

*Andrzej Chrost\**, *Krzysztof Janicki\*\**,  
*Beata Koszulańska\*\*\**, *Łukasz Krywult\**

## ZASTOSOWANIE NOWYCH TECHNIK POMIAROWYCH W PROCESIE KONTROLI STATECZNOŚCI SKŁADOWISKA „ŻELAZNY MOST”

---

### 1. Wstęp

Składowisko odpadów „Żelazny Most” jest miejscem deponowania odpadów poflotacyjnych powstających w procesie przeróbki rudy miedzi. Eksploatowane jest nieprzerwanie od 1977 r. i jako jedyne miejsce gromadzenia odpadów ma charakter strategiczny dla KGHM Polska Miedź SA.

Położone jest ono w obrębie wschodniej części Wzgórz Dalkowskich, które stanowią fragment rozległego ciągu struktur glacitektonicznych Wału Śląskiego. Podłoże składowiska Żelazny Most cechują wyjątkowo skomplikowane warunki hydrogeologiczne, geologiczne i geotechniczne. Zapory stanowiące blisko połowę długości obwodu składowiska (zapora północna, częściowo zapory wschodnia i zachodnia) posadowione są na wychodniach ilów trzeciorzędowych tworzących struktury w formie rozległych łusek glacitektonicznych. Pozostałe odcinki zapór posadowione są na podłożu czwartorzędowym, w tym w przewadze na gruntach spoistych.

Składowisko jest obiektem nadpoziomym, budowanym z frakcji piaszczystych wydzielonych z odpadów dostarczanych do składowiska systemem instalacji hydrotransportu ciśnieniowego. Powierzchnia składowiska wynosi ok. 1500 ha, a długość zapór 14,3 km, których wysokość waha się od 30 do 58 m. Obszar składowiska ogranicza tzw. zapora podstawowa o rzędnej korony 135÷145 m n.p.m., zbudowana z gruntów mineralnych pozyskanych z czaszy składowiska. Wysokość zapory podstawowej jest zmienna na obwodzie i wynika z ukształtowania powierzchni terenu naturalnego. Składowanie odpadów i nadbu-

---

\* ZPPUH „BUDOKOP” Sp. z o.o., 41-400 Mysłowice, ul. Powstańców 19a

\*\* KGHM Polska Miedź SA, 59-301 Lubin, ul. M. Skłodowskiej-Curie 48

\*\*\* KGHM Polska Miedź SA, Oddział Zakład Hydrotechniczny, 59-305 Rudna, ul. Polkowska 52

dowa składowiska prowadzona jest metodą „do środka”, etapami, poprzez formowanie zapór ograniczających na tzw. plażach składowiska. Materiałem konstrukcyjnym do formowania zapór ograniczających są gruboziarniste odpady. Jeden cykl formowania zapory wynosi 5 m i realizowany jest w dwóch etapach po 2,5 m. Średni, roczny przyrost wysokości składowiska wynosi ok. 1,25 m.

Składowisko jest obiektem budowlanym, przez co należy rozumieć budowlę stanowiącą całość techniczno-użytkową wraz z instalacjami i urządzeniami. Dla rozbudowy i formowania zapór składowiska do rzędnej koron 180,00 m n.p.m. został opracowany i zatwierdzony projekt budowlany oraz udzielone pozwolenie na rozbudowę.

## 1. Ogólny opis systemu monitoringu geotechnicznego składowiska

Wielkość składowiska, skomplikowany charakter budowy geologicznej podłoża, jego oddziaływanie na środowisko, warunki eksploatacji i projektowania wynikające z przepisów prawa i przyjęte rozwiązania w projekcie budowlanym powodują, że składowisko monitorowane jest pod względem geotechnicznym i środowiskowym. W zakresie monitoringu geotechnicznego realizowane są następujące pomiary i obserwacje:

- położenia zwierciadła wody w korpusie i w podłożu zapory oraz ciśnień porowych w gruntach spoistych,
- deformacji i przemieszczeń zapór i podłoża składowiska,
- wydatków drenaży i przepływów w rowach opaskowych,
- wstrząsów wywołanych eksploatacją podziemną.

Pomiary prowadzone są w rozbudowanej sieci aparatury kontrolno-pomiarowej, w skład której wchodzi między innymi:

- piezometry otwarte:
  - piezometry kontrolne zapór, dla których określono stany ostrzegawcze i alarmowe,
  - piezometry kontrolne do oceny pracy drenażu zapory podstawowej,
  - piezometry kontrolne do oceny pracy drenażu pierścieniowego,
  - piezometry zainstalowane wzdłuż ciągów zrzutowych wody nadosadowej do kontroli szczelności rurociągów,
  - piezometry hydrowęzła do oceny pracy studni drenażowych,
  - piezometry zlokalizowane na przedpolu składowiska do oceny procesów filtracyjnych i migracji wód zasolonych,
- piezometry zamknięte do pomiaru ciśnień porowych w gruntach spoistych podłoża,
- sieć obserwacyjna przemieszczeń zapory i obiektów specjalnych (galerie ciągów napływowych, budynki pompowni, wieże ujęcia wody nadosadowej w akwencie) w skład której wchodzi:

- punkty kontrolowane do obserwacji przemieszczeń poziomych i pionowych zapory i przedpola,
  - repery wgłębne zapory i repery obiektów specjalnych do obserwacji przemieszczeń pionowych,
- inklinometry do obserwacji przemieszczeń poziomych w podłożu składowiska,
  - koryta do pomiaru przepływów w rowach opaskowych,
  - akcelerometry i sejsmometry do pomiaru drgań gruntu.

W ramach prowadzonego monitoringu prowadzone są również obserwacje:

- wydatków filtracyjnych drenażu zapory podstawowej i drenaż pierścieniowego masywu odpadów,
- przepływów w rowach opaskowych,
- wydatków i depresji studni drenażowych.

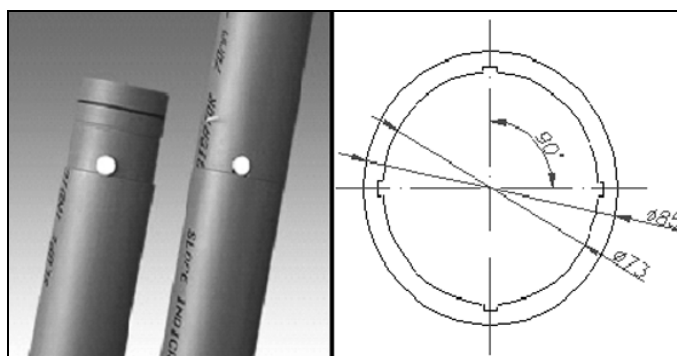
W latach 2007–2008 w ramach rozpoznania geologicznego i rozbudowy sieci pomiarowej na składowisku „Żelazny Most” i w jego rejonie wykonano 127 otworów wiertniczych, w których zainstalowano piezometry otwarte i zamknięte oraz inklinometry. Instalacja inklinometrów i piezometrów zamkniętych prowadzona była przez firmę Budokop pod nadzorem geotechnicznym dr Elmo DiBiagio z Norweskiego Instytutu Geotechnicznego. Nowością pod względem technicznym była duża głębokość instalacji inklinometrów oraz instalacja w jednym otworze wiertniczym zespołu urządzeń kontrolno-pomiarowych w postaci inklinometru i czujników do pomiaru ciśnienia wody porowej.

## 2. Pomiary inklinometryczne

Pomiary inklinometryczne są istotnym elementem systemu monitoringu składowiska „Żelazny Most” i jego przedpola. Dostarczają one informacji o względnych przemieszczeniach poziomych mas ziemnych obwałowań zbiornika. Pomiary wykonuje się sondą wyposażoną w dwa serwoakcelerometryczne przetworniki wychyleń kątowych, co umożliwia jednoczesny pomiar w dwóch płaszczyznach. Sondę opuszcza się w kolumnach rur prowadniczych zainstalowanych w otworach wiertniczych. Kolumnę tworzą odcinki z tworzywa ABS o długości 3,05 m i średnicy 85 mm. Wewnątrz wyfrezowane są rowki (prowadnice dla sondy) rozmieszczone co 90° (rys. 1). Końce rury wyposażone są w specjalne złączki zatrzaskowe uszczelniane, w zależności od producenta rur, uszczelką lub klejem. Połączenie takie zapewnia ciągłość kolumny inklinometrycznej oraz zabezpiecza przed dostępem iniektu i gruntu do jej wnętrza.

Analizę wyników pomiarów inklinometrycznych wykonuje się przy założeniu, że stopa kolumny jest nieruchoma. W związku z tym konieczne jest, aby była ona posadowiona na głębokości, na której przemieszczenia poziome gruntu już nie występują. W celu zapewnienia tego warunku, zdecydowano o zastosowaniu długich kolumn inklinometrycznych. W 2007 i 2008 r. zainstalowano 23 kolumny inklinometryczne w tym 9 o długości po-

wyżej 79 m i 14 o długości powyżej 100 m. Najdłuższa kolumna inklinometryczna mierzyła 159,5 m i jest najdłuższą zainstalowaną dotychczas w Polsce. Przy tak długich kolumnach pojawia się problem skrzywienia rur, co powoduje, że rzeczywisty kierunek przemieszczeń w danej płaszczyźnie może być inny niż wynikający jedynie z pomiaru przemieszczeń. W celu wyeliminowania tego zjawiska wykonuje się, za pomocą specjalnej sondy, pomiar spirality całej kolumny inklinometrycznej i wprowadza się do pomiarów przemieszczeń korektę wynikającą ze skrzywienia.



Rys. 1. Rura inklinometryczna firmy Slope Indicator uszczelniana o-ringiem

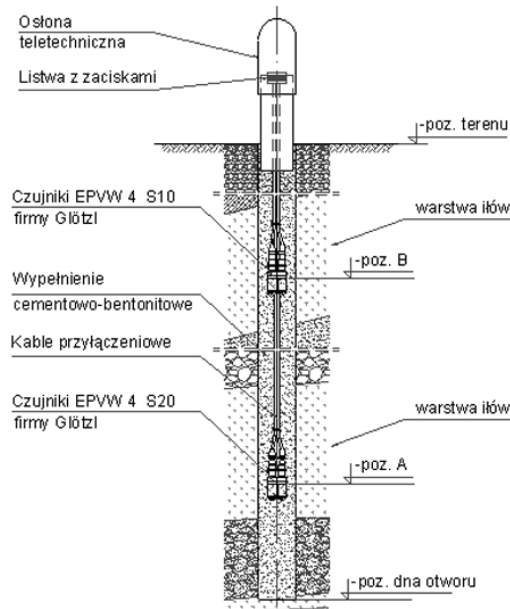
### 3. Opis pomiarów ciśnień wody porowej

Wyznaczenie parametrów górotworu niezbędnych do oceny jego stateczności w warunkach składowiska „Żelazny Most” jest szczególnie trudne. Niejednorodne i skomplikowane pod względem geologicznym podłoże oraz występowanie lokalnych horyzontów wodonośnych, stwarzają przed systemem pomiaru ciśnień wody porowej szczególne wymagania. Występowanie w wielu miejscach utworów ilastych oraz wód naporowych spowodowało konieczność uzupełnienia systemu piezometrów otwartych również piezometrami zamkniętymi.

Piezometr zamknięty umożliwia pomiar w jednym otworze ciśnienia wody porowej na różnych określonych przez projektanta poziomach. Czujniki do pomiaru ciśnienia wody porowej instalowane są w otworach wiertniczych, które następnie wypełnia się zaczynem cementowo-bentonitowym. Schemat piezometru zamkniętego przedstawiono na rysunku 2.

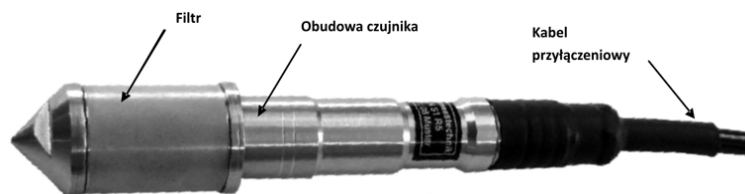
Konstrukcja piezometru zamkniętego uniemożliwia wymianę czujnika w czasie jego eksploatacji. Stawia to przed zastosowanymi czujnikami szczególnie wysokie wymagania techniczne, takie jak:

- bezawaryjna praca w maksymalnie długim okresie czasu,
- wysoka jakość i duża powierzchnia czynna filtra,
- duża dokładność oraz stabilność pomiarów w czasie.



Rys. 2. Schemat budowy „Piezometru zamkniętego”

W warunkach opisywanego składowiska zastosowano czujniki strunowe, które charakteryzują się dużą powierzchnią czynną filtra ( $62,8 \text{ cm}^2$ ). Istotną zaletą czujników strunowych jest metoda ich działania, polegająca na tym, że są one zasilane napięciem elektrycznym jedynie w chwili pomiaru (wzbudzenia struny). Pozostawianie czujnika w okresach między pomiarami bez zasilania, redukuje do minimum zjawisko elektroosmozy, a także zużycie elementów elektrycznych, co w znacznym stopniu wydłuża czas jego użytkowania. Na rysunku 3, przedstawiono zastosowany czujnik strunowy. Początkowo zdecydowano o instalacji dwóch czujników na każdym poziomie pomiarowym. Takie rozwiązanie zapewnia możliwość wykonywania pomiarów nawet w przypadku awarii jednego z czujników. Doświadczenia zdobyte w trakcie realizacji zadania, głównie przekonanie do wysokiej jakości instalowanych czujników, spowodowało odstępiania od tej zasady w kolejnych instalacjach.



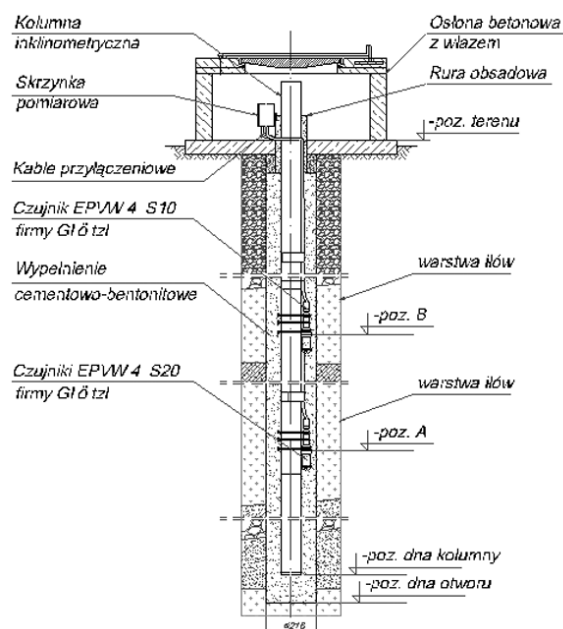
Rys. 3. Czujnik do pomiaru ciśnienia wody porowej i temperatury EPVW 4 S

#### 4. Nowe rozwiązania

Trudne warunki instalacji aparatury pomiarowej w warunkach składowiska „Żelazny Most” w szczególności instalacja głębokich inklinometrów, spowodowały konieczność rozwiązania szeregu problemów technicznych i opracowania technologii dotychczas niestosowanych w Polsce. Dzięki wiedzy i doświadczeniu w instalacji tego typu urządzeń dr Elmo DiBiagio oraz pracowników firmy Budokop zastosowano metody przyspieszające instalację i dające wiarygodne wyniki pomiarów.

Ważną modyfikacją instalacji czujników do pomiaru ciśnienia wody porowej była rezygnacja ze stosowania obsypki piaskowej. Wykonanie obsypki utrudnia i przedłuża czas instalacji. W przypadku zastosowanych czujników możliwe było ich zatopienie bezpośrednio w zacznym cementowo-bentonitowym. Taki sposób instalacji nie tylko obniża koszty, ale także poprawia jakość wyników pomiarów [1–3].

Na składowisku „Żelazny Most” podjęto również próbę zespolonej instalacji kolumny inklinometrycznej wraz z czujnikami do pomiaru ciśnienia wody porowej. Rozwiązanie takie zostało zaproponowane przez dr Elmo DiBiagio i zrealizowane z bardzo dobrym skutkiem, po raz pierwszy w Polsce. W instalacji zespolonej do otworu wiertniczego wypełniono płuczką opuszcza się kolumnę inklinometryczną wraz z czujnikami do pomiaru ciśnienia wody porowej. Czujniki zostają przytwierdzone na ustalonej wysokości do rury, w sposób uniemożliwiający ich przesunięcie (rys. 4).



Rys. 4. Schemat zespolonej instalacji

Dzięki zespolonej instalacji osoba analizująca stateczność obwałowania składowiska ma do dyspozycji wyniki pomiarów ciśnień wody porowej interesujących ją warstw, w miejscach, w których mierzone są także przemieszczenia poziome gruntów. Równie ważny jest aspekt ekonomiczny takiego rozwiązania.

## 5. Podsumowanie

Prace wiertniczo instalacyjne prowadzone w obrębie składowiska „Żelazny Most” przyczyniły się do skutecznej rozbudowy systemu monitorowania warstw gruntów wchodzących w skład obwałowań i podłoża. W trakcie realizacji prac napotkano skomplikowane warunki geologiczne. Instalacja urządzeń pomiarowych wymagała rozwiązania szeregu problemów technicznych i technologicznych.

Dzięki współpracy specjalistów zagranicznych i polskich możliwe było zbudowanie systemu kontrolno-pomiarowego, który jak wykazują dotychczasowe doświadczenia działa sprawnie. Zrealizowane w latach 2007–2008 opisane powyżej instalacje, w istotny sposób uzupełniają istniejący dotychczas system pomiarowy. Uzyskiwane wyniki pomiarów umożliwiają wielokierunkową analizę stanu obwałowań i podłoża składowiska. Pozwalają również na właściwe ukierunkowanie prac zmierzających do jego rozbudowy z zachowaniem wysokiego poziomu bezpieczeństwa.

### LITERATURA

- [1] *Elmo DiBiagio*: Recommended method for installing piezometers and inclinometers casings. NGI, February 2008 (materiały niepublikowane)
- [2] *Mikkelsen P.E., Green G.E.*: Piezometers in fully grouted boreholes. Field Measurements in Geomechanics, Myrvoll (ed.) © 2003 Swets & Zeitlinger, Lisse, ISBN 905809 602 5
- [3] *Contreras I., Grosser R., Ver Strate R.*: Discussion of „The Use of the Fully-grouted Method for Piezometer Installation”. Geotechnical Instrumentation News, tom 26, Nr 2, 2008r., s. 38–44.
- [4] *Chrost A., Krywult Ł.*: Dokumentacja powykonawcza „Wykonanie instalacji urządzeń kontrolno-pomiarowych zgodnie z projektami prac geologicznych nr 4361, 4614, 4638, na Składowisku Żelazny Most i jego przedpolu”, Mysłowice, Z.P.P.U.H. Budokop Sp. z o.o., 2008