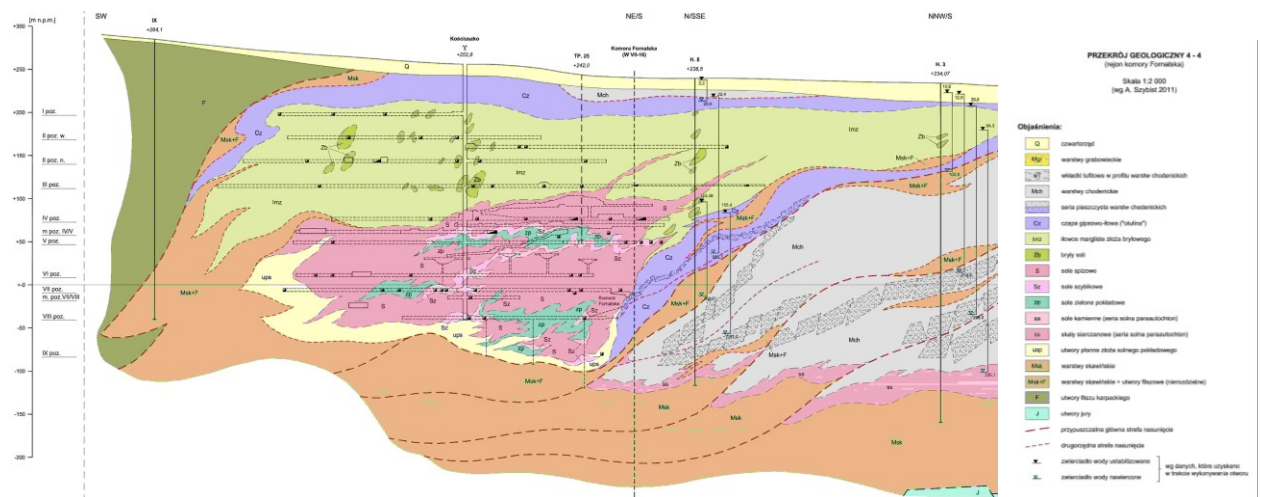
## **1. Wstęp**

Ograniczenie zagrożenia wodnego polega na ujmowaniu wycieków, budowie wodoszczelnych tam odgradzających dopływające wody, powadzeniu iniekcji stabilizujących zeszczelinowane i rozługowane utwory wokół wycieku lub likwidacji wyrobisk w strefie niezabytkowej, a jeśli to możliwe zamykaniu wycieku. W górotworze solnym, z upływem czasu tamy ulegają przemieszczeniom oraz deformacjom, które doprowadzić mogą do utraty szczelności tam wodnych. W agresywnym dla betonu środowisku wodnym badane są procesy starzenia materiału. W warunkach otoczenia sztywnych obudów w górotworze o właściwościach reologicznych z upływem czasu w betonie powstają spękania i wzrasta ich odkształcalność (Kortas 2010). Wykazać można, że ruchy górotworu w otoczeniu tam wodnych i deformacje ich konstrukcji mogą być obserwowane na drodze pomiarów geodezyjnych, a ich analiza służyć może ocenie stanu tam i prognozowaniu ich zachowania się. Celem tego artykułu jest

przedstawienie wyników takich pomiarów na tle warunków geologiczno-górnicznych oraz sposobu ich analizy, a także wynikającej z tego prognozy ruchów i deformacji tamy w następnych latach.

## 2. Warunki geologiczno-górniczne w otoczeniu komory Layer

Złoże Wieliczka kontaktuje się na północy ze spękaną i zlustrowaną czapą gipsowo-iłową, w której dominują iłowce margliste z wtrąceniami gipsu i porożrywanymi blokami piaskowców warstw chodenickich. W warstwach tych występuje seria piaszczysta reprezentowana przez ily pylasto-piaszczyste, często z okruchami piaskowców oraz piaskowce – utwory o wysokim współczynniku filtracji. Na wychodniach tych warstw, blisko powierzchni, przeważają przepuszczalne dla wód utwory ilasto-piaszczyste, przez które horyzonty wodonośne zasilane są wodami opadowymi. Pod złożem solnym występują warstwy skawińskie wykształcone w przewadze jako iłowce margliste, niekiedy z przerostami piaskowca. Tworzą one szczelny ekran, przez który do złoża solnego nie przenikają wody, a poziom wodonośny w ich obrębie nie stanowi istotnego zagrożenia wodnego dla kopalni. Budowę złoża charakteryzuje przekrój geologiczny w kierunku S-N na rysunku 1.



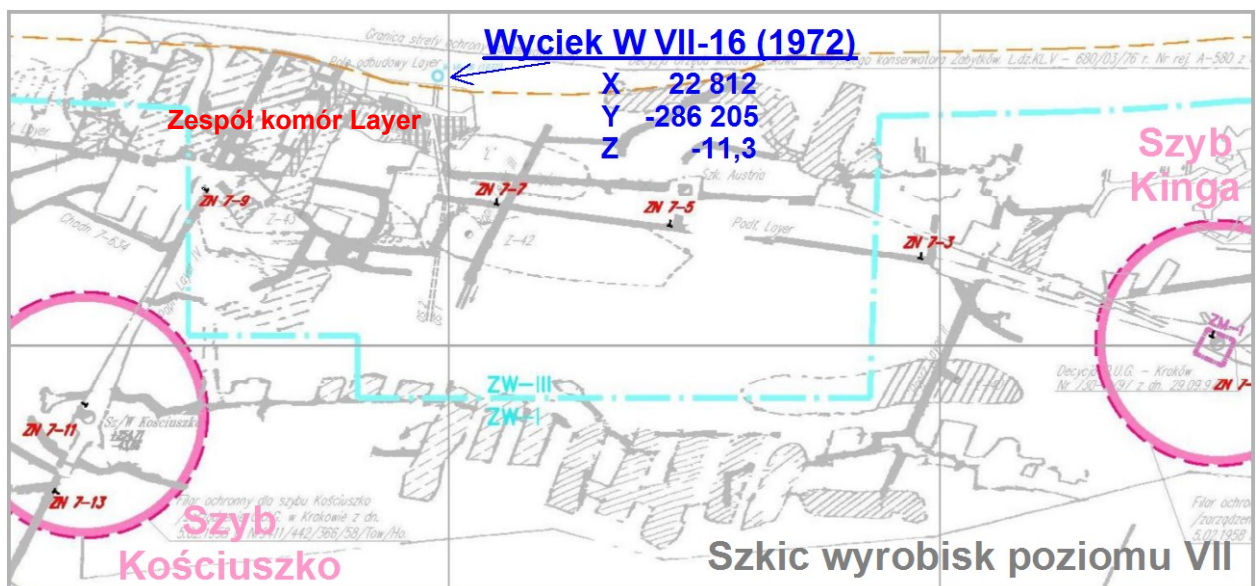
Rys. 1. Przekrój geologiczny S-N [12]

Fig. 1. Geological cross-section S-N [12]

Na warunki hydrogeologiczne w strefie zachodniej złoża, obejmującej komorę Layer, wpływ mają utwory piaszczyste trzech poziomów warstw chodenickich (rys.1) ze strefami spękań i rozmytych szczelin. Ze względu na zagrożenie wodne tego rejonu kopalni największe

znaczenie ma górny poziom, którego zwierciadło w otworach wiertniczych H.2 i H.8 występuje na głębokości ok. 20 m. W poziomie tym występują wody utworów chodenickich pochodzące z końcowych stadiów ostatniego glacjału (Zuber A., Ciężkowski W., 1995). Zawodnione utwory piaszczyste warstw chodenickich występują również w obrębie czapy (rys.1). Kontaktują się one z serią solną i północną granicą wyrobisk, głównie na poziomach IV-VII.

Zespół komór Layer usytuowany jest przy granicy złoża na VII poziomie kopalni soli Wieliczka w odległości około 200 m na północny wschód od szybu Kościuszko (rys. 2). Powstał on w wyniku eksploatacji złoża metodą strzałową w latach czterdziestych dwudziestego wieku. Ze względu na usytuowanie komór i prawdopodobnie korzystne warunki filtracyjne do komór Layer spływała solanka z wyżej położonych ługowni przy granicy złoża. Prawdopodobnie już w czasie eksploatacji wystąpiły problemy związane z dopływem wód z utworów warstw chodenickich (Wójcik i in. 1995). Po zakończeniu wydobywania komory te przeznaczono na zbiorniki solanki, potem zbiorniki dosalające. Dla wyrównania poziomów solanki poszczególne komory podpoziomowo połączono chodnikiem. Z upływem czasu filary komór zostały rozługowane i powstał rozległy zbiornik o długości ok. 160 m i szerokości 30-50 m (Wójcik i in. 1995). Spąg zbiornika wypełniały skały nierozpuszczalne, głównie iły. Powyższe warunki maskowały początkowo pojawienie się kontaktu z wodami pozazłożowymi. Szybkie i nagłe podniesienie się poziomu wody w komorze Layer w grudniu 1972 r. ujawniło wyciek. Obecnie zespół komór Layer są wypełnione podsadzką.



Rys. 2. Poziom VII, mapa sytuacji górniczej z lokalizacją wycieku i reperów  
 Fig. 2. Level VII. A mining situation map, with leak and benchmark locations

W bliskim sąsiedztwie komory Layer na poziomie VI, przy granicy złoża, usytuowany jest zespół komór eksploatacji suchej Windakiewicz, wypełnione podsadzką piaskową. Dalej na północ występuje strefa ługowniczej eksploatacji otworowej, w której to strefie zasięg rozługowań poszczególnych komór nie jest precyzyjnie określony. Z układu wyrobisk na poziomie VI wynika, że bezpośrednio nad północnym ociosem komory Layer występuje zwięźnienie calizny półki między VI a VII poziomem, przez co ruchy górotworu w tym miejscu mogą być większe niż w najbliższym sąsiedztwie. Strefa poziomu VIII w okolicach komory Layer nie była eksploatowana. Najniższy IX poziom jest obecnie niedostępny, a wyrobiska tego poziomu wypełniane są pełnonasyconą solanką. Zbiornik solanki powstał poprzez spływ wód o różnym nasyceniu zwłaszcza w okresie katastrofalnych dopływów do poprzeczni Mina w 1992 roku. Strop nad tymi wyrobiskami ulega stopniowo obniżaniu. Wpływ tych obniżen zaznaczyć się może na VII poziomie w strefie między szybami Kinga i Kościuszko oraz w strefie komory Layer.

Obecnie zagrożenie wodne w kopalni soli Wieliczka związane jest przede wszystkim z budującymi północne przedpole złoża utworami warstw chodnienickich. Dopływy z tych warstw stanowią ok. 85% wszystkich dopływów do wyrobisk kopalni, z czego ok. 60% dopływu przypada na wyciek WVII-16 w komorze Layer, dawna komora Fornalska 2 (Brudnik i in. 2010).

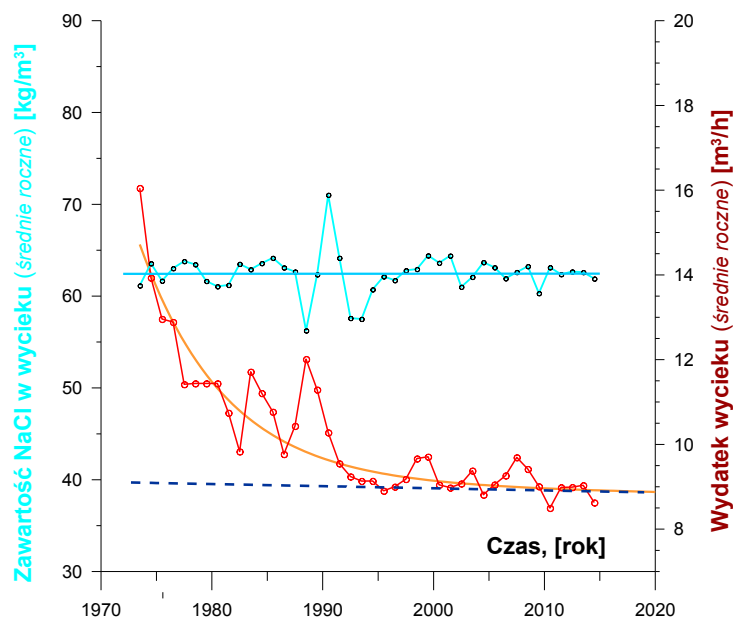
### **3. Charakterystyka wycieku W VII-16 i tamy przeciwwodnej**

Wyciek WVII-16, po początkowych próbach likwidacji przez iniekcje prowadzone z wewnątrz i zewnątrz złoża, został ujęty chodnikiem w tamie podporowej w komorze Layer, a wyrobiska wokół wycieku zostały podsadzone. Zbudowana z betonowych segmentów tama miała za zadanie wzmocnienie osłabionego działaniem przepływających wód północnego ociosu komory oraz podparcie warstw stropowych i odciążenie ociosów (Wójcik 1995). Zachowanie się tamy było monitorowane od zakończenia jej budowy (wschodnia część w 1973, zachodnia w 1976). Już na początku lat 80. stwierdzono uszkodzenia tamy i kilka lat później przeprowadzono nieudane iniekcje doszczelniające. Wykonane na początku lat 90. analizy wyników pomiarów osiadań prowadziły do wniosku, że tama wciska się w strop komory i przechyla się ze wschodu na zachód. Pogląd ten został zweryfikowany dopiero w 2014 r. (Kortas i Maj 2014).

Wyciek WVII-16 w komorze Layer stanowi obecnie ok. 56% łącznego dopływu wód do wyrobisk kopalni Wieliczka (Brudnik i in. 2010). Według badań przeprowadzonych w latach

2007-2010 dopływ do komory Layer jest wodą glacialną, pozbawiona trytu (d'Obyrn i Brudnik 2011). Kompleksowy opis tego wycieku przeprowadzono w roku 2006 (Gonet i in. 2006). Od tego czasu jego parametry, tzn. wydatek i zawartości NaCl nie zmieniły się znacząco.

Od chwili stwierdzenia wycieku w komorze Layer rozpoczęto systematyczną jego obserwację hydrogeologiczną. Wyływ, początkowo do 20 m<sup>3</sup>/h, po 10 latach spadł do ok. 12 m<sup>3</sup>/h, a w ostatnim okresie wykazuje niewielkie zróżnicowanie, z tendencją spadku do ok. 8,5 m<sup>3</sup>/h w 2014 r. Stężenie NaCl w wycieku, w porównaniu z innymi wyciekami kopalnianymi, jest niewielkie, średnio wynosi ok. 62-63 g/dm<sup>3</sup> i utrzymuje się na stałym poziomie. Na rysunku 3 przedstawiono wydatek wycieku i jego stężenie (wartości średnie dla każdego roku) oraz krzywe aproksymujące te wielkości.



Rys. 3. Roczne zmiany wydatku wycieku i stężenia NaCl w wycieku (opracowanie własne)

Fig. 3. Annual changes of the leak discharge and NaCl concentration in the leak (own study)

Zależność wydatku wycieku w m<sup>3</sup>/h od czasu  $Q(t)$  aproksymować można funkcją wykładniczą w postaci  $Q(t) = 9,1 + \exp[(t - 1973) * 6] - 0,005 * (t - 1973)$ , której asymptota jest liniową funkcją malejącą z prędkością -0,005 m<sup>3</sup>/h/rok. Stężenie NaCl w wycieku ulega fluktuacjom wokół stałej wartości średniej wieloletniej 62,43 kg/m<sup>3</sup>.

Po ujawnieniu groźnego wycieku, w toku prac ratunkowych wysunięto kilka koncepcji likwidacji zagrożenia, m.in. próby likwidacji wycieku przez iniekcje z wewnątrz i zewnątrz złoża i budowę tamy podporowej z trwałym ujęciem wycieku w chodniku tamy. Po

nieskutecznych próbach iniekcji oraz stwierdzeniu dodatkowych wycieków w komorze Layer podjęto decyzję o budowie tamy wzdłuż północnego odcisu komory na znacznej jego części.

W projekcie budowy tamy podporowej z ujęciem wycieku w komorze Layer założono wykonanie bloku w kształcie prostokąta przylegającego do północnego odcisu komory o wymiarach: długość 20,8 m, średnia szerokość 8,6 m, średnia wysokość 2,6 m. W środkowej części tamy zbudowano chodnik prowadzący do wycieku. W drugim półroczu 1974 r. podjęto próbę zamknięcia wycieku. Po nieudanej próbie zamknięcia zdecydowano się na trwałe ujęcie wycieku w chodniku. Następnie dobudowano wschodnią część tamy (tzw. nowy segment) o objętości 438 m<sup>3</sup>. Ostatecznie wybudowany blok tamy obejmował 11 segmentów i składał się z kilkudziesięciu elementów technologicznych; posiada objętość ok. 1400 m<sup>3</sup>, długość 84,8 m, średnią wysokość 2,6 m oraz szerokość od 5,0 m do 9,5 m. Całość prac zakończono w marcu 1977 r. Położenie tamy względem komór Layer-2 i Layer-3 przedstawiono na rysunku 4.

W pierwszej fazie budowy stosowano zaprawę betonową w składzie: cement 350 – 436 kg, woda z wycieku – 233 kg, kruszywo do 40 mm – 1655 kg. Wytrzymałość betonu wykazała jednak znaczny rozrzut, od 74 do 338 kG/cm<sup>2</sup> (Wójcik i in. 1995). Budując część zachodnią używano dodatkowo szkła wodnego i chlorku baru. Beton był zagęszczany przez ubijanie, a w płaszczyznach kontaktowych zakładano rurki cementacyjne.



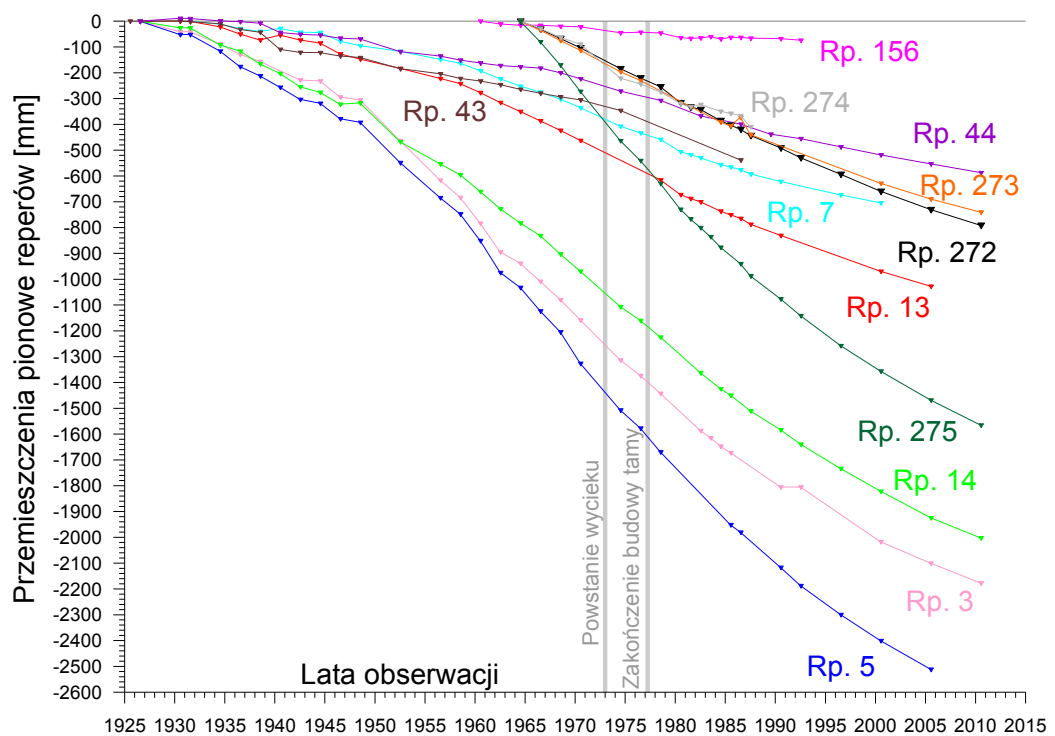
Rys. 4. Lokalizacja tamy na tle zespołu komór Layer (Fornalska)

Fig. 4. Dam location on the background of the Layer (Fornalska) Chamber Complex

W wykonanych w roku 1984 r. badaniach stwierdzono, że współczynnik zmienności wytrzymałości betonu przekracza 20%, co klasyfikuje beton jako niedostateczny dla funkcjonalności tamy (Wójcik i in. 1995). Uszkodzenia, korozja i degradacja betonu postępowała nadal po 1984 roku. Dla ochrony ujęcia założono obudowę tubingową chodnika w tamie podporowej, która lokalnie wzmocniła konstrukcję tamy.

#### 4. Ruch górotworu w rejonie komory Layer

Komora Layer położona jest w centralnej części kopalni, na NE od szybu Kościuszko. W tym obszarze kopalni złoża soli urabiane było materiałem wybuchowym, długimi prostopadłościennymi komorami, między którymi pozostawiano filary podporowe. W drugiej połowie XX wieku w części centralnej złoża sól wybierana była metodą rozpuszczania, w ługowniach o długościach kilkudziesięciu metrów i kilkukrotnie mniejszym wymiarze poprzecznym. Konsekwencją urabiania wodą było zwiększenie wykorzystania złoża i oczekiwany wzrost tempa wydobycia, ale także niekontrolowane, niezamierzone rozługowania i przecieki solanki, a potem wielkoobszarowa degradacja calizn, szczególnie w strefie V poziomu kopalni i międzypoziomu Kołobrzeg. Symptodem oddziaływania wyrobisk są obniżenia powierzchni terenu. Wykształcające się w XVIII i XIX w rejonie szybu Regis centrum obniżeń powierzchni terenu przesuwało się w kierunku zachodnim i w wieku XX usytuowało się w strefie szybu Kościuszko (Kortas 2007). Obniżenia reperów powierzchniowych w rejonie komory Layer pokazano na rysunku 5.



Rys. 5. Obniżenia reperów powierzchniowych w funkcji czasu (opracowanie własne)

Fig. 5. Subsidence of surface benchmarks in the time function (own study)

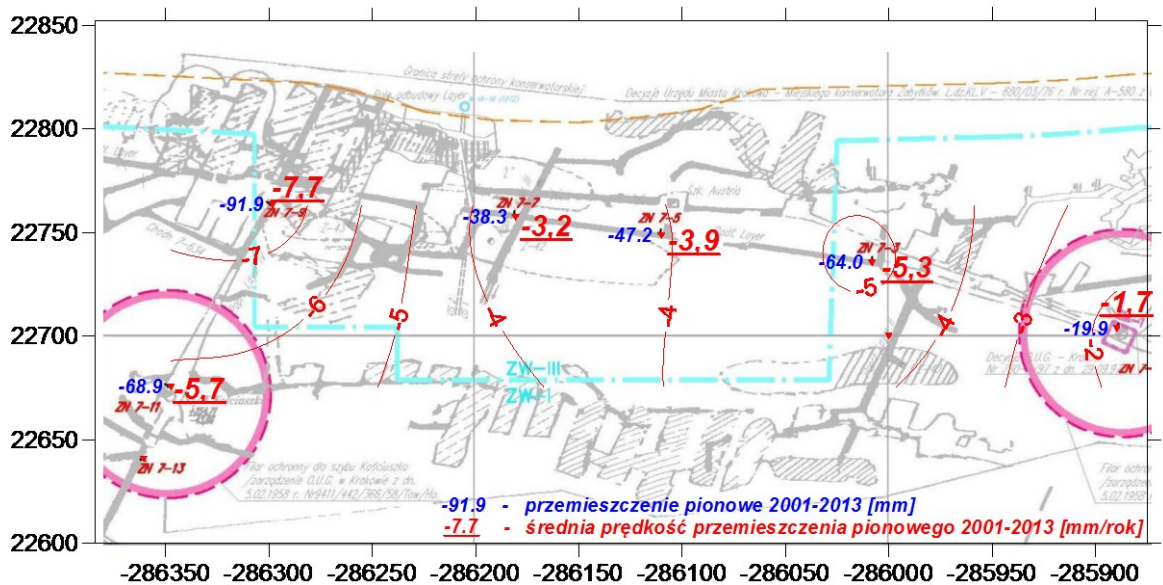


Można zauważyć, że po 1945 r. wraz ze wzrostem wydobywania soli, zwiększyła się prędkość obniżania terenu osiągając maksimum w latach 1965 – 1980 (rys. 5), a od lat osiemdziesiątych ub. wieku średnie tempo osiadania maleje. W okresie między stwierdzeniem wypływu w komorze Layer a zbudowaniem w niej tamy przemieszczenia pionowe powierzchni terenu wynosiły od -42,2 mm/rok (Rp. 5) do -14,5 mm/rok (Rp. 7). Nad komorą przekraczały -23 mm/rok.

Ze względu na znaczne przemieszczenia terenu w wynikach pomiarów nie można zaobserwować zmian ruchu górotworu wywołanych najpierw skutkami przepływu wód, a później efektem podporowych właściwości zbudowanej tamy, jak to miało miejsce w przypadku wycieku w poprzeczni Mina (Kortas 1992, Maj i in. 2012). Na brak widocznych efektów na powierzchni terenu wpływ miała także znikoma ilość wynoszonych w wycieku nierozpuszczalnych minerałów, świadcząca o nieznacznych wymyciach w masywie skalnym.

Obecnie maksymalne przemieszczenia obserwowane w rejonie szybu Kościuszko wynoszą -20 mm/rok, a nad tamą ok. -10 mm/rok.

Analiza wyników pomiarów dołowych również nie wykazała oddziaływania przepływu wód i stabilizującej górotwór tamy. Obecnie obserwowane jest zróżnicowanie wartości obniżeń podłużni Layer między szymbami Kinga i Kościuszko. W latach 2001-2013 (12 lat) osiadania mieściły się w granicach od -7,7 mm/rok na skrzyżowaniu podłużni Layer z poprzeczną Layer IV do -1,7 mm/rok przy szybie Kinga (rys. 6). Niedaleko chodnika dojściowego do komory Layer obniżenia wyniosły -3,2 mm/rok. Podobne zróżnicowanie wartości przemieszczeń pionowych zauważyć można analizując wyniki pomiarów niwelacyjnych we wcześniejszych latach.



Rys. 6. Obniżenia poziomu VII w okresie 2001-2013  
Fig. 6. Subsidence of Level VII in 2001-2013 (own study)

## 5. Lokalne obserwacje tamy podporowej

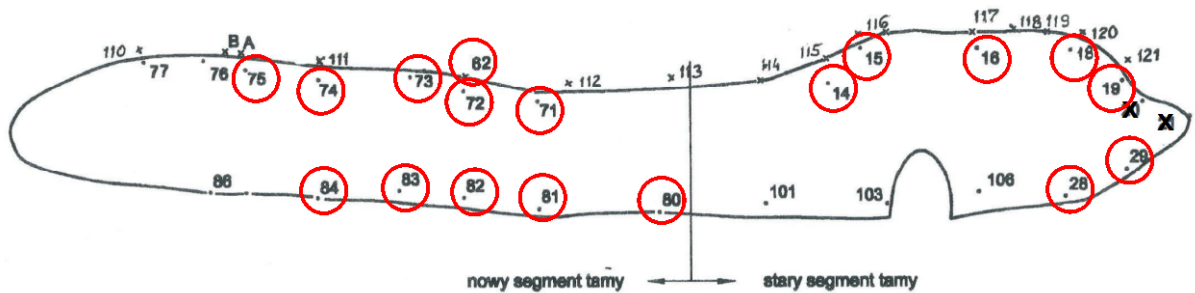
### 5.1. Sieć obserwacyjna przemieszczeń na ścianie tamy

Zachowanie się tamy i stropu komory przy tamie było obserwowane niemal od początku jej konstruowania. Autorem koncepcji obserwacji był mierniczy Kopalni Wieliczka J. Wójcik. Budowę wschodniej części tamy zakończono w grudniu 1973 r., a części zachodniej w marcu 1977 r. Sieć reperów, złożoną z jednej linii w stropie komory przy tamie i dwóch linii przystropowej i przyspągowej na tamie, założono w 1974 r. (część wschodnia) i rozbudowano w trakcie budowy kolejnych segmentów tamy. Pierwotna sieć (w części wschodniej) składała się z 9 reperów stropowych (1-9), 12 przystropowych (10-21) i 9 przyspągowych (22-30). Numerację prowadzono z zachodu na wschód. Pierwszy pomiar przeprowadzono 10.06.1974 r. Drugi pomiar wykonano po miesiącu, trzeci po kolejnych 3 miesiącach a kolejne w okresach ok. półrocznych. W 7. serii pomiarowej (28.06.76 r.) do obserwacji włączono repery zastabilizowane w zachodniej części tamy. W tej części punkty założono również w trzech liniach: stropowej (60-66), przystropowej (70-75) i przyspągowej (70-85).

Punktem dowiązania sieci punktów obserwacyjnych był reper ZN 7-11 zlokalizowany przy szybie Kościuszko. Jego wysokość przyjęto jako stałą w całym okresie obserwacji ( $Z = -9,4620$  m) i na tej podstawie wyznaczano wysokości wszystkich punktów w komorze Layer od pierwszego pomiaru w 1974 r. do 2013 r. Takie podejście eliminowało znaczące błędy pomiarowe, szczególnie błędy „przeniesienia wysokości” na VII poziom kopalni. Przy interpretacji obserwacji długotrwałych, kilkudziesięcioletnich procesów błędy te nie są tak istotne jak w krótkotrwałych procesach. Nie można wtedy pominąć faktycznego ruchu reperu nawiązania, czyli uwzględnienia rozpoznanych przemieszczeń reperu bazowego ZN 7-11.

Z upływem czasu założona pierwotnie sieć punktów pomiarowych ulegała degradacji. Główną przyczyną degradacji jest reakcja stopowych i spągowych części tamy na ruch stropu i spągu komory, która powoduje „oblewanie” reperów skałami stopowymi i spągowymi, przez co punkty stają się niedostępne do pomiaru. Ze względu na znaczną degradację pierwotnej sieci uzupełniono ją o nową linię stropową (repery 110 – 121, A i B) oraz nową linię przyspągową w części wschodniej (repery 101 – 108). Z pierwotnie zastabilizowanych reperów w pomiarze w

2013 r. uczestniczyło 5 reperów przystropowych i 2 przyspągowe w części wschodniej tamy oraz 5 reperów przystropowych i 5 przyspągowych w części zachodniej. Zachował się tylko jeden reper stropowy (62). Obecnie obserwowana przez sieć punktów z zaznaczonymi reperami najstarszymi pokazano na rysunku 7.



Rys. 7. Szkic lokalizacyjny obserwowanych obecnie reperów;

na czerwono zaznaczono repery mierzone od 1974 r. (część E) i od 1976 r. (część W)

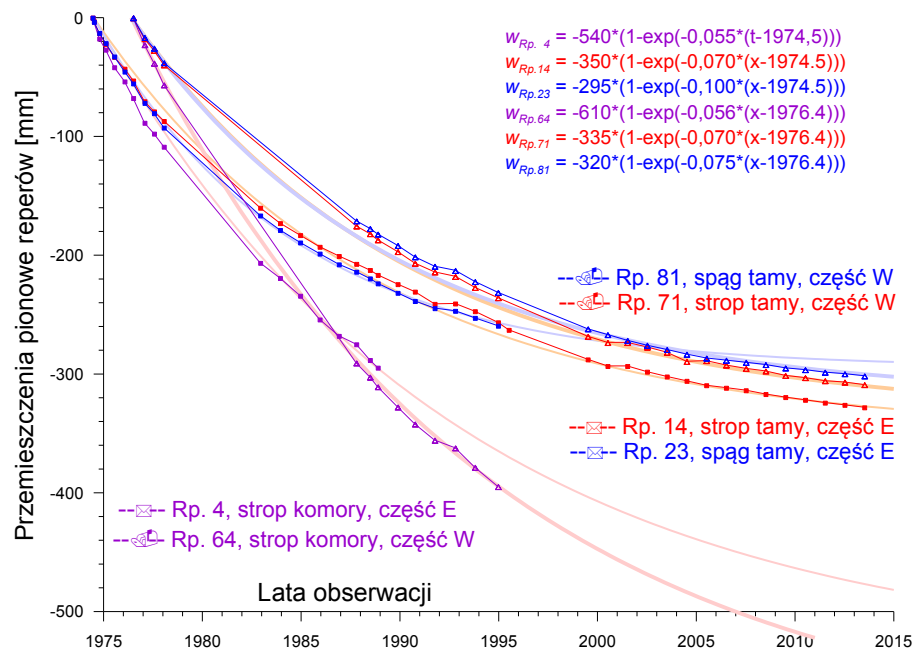
Fig. 7. Sketch of the distribution of the currently observed benchmarks;

red colour marks the benchmarks being measured since 1974 (Part E) and since 1976 (Part W)

## 5.2. Przemieszczenia pionowe punktów obserwacyjnych

Wszystkie zastabilizowane w komorze Layer repery obniżały się względem bazowego reperu ZN 7-11. Początkowo tempo osiadania dochodziło do -30 mm/rok. Obecnie prędkość ta jest wielokrotnie mniejsza, ok. -5 mm/rok w stropie komory i poniżej -1 mm/rok w spągu tamy. Na rysunku 8 przedstawiono maksymalne przemieszczenia punktów obserwacyjnych w poszczególnych strefach tamy.

Obniżenia punktów w funkcji czasu aproksymowano pewnym typem krzywych wykładniczych, wyrażonym ogólnym wzorem:  $w(t) = -c_1 * (1 - \exp(-c_2 * (t - t_0)))$ , gdzie  $t$  jest czasem obserwacji,  $t_0$  – czasem początkowej obserwacji, a  $c_1$  i  $c_2$  pewnymi stałymi, przy czym  $c_1 > 0$  a  $0 < c_2 < 1$ . Ten typ funkcji wykładniczej opisuje zjawiska charakteryzujące się zmniejszaniem przyrostów zmiennej  $w$  w trakcie zbliżania się do pewnej granicznej wartości asymptotycznej. Parametr  $-c_1$  określa asymptotę, do której dąży funkcja aproksymacyjna, a tym samym maksymalne obniżenie danego punktu po nieskończeniu długim czasie. Parametry te mają wartości szacunkowe i powinny być powiązane z geomechanicznymi badaniami modelowymi zjawisk zachodzących w rejonie komory Layer.

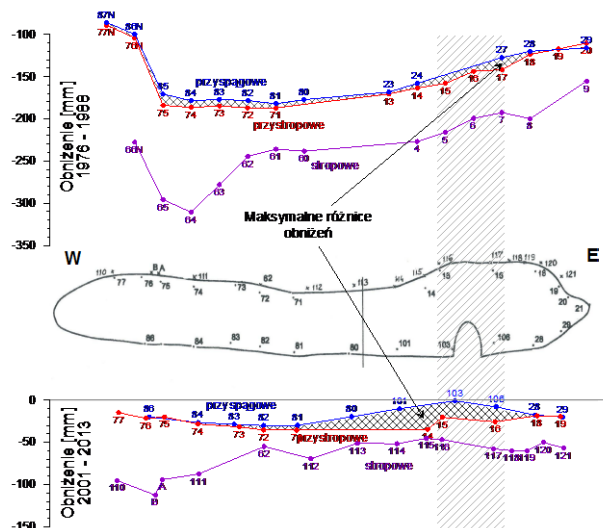


Rys. 8. Maksymalne przemieszczenia pionowe reperów w poszczególnych strefach tamy (opracowanie własne)

Fig. 8. Maximum vertical displacements of benchmarks in particular dam sections (own study)

Takie ujęcie wyników obserwacji pozwala na ekstrapolację wstecz i wprzód, dzięki czemu z lepszym przybliżeniem można prognozować przejawy badanego procesu w przyszłości, przy założeniu, że warunki go kształtujące nie ulegną zmianie. Należy przypomnieć, że na wykresach podane są względne wartości przemieszczeń, a rzeczywisty ich ruch jest większy. Uwzględnienie ruchu punktu bazowego powodowałoby korektę tych funkcji z  $w(t)$  do  $f(t)$  według zasady  $f(t) = C \cdot (t - t_0) + w(t)$ , gdzie  $C$  jest prędkością obniżenia/wypiętrzeń punktu bazowego (dla ZN 7-11 średnio około -4,2 mm/rok), a  $t_0$  jest czasem początkowym. Korekta ta dla okresu ponad 40 lat osiąga wartość ok. -168 mm.

W celu porównania procesu osiadania reperów po zbudowaniu tamy i w obecnej jego fazie na rysunku 9 zestawiono profile obniżenia linii stropowej, przystropowej i przyspągowej w dwóch dwunastoletnich okresach pomiarowych: 1976-1988 i 2001-2013.



Rys. 9. Profile obniżień reperów w okresach 1976-1988 i 2001-2013 (opracowanie własne)

Fig. 9. Benchmark subsidence profiles in 1976-1988 and 2001-2013 (own study)

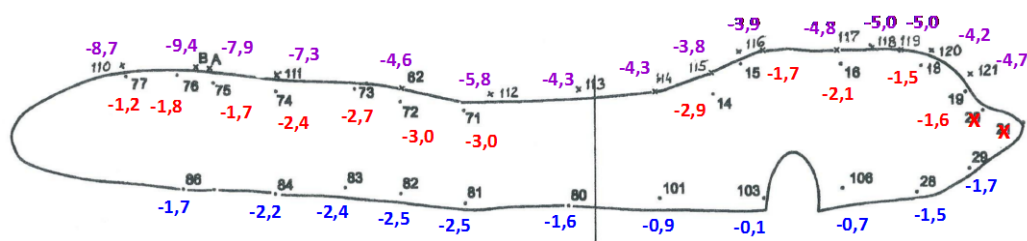
Analizując powyższe profile można zauważyć, że:

- przyrosty obniżień w okresie końcowym są znacząco mniejsze niż w okresie początkowym;
- w obu okresach najbardziej obniżają się punkty stropowe w komorze, mniej przystropowe w tamie, a najmniej punkty przyspągowe – jest to proces wskazujący na występowanie pionowych deformacji ściskających;
- w okresie początkowym zaznacza się wyraźne zwiększanie osiadania ze wschodu na zachód, z tym, że przemieszczenia ostatnich punktów na zachodzie są najmniejsze w liniach przyspągowej i przystropowej na tamie oraz względnie mniejsze na linii w stropie komory;
- w okresie końcowym profile mają nieco inny charakter, punkty przyspągowe i przystropowe w tamie najbardziej obniżają się w części środkowo-zachodniej, mniej na brzegach tamy – tworzy się niecka obniżień, z tym, że w części środkowo-wschodniej punkty przyspągowe obniżają się najmniej – co może być spowodowane ich lokalizacją w pobliżu chodnika w obudowie tubingowej, wzmacniającego lokalnie korpus tamy;
- punkty w stropie komory przy tamie w ostatnich latach zachowują się inaczej niż punkty na tamie, we wschodniej i centralnej części obniżenia są mniej więcej jednakowe, a w zachodniej zdecydowanie większe;
- różnice w obniżeniach punktów przystropowych i przyspągowych w tamie wskazują na pionowe ściskanie tamy, większe w końcowym okresie;
- pionowe ściskania w początkowym okresie są prawie równomierne w całej tamie, a w końcowym okresie zdecydowanie większe w części wschodniej;

- różnice w obniżeniach punktów stropowych w komorze i przystropowych w tamie wskazują na bardzo duże deformacje ściskające na kontakcie tamy ze stropem komory, zwłaszcza w części zachodniej, powoduje to trudności z długotrwałym utrzymaniem linii pomiarowej.

W profilach obniżen charakterystyczne są większe obniżenia w zachodniej części tamy. Może to mieć związek z rozległymi rozługowaniami i połączeniem wyrobisk w czasie, gdy zespół komór Layer stanowił zbiornik dosalający solanek. W takim przypadku maksymalny ruch stropu połączonych komór miałby miejsce na zachód od tamy, powodując większy nacisk na zachodnią część tamy.

W ostatnich latach, jak wyżej pokazano, ruch punktów pomiarowych wyhamował i obecnie nie przekracza -3 mm/rok, jedynie strop komory przy tamie przemieszcza się z dużą prędkością, dochodzącą do -10 mm/rok. Na rysunku 10 przedstawiono średnie prędkości przemieszczenia poszczególnych punktów w okresie 2001-2013.



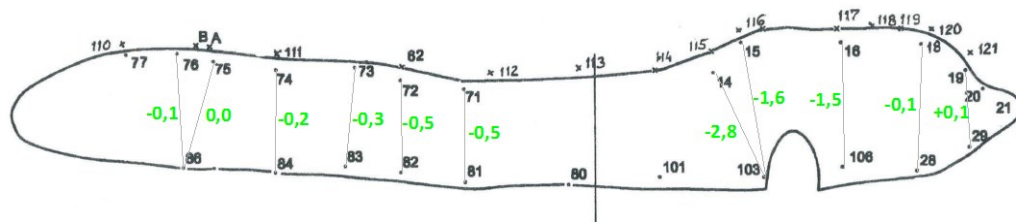
Rys. 10. Średnia prędkość obniżenia punktów tamy w okresie 2001-2013 [mm/rok]  
(opracowanie własne)

Fig. 10. Average rate of dam point subsidence in 2001-2013 [mm/year] (own study)

Powyższe dane stanowiły podstawę do określenia deformacji pionowych tamy podporowej w komorze Layer.

### 5.3. Deformacje pionowe i poziome tamy

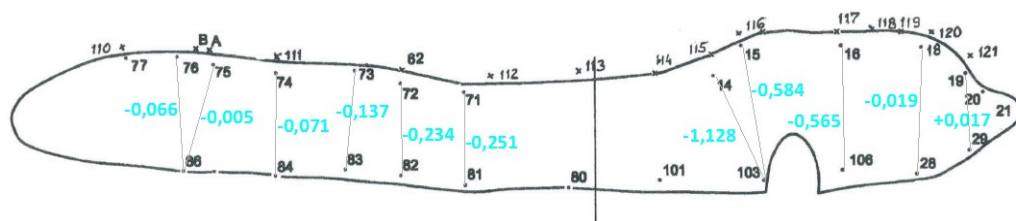
Na podstawie obniżen z końcowego okresu obliczono różnice pomiędzy prędkościami przemieszczeń w stopie i spągu tamy (rys. 11) oraz średnie prędkości deformacji pionowych (rys. 12).



Rys. 11. Średnia prędkość przemieszczeń pionowych (przemieszczenia wzajemne punktów) w okresie 2001-2013 [mm/rok] (opracowanie własne)

Fig. 11. Average rate of vertical displacements (mutual displacements of points) in 2001-2013 [mm/year] (own study)

Z obliczeń różnic przemieszczeń wynika, że deformacje pionowe tamy są generalnie ściskaniem. Obserwowane jest lokalne rozciąganie przy wschodnim brzegu tamy o wartości +0,05 mm/rok. Ściskania o mniejszych wartościach rejestrowane są w części zachodniej tamy. Większe ściskania we wschodniej części spowodowane są zatrzymaniem ruchu spągu tamy w rejonie chodnika w obudowie tubingowej. Różnice w przemieszczeniach pomiędzy stropem a spągiem tamy dochodzą do -2,8 mm/rok w części wschodniej, a w części zachodniej wartość ta jest ponad pięciokrotnie mniejsza. Należy jednak zwrócić uwagę na różnice w wysokości tamy, większa jest na wschodzie a mniejsza na zachodzie. Dlatego też obliczono i przedstawiono na rysunku 12 względne wartości deformacji, uwzględniające różnice w odległościach między punktami stropowymi a spągowymi w tamie.

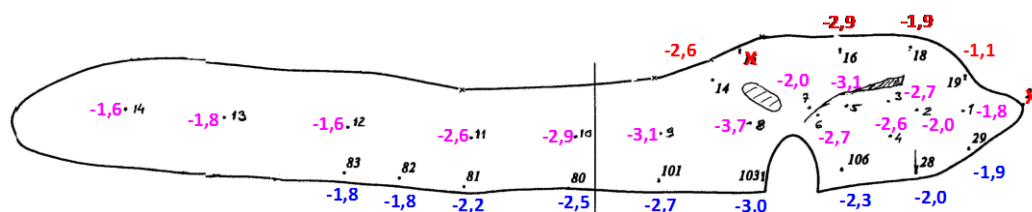


Rys. 12. Średnie deformacje pionowe na ścianie czołowej tamy w okresie 2001-2013 [%/rok] (opracowanie własne)

Fig. 12. Average vertical deformations on the front wall of the dam in 2001-2013 [%/year] (own study)

Generalnie prędkość deformacji pionowych największa jest w środkowo-wschodniej części tamy i dochodzi tam do wartości -1,13%/rok, a ponad czterokrotnie mniejsza jest w środkowo-zachodniej części: -0,25%/rok. Najmniejsze deformacje, rzędu -0,02 ÷ -0,06%/rok, obserwowane są przy brzegach tamy.

W 2002 roku założono linię pomiarową przechodzącą pomiędzy linią przyspągową a przystropową i zaczęto obserwować poziomy ruch tamy, w kierunku prostopadłym do jej czoła (*wysunięcie tamy, wybrzuszanie*). Na rysunku 13 przedstawiono średnie prędkości przemieszczeń poziomych obserwowanych punktów.



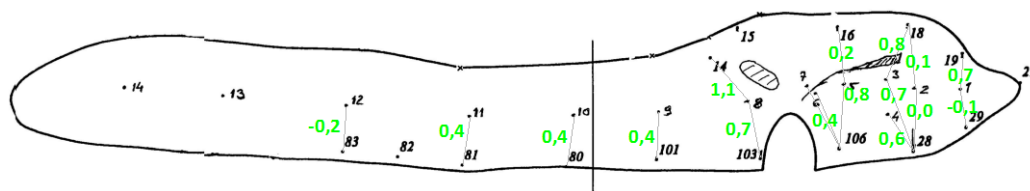
Rys. 13. Średnia prędkość przemieszczeń poziomych punktów ściany czołowej tamy w okresie 2002-2010 [mm/rok] (opracowanie własne)

Fig. 13. Average rate of horizontal displacements of the dam's front wall points in 2002-2010 [mm/year] (own study)

Jak należało się spodziewać największy ruch obserwowany jest na linii środkowej, a mniejszy na liniach przystropowej i przyspągowej. Ponadto:

- przemieszczenia poziome na brzegach tamy są mniejsze niż w środku (linia środkowa, spągowa, stropowa);
- wysunięcia wschodniej części tamy są większe niż zachodniej, na co może mieć wpływ większa wysokość tamy na wschodzie i obecność pustki przed tą częścią tamy (uginanie stropu nad pustką);
- we wschodniej części widoczne są szczeliny poziome związane z wybrzuszaniem tamy, czyli rozciąganiem jej powierzchni.

Różnice pomiędzy prędkościami przemieszczeń poziomych w środku tamy a jej spągiem i stropem przedstawiono na rysunku 14.



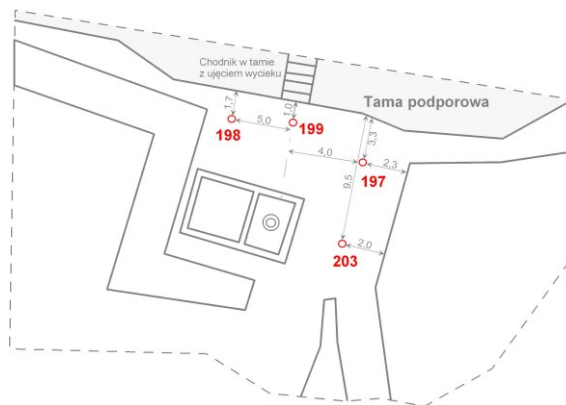
Rys. 14. Średnia prędkość przemieszczenia poziomego (przemieszczenia wzajemne punktów) w okresie 2002-2010 [mm/rok] (opracowanie własne)

Fig. 14. Average rate of horizontal displacement (mutual displacements of points) in 2002-2010 [mm/year] (own study)



#### 5.4. Czujniki przemieszczeń w stropie komory Layer

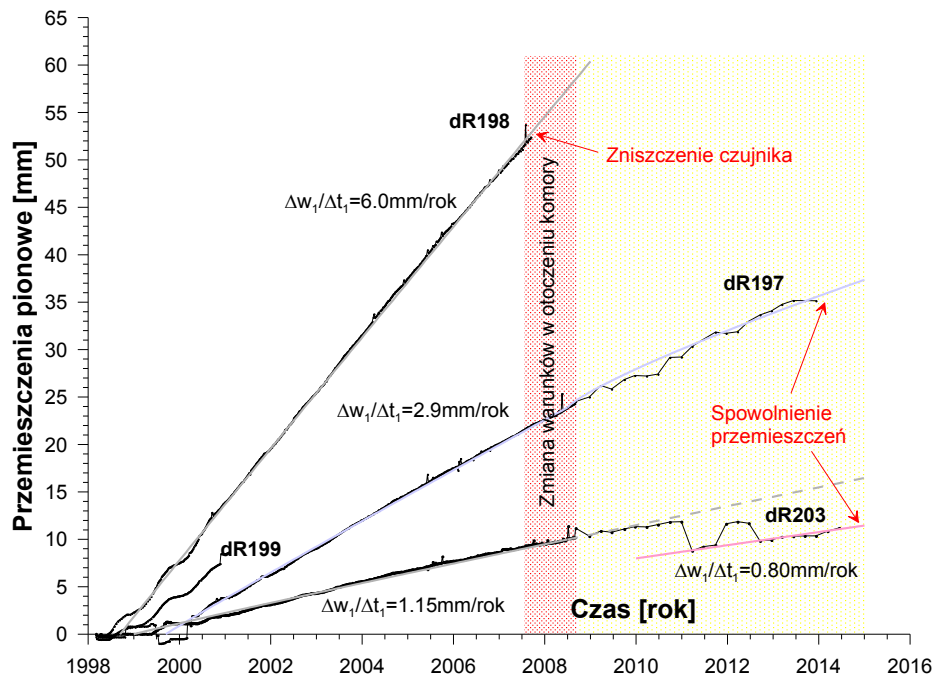
Poza opomiarowaniem tamy podporowej w komorze Layer zainstalowano cztery czujniki, które od 1998 r. określają różnice przemieszczeń punktu na stropie komory względem punktu bazowego zastabilizowanego na końcu otworu o długości 10 m. Jeżeli punkt bazowy jest nieruchomy rejestrują one obniżenia stropu komory. Lokalizację znaków pomiarowych w komorze Layer przedstawiono na rysunku 15.



Rys. 15. Lokalizacja czujników w komorze Layer

Fig. 15. Locations of sensors in the Layer Chamber

Pomiary wykonywane od 1998 r. pokazują w przybliżeniu stałą prędkość obniżenia stropu, tym większą im bliżej tamy zainstalowany był czujnik (rys. 16). Największą prędkość zarejestrował czujnik dR198 (w odległości ok. 1,7 m od ściany tamy) – osiągnęła ona wartość 6,0 mm/rok, mniejszą prędkość wykazał czujnik dR197 (ok. 2,2 m od tamy) – 2,9 mm/rok. Najdalej od tamy obserwowany punkt dR203 (ok. 9,5 m) obniżał się do 2011 r. z prędkością 1,15 mm/rok, a w następnych latach rejestrowane przemieszczenia były nieregularne.



Rys. 16. Przeszczenia stropu w komorze Layer [9]

Fig. 16. Displacement of the ceiling in the Layer Chamber [9]

Aproksymacja wyników pomiarów krzywymi potęgowymi typu  $w(t)=c_1(\Delta t)^m$  wskazuje na niewielkie odchylenia od stałej prędkości przemieszczeń. Bezpośrednio przy ścianie tamy prędkość ta jest prawie stała ( $m=0,99$ ), natomiast prędkość obniżenia przy czujniku dR197 w latach 2008-2014 zmniejszała się ( $m=0,82$ ).

Takie zachowanie stropu, wykazujące większą prędkość obniżania przy tamie, a mniejszą w oddaleniu od niej, jest trudne do interpretacji. Na ogół największe obniżenia występują w środku komory, a najmniejsze przy ociosach. Prędkość o wartości -6 mm/rok jest zaskakująco duża i wytłumaczalna jedynie lokalnie zwiększoną podatnością górotworu na pękanie, co mogłoby być spowodowane znacznym lokalnym zawilgoceniem skał.

## 6. Podsumowanie i wnioski

Po zakończeniu eksploatacji złoża Wieliczka, nową misją Kopalni jest ochrona zabytkowej kopalni i publiczne udostępnienie jej walorów. Ważnym elementem ochrony przed zagrożeniem wodnym kopalni jest bezpieczne ujęcie głównego wycieku kopalnianego W VII-16 w komorze Layer w chodniku tamy podporowej. Funkcjonalność tamy zależy od stopnia jej deformacji i stanu otaczającego ją górotworu.

Wszystkie zastabilizowane w komorze Layer repery obniżają się. Zależność przemieszczenia pionowego punktów od czasu aproksymować można pewnym typem funkcji wykładniczej, opisującej zjawiska charakteryzujące się zmniejszaniem prędkości w trakcie zbliżania się do wartości granicznej. Pionowe deformacje tamy są ścisiskaniami. Większe obecnie deformacje we wschodniej części tamy mogą być związane z zatrzymaniem ruchu punktów spągowych przy chodniku w obudowie tubingowej. Na rzeczywisty ruch tamy i górotworu w jej rejonie składają się obserwowane w komorze Layer przemieszczenia pionowe (55% – 75% ruchu) oraz obniżenia reperu ZN 7-11, do którego dowiązywane były niwelacje (45% – 25% ruchu).

Tama i otaczający ją górotwór ulega wpływom niżej położonych pustek. Zaznacza się to w osiadaniach reperów w chodnikach między komorą Layer a szybem Kościuszkowski i stałej tendencji obniżenia punktu ZN 7-11. Deformacje i przemieszczenia pionowe są prawdopodobnie skutkiem podwyższonej odkształcalności i podatności zawilgoconych utworów, rumoszu i skał odpadowych pozostałych po zbiorniku dosalającym – obecnie pod spągami tamy, ale również podwyższonych w tym rejonie obciążeń oddziaływujących na strop tamy, wynikających ze sposobu eksploatacji na wyższym poziomie. Zagęszczanie ośrodka pod tamą lub jego wypychanie poza strefę spągu tamy są zjawiskami o tendencji zanikowej, a odzwierciedleniem tego trendu są wyniki pomiaru przemieszczeń w komorze Layer. Przyczyną deformacji poziomych w kierunku normalnym do czoła tamy może być podwyższona odkształcalność betonu, jak również odspojenie i spękanie czołowej warstwy tamy.

Reasumując, nadal postępować będzie pionowa deformacja tamy – obserwowana na jej ścianie, ale występująca także w jej wnętrzu – wywołana naciskiem skał. Przejawem tego procesu będzie też zwiększanie odkształceń poziomych, szczególnie w środku wysokości tamy. Deformacje tamy mogą przejawiać się następnymi spękaniem. Z tego względu integralność tamy warto byłoby stwierdzić poprzez badania georadarem.

Przeprowadzone badania wykazały, że poprzez proste pomiary geodezyjne rozpoznać można ruch otoczenia tamy wodnej i jej deformacje określające stan tamy podporowej, a także wstępnie ocenić tendencje zmian tego stanu. Warunkiem poprawności takich pomiarów w warunkach kopalń soli jest określenie powiązania ruchów lokalnych z zaciskaniem w skali górotworu objętego wpływami eksploatacji.

### **Podziękowania:**

Autorzy składają podziękowania za cenne uwagi Panu dr hab. inż. Grzegorzowi Kortasowi.

## Literatura

1. Brudnik K., Czop M., Motyka J., d'Obyrn K., Rogoż M., Witczak S. – 2010 – *The complex hydrogeology of the unique Wieliczka salt mine*, Przegląd Geologiczny, vol. 58, nr 9/1
2. d'Obyrn K., Brudnik K. – 2011 – *Wyniki monitoringu hydrogeologicznego w kopalni soli „Wieliczka” po zamknięciu dopływu wody w poprzeczni Mina na poz. IV*, Przegląd Górniczy Nr 6
3. Gonet A. i in. – 2006 – Aktualizacja „Kompleksowej koncepcji zabezpieczenia zabytkowej Kopalni Soli „Wielicka” przed zagrożeniem wodnym” w zakresie likwidacji wycieków W VII-16, W VI-32 i W VI-6, Fundacja Wiertnictwo-Nafta-Gaz, Nauka i Tradycje, Kraków 2006, Archiwum Kopalni Soli Wieliczka (praca niepublikowana)
4. Kortas G. – 1992 – *Ocena stanu zagrożenia powierzchni w związku z wyciekami z poprzeczni Mina w Wieliczce*, Materiały z I Spotkania Polskiego Stowarzyszenia Górnictwa Solnego, Zakopane, XI 1992, Wyd. PSGS
5. Kortas G. – 2007 – *Przemieszczenia powierzchni nad historyczną kopalnią w Wieliczce*, Przegląd Górniczy Nr 3
6. Kortas G. – 2010 – *Szyb z obudową w górotworze solnym – wstępne badania modelowe*, Górnictwo i Geoinżynieria R. 34, z. 2
7. Kortas G. – 2013 – *Zagrożenie wodne w polskich podziemnych kopalniach soli*, Przegląd Górniczy Nr 5
8. Kortas G. – 2014 – *Podstawowe problemy ochrony powierzchni i górotworu w górnictwie solnym*, Przegląd Górniczy Nr 10
9. Kortas G., Maj A. – 2014 – *Analiza wyników pomiarów geodezyjnych oraz badań geologicznych i hydrogeologicznych dla oceny stanu tamy podporowej w komorze Layer w kopalni Wieliczka*, GeoConsulting, Kraków 2014, Archiwum Kopalni Soli Wieliczka (praca niepublikowana)
10. Maj A., Kotas G., Ulmanniec P. – 2012 – *Ground uplift after closure of water leaks in the Mina drift of the Wieliczka salt mine*, Geology, Geophysics & Environment, Vol. 38, No. 1
11. Szewczyk J. i in. – 2011 – *Wykonanie analizy wraz z interpretacją wyników pomiarów konwergencji pionowej i poziomej oraz propagacji szczelin w wyrobiskach*, AGH, Kraków, Archiwum Kopalni Soli Wieliczka (praca niepublikowana)

12. Szybist A. – 2011 – Przekrój geologiczny 4-4 (rejon komory Fornalska), Archiwum Kopalni Soli Wieliczka (praca niepublikowana)
13. Wójcik J. i in. – 1995 – Opracowanie interpretacji katastrof wodnych i doświadczeń hydrotechnicznych, wyników drenażu i przejawów ruchu górotworu i jego skutków w postaci szkód górniczych, a w szczególności doświadczeń z przebiegu historycznych katastrof oraz zwalczania zagrożenia wodnego w komorze Kloski, pop. Mina, komorze Fornalska, Z-32 i podłużni Kosocice dla określenia parametrów i warunków modelowania dynamicznych przepływów i ich skutków. Rozdz. IV.7. Komora Fornalska 2. Poziom VII., GeoConsulting, Kraków, Archiwum Kopalni Soli Wieliczka (praca niepublikowana)
14. Zuber A., Ciężkowski W. – 1995 – Ocena dotychczasowych badań znacznikowych przeprowadzonych w Kopalni Soli Wieliczka i w jej rejonie. W: Zadanie C, PBZ 0066-01, Masz. Arch. Kat. Geologii Złożowej i Górniczej Wydz. GGiOŚ, AGH (praca niepublikowana)