

Edward CEMPIEL, Janusz KONIOR
Politechnika Śląska, Gliwice

ZMIANY PRZEPUSZCZALNOŚCI ZASYPU PODCZAS PODSADZANIA ZAWODNIONEGO SZYBU

Streszczenie. W artykule omówiono właściwości filtracyjne kruszywa mineralnego zastosowanego do wypełniania likwidowanego szybu o dużym zawodnieniu oraz zakres zmian tych właściwości materiału w zasypie podczas podsadzania szybu. Przedstawiono metodykę oceny parametrów filtracyjnych materiału zasypowego na podstawie badań prowadzonych w czasie prac likwidacyjnych.

CHANGES IN PERMEABILITY OF DUMPING MATERIAL DURING FILLING OF WATERED SHAFT

Summary. The filtration properties of dumping material used for filling of liquidated watered shaft have been discussed in this paper, as well as the range of these properties changes during filling. The method of filtration parameters estimation on the basis of investigations done during the time of shaft liquidation has been presented too.

1. Wprowadzenie

Ocena właściwości filtracyjnych materiałów skalnych wykorzystywanych do podsadzania likwidowanych szybów ma istotne znaczenie w przypadku likwidacji szybów o dużym zawodnieniu. Jest to szczególnie ważne wtedy, gdy istnieje konieczność zapewnienia przepływu przez materiał zasypowy całej ilości wody dopływającej do rury szybowej, aby nie dopuścić do jej piętrzenia nad zasypem.

W artykule przedstawiono metodykę oceny przepuszczalności materiału zasypowego oraz zakres zmian przepuszczalności tego materiału na podstawie badań prowadzonych podczas

prac likwidacyjnych silnie zawodnionego szybu. Prowadzone w trakcie likwidacji szybu pomiary głębokości zasypu i poziomu lustra wody zostały wykorzystane do oceny zmian przepuszczalności materiału w kolumnie zasypowej wykonywanej w szybie.

Likwidowany szymb wykonany zastał w latach 1954-55 do głębokości 96 m i pogłębiony w latach 1961-62 do poz. 245 m. Podszybia łączące szymb z wyrobiskami poziomymi wykonano na poziomach 96 m, 200 m i 245 m. Całkowita głębokość szybu wynosiła 254,9 m, w tym rzapie o głębokości około 11 m. Średnica szybu w świetle obudowy 4,5- 4,7 m.

2. Warunki hydrogeologiczne i zawodnienie szybu

Likwidowany szymb należał do szymbów o dużym zawodnieniu. Na odcinku od zrębu do poz. 96 m wycieki spoza obmurza wynosiły około $1,8 \text{ m}^3/\text{min}$. W profilu szybu do głębokości 5,25 m zalegają utwory czwartorzędowe wykształcone w postaci piasków drobnoziarnistych z cienką wkładką glin. Poniżej zalegają utwory karbońskie, reprezentowane przez warstwy orzeskie. W profilu warstw orzeskich do głębokości 47 m występują głównie piaskowce różnoziarniste z wkładkami łupków ilastych, a poniżej dominują łupki ilaste i łupki piaszczyste z cienkimi pokładami węgla. Na głębokości od 97-168 m zalega kompleks piaskowców drobno- i średnioziarnistych, rozdzielony pakietem łupków ilastych i piaszczystych. W strefie od 168 do 213 m występują łupki ilaste i piaszczyste, a podrzędnie piaskowce. Na głębokości od 213 m do rzapia szybu zalega kompleks piaskowców różnoziarnistych, a poniżej warstwa łupków ilastych. W otoczeniu szybu były eksploatowane pokłady węgla 331 i 334/2.

Wody podziemne występują w utworach czwartorzędowych i karbońskich. Zwierciadło wody gruntowej stabilizuje się na głębokości około 1,5 m. Karbońskie piętro wodonośne obejmuje kompleks utworów warstw orzeskich, gdzie główne poziomy wodonośne związane są z ławicami piaskowców, które na wychodniach kontaktują się z wodonośnymi utworami czwartorzędowymi. Kolektorem wody w warstwach piaskowców są pory i szczeliny tektoniczne oraz spękania spowodowane eksploatacją węgla z zawałem stropu. W profilu szybu najbardziej zawodnione ławice piaskowców zalegają w strefie do głębokości około 168 m. Pozostałe warstwy piaskowców są znacznie słabiej zawodnione.

Całkowity dopływ wody do rury szybowej w latach 1996-2002 wahał się w granicach $1,40\text{-}2,00 \text{ m}^3/\text{min}$, w tym około $2,00 \text{ m}^3/\text{min}$ w roku 2002. Dopływy wody do szybu w latach

1996-2002 w poszczególnych strefach głębokościowych kształtowały się następująco: na głębokości od zrębu do 96 m 1,20-1,80 m³/min, na głębokości 96-245 m 0,19-0,30 m³/min, do rzepia 0,01-0,04 m³/min.

Woda z wycieków w szybie była ujmowana w rynnach ociekowych i odprowadzana siecią rurociągów do lokalnego odwadniania polowego na poz. 245 m.

3. Własności filtracyjne materiału zasypowego według projektu likwidacji szybu

Do likwidacji szybu przyjęto zastosowanie kamienia nie podlegającego rozmakaniu o uziarnieniu 40-100 mm. W założeniach do projektu przyjęto, że woda dopływająca do szybu będzie zarówno w czasie likwidacji, jak i po zlikwidowaniu szybu infiltrowała przez materiał zasypowy na poz. 245 m. W związku z tym przewidziany do likwidacji szybu materiał winien posiadać współczynnik filtracji zapewniający przepływ wody w ilości odpowiadającej co najmniej wyciekom wody w szybie. Współczynnik filtracji materiału zasypowego powinien być większy od wartości:

$$k \geq \frac{Q}{F * i} = \frac{2,0}{15,9 * 1} = 0,126 \text{ m/min} = 2,1 * 10^{-3} \text{ m/s,}$$

gdzie: Q – dopływ wody do szybu, przyjęto 2,0 m³/min,

F – powierzchnia przekroju poprzecznego szybu, 15,9 m²

$$F = \frac{\pi * d^2}{4} = \frac{\pi * 4,5^2}{4} = 15,9 \text{ m}^2,$$

d – średnica szybu w świetle obudowy, 4,5 m,

i – spadek hydrauliczny; dla pionowej filtracji bez występowania słupa wody nad zasypem $i = 1$.

Materiał zasypowy powinien mieć współczynnik filtracji co najmniej 2,1*10⁻³ m/s, a więc musi to być materiał bardzo dobrze przepuszczalny. Skały okruchowe zaliczane są do bardzo dobrze przepuszczalnych, jeżeli charakteryzują się współczynnikami filtracji o wartości powyżej 10⁻³ m/s. Materiał ten powinien zapewnić przepływ filtracyjny całej ilości wody wyciekającej w szybie, a ponadto powinien posiadać dużą wytrzymałość mechaniczną i być odporny na kruszenie podczas zasypywania szybu.

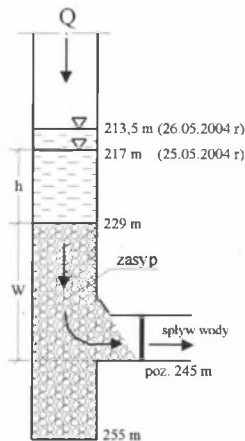
4. Charakterystyka zastosowanego materiału zasypowego

Do likwidacji szybu został użyty porfir o granulacji 31-65 mm i wytrzymałości na ściskanie około 140 MPa. Porfir jest skałą magmową wylewną barwy brunatno-czerwonej o strukturze porfirowej, teksturze bezkierunkowej zwartej. Cechuje się łupliwością jednokierunkową.

W materiale przeznaczonym do likwidacji szybu podczas wizji lokalnej nie stwierdzono zanieczyszczeń obcych w kruszywie. Na okruchach skalnych występowała jednak drobna frakcja piaszczysto-pyłasta, przylegająca adhezyjnie do ścianek. Frakcja ta była wyraźnie widoczna na taśmie przenośnika taśmowego transportującego kruszywo do rury szybowej oraz na innych elementach urządzeń i zabudowy. Udział frakcji piaszczysto-pyłastej w masie kruszywa w wyniku przeprowadzonych badań oceniono na około 0,5 %.

5. Zmiany przepuszczalności zasypu podczas podsadzania szybu

Likwidację rury szybowej prowadzono odcinkami po około 10 m. W trakcie zasypywania prowadzone były obserwacje poziomu zasypu i stanu lustra wody kamerą przemysłową.



Rys. 1. Schemat przepływu wody przez materiał zasypowy w likwidowanym szybie
Fig. 1. Scheme of water flow through crumb material in liquidated shaft

W dniu 20.05.2004 r., tj. w drugim dniu likwidacji szybu, zasyp w szybie sięgał do głębokości około 247,5 m, czyli około 2,5 m poniżej spągu wyrobisk podszybia poz. 245 m. Do szybu wprowadzono około 284000 kg materiału zasypowego. W tym dniu głębokość

lustra wody w szybie wynosiła około 244 m, a zatem zwierciadło wody układało się na poziomie wyznaczonym przelewem do wyrobisk podszybia na poz. 245 m. Przez następnych 5 dni do szybu wprowadzono dalsze 720000 kg materiału, a tym samym zdeponowano sumarycznie 1004000 kg materiału zasypowego. W dniu 25.05.2004 r. stwierdzono, że lustro wody znajduje się na głębokości 217 m od powierzchni terenu i podnosi się z prędkością około 1,33 cm/min. W trakcie pomiaru lustro wody podniosło się o 20cm w czasie 15 minut. Świadczyło to o tym, że przez zasyp nie przepływa cała woda dopływająca do szybu. Z prędkości podnoszenia się lustra wody wynikało, że z sumarycznego dopływu do szybu około 1,80 m³/min przez zasyp filtruje około 1,57 m³/min, a ponad zasypem pozostaje około 0,23 m³/min. Od dnia 25.05.2004 r. wstrzymano dalsze zasypywanie szybu. Według pomiarów przeprowadzonych następnego dnia stwierdzono zasyp na głębokości 229 m. Obliczona na tej podstawie średnia gęstość nasypowa warstwy materiału zasypowego (o wysokości 26 m) zdeponowanego w szybie wynosi $\rho = 2226 \text{ kg/m}^3$. W obliczeniach przepływu wody przez materiał zasypowy przyjęto model filtracji laminarnej według schematu przedstawionego na rys.1. Współczynnik filtracji materiału zasypowego wyznaczony na podstawie pomiarów z dnia 25.05.2004 r. wynosi:

$$k = \frac{Q}{F * i} = \frac{1,57}{17,35 * 1,75} = 0,0517 \text{ m/min} = 8,62 * 10^{-4} \text{ m/s},$$

gdzie: Q – dopływ wody do szybu, przyjęto 1,57 m³/min,

F – powierzchnia przekroju poprzecznego szybu, 17,35 m²

$$F = \frac{\pi * d^2}{4} = \frac{\pi * 4,7^2}{4} = 17,35 \text{ m}^2,$$

d – średnica szybu w świetle obudowy, 4,7 m,

i – spadek hydrauliczny; dla pionowej filtracji z uwzględnieniem słupa wody nad zasypem $i = 1,75$

$$i = \frac{w + h}{w} = \frac{16 + 12,0}{16} = 1,75,$$

w – wysokość zasypu w szybie liczona od spągu podszybia poz. 245 m, 16 m,

h – wysokość słupa wody nad zasypem, 12,0 m.

W dniu 26.05.2004 r. stwierdzono, że zasyp znajdował się na głębokości 229 m, a słup zasypu w szybie osiągnął wysokość 26 m (16 m nad poz. 245 m). Lustro wody znajdowało się na głębokości 213,5 m. Oznaczało to, że ponad zasypem woda spiętrzyła się na wysokość 15,5 m. Dalsze pomiary wykazały jednak, że lustro wody w szybie nie podnosi się i przez cały

czas utrzymuje się na głębokości około 213,5 m. Tak więc proces piętrzenia wody został zahamowany i całość wody dopływająca do rury szybowej przepływała przez zasyp. Współczynnik filtracji materiału zasypowego obliczony na podstawie wykonanych pomiarów według stanu z dnia 26.05.2004 r. wynosi:

$$k = \frac{Q}{F * i} = \frac{1,80}{17,35 * 1,97} = 0,0527 \text{ m/min} = 8,78 * 10^{-4} \text{ m/s},$$

gdzie: Q – dopływ wody do szybu, przyjęto 1,80 m³/min,

i – spadek hydrauliczny; dla pionowej filtracji z uwzględnieniem słupa wody nad zasypem $i = 1,97$

$$i = \frac{w + h}{w} = \frac{16 + 15,5}{16} = 1,97,$$

w – wysokość zasypu w szybie od spągu podszybia poz. 245 m, 16 m,

h – wysokość słupa wody nad zasypem, 15,5 m;

pozostałe oznaczenia jak wyżej.

Postanowiono dalej kontynuować zasypywanie szybu przy równoczesnej obserwacji poziomu lustra wody. Podczas dalszych prac podsadzania szybu nie zaobserwowano już żadnych oznak piętrzenia wody na materiale zasypowym. Materiał ten został w wystarczającym stopniu przemyty przez filtrującą wodę, a współczynnik filtracji osiągnął wartość umożliwiającą przepływ przez zasyp całości wody dopływającej do szybu. Materiał zasypowy był wystarczająco drożny dla wody na całym podsadzonym odcinku, przy czym powyżej poziomu 205 m funkcję drenażu rury szybowej dodatkowo przejęły pozostawione w szybie perforowane rurociągi.

Wykonane obliczenia współczynnika filtracji na podstawie kształtowania się stanu wody w szybie w dniach 25 i 26 maja 2004 r. wykazały, że wartość współczynnika filtracji zdeponowanego materiału zasypowego jest około 2,4 razy niższa od wartości określonej w założeniach projektowych dla takiego materiału (wartość zakładana w projekcie: $k > 2,1 * 10^{-3} \text{ m/s}$). W projekcie dokonano przybliżonej oceny przepuszczalności na podstawie składu granulometrycznego materiału, co okazało się nieścisłe.

Z wykonanych obliczeń wynika, że wartości współczynnika filtracji materiału zasypowego określone dla stanu na dzień 25 i 26 maja 2004 r. różnią się między sobą tylko nieznacznie ($8,62 * 10^{-4} \text{ m/s}$ i $8,78 * 10^{-4} \text{ m/s}$). Piętrzenie wody nad zasypem wystąpiło przy wartości współczynnika filtracji $8,62 * 10^{-4} \text{ m/s}$, jednak przy stosunkowo niewielkim wzroście

tego parametru do wartości $8,78 \cdot 10^{-4}$ m/s ustalił się stan równowagi i cała ilość wody przepływała przez zasyp.

Przyczyny zmian współczynnika filtracji i warunków przepływu wody przez zasyp należy wiązać z występowaniem drobnych frakcji piaszczysto-pylastych w materiale zasypowym, które były transportowane przez wodę. W masie kruszywa zdeponowanego w szybie udział drobnych frakcji występujących pierwotnie w tym materiale wynosi około 0,5 %, a zatem w zdeponowanej masie kruszywa (1004000 kg) masa frakcji piaszczysto-pylastych wynosi około 5000 kg. Masa ta zajmuje objętość około $2,2 \text{ m}^3$ (przy gęstości objętościowej około 2226 kg/m^3). Tak niewielka ilość frakcji piaszczysto-pylastej nie mogła wytworzyć w szybie korka zdolnego do trwałego zablokowania przepływu wody w warunkach występujących znacznych spadków hydraulicznych. Chwilowe przytłumienie przepływu wody w materiale zasypowym świadczy jednak, że wartość współczynnika filtracji uległa zmniejszeniu. Przyczyną tego było przypuszczalnie postępujące rozdrabnianie kruszywa w procesie podsadzania rury szybowej i wytworzenie znacznie większej ilości rozdrobnionego materiału piaszczysto-pylastego na skutek rozdrabniania okruchów skalnych w czasie ich opadania w szybie (w wyniku uderzeń o obudowę i okruchy skalne leżące na powierzchni zasypu). Dzięki wysokim parametrom wytrzymałościowym kruszywa intensywność procesu rozdrabniania była jednak ograniczona. Występujące rozdrobnienie materiału zasypowego i ilość wytworzonych drobnych frakcji piaszczysto-pylastych nie stworzyły zagrożenia trwałego uszczelnienia słupa zasypu w rurze szybowej. W wyniku chwilowego spiętrzenia wody nad zasypem, na skutek intensyfikacji procesu sufozji mechanicznej po wzroście spadku hydraulicznego i ciśnienia sphywowego w zasypie, gromadzący się między okruchami skalnymi materiał blokujący przepływ został rozmyty i wyniesiony na zewnątrz kolumny zasypu. W późniejszym okresie, jak wykazały dalsze obserwacje podsadzania szybu, proces przemywania zasypu przez filtrującą wodę nie został już zakłócony.

6. Podsumowanie

Obserwacje przepływu wody przez zasyp w likwidowanym szybie wykazały, że w przypadku zastosowania do podsadzania szybu materiału o dużej wytrzymałości, nierozmywalnego i odpornego na rozdrabnianie, zmiany przepuszczalności w procesie

podszadzenia są niewielkie. W technologii likwidacji szybów o dużym zawodnieniu, z uwagi na konieczność zapewnienia odpowiedniej przepuszczalności materiału podsadzkowego w zasypie, istotne znaczenie ma dobór odpowiedniego materiału zasypowego o dużej zwięzłości i wytrzymałości mechanicznej, odpornego na rozdrabnianie podczas zasypu rury szybowej i nierozmywalnego przez wodę. Przepuszczalność materiału zasypowego po jego zdeponowaniu w szybie nie powinna odbiegać od wartości przepuszczalności określonej w założeniach projektowych.

Kruszywo porfirowe zastosowane do zasypywania szybu wykazało pełną przydatność jako materiał do podsadzania szybów o dużym zawodnieniu. Kruszywo to spełnia kryteria wymagane dla materiału przeznaczonego do zasypywania szybów o dużym zawodnieniu i może być stosowane w innych szybach w podobnych warunkach hydrogeologicznych.

Dla grubookruchowych materiałów skalnych stosowanych jako materiał zasypowy w likwidowanych szybach o znacznym zawodnieniu konieczna jest bardzo dokładna ocena ich parametrów filtracyjnych. Oznaczenia współczynnika filtracji powinny być wykonywane bezpośrednio na próbkach tych materiałów w aparatach wielkowymiarowych. Metoda pośrednia oceny współczynnika filtracji materiału zasypowego na podstawie uziarnienia może być wykorzystana tylko we wstępnej fazie prac projektowych.

LITERATURA

1. Pazdro Z., Kozerski B.: Hydrogeologia ogólna. Wyd. Geologiczne. Warszawa 1990.
2. Rogoż M.: Poradnik hydrogeologa w kopalni węgla kamiennego. „Śląsk”, Katowice 1987.
3. Wieczysty A.: Hydrogeologia inżynierska. PWN, Warszawa-Kraków 1982.
4. Projekt techniczno-technologiczny likwidacji szybu „Stanisław” KWK „Murcki”. PPW MIDACH. Katowice, luty 2003.
5. Notatka służbowa w sprawie prac związanych z likwidacją szybu „Stanisław” KWK „Murcki”, spisana w dniu 27.05.2004 r. w KWK „Murcki”.
6. PN-87/B-01100. Kruszywa mineralne. Kruszywa skalne. Podział, nazwy i określenia.
7. PN-91/B-06716. Kruszywa mineralne. Wymagania techniczne.

Abstract

The estimation of filtration properties of dumping materials used for filling of liquidated shaft plays significant role in the case of high watered shafts. There is need then to ensure the inlet water flow through filling material without its damming above filled part of the shaft. At the stage of designing liquidation, the estimation of filtration coefficient for coarse-grained filling material can be done on the basis of the taken samples in the large-size devices. The measurements of filling material depth led during liquidation process as well as water level can be used for estimation of its permeability changes during filling. The method of permeability parameters estimation on the basis of investigations done during the time of the high watered shaft liquidation has been presented in this paper.