

LIKWIDACJA ZAGROŻENIA WODNEGO I OGRANICZENIA DOPŁYWU WÓD DO SZYBU „CZUŁÓW” ZE STRONY ZAWODNIONYCH WARSTW NADKŁADU W SRK S.A. ODDZIAŁ KWK „BOŻE DARY”

LIQUIDATION OF A WATER THREAT AND LIMITATIONS OF WATER SUPPLY TO THE SHAFT „CZUŁÓW” FROM THE SIDE OF THE WATERLOGGED LAYERS OF THE EXPOSURE IN THE COMPANY OF RESTRUCTURIZATION OF THE MINES, COAL MINE „BOŻE DARY”

Roman Kuś, Mateusz Kuś, Jerzy Jędrzejewski - PRGW Sp. z o.o., Sosnowiec
Marcin Węglarz - SRK S.A. Oddział KWK „Boże Dary”

W artykule przedstawiono sposób likwidacji zagrożenia wodnego i ograniczenia dopływu wód do szybu „Czułów” SRK S.A. Oddział KWK „Boże Dary” ze strony zawodnionych warstw nadkładu i utworów karbońskich. Realizacja prac polegała na wykonaniu przesłony hydroizolacyjnej oraz likwidacji otworów drenażowych zlokalizowanych wokół szybu „Czułów”. Uszczelnienie i stabilizacja górotworu obejmowała czwartorzędowy nadkład i strop słabo związłego piaskowca karbońskiego do głębokości 65 m. W tym interwale głębokościowym zaprojektowano wykonanie przesłony hydroizolacyjnej w technologii iniekcyjnej, przy wykorzystaniu pionowych otworów wierconych z powierzchni w strefie zrębu szybu.

Do osiągnięcia zamierzonego celu wykorzystano mieszaninę charakteryzującą się niskim współczynnikiem filtracji ($k < 1 \cdot 10^{-8}$ m/s) nierozmywalnością i brakiem odstoju dobowego gwarantującego optymalne wypełnienie i zabezpieczenie górotworu w celu długotrwałej likwidacji zagrożenia wodnego w warunkach wzmożonej filtracji wód podziemnych. Otwory drenażowe zlikwidowano przez cementację do powierzchni terenu. W jednym z otworów pozostawiono niezlikwidowany odcinek 90 m, który posłuży jako piezometr do obserwacji odbudowywania ciśnienia piezometrycznego w górotworze.

Przed rozpoczęciem robót sumaryczny dopływ wody do poziomu 282 m i do rury szybowej szybu „Czułów” od powierzchni do poziomu 282 m wynosił 2,25 m³/min. Po zakończeniu robót sumaryczny dopływ wody do poziomu 282 m i do rury szybowej szybu „Czułów” od powierzchni do poziomu 282 m wyniósł 0,30 m³/min, tzn. dopływ wody zmniejszył się o 86,7 %.

Słowa kluczowe: iniekcja nisko ciśnieniowa, materiał hydroizolacyjny, uszczelnianie gruntów, drenaż

In the paper there is presented a way of liquidation of water hazard and limitation of inflow of water to the shaft „Czułów”, Company of Restructurization of the Mines, Coal Mine „Boże Dary” from waterlogged layers of overburden and Carboniferous strata. Realization of works was based on making of hydroisolation screen and liquidation of drainage holes situated around the shaft „Czułów”. Sealing and stabilization of rock mass comprised Quaternary overburden and roof of low compact Carboniferous sandstone up to the depth of 65 meters. In this depth interval there was done a project of hydroisolation screen in injection technology using vertical drill-holes, drilled from the surface in the zone of framework of the shaft.

For intended purpose there was used a mixture characterised by low filtration coefficient ($k < 1 \cdot 10^{-8}$ m/s), non-washability and lack of 24 hours water separation, what guarantees optimal filling and protection of rock mass for the purpose of sustained liquidation of water hazard in the conditions of intensified filtration of groundwater. Drainage holes have been liquidated by cementation to the ground surface. In one hole there was left not liquidated 90 meters long sector, which will be used as piezometer for observation of reconstruction of piezometric pressure in rock mass.

Before starting works the total inflow of water to the level 282 m and to the shaft pipe of „Czułów” shaft from the surface to the level 282 m counted 2,25 m³/min. After finishing works the total inflow of water to the level 282 m and to the shaft pipe of „Czułów” shaft from the surface to the level 282 m counted 0,30 m³/min, that is the inflow was reduced of 86,7 %.

Keywords: low pressure grouting, waterproofing material, soil sealing, drainage

Wprowadzenie

W ramach prowadzonego procesu likwidacji Oddziału SRK S.A. KWK „Boże Dary” założono m.in. zlikwidowanie przez zasypanie szybu „Czułów”. Aby możliwe było zlikwidowanie przedmiotowego szybu, w pierwszej fazie należało zaprojektować bezpieczny i skuteczny sposób ograniczenia do minimum dopływu do szybu wód pochodzących z zawodnionych warstw nadkładu i zawodnionych warstw łaziskich. W związku z powyższym opracowano „Projekt likwidacji zagrożenia wodnego i ograniczenia dopływu wód do szybu „Czułów” ze strony zawodnionych warstw nadkładu”, który obejmował w szczególności sposób wykonania przesłony hydroizolacyjnej wokół szybu „Czułów” oraz likwidację otworów drenażowych: TO-49, TO-51, TO-53, TO-59 i wykonanie piezometru w jednym z nich oraz monitoring zmiany warunków hydrogeologicznych. Realizując założenia powyższego projektu szacowano obniżenie dopływu wody do szybu „Czułów” oraz dopływu z otworów drenażowych o minimum 75%, a w konsekwencji znaczne ograniczenie kosztów pompowania wody w przyszłości, po likwidacji szybu. Według przeprowadzonej analizy ekonomicznej planowanego przedsięwzięcia, zakładano, że zaangażowane środki finansowe na jego realizację zwrócą się po około 2 latach.

W oparciu o tę analizę, biorąc pod uwagę w szczególności aspekt bezpieczeństwa oraz możliwość ograniczenia kosztów funkcjonowania jednego z oddziałów Spółki, Zarząd Spółki Restrukturyzacji Kopalń S.A. podjął decyzję o realizacji inwestycji.

W wyniku przeprowadzonych prac iniekcyjnych oraz likwidacji otworów drenażowych, łączny dopływ wody do szybu oraz na poziom 282 m zmniejszył się z 2,250 m³/min do 0,300 m³/min, tj. o około 86,7%.

Opis warunków geologiczno-technicznych w rejonie szybu w trakcie prowadzonych prac

Szyb „Czułów” pełnił funkcję szybu wentylacyjnego (wydechowego) i materiałowo - zjazdowego. Rzędna zrębu szybu wynosi +255,80 m, a rzepia -138,85 m, głębokość szybu wynosiła 394,65 m, a jego średnica 4,0 m. Wloty do podszybi łączących szyb z wyrobiskami poziomymi wykonano na dwóch poziomach: poziom 282 m i poziom 416 m. Przed likwidacją szybu czynny był tylko poziom 416 m. Na poziomie 282 m w otamowanych wyrobiskach górniczych pozostawiono wnęki, w których odbierane były wody dopływające z otamowanych wyrobisk górniczych oraz z otworów drenażowych.

Obudowę szybu do głębokości 13,0 m stanowił mur z cegły o grubości 77 cm, poniżej obudowa była wykonana z betonitów szybowych BS1-C-20 (BSz-2) wraz z uszczelnieniem o grubości od 0,43 do 1,00 m.

Brak izolacji pomiędzy górotworem a obudową szybu na odcinkach poziomów wodonośnych powodował przenikanie wody przez obmurze i liczne wycieki wody do wnętrza szybu. Na całej długości od zrębu do głębokości około 180 m obudowa szybu była mokra, a wypływająca zza obudowy woda ujmowana była w system sączków i rynien okapowych, a następnie rurowciągiem zabudowanym w szybie sprowadzana do systemu głównego odwadniania na poziomie 416 m.

Warunki górnicze

W rejonie szybu „Czułów” eksploatację górnictwem prowadziła jedynie KWK „Murcki” w pokładzie 308 na poziomie 282 m oraz w pokładach 317 i 318 na poziomie 416 m. Pokłady te były wybierane poza granicę filara ochronnego, wyznaczonego dla szybu. W obrębie filara wykonywane były tylko korytarzowe wyrobiska górnicze.

SRK S.A. Oddział KWK „Boże Dary” nie przewiduje w przyszłości prowadzenia eksploatacji w przedmiotowym rejonie.

Zagrożenie wodne dla szybu „Czułów”

Źródłem zagrożenia wodnego dla szybu „Czułów” były silnie wodonośne piaski pylaste o charakterze kurzawki i piaski ze żwirem występujące w spągu utworów czwartorzędowych na głębokości od 30,0 m do 57,6 m oraz stropowa część słabo zwięzłych i mocno zwietrzałych piaskowców warstw łaziskich występujących od głębokości 57,6 do około 65,0 m. Pozostała część warstw łaziskich do głębokości 170 m zbudowana jest z zawodnionych piaskowców od drobno do gruboziarnistych o lepiszczu ilastym i różnym stopniu zwięzłości.

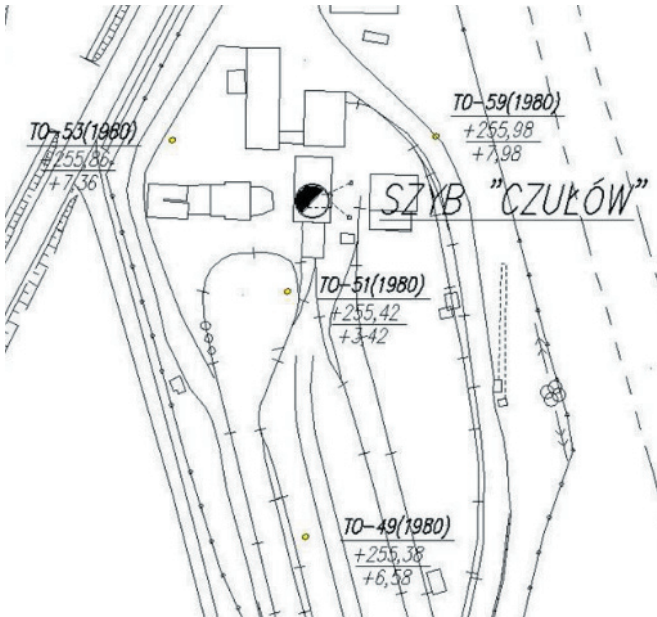
W 1977 roku stwierdzono wzrost zagrożenia wodnego dla szybu „Czułów”. Do szybu tego poprzez szczeliny i ubytki w jego obudowie wpływała woda w ilości około 600 l/min, pochodząca z ww. warstw piaszczysto-żwirowych. Stopień zagrożenia zwiększał się, ponieważ woda wpływająca przez szczeliny obudowy zaczęła wynosić drobne frakcje piasku.

W zaistniałych warunkach hydrogeologiczno-górnicyznych powstała obawa, że może wystąpić wylew mieszaniny wody z piaskiem, stwarzając w ten sposób bardzo poważne zagrożenie dla ówczesnej kopalni „Murcki” z uwagi na postępujący proces tworzenia się nowych szczelin w obudowie szybu. W przypadku uszkodzenia obudowy szybu zagrożenie stanowił tu dopływ mieszaniny wody z piaskiem (kurzawki), którego natężenie szacowano na około 3 m³/min. Przenikanie się upłynnionych mas pylasto-piaszczystych do szybu nie tylko zagrażało wyrobiskom podziemnym, ale przede wszystkim doprowadziłoby do powstania zapadliska na powierzchni terenu, zagrażając głównie wieży szybowej i innym obiektom szybu zlokalizowanym na powierzchni. W związku z powyższym rozważano nawet konieczność likwidacji szybu.

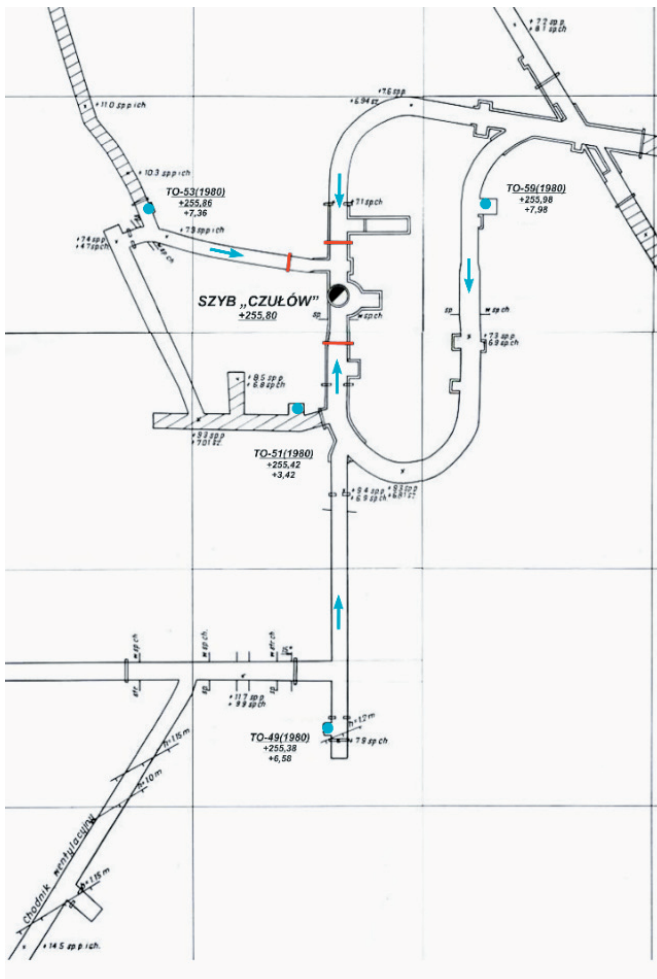
W celu utrzymania dalszej funkcjonalności szybu w trudnych warunkach hydrogeologicznych opracowany został sposób zabezpieczenia szybu polegający na ograniczeniu źródła zagrożenia wodnego. Zastosowana metoda ograniczenia zagrożenia wodnego polegała na odwodnieniu w otoczeniu rury szybowej serii piasków czwartorzędowych i zwietrzałych piaskowców stropowych karbonu za pomocą otworów drenażowych odwierconych wokół szybu „Czułów”. Drenaż przeprowadzono pośrednio przez bardziej zwięzłe piaskowce warstw łaziskich, co skutkowało obniżeniem zwierciadła wody do głębokości około 75 m, tj. około 15 m poniżej spągu wodonośnej warstwy piasków czwartorzędowych. Ten sposób drenażu eliminował sufozję mechaniczną z piasków kurzawkowych, oraz zagwarantował stateczność wieży szybowej i innych obiektów budowlanych. Schemat wykonanego systemu drenażu wokół szybu przedstawiono na rysunku 1.

System drenażu górotworu otworami drenażowymi

Na system drenażowy składały się z wykonane w latach 1979 – 1980 cztery otwory (TO-49, TO-51, TO-53 i TO-59) z powierzchni do wyrobisk górniczych w pokładzie 308 na poziomie 282 m. Odległość otworów od szybu wynosiła od



Rys. 2. Lokalizacja otworów na powierzchni
Fig. 2. Location of drill holes on the surface



Rys. 3. Lokalizacja otworów na poz. 282 m
Fig. 3. Location of drill holes at the level of 282 m

kilkunastu do kilkudziesięciu metrów. Lokalizacja pionowych otworów drenażowych determinowana była lokalizacją wyrobisk górniczych na poziomie 282 m w sąsiedztwie szybu. Lokalizację otworów przedstawiono na wycinkach map powierzchni (rys. 2) i wyrobisk górniczych na poziomie 282 m (rys. 3).

Perforację rur filtrowych uzyskano przez odpalenie ładunków wybuchowych w interwale głębokości od około 80 do 210 m. Woda z drenażu otworowego po ujęciu na poziomie 282 m kierowana była rurociągiem zabudowanym w szybie do systemu głównego odwadniania przy szybie „Czułów” na poziomie 416 m. Dopływ wody do systemu drenażowego w latach 1980-2015 wahał się od 4,12 m³/min do 2,05 m³/min. Najniższy dopływ odnotowano w 2015 roku. Należy zaznaczyć, że w przeszłości dopływy do poszczególnych otworów nie były równomierne. Największą ilość wody, około 65 % całkowitego dopływu odprowadzał otwór TO-53. Otwory TO-49 i TO-51 drenowały około 35 % dopływu. Dopływ wody do otworu TO-59 w początkowym okresie wynosił kilkadziesiąt l/min i systematycznie malał. Po kilku tygodniach dopływ wody do otworu ustał.

Oprócz omówionego systemu drenażu górotworu wokół szybu „Czułów”, woda gromadząca się za jego obudową ujmowana była poprzez sączi oraz niewielkie wysączenia przez obudowę, które grawitacyjnie spływały do zabudowanych na obudowie szybu rynien ociekowych. Wyflęwy te odprowadzane były do rurociągu w szybie. Po wykonaniu otworów drenażowych, dopływ wody z za obudowy szybu od powierzchni do poziomu 282 m zmienił się w granicach od kilkudziesięciu do ponad 400 l/min. W latach 2006 – 2017 wynosił od 80 l/min do 160 l/min.

Założenia projektowe dla wykonania przesłony hydroizolacyjnej

Dla likwidacji zagrożenia wodnego i ograniczenia dopływu wód do szybu „Czułów” w SRK S.A. Oddział KWK „Boże Dary” ze strony zawodnionych warstw nadkładu zaprojektowano wykonanie przesłony hydroizolacyjnej wokół szybu. Jej parametry zostały ustalone według metodyki projektowania opracowanej przez Przedsiębiorstwo Robót Geologiczno Wiertniczych [1]. W literaturze światowej opisywane są podobne przedsięwzięcia [2], lecz dotyczą wykonywania barier (przesłon) hydroizolacyjnych realizowanych w spękanych skałach zwięzłych.

Liczba otworów i ich rozmieszczenie, zostało określone przy uwzględnieniu wyników wizji lokalnej. Szczegółowo parametry przesłony przedstawiono w tabeli 1.

Lokalizacja otworów iniekcyjnych i technologia robót

Bezpieczną lokalizację otworów, określono w sposób analityczno - graficzny z założeniem konieczności zazębienia się przesłon hydroizolacyjnych tworzonych wokół poszczególnych otworów iniekcyjnych, przy ścisłym uwzględnieniu obliczonych parametrów technologicznych tworzenia przesłony hydroizolacyjnej.

W oparciu o te obliczenia, wyznaczono **strefę bezpiecznej lokalizacji otworów** poza głowicą szybu (obrys szybu w rzucie poziomym) i obliczoną strefą zasięgu iniekcji $B \geq r_{\max}$ (poza strefą oddziaływania zadawanego ciśnienia dynamicznego).

Obliczony zasięg iniekcji r_{\max} zależy od, wypadkowej wartości efektywnego ciśnienia ΔP_{EF} w każdym punkcie profilu

Tab.1. Parametry technologiczne przesłony
 Tab.1. Technological parameters of the barrier

Liczba ekranów	1
Typ ekranu	Jednorzędowy - opaskowy
Otwory	pionowe, wiercone wg schematu w kolejności numerycznej od 1 do 8 w wyznaczonej strefie lokalizacji otworów
Całkowita liczba otworów	8
Długość otworów	65 m
Minimalna efektywna wysokość ekranu	64 m
Strefy iniekcyjne	6 stref w otworze, uszczelnianie stref w kierunku do gł. 65 m Iniekcja w strefach: od spągu do stropu strefy Suma: 6 stref x 8 otw. = 48 stref iniekcyjnych
Zasięg głęb. wykonywania iniekcji w strefach	I – 5,0 m ÷ 1,0 m II – 6,0 m ÷ 5,0 m III – 30,0 m ÷ 6,0 m IV – 35,0 m ÷ 30,0 m V – 50,0 m ÷ 35,0 m VI – 65,0 m ÷ 50,0 m
Minimalny i maksymalny obl. promień iniekcji	$r_{\min} = 5,03 \text{ m}$, $r_{\max} = 6,07 \text{ m}$
Powierzchnia boczna ekranu	$P_{\text{pow.bocz.}} = 4561,792 \text{ m}^2$
Prognozowana objętość roztworu	$V = 953 \text{ m}^3 (\pm 25\% \text{ t.j. } \pm 238,25)$ do $V_{\text{baz.}}$ włącznie $\Rightarrow 1419,5 \text{ m}^3$

iniekcyjnego pomiędzy punktami konstrukcyjnymi A1 (1 m) i A2 (65 m).

Mając na uwadze wymóg nie przenoszenia bezpośrednio ciśnienia na obudowę szybu, określono **strefę nominalnej lokalizacji otworów**.

Należy zaznaczyć, że powyższe kryterium projektowania lokalizacji otworów odnosi się do przedstawionego modelu filtracyjno - hydrodynamicznego górotworu, na którym przeprowadzono obliczenie parametrów technologicznych tworzenia przesłony hydroizolacyjnej.

W praktyce robót iniekcyjnych obliczenia takie są punktem wyjścia do weryfikacji modelu filtracyjno - hydrodynamicznego górotworu na etapie realizacji robót.

Z uwagi na długoletni drenaż wód gruntowych poprzez obudowę szybu, należało się spodziewać występowania stref o dużej anizotropii chłonności profilów iniekcyjnych w otworach, wynikających z istnienia w strefie przyszybowej sufozycznych kanałów filtracyjnych oraz erozyjnych pustek i kawern.

Strefy takie powstają zwykle na skutek wzmożonego przepływu (do turbulentnego przepływu włącznie). Istotnym czynnikiem mającym wpływ na tego typu zjawiska jest mechaniczne naruszenie struktury górotworu podczas drążenia szybu oraz idące za tym dalsze mechaniczne wypłukiwanie cząstek gruntu na kontakcie „górotwór – obudowa szybu” dzięki występowaniu dużych wartości spadków hydraulicznych.

Dlatego też, należało liczyć się z częstymi grawitacyjnymi wypływami iniekowanej mieszaniny uszczelniającej poprzez nieuszczelnienie obudowy do szybu, co jednak nie oznaczało bezpośredniego oddziaływania zadawanego dynamicznego ciśnienia iniekcji na obudowę szybu, tylko samowypływ iniektu do szybu. W praktyce samowypływ jest odnotowywane przez system rejestrujący jako spadek ciśnienia i w takiej sytuacji jest to powód dla przerwania iniekcji.

Istotnym czynnikiem bezpiecznego prowadzenia robót jest ciągły, odczytywany na bieżąco w trakcie iniekcji, **komputerowy monitoring wartości ciśnienia na wylocie pompy iniekcyjnej**. Po uszczelnieniu określonego interwału górotworu i wypełnieniu pustek, zwykle obserwuje się sukcesywny, powolny wzrost ciśnienia na pompie iniekcyjnej. Wychwycenie

momentu wzrostu ciśnienia powoduje w pierwszej kolejności konieczność zmniejszenia wydatku pompy (pompa iniekcyjna z płynną regulacją wydajności) w przedziale od 25% do 50% wydatku początkowego. W przypadku stwierdzenia ponownego wzrostu wartości ciśnienia ponad średnią monitorowaną wartość w trakcie iniekcji w przedmiotowym interwale głębokości przerzywa się iniekcję. Dzięki temu, ogranicza się do minimum możliwość bezpośredniego oddziaływania zadawanego ciśnienia na obudowę szybu.

Po takim zabiegu technologicznym przystępuje się do iniekcji w kolejnym interwale głębokościowym.

Po przestoju technologicznym w otworze, który zwykle nie jest krótszy niż 12 godzin (czas potrzebny na stabilizację mieszaniny), wznawia się iniekcję w celu stwierdzenia stopnia uszczelnienia górotworu. Zwykle ponowna iniekcja (iniekcja doszczelniająca) w tym samym interwale głębokościowym przebiega z podwyższonym ciśnieniem w odniesieniu do wartości ciśnienia zadawanego w pierwszym etapie uszczelniania. Tego typu zjawisko nie stwarzało zagrożenia dla obudowy szybu, gdyż po wykonanej już wcześniej iniekcji kanały filtracyjne oraz pustki i kawerny były już wypełnione mieszaniną powodując ich „zamknięcie” bądź zmniejszenie rozwarłośc.

Z tego też powodu istniała konieczność zastosowania stabilnej mieszaniny uszczelniającej (odpornej na wymywanie), która charakteryzuje się **brakiem odstoju dobowego** i daje gwarancję „pełnego” i skutecznego odcięcia dróg przepływu wód podziemnych w pierwszym etapie uszczelniania.

Jest to niezmiernie istotne, gdyż po przestoju technologicznym, w chwili uruchomienia iniekcji doszczelniającej istnieje gwarancja odcięcia lub skutecznego ograniczenia strefy oddziaływania ciśnienia w kierunku „do szybu” i przekierowanie tej strefy w kierunku przeciwnym „od szybu”, dzięki czemu poszerza się obszar uszczelniania górotworu.

Należy również pamiętać, że do iniekcji w każdym otworze, a co za tym idzie w każdym interwale głębokościowym, konieczne jest indywidualne podejście. Jest to spowodowane istniejącą niezaprzeczalnie anizotropią górotworu, zbudowanego w podstawowym zakresie z gruntów luźnych oraz zmianami jego struktury powodowanych prowadzonymi pracami uszczelniającymi.

Wymagania w stosunku do iniektu to:

- łatwość infiltracji w pory lub szczeliny dzięki obecności ponad 80% ziaren o średnicy $< 5\mu\text{m}$ oraz odpowiednim własnościom tiksotropowym. Sztywność struktury tiksotropowej ($>30\text{Pa}$). Granica płynięcia ($>20\text{Pa}$),
- możliwość dokładnego wypełnienia wzmocnianej przestrzeni w ciągu jednego zatłoczenia (brak kontrakcji), odstój dobowy 0,0%,
- zachowanie właściwości plastycznych po okresie stabilizacji i związaniu, wytrzymałość plastyczna $>150\text{Pa}$,
- odporność na deformacje spowodowane czynnikami zewnętrznymi, wytrzymałość spoiwa po 28 dniach $>0,3\text{MPa}$,
- dobre właściwości izolacyjne w obrębie nowo utworzonej struktury, niski współczynnik filtracji po 28 dobach $k < 1 \times 10^{-8} \text{ m/s}$,
- odporność na wymywanie (ługowanie),
- długowieczność i odporność na korozję (>10 lat),
- atest higieniczny PZH, który w części mówiącej o wymaganiach, jakie musi spełniać produkt, posiada stwierdzenie: - bez zastrzeżeń,

- gęstość objętościowa - $1200-1350 \text{ [kg/m}^3\text{]}$,
- rozlewność - $8-20 \text{ [cm]}$,
- statyczne naprężenie ścinające - $20-160 \text{ [Pa]}$.

Oczekiwane jest, aby spoiwo dobrze dowiązywało się do zmodyfikowanego wcześniej gruntu. Po dowolnym czasie od wykonanej iniekcji niskociśnieniowej ww. spoiwem należy wymagać możliwości kontynuacji robót w pobliżu obszaru wcześniej zainiekowanego.

Takim spoiwem są spoiwa na bazie modyfikowanych ilów po stwardnieniu przybierające konsystencję ciała lepkoplastycznego [3]. Takie właściwości jak: plastyczność (szczególnie ważna w przypadku możliwości wystąpienia odkształceń gruntu np.: osiadania, drgań i wstrząsów wywołanych użytkowaniem maszyn), stabilność, nierozmywalność, odporność na korozję i niski współczynnik filtracji związane są z specyficznymi właściwościami gruntów ilastych.

Oczekiwaną cechą od proponowanego spoiwa jest zdolność do plastycznych odkształceń, tak aby po jego stwardnieniu, powstałe w obrębie uszczelnianego korpusu naprężenia i deformacje nie spowodowały spękań spoiwa i rozszczelnienia zmodyfikowanego podłoża gruntowego.

Należy ze szczególnością podkreślić, że mieszanina uszczelniająca po wprowadzeniu do ośrodka skalnego (gruntu), powinna stabilizować się (wiązać) nie oddając wody. W związku z powyższym wprowadzenie do uszczelnianego ośrodka określonej objętości spoiwa, powinno oznaczać wypełnienie 100 % wolnych przestrzeni.

Te dwie cechy mają zdecydowane znaczenie dla uzyskania gwarancji skutecznego długoterminowego wzmocnienia i uszczelnienia górotworu, a w konsekwencji ograniczenia zagrożenia wodnego ze strony wodonośnych, kurzawkowych warstw występujących w otoczeniu szybu „Czułów”, po jego zlikwidowaniu.

Kontrola jakości roztworu hydroizolacyjnego prowadzona jest w trakcie procesu zatłaczania i polega na pobieraniu próbek przed ich zatłoczeniem w celu pomiarów gęstości, wytrzymałości plastycznej oraz parametrów technologicznych. Próbkę pozostają dla celów archiwalnych, aż do zakończenia robót uszczelniających.

Wykonanie przesłony hydroizolacyjnej

Zgodnie z opracowanym projektem, dla likwidacji zagrożenia wodnego i ograniczenia dopływu wód ze strony zawodniomych warstw nadkładu i karbonu w sąsiedztwie szybu „Czułów” w SRK S.A. Oddział KWK „Boże Dary” wykonano przesłonę hydroizolacyjną. Zastosowany do iniekcji materiał na bazie glin polimineralnych posiada Krajową ocenę techniczną, Atest higieniczny oraz dopuszczenie WUG do stosowania w górnictwie.

Wiercenie otworów iniekcyjnych

Uszczelnienie i stabilizacja górotworu objęła czwartorzędowy nadkład i strop słabo związłego piaskowca karbońskiego do głębokości 65 m przy wykorzystaniu 8 pionowych otworów wierconych z powierzchni.

Otwory wiercone były przemiennie z jednej i z drugiej strony szybu zgodnie z opracowanym schematem technologicznym. Ich konstrukcja została przedstawiona w tabeli 2. Wiercenie otworów iniekcyjnych prowadzone było do spągu strefy iniekccyjnej raczkiem wiertniczym o średnicy 65 mm, bezrdzeniowo na „sucho” lub w przypadku wystąpienia trudności w postępie, z zastosowaniem płuczki wodnej.

Tab. 2. Konstrukcja otworu iniekcyjnego
Tab. 2. The construction of the injection borehole

Głębokość otworów [m]	Odcinek wiercenia [m]	Średnica wiercenia [mm]	Odcinek zarurowany [m]	Średnica rur obsadowych [mm]
0,0 – 3,0	0,0 – 3,0	Świder rurowy ϕ 200	0,0 -3,0	Rury kielichowe 160
Iniekcja	Wykonanie uszczelnienia strefy iniekccyjnej nr: I,			
0,0 – 30,0	0,0 - 30,0	Raczek ϕ 65	-	-
Iniekcja	Wykonanie uszczelnienia stref iniekcyjnych nr: II, III, Spąg III strefy iniekccyjnej na głębokości 30 m p.p.t.			
Zapuszczenie kolumny rur	0,0 – 30,0	Świder gryzowy ϕ 120	0,0– 30,0	Rury kielichowe 110
30,0 – 65,0	30,0 – 65,0	Raczek ϕ 65	-	-
Iniekcja	Wykonanie uszczelnienia stref iniekcyjnych nr: IV, V, VI Spąg VI strefy iniekccyjnej na głębokości 65 m. Wiercenie raczkiem średnicą ϕ 65 mm			

Tab. 3. Schemat wykonanego procesu iniekcji
 Tab. 3. Diagram of the injection process

	I strefa iniekcji		II strefa iniekcji		III strefa iniekcji		IV strefa iniekcji		V strefa iniekcji		VI strefa iniekcji		Podział na strefy iniekcyjne
Profil pionowy objęty robotami iniekcyjnymi	W	IN	W	IN	W	IN	W	IN	W	IN	W	IN	
													1,0m I strefa iniekcji dodatkowej 5,0m
													5,0m II strefa iniekcji 7,0m
													7,0m III strefa iniekcji dodatkowej 30,0m
													30,0m IV strefa iniekcji 35,0m
													35,0m V strefa iniekcji 50,0m
													50,0m VI strefa iniekcji 65,0m

W – wiercenie otworu iniekcyjnego; IN – iniekcja

Zatłaczanie mieszaniny – prace uszczelniające górotwór

Po osiągnięciu zaplanowanej głębokości podejmowany jest proces iniekcji. Do wykonanego otworu została wtłoczona mieszanina od spągu do stropu strefy z jednoczesnym obrotem przewodu wiertniczego. Po uszczelnieniu określonego interwału górotworu obserwowano powolny wzrost ciśnienia na pompie iniekcyjnej maksymalnie do 3,4 MPa.

Po osiągnięciu tej wartości następowało stopniowe podciągnięcie przewodu wiertniczego i dalsza iniekcja. Operacja ta była powtarzana do zainiekowania całej długości strefy. Iniekcja była przerywana w przypadku wypłynięcia mieszaniny iniekcyjnej na powierzchnię terenu.

Po zakończeniu iniekcji w otworze następowała przerwa technologiczna dla stabilizacji mieszaniny hydroizolacyjnej w górotworze na minimum 12 godzin. Urządzenie wiertnicze przestawiane było na kolejny, przeciwny otwór. Taki tryb postępowania stosowano we wszystkich otworach, dla każdej strefy iniekcyjnej.

W tabeli 3 przedstawiono podział na strefy iniekcji. W każdej ze stref proces iniekcji prowadzony był w kierunku od spągu do stropu.

W trakcie wykonywania iniekcji prowadzona była obserwacja w szybie. Poza niewielkimi sączeniami przez obudowę roztworu hydroizolacyjnego, nie wystąpiły wypływy iniektu. Jedynie, w trakcie jego tłoczenia, niekiedy obserwowano wzmożony wypływ wody zza obudowy, który zanikał po zakończeniu

tłoczenia. Powtórna iniekcja w obrębie poszczególnych stref powodowała zmniejszanie ilości wypływającej wody, do jej całkowitego zaniku.

W tabeli 4 zestawiono ilość zatłoczonego roztworu hydroizolacyjnego w wykonanych otworach do poszczególnych stref iniekcyjnych.

Najmniejsze ilości iniektu zatłoczono do połączonej strefy I i II oraz strefy IV. Pozostałe strefy przyjęły podobne ilości roztworu. Łącznie w trakcie iniekcji zatłoczono około 560 m³ iniektu.

Badania hydrodynamiczne

Badania hydrodynamiczne w otworach iniekcyjnych zostały przeprowadzone w celu określenia jednostkowej wodochłonności skał ω . Badania wykonywane były w czasie po 30 minut metodą zatłaczania wody, przy co najmniej 3 stopniach ciśnienia, do osiągnięcia na każdym stopniu ustabilizowanej wydajności wody. Przed iniekcją jednostkowa wodochłonność zawierała się w przedziale $<0,01 - 0,73 \text{ l}/(\text{min} \cdot \text{m} \cdot \text{m}_{\text{sw}})$, co charakteryzuje skały i grunty od nieprzepuszczalnych do przepuszczalnych. Badania wykonane po iniekcji wykazały występowanie tylko skał i gruntów nieprzepuszczalnych.

Likwidacja otworów drenażowych

Likwidację wszystkich otworów prowadzono w podobny sposób. W obrębie przeznaczonej do likwidacji części otworu, drenaż prowadzony był rurami o średnicy 5". Sprawdzono

Tab. 4. Zestawienie ilości zatłoczonego roztworu hydroizolacyjnego [m³]
 Tab. 4. Comparison of the amount of injected solution [m³]

Nr otworu \ Strefa	I i II	III	IV	V	VI	Razem
1	3,50	6,70	23,78	2,00	24,49	60,48
2	1,00	13,50	13,40	4,78	26,58	59,26
3	2,40	16,70	7,89	3,06	8,00	38,04
4	1,00	18,32	0,44	50,65	0,77	71,18
5	3,40	20,52	12,22	35,62	14,90	86,66
6	1,20	0,50	4,22	3,68	8,00	17,60
7	3,30	20,90	8,69	35,13	53,61	121,63
8	2,90	36,28	7,14	15,00	41,40	102,71
Razem	18,70	133,41	77,78	149,92	177,75	557,56

drożności otworu do głębokości występowania rur podwieszanych. W otworze TO-49 rury te występowały na głębokości od 198,3 m. W pozostałych otworach na głębokości 202,2 m. Po sprawdzeniu drożności zapuszczany został paker uszczelniający, który opierał się o rury podwieszane. Dla skutecznej izolacji, na paker zostały wrzucone kule ilowe, które po ubiciu utworzyły korki ilowe o grubości około 2,0 m. Likwidację otworu powyżej korka ilowego wykonano przez jego cementację. W otworach TO-49, TO-51 i TO59 cementacje przeprowadzono w czterech etapach od korka ilowego do głębokości 1,5 m (rys. 4). Z uwagi na konieczność prowadzenia monitoringu zmiany zwierciadła wody po zaprzestaniu drenażu górotworu, otwór TO-53 został pozostawiony jako piezometr. Jego głębokość wynosi 91,5 m p.p.t.

Ocena skuteczności wykonanych prac

Celem wykonanych prac była likwidacja zagrożenia wodnego ze strony zawodzionych warstw nadkładu i karbonu oraz ograniczenie dopływu wód do szybu „Czułów” należącego do SRK S.A. Oddział KWK „Boże Dary”.

Przed rozpoczęciem wykonywania powyższych prac przeprowadzono obserwacje i pomiary kontrolne obejmujące ilości wody dopływającej do szybu od powierzchni do poziomu 282 m. Wypływająca zza obudowy woda ujmowana była w sączkach lub spływała grawitacyjnie po obudowie szybu. Wykonany na obmurzu szybu system rynienek ujmował te wypływy, skąd kierowane były do rurociągu ociekowego. Według wykonanego pomiaru, dopływ wody przed przystąpieniem do prac iniekcyjnych i likwidacji otworów drenażowych wynosił 0,080 m³/min.

Do poziomu 282 m dopływały wody ze zrobów wyeksploatowanego na tym poziomie pokładu 308 oraz z otworów drenażowych. Łączny dopływ wody na poziom 282 m wynosił 2,170 m³/min.

Przed przystąpieniem do prac łączny dopływ wody z ocieków szybu „Czułów” od powierzchni do poziomu 282 m oraz ze zrobów poziomu 282 m i z otworów drenażowych wynosił **2,250 m³/min**.

Dla oceny skuteczności wykonanych prac, po ich zakończeniu wykonano ponownie obserwacje i pomiary kontrolne w podobnym zakresie jak przed przystąpieniem do ich wykonywania.

Do głębokości przeprowadzonej iniekcji nie stwierdzono wpływów wody zza obudowy szybu. Wyjątek stanowiła

tylko przypowierzchniowa strefa, skąd występowały wycieki z pierwszego, przypowierzchniowego swobodnego poziomu wodonośnego oraz z kanału wentylacyjnego. Poziom ten był bardzo wrażliwy na zmiany warunków atmosferycznych.

W związku z likwidacją otworów drenażowych następuje odbudowa leja depresji i podnoszenie się zwierciadła wody w górotworze. Poniżej strefy iniekcji obserwowano nieznaczne zwiększenie natężenia dotychczasowych wypływów i sączeń wody oraz występowanie nielicznych, nowych punktów wypływu wody. Według wykonanego pomiaru, po zakończeniu prac iniekcyjnych i likwidacji otworów drenażowych dopływ wody do rury szybowej od powierzchni do poziomu 282 m wynosił 0,180 m³/min. Oznacza to wzrost dopływu wody z tego odcinka szybu „Czułów” o 0,100 m³/min, co spowodowane było stopniową odbudową leja depresji i wzrostem ciśnienia hydrostatycznego.

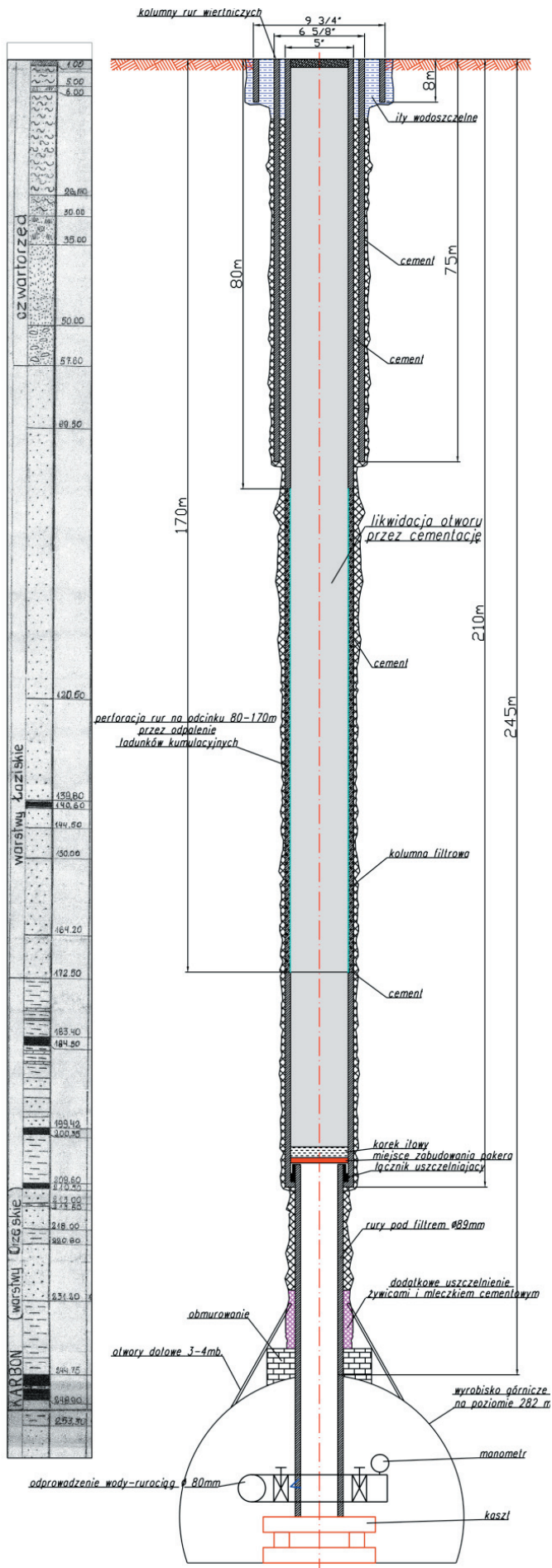
W trakcie likwidacji poszczególnych otworów drenażowych, na poziomie 282 m obserwowano systematyczny spadek ilości wody wypływającej zza tam izolacyjnych. Po zakończeniu prac dopływ ten wynosił 0,120 m³/min.

Łączny dopływ wody z ocieków szybu „Czułów” od powierzchni do poziomu 282 m oraz ze zrobów poziomu 282 m po zakończeniu prac wynosił **0,300 m³/min** i na podobnym poziomie utrzymywał się do końca 2017 roku.

Oznacza to, że **w wyniku przeprowadzonych prac iniekcyjnych oraz likwidacji otworów drenażowych, łączny dopływ wody od powierzchni do poziomu 282 m i z poziomu 282 m zmniejszył się z 2,250 m³/min do 0,300 m³/min tj. o 86,7%**.

Zaprzestanie drenażu przez zlikwidowane otwory spływo-we spowodowało odbudowę ciśnień w systemie wodonośnym i stopniowe zanikanie leja depresji. Pomiary wzniosu zwierciadła wody wykonywane są w otworze TO-53, pozostawionym do prowadzenia monitoringu zmiany zwierciadła wody po zaprzestaniu drenażu górotworu.

Po zakończeniu likwidacji ostatniego otworu wiertniczego zwierciadło wody w dniu 23.05.2017 roku znajdowało się na głębokości 82,48 m poniżej poziomu terenu. Wznios zwierciadła wody w początkowym okresie wynosił 1,95 m/dobę i w ciągu tygodnia systematycznie spadał do 1,10 m/dobę. Po tym okresie, obserwowano zmniejszanie się prędkości wzniosu zwierciadła wody od kilkudziesięciu do kilkunastu centymetrów na dobę pod koniec czerwca. W lipcu nastąpił kilkucentymetrowy wznios lustra wody na dobę, który ustabilizował się w następnych miesiącach na głębokości około 57,6 m.



Rys. 4. Schemat konstrukcji i rurowania oraz cementacji otworów drenażowych
 Fig. 4. Scheme of construction and piping and cementation of drainage holes

Analiza ekonomiczna

W wyniku przeprowadzonych prac iniekcyjnych oraz likwidacji otworów drenażowych, łączny dopływ wody do szybu „Czułów” od powierzchni do poziomu 282 m i dopływ wody z poziomu 282 m – jak wspomniano powyżej, zmniejszył się z 2,250 m³/min do 0,300 m³/min.

Wobec powyższego od czerwca 2017 roku znacząco zmniejszyły się koszty pompowania wody na powierzchnię z głównego odwadniania zlokalizowanego na poziomie 416 m przy szybie „Czułów”.

Szacuje się, że roczne korzyści finansowe dla Spółki Restrukturyzacji Kopalń S.A. z tytułu ograniczenia pompowania wody dołowej z rejonu szybu „Czułów” wynoszą około 835 tys. zł. Oznacza to, że zwrot poniesionych kosztów za przedmiotową inwestycję, przy obecnych kosztach pompowania wody dołowej w Oddziale SRK S.A. KWK „Boże Dary” nastąpi w niecałe 2 lata.

Podsumowanie

W ramach prac związanych z ograniczeniem dopływu wody do rejonu szybu „Czułów” wykonano uszczelnienie i stabilizację górotworu obejmującą czwartorzędowy nadkład i strop słabo związłego piaskowca karbońskiego do głębokości 65 m. W tym celu wykonano 8 pionowych otworów wierconych z powierzchni. Wiercenie i iniekcję prowadzono strefami. Po osiągnięciu planowanej głębokości, do wykonanego otworu została wtłoczona mieszanka od spągu do stropu poszczególnej strefy iniekcyjnej z jednoczesnym obrotem przewodu wiertniczego. Po zakończeniu iniekcji w otworze następowała przerwa technologiczna dla stabilizacji mieszanki hydroizolacyjnej w górotworze na minimum 12 godzin. Urządzenie wiertnicze przestawiane było na kolejny, przeciwny otwór. Taki tryb postępowania stosowano we wszystkich otworach, dla każdej strefy iniekcyjnej. Poprzez otwory do górotworu wtłoczono blisko 560 m³ iniektu.

Likwidację otworów drenażowych wykonano przez ich cementację. W otworach TO-49, TO-51 i TO-59 cementację przeprowadzono do powierzchni terenu. Otwór TO-53 został pozostawiony jako piezometr i jego likwidację wykonano pozostawiając niezlikwidowany odcinek otworu do głębokości 91,5 m.

W wyniku przeprowadzonych prac iniekcyjnych oraz likwidacji otworów drenażowych, łączny dopływ wody do szybu „Czułów” od powierzchni do poziomu 282 m i dopływ wody do poziomu 282 m zmniejszył się z 2,250 m³/min do 0,300 m³/min. Oznacza to, że przy obecnych kosztach pompowania wody dołowej w Oddziale SRK S.A. KWK „Boże Dary” zwrot poniesionych kosztów za przedmiotową inwestycję nastąpi w niecałe 2 lata.

Literatura

- [1] R. Kuś [2004]: *“Limiting Inflow of Water to Operating Shafts by Application of Permanent Hydro-Insulating Screens”* International Mining Forum, A.A. Balkema Publishers: London 2004
- [2] E.Kipko at. all [2004] *„Kompleksnyj metod tamponaża pri stroitelstwie szacht”* Nacjonalnyj Gorniczyj Uniwersytet Dniepropitrowsk
- [3] Kuś R. Popov A. [2000] *“Ocena wpływu powierzchni jednostkowej fazy stałej w roztworach uszczelniających na ich właściwości migracyjne i przeciwfiltracyjne”*. *“Stabilizacja masywów skalnych w podłożu budowli hydrotechnicznych”* –materiały konferencyjne. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa



Uzdrowisko Szczawno Zdrój (Pijalnia Wód Mineralnych)

z arch. Uzdrowiska