



Technologia uszczelniania szybów górniczych

Mine shaft sealing technology

Krzysztof BRUDNIK, Paweł ULMANIEC, Michał ŻRÓBEK

Kopalnia Soli „Wieliczka” S.A., Park Kingi 1, 32-020 Wieliczka; e-mail: krzysztof.brudnik@kopalnia.pl

STRESZCZENIE

Technologia uszczelniania szybów górniczych została opracowana przez Kopalnię Soli „Wieliczka” S.A. w ramach realizacji projektu „Opracowanie technologii uszczelniania szybów górniczych przez Kopalnię Soli „Wieliczka” dofinansowanego ze środków UE w ramach programu POIG 1.4. i we współpracy z Wydziałem Wiertnictwa Nafty i Gazu Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica.

Technologia wykorzystuje najnowocześniejsze metody wiertnicze oraz opatentowane zaczyny uszczelniające, które charakteryzują się większą odpornością na agresywne środowisko, niż standardowe materiały wiążące. Technologia wykorzystuje również mobilny system monitoringu wizyjnego oraz system monitoringu przemieszczeń obudowy szybowej. Całość monitoringu wspomagana jest przez oprogramowanie komputerowe, które pozwala na sprawne i łatwe śledzenie procesu uszczelniania.

Słowa kluczowe: uszczelnianie, szyb, iniekcja, jet-grouting, monitoring przemieszczeń, zagrożenie wodne

ABSTRACT

The Mine Shafts Sealing Technology was developed by the Wieliczka Salt Mine as part of the project: “Development of the mine shafts sealing technology by the Wieliczka Salt Mine subsidised by EU funds under the Operational Programme Innovative Economy 1.4. and in cooperation with the Faculty of Drilling, Oil and Gas of the AGH University of Science and Technology.

This technology takes advantage of the latest drilling methods and patented sealing pastes with increased resistance to aggressive environments compared to standard binding

agents. The technology also uses a mobile visual monitoring system and a system for monitoring the displacement of the shaft lining. The entire monitoring installation is supported by computer software, enabling quick and easy tracking of the sealing process.

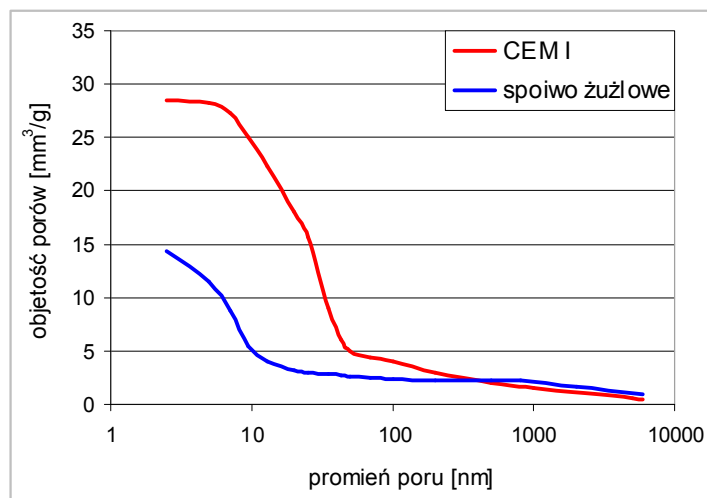
Key words: sealing, shaft, injection, jet-grouting, water hazard.

WSTĘP

Wieloletnie doświadczenie Kopalni Soli „Wieliczka” S.A., w zakresie zabezpieczenia i ograniczania zagrożenia wodnego, w połączeniu z wiedzą naukowców z Akademii Górniczo-Hutniczej, zaowocowało wypracowaniem nowatorskiej i kompleksowej metody uszczelniania szybów górniczych. Elementami składowymi technologii są: zaczyny uszczelniające, monitoring przemieszczeń, monitoring wizyjny oraz przesłona przeciwfiltracyjna.

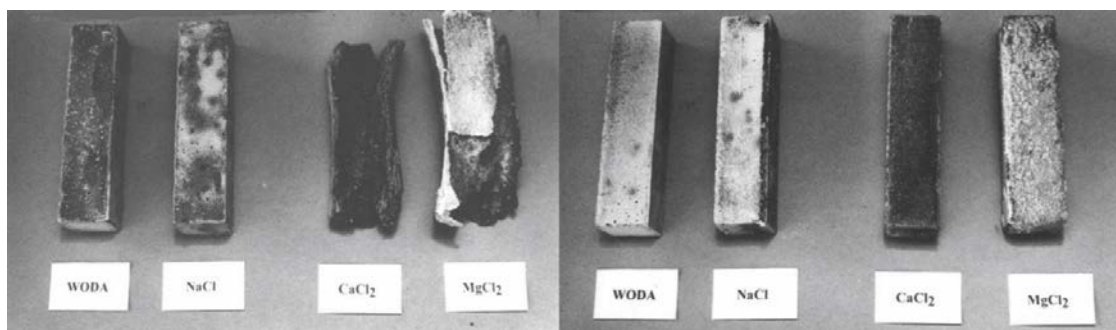
ZACZYNY USZCZELNIAJĄCE

Zaczyn uszczelniający wykonywany jest z cementu portlandzkiego, mielonego żużla wielkopiecowego oraz pyłu z fluidalnego spalania węgla kamiennego, przy zastosowaniu wody jako cieczy zarobowej. Tak dobrane składniki powodują, że stwardniały kamień cementowy jest bardziej odporny na agresywne środowisko chemiczne, dzięki obniżeniu zawartości składników podatnych na korozję oraz zmniejszeniu porowatości (Ryc. 1). Ponadto, zmniejszenie porowatości kamienia cementowego obniża jego przepuszczalność i możliwość penetracji struktury agresywnymi płynami (Gonet i in. 2015).



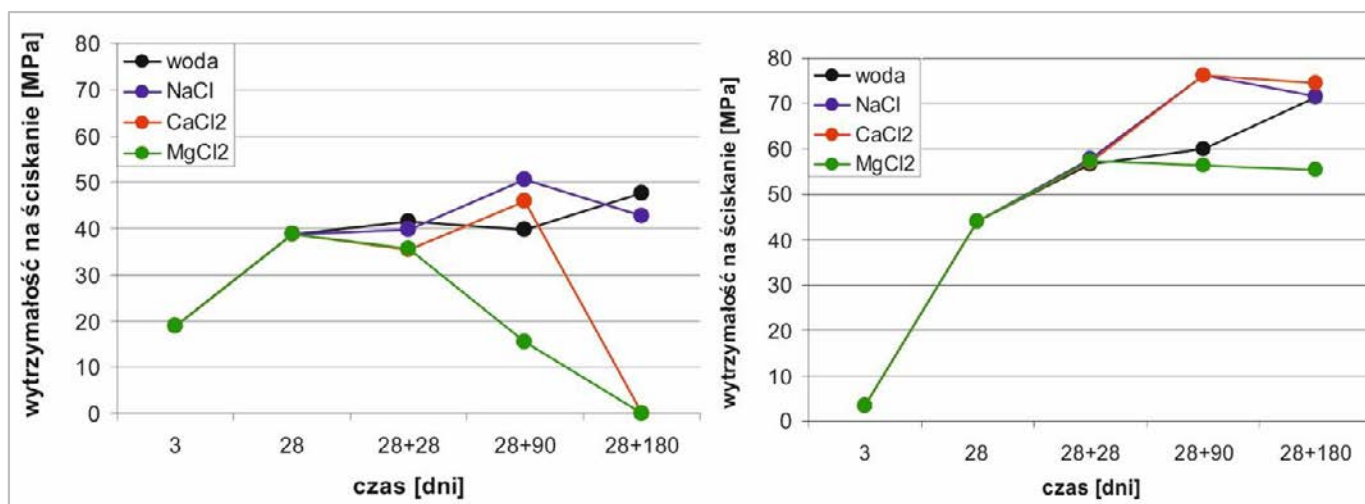
Ryc. 1. Porównanie rozkładu wielkości porów zaczynów cementu portlandzkiego (linia czerwona) oraz alkalicznie aktywowanego spoiwa żuźłowego (linia niebieska) (Gonet i in. 2014)

Fig. 1. Comparison of pore sizes between grout of Portland cement (red line) and alkaline activated slag binder (blue line) (Gonet et al., 2014)



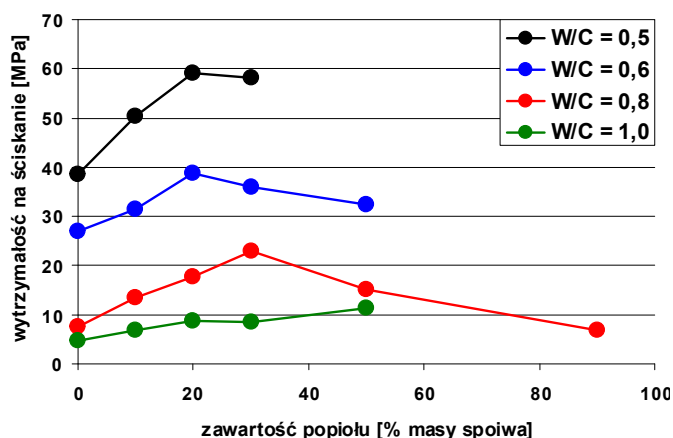
Fot. 1. Wygląd próbek z cementu portlandzkiego (z lewej) oraz ze spoiwa alkalicznie aktywowanego po 180 dniach przetrzymywania w roztworach chlorków (Gonet i in., 2014)

Fot. 1. Samples of Portland cement (left) and alkaline active binder after keeping them for 180 days in chloride solutions (Gonet et al., 2014)



Ryc. 2. Wytrzymałości na ściskanie zaczynów wykonanych z cementu portlandzkiego (po lewej) i spoiwa żuźłowego aktywowanego alkalicznie (po prawej) poddawanych oddziaływaniu chlorków. Próbki przechowywane 28 dni w wodzie, następnie w roztworach zgodnie z legendą (Gonet i in., 2014)

Fig. 2 Compressive strength of grouts made of Portland cement (left) and alkaline activated slag binder (right) and underwent influence of chlorides. Samples were kept in water for 28 days and then in other solutions according to the caption in the figure (Gonet et al., 2014)



Ryc. 3. Wpływ dodatku popiołu z fluidalnego spalania węgla brunatnego na wytrzymałość zaczynu z cementu hutniczego CEM III/A 32,5R (Gonet i in., 2014)

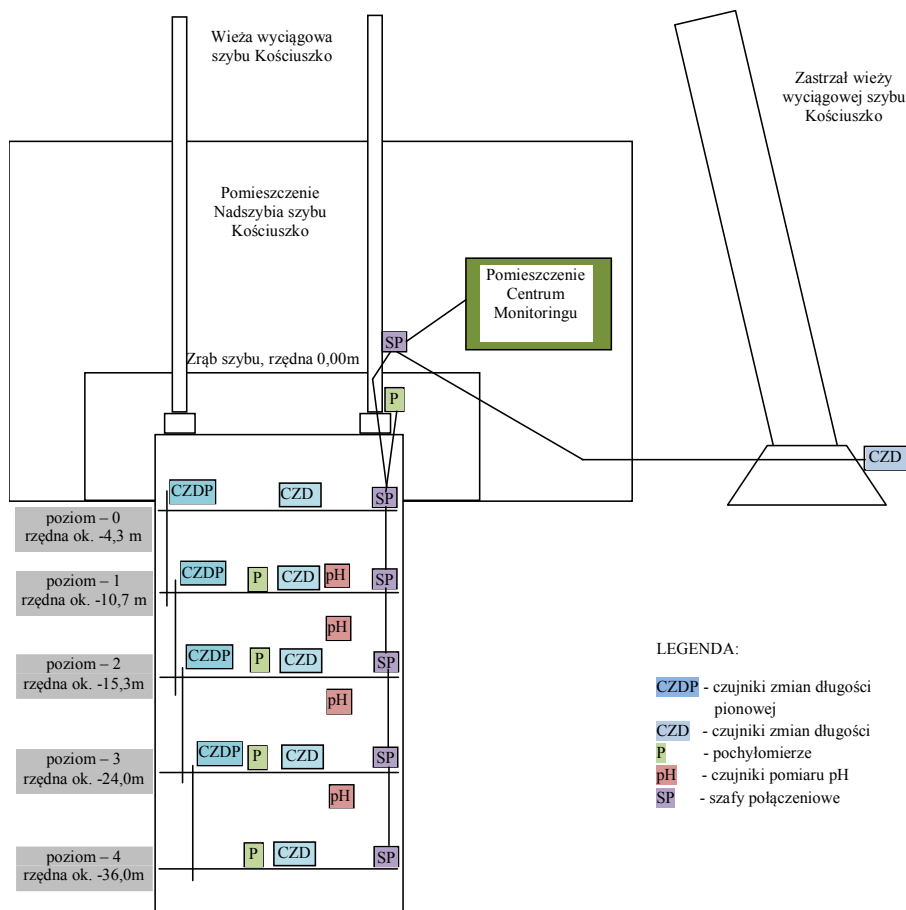
Fig. 3 Influence of fluidised ash (from burning brown coal) admixture on compressive strength of metallurgical cement grout CEM III/A 32.5R (Gonet et al., 2014).

Receptury zaczynów zostały opracowane przez pracowników Wydziału Wiertnictwa, Nafty i Gazu, Akademii Górniczo-Hutniczej, na podstawie wieloletniego doświadczenia

związanego z ich zastosowaniem w wiertnictwie naftowym i geotechnice. Zaczyny uszczelniające o podobnym składzie Kopalnia Soli „Wieliczka” wykorzystuje z powodzeniem w ramach likwidacji zagrożenia wodnego.

MONITORING PRZEMIESZCZEŃ

Monitoring uszczelnianego szybu składa się z trzech części: monitoringu przemieszczeń, monitoringu wizyjnego (Ryc. 4) oraz oprogramowania komputerowego działającego w centralnej stacji roboczej. Opcjonalnie monitoring może być uzupełniony przez sondy badające pH dopływającej wody do szybu. Monitoring przemieszczeń pozwala na rejestrowanie przemieszczeń obudowy szybowej z dokładnością do 0,1mm, w dwóch prostopadłych kierunkach, na wybranych głębokościach szybu. Dane zebrane w ten sposób, prezentowane są, w czasie rzeczywistym na ekranie komputera, w sposób graficzny. Przystępność prezentacji danych pozwala na sprawne wykorzystywanie ich są do bieżącego monitorowania wpływu procesu iniekcji na obudowę szybu. Program przewiduje określenie przez użytkownika alarmowych progów przemieszczenia, o przekroczeniu których program automatycznie informuje obsługę systemu.



Ryc. 4. Schemat systemu monitoringu geodezyjnego w szybie Kościuszeko (Jaśkowski i in., 2016)

Fig. 4. Scheme of geodetic monitoring system in Kościuszek shaft (Jaśkowski et al., 2016)



Fot. 2. Zestaw monitoringu wizyjnego
Fot 2. Video monitoring set

Program posiada również możliwość przeglądania zebranych danych, w dowolnym interwale czasowym rejestracji, z wykorzystaniem licznych rodzajów wykresów. Istnieje również możliwość dowolnej kompilacji i syntezy poszczególnych danych (Jaśkowski i in., 2016).

MONITORING WIZYJNY

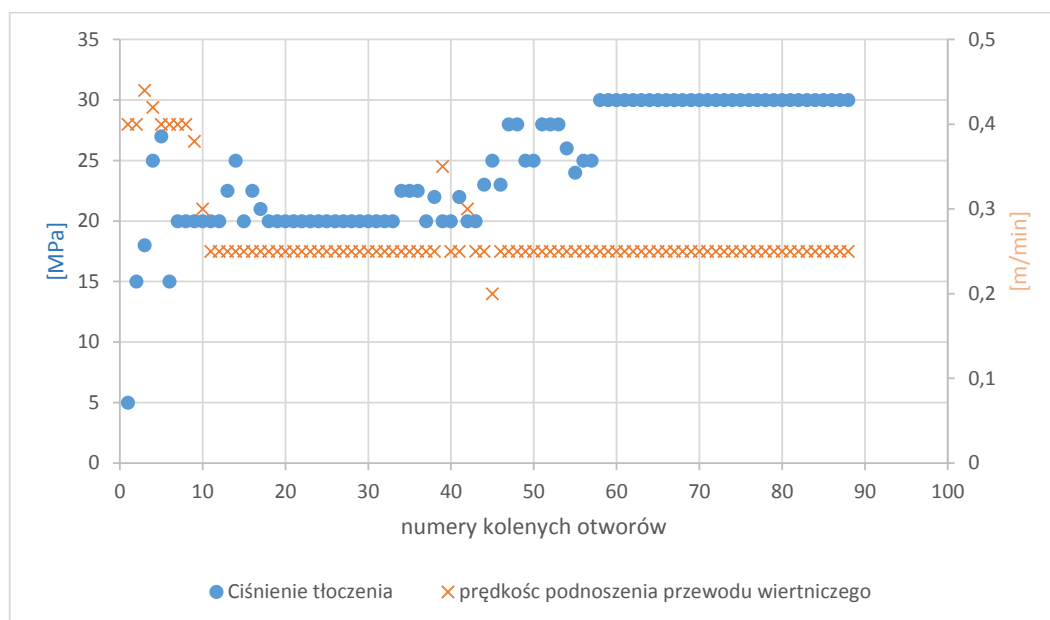
Monitoring wizyjny szybu to mobilny zestaw składający się z kamer, stabilizatora, nadajnika i odbiornika sygnału oraz wyciągarki linowej. Został zaprojektowany w sposób pozwalający na wykonanie inspekcji stanu obudowy szybu na odcinku żądanym przez użytkownika, poprzez przemieszcza-

nie się zestawu monitoringu, przedstawionego na fotografii 2, równoległe do osi szybu. Zamontowane kamery rejestrują obraz na całym obwodzie szybu w rozdzielczości HD, który w czasie rzeczywistym, jest przekazywany do stacji roboczej. Dzięki stabilizatorom mechanicznym, uzyskiwany obraz pozbawiony jest drgań i niekontrolowanych przemieszczeń. Zestaw monitoringu posiada wbudowany system oświetlenia zasilany akumulatorowo. Sterowanie monitoringiem wizyjnym odbywa się ze stacji roboczej (Jaśkowski i in., 2016). Rozwiązanie tego typu znacząco zwiększa bezpieczeństwo prac, ze względu na umożliwienie przeprowadzenia inspekcji bez obecności pracowników w szybie. Zastosowanie monitoringu wizyjnego i monitoringu przemieszczeń obudowy szybowej, redukuje ilość osób niezbędnych do przeprowadzenia inspekcji, co wpływa na obniżenie kosztów realizacji

PRZESŁONA PRZECIWFILTRACYJNA

Technologia uszczelniania szybów opiera się na wytworzeniu wokół szybu przesłony przeciwfiltracyjnej, składającej się z równoległych, przenikających się kolumn iniekcyjnych, które mogą być uzyskane z zastosowaniem różnych metod wiertniczych. W zależności od warunków geologicznych oraz technicznych można zastosować metodę jet-grouting, pale wiercone, jak również metody iniekcji klasycznej. Dobór metody uszczelniania zostaje ustalony na etapie projektowym z uwzględnieniem warunków geologicznych i technicznych, jak również w oparciu o doświadczenie w realizacji podobnych inwestycji (Gonet i in., 2016)

Podczas uszczelniania szybu Kościuszko, ze względu na nieznane parametry wytrzymałościowe obudowy szybowej, formowanie przesłony filtracyjnej rozpoczęto od niskich ciśnień. Analiza danych, pozyskanych z monitoringu prze-



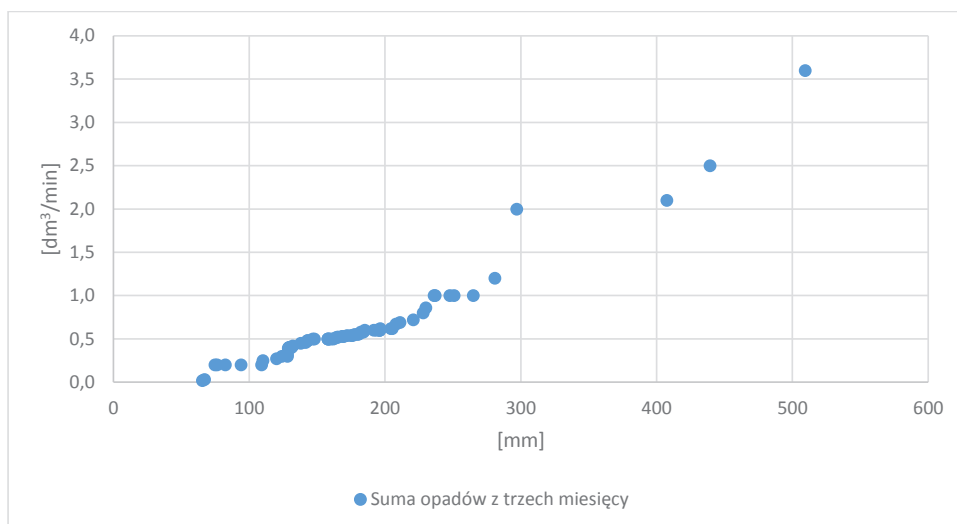
Ryc. 5. Ciśnienie zatłaczania zaczynu uszczelniającego i prędkość podnoszenia przewodu wiertniczego podczas iniekcji jet-grouting.
Fig. 5. Injection pressure of sealing grout and speed of drill pipe rising during jet-grouting

mieszceń, pozwoliła na kontynuowanie prac, z sukcesywnie zwiększaniem ciśnienia tłoczenia zaczynu w kolejnych kolumnach jet-grouting.

EFEKTY

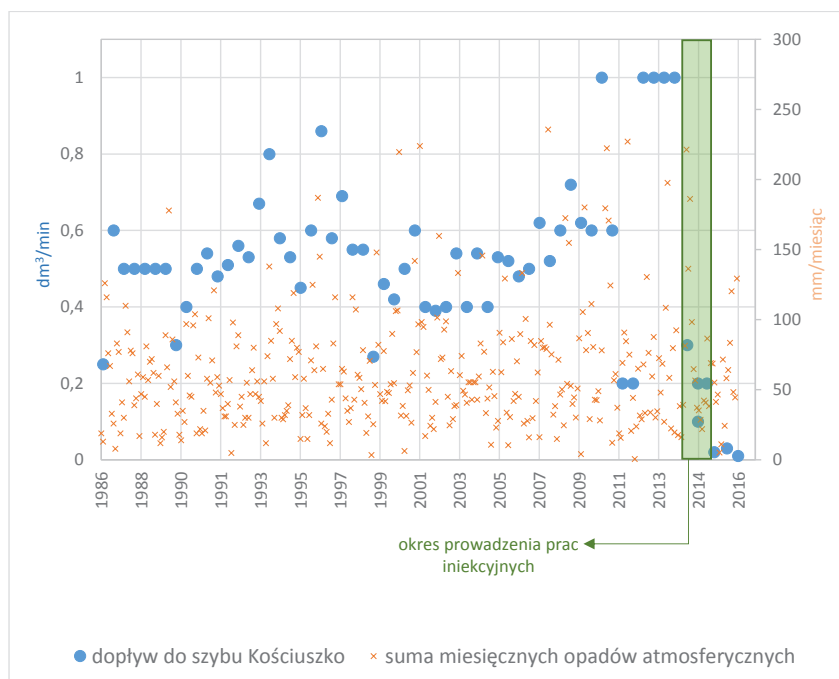
Dzięki zastosowaniu Technologii uszczelniania szybów górniczych uzyskuje się znaczący spadek dopływu wody do szybu. W przypadku szybu Kościuszko, wieloletnie obserwacje wskazują na istnienie zależności wielkości dopływu do szybu, a opadami atmosferycznymi. Zależność ta, wynika z faktu iż dopływ do szybu, na odcinku od głowicy poz.I kształtowany jest przez dopływ z utworów czwartorzędo-

wych, zasilanych z powierzchni. Na Ryc. 6, przedstawiono powyższą zależność w formie wykresu dopływu do szybu, w zależności od wielkości opadów atmosferycznych. Wartość opadów atmosferycznych równa jest sumie opadów z miesiąca w którym przeprowadzono pomiar dopływu oraz dwóch miesięcy poprzedzających pomiar. Średni dopływ do szybu Kościuszko, w interwale głębokości pomiędzy głowicą, a poziomem I, przed wykonaniem prac uszczelniających wynosił ok. $0,5 \text{ dm}^3/\text{min}$ ($30 \text{ dm}^3/\text{h}$). Po wykonaniu iniekcji dopływ do szybu kształtuje się w na poziomie $0,01-0,1 \text{ dm}^3/\text{min}$ ($0,1-0,6 \text{ dm}^3/\text{min}$), co oznacza spadek dopływu o ok. 90%. Efekty uszczelniania zostały przedstawione na Fot. 3 i Fot. 4. oraz



Ryc. 6. Zależność pomiędzy opadami atmosferycznymi, dopływem wody do szybu Kościuszko w interwale pomiędzy głowicą szybu a poz. I kopalni.

Fig. 6. Dependence between atmospheric precipitation value of inflow to Kościuszko shaft in interval between shaft head and mining level I



Ryc. 7. Zestawienie wartości dopływu wody do szybu Kościuszko, od głowicy szybu do poziomu I kopalni, z sumami miesięcznymi opadów atmosferycznych (dane ze stacji klimatologicznych rejonu Wieliczki)

Fig. 7. Comparison between atmospheric precipitation, inflow to Kościuszko shaft from shaft head to mining level I and sum of monthly precipitation (data from Wieliczka meteorological station)



Fot. 3. Stan wschodniej i południowej części obudowy szybowej na głębokości około 7,0 m pod poziomem posadzki piwnicy szybowej - stan sprzed rozpoczęcia I etapu robót iniekcyjnych

Fot 3. State of eastern and southern shaft lining at the depth of 7.0 m below floor of shaft basement – state before I stage of injection



Fot. 4. Stan wschodniej i południowej części obudowy szybowej na głębokości około 7,0m pod poziomem posadzki piwnicy szybowej- stan po zakończeniu I etapu robót iniekcyjnych

Fot 4. State of eastern and southern shaft lining at the depth of 7.0 m below floor of shaft basement – state after I stage of injection

na Ryc. 4. Przedstawione wyniki w formie fotograficznej, zostały uzyskane za pomocą opisanego powyżej monitoringu wizyjnego.

W związku z zastosowaniem odpowiednio dobranych i opatentowanych receptur zaczynu, kamień cementowy wykazuje większą odporność na korozję chemiczną. Poza uzyskaniem uszczelnienia obudowy na danym odcinku, dodatkowym korzystnym efektem jest wzmocnienie górotworu wokół obudowy szybowej. Zastosowanie monitoringu przemieszczeń i monitoringu wizyjnego, pozwoliło na sterowanie procesem iniekcji np. poprzez zmniejszenie ciśnienia zatłaczania, co znacząco zmniejsza możliwość negatywnego wpływu procesu uszczelniania na obudowę szybu. Zastosowanie opracowanej Technologii pozwala na prowadzenie robót bez konieczności wyłączenia szybu z ruchu (Gonet i in., 2015).

ZALETY

Opracowana przez Kopalnię Soli „Wieliczka” S.A. Technologia uszczelniania szybów górniczych charakteryzuje się szeregiem zalet, do których należy zaliczyć:

- wykorzystanie materiałów, które nie są szkodliwe dla środowiska (materiały mineralne), metoda tradycyjna wykorzystuje m.in. spoiwa chemiczne,
- wydłużony czas żywotności zaczynów, tj. do 20 – 30 lat, w metodzie tradycyjnej - maksymalnie do 10 lat w szczególności w środowisku agresywnym,
- brak konieczności wyłączania szybu z ruchu, podczas gdy tradycyjne metody wymagają pełnego lub częściowego ograniczenia funkcjonowania szybu,
- możliwość zastosowania technologii w przypadku zlikwidowanych szybów, w tradycyjnej metodzie zachodzi konieczność udrożnienia zlikwidowanego szybu, co generuje dodatkowe nakłady finansowe;
- znaczne skrócenie czasu robót iniekcyjnych.

Kopalnia Soli „Wieliczka” S.A. oferuje możliwość wykorzystania opracowanej Technologii uszczelniania szybów. Ekspertki z Kopalni Soli „Wieliczka” S.A. są otwarci na współpracę z potencjalnym klientem, na każdym etapie wdrożenia Technologii. Oferujemy:

- Opracowanie projektu uszczelniania,
- Dobór receptur zaczynów uszczelniających,
- Prowadzenie monitoringu wizyjnego,
- Prowadzenie monitoringu przemieszczeń,
- Nadzór i doradztwo nad procesem uszczelniania.

LITERATURA/REFERENCES

- JAŚKOWSKI W., LIPECKI T., D’OBYRN K., ULMANIEC P., 2016, Projekt wykonania instalacji monitorującej przebieg uszczelniania szybu górniczego. *Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie*, 1: 12-20.
- GONET A., STRYCZEK S., JAŚKOWSKI W., LIPECKI T., ŻRÓBEK M., 2016, Metoda uszczelniania otoczenia głowicy szyby Kościuszk w Kopalni Soli „Wieliczka”. *Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie*, 7: 3-9.
- GONET A., STRYCZEK S., ŻRÓBEK M., 2015, Wdrożenie iniekcji strumieniowej w Kopalni Soli Wieliczka. *Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne*, 6: 94-97.
- GONET A., STRYCZEK S., MAŁOPLEPSZY J., KOTWICA Ł., ZŁOTKOWSKI A., 2014, Opracowanie propozycji składu mineralnych materiałów uszczelniających do dalszych badań przemysłowych, wykonywanych w szybie Kościuszk. Maszynopis. Archiwum Kopalni Soli Wieliczka S.A.