

Robert Rado\*, Jan Lubaś\*\*

## WIERCENIE I WYKORZYSTANIE OTWORÓW CHŁONNYCH DO ZATŁACZANIA WÓD KOPALNIANYCH\*\*\*

### 1. WSTĘP

Działalność wydobywcza pociąga za sobą zmiany w środowisku naturalnym na obszarze otaczającym działalność górniczą. Jednym z takich przykładów jest odwadnianie kopalń, które prowadzi do zakłóceń bilansu wodnego w eksploatowanym rejonie. Aktualnie eksploatację górniczą prowadzi się na coraz większych głębokościach, gdzie w większości wody głębokie są zasolone i zmineralizowane. Wraz ze wzrostem głębokości wzrasta mineralizacja, a co za tym, idzie wzrasta również zasolenie tych wód. Jest to naturalny czynnik występujący w obrębie GZW. Około 30% tych wód jest zagospodarowywana, pozostała ich część odprowadzana jest do rzek [4]. Przyczynia się to do nadmiernego zasolenia wód powierzchniowych i stanowi zagrożenie ekologiczne nie tylko w rejonach eksploatacji. Rozwiązanie tego zagadnienia jest niezbędne, i powinno przynieść wymierne korzyści. Jedną z metod, która w ostatnich latach zyskała na znaczeniu, jest metoda ponownego zatłaczania zanieczyszczonych i poeksploatacyjnych wód w warstwy chłonne. Metoda ta jest prostym i skutecznym działaniem, zwłaszcza gdy na obszarze działalności kopalni istnieje możliwość wykonania otworu chłonnego.

Uwzględniając stopień zmineralizowania wody kopalniane dzieli się na cztery grupy [4]:

- I grupa – wody o stężeniu jonów  $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-} < 0,6 \text{ g/dm}^3$ ,
- II grupa – wody o stężeniu jonów  $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-} > 0,6 \text{ g/dm}^3$  i  $< 1,8 \text{ g/dm}^3$ ,
- III grupa – wody o stężeniu jonów  $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-} > 1,8 \text{ g/dm}^3$  i  $< 42 \text{ g/dm}^3$ .
- IV grupa – wody o stężeniu jonów  $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-} > 42 \text{ g/dm}^3$ .

Wody należące do dwóch pierwszych grup nadają się do wykorzystania gospodarczego, natomiast pozostałe dwie grupy są zagrożeniem dla środowiska naturalnego. Stano-

---

\* Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, Kraków

\*\* Poszukiwania Nafty i Gazu Kraków Sp. z o.o. – RSGO

\*\*\* Praca wykonana w ramach badań własnych

wią one ok. 40÷45% ogólnej ilości wód kopalnianych. Zmienia się również ich mineralizacja w czasie, gdyż zazwyczaj wody o różnej mineralizacji mieszają się ze sobą. Dodatkowo pojawia się problem niestabilności dopływu. Miejsca wypływu oraz objętość wypływu zmieniają się w czasie w miarę wyczerpywania się zasobów statycznych i przemieszczania wyrobisk górniczych oraz ich przepływu przez stare zroby.

Aktualnie stosuje się następujące metody eliminacji zanieczyszczonych wód [5]:

- kontrolowane odprowadzanie wód – polegające na ich magazynowaniu w odpowiednich zbiornikach, a następnie dozowaniu do systemu rzecznoego tak, aby nie przekroczono dopuszczalnych norm zanieczyszczenia rzek;
- utylizację – polegającą na wytrąceniu składników mineralnych z wody i odzyskaniu jej w takim stanie, który pozwoli na ponowne jej wykorzystanie lub bezpieczne odprowadzenie;
- ponowne odprowadzenie do górotworu.

Wszystkie wymienione tu metody posiadają zarówno zalety, jak i wady, a wyznacznikiem ich stosowania jest efekt ekonomiczny. Wadą pierwszej metody jest ponoszenie ogromnych nakładów inwestycyjnych na odprowadzanie wód do systemu wodnego, natomiast wadą drugiej metody jest jej wysoka energochłonność i konieczność budowy specjalnych zakładów. Ponowne zatłaczanie wód i innych odpadów wydaje się obecnie najtańszą z metod i co w wielu przypadkach jest istotnie szybką w realizacji. Jak wykazano w artykule, czas niezbędny na wykonanie przykopalnianego otworu chłonnego do głębokości ok. 1000 m wynosi ok. 1092 godziny (ok. 45 dni). Istnieją różne poglądy na temat skuteczności metody zatłaczania odpadów w warstwy chłonne. Generalnie problem sprowadza się do różnic w ocenie wielkości porowatości i przepuszczalności głęboko zalegających warstw porowatych. Wpływa to na możliwość zmagazynowania odpowiednich ilości zanieczyszczeń, co jest istotne z punktu widzenia opłacalności inwestycji.

## **2. LOKALIZACJA OTWORÓW CHŁONNYCH I ZAŁOŻENIA METODY ELIMINACJI POPRZEZ ZATŁACZANIE ZANIECZYSZCZEŃ W POROWATE WARSTWY CHŁONNE**

Metoda polega na zatłaczaniu solanek lub zanieczyszczonych wód otworami wiertniczymi do porowatych i przepuszczalnych warstw, nie mających połączeń hydraulicznych z wyrobiskami górniczymi i innymi warstwami. Warstwy przeznaczone na magazyny muszą być w sposób dostateczny izolowane od warstw sąsiadujących, aby nie następowała migracja zatłaczanej wody. Wody zawarte w warstwach chłonnych powinny być nieprzydatne do ich dalszego wykorzystania.

Wybór miejsca lokalizacji otworów wiertniczych do zatłaczania zanieczyszczeń wymaga przeanalizowania następujących czynników:

- budowy geologicznej i hydrogeologicznej rejonu wierceń pod otwory chłonne;
- warunków hydrochemicznych warstwy chłonnej, jak i zatłaczanych wód oraz własności fizykomechanicznych górotworu;
- potencjalnego wpływu zatłaczania wód na powstanie zagrożeń;
- kosztów inwestycji.

W rejonie GZW najlepszymi parametrami filtracyjnymi i kolektorskimi wyróżnia się krakowska seria piaskowcowa utworów karbonu produktywnego. Litologicznie warstwy te zbudowane są z gruboławicowych piaskowców o miąższości dochodzącej do 80 m. Główny maszyn wytypowany jako kolektor do zatłaczania zbudowany jest ze średnio- i gruboziarnistych piaskowców miejscami zlepieńcowatych przechodzących w niektórych rejonach w warstwy zlepieńców z przewarstwieniami iłowców i mułowców. Warstwy chłonne serii piaskowcowej są zawodnione i stanowią karboński kompleks wodonośny. Jego własności hydrogeologiczne zmieniają się wraz z głębokością ich zalegania. Współczynnik filtracji tej serii waha się w granicach od  $2,0 \cdot 10^{-8}$  do  $4,1 \cdot 10^{-4}$  m/s, a współczynnik porowatości zmienia się od 13,5 do 21,7%.

Jako warstwy izolujące wytypowano trzeciorzędowe osady ilaste przykrywające utwory serii piaskowcowej. Przyjmuje się więc, że w obszarze GZW otwory chłonne powinny lokalizować się w granicach występowania osadów miocenu o miąższości co najmniej 100 m.

Minimalna miąższość warstw nieprzepuszczalnych zależy od [4]:

- ciśnienia i objętości tłoczenia wód,
- pierwotnego ciśnienia wód w warstwie chłonnej i jej parametrów filtracyjnych,
- przepuszczalności i własności geomechanicznych.

Zatłaczanie pod ciśnieniem wód w warstwy chłonne może doprowadzić do wzrostu zagrożeń naturalnych w kopalniach, w sąsiedztwie których zlokalizowano otwory chłonne. Dlatego niezbędna jest analiza ich lokalizacji pod kątem wpływu na górotwór, w wyniku którego pojawiłyby się nowe zagrożenia lub wzrosły już istniejące.

### 3. OPLACALNOŚĆ INWESTYCJI PRZY UTYLIZACJI ODPADÓW CHŁONNYMI OTWORAMI WIERTNICZYMI

Oplacalność utylizacji zanieczyszczeń w warstwach chłonnych opiera się na założeniu, że koszty wykonania otworu chłonnego spowoduje zmniejszenie kosztów dotychczas ponoszonych na ich utylizację, czyli

$$C - K \text{ [zł]} \quad (1)$$

gdzie:

- $C$  – zmniejszenie opłat za odprowadzanie zanieczyszczonych wód powstałe w wyniku ponownego ich zatłaczania do górotworu,
- $K$  – koszt wykonania otworu wraz z pełną instalacją do przygotowania wody i zatłaczania.

Redukcja kosztów utylizacji zanieczyszczeń w następstwie powstania otworu chłonnego wyraża się następująco

$$C - cdV_c \text{ [zł]} \quad (2)$$

gdzie:

- $c$  – średnie stężenie zanieczyszczeń w zatłaczanej wodzie [ $\text{kg/m}^3$ ],
- $d$  – opłaty za zrzucenie 1 kg zanieczyszczeń do systemu wodnego [ $\text{zł/kg}$ ],
- $V_c$  – objętość wody zatłaczanej do otworu w okresie obliczeniowym [ $\text{m}^3$ ].

Zakładając określone stężenie zanieczyszczeń (stałe w określonym czasie) i opłaty za ich odprowadzanie, zmniejszenie kosztów będzie zależać od objętości zatłaczanych zanieczyszczeń, czyli  $C = f(V_c)$ .

Na podstawie tego można wyznaczyć objętość wody, którą musimy zatłoczyć do otworu, aby inwestycja stała się opłacalna

$$V_c = \frac{K}{dc} \quad [\text{m}^3] \quad (3)$$

Przyjmując czas  $t$  użytkowania otworów, można określić wymaganą średnią chłonność otworu z zależności

$$Q_s = \frac{V_c}{t} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (4)$$

Natomiast ogólnie chłonność otworu wyraża się wzorem [5]

$$Q = \frac{2 TP}{\ln \frac{R}{r}} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (5)$$

gdzie:

- $T$  – współczynnik przewodnictwa hydraulicznego warstwy  $[\text{m}^2/\text{s}]$ ,
- $P$  – ciśnienie zatłaczania wody  $[\text{N}/\text{m}^2]$ ,
- ciężar właściwy zatłaczanego medium  $[\text{N}/\text{m}^2]$ ,
- $R$  – promień zasięgu leja represji  $[\text{m}]$ ,
- $r$  – promień otworu  $[\text{m}]$ .

Odpowiednie przekształcenia ww. zależności pozwalają na uzyskanie wzoru na maksymalny koszt inwestycji

$$K = \frac{2 TP}{\ln \frac{R}{r}} c dt \quad [\text{zł}] \quad (6)$$

#### 4. ANALIZA CZASU WYKONANIA OTWORU CHŁONNEGO

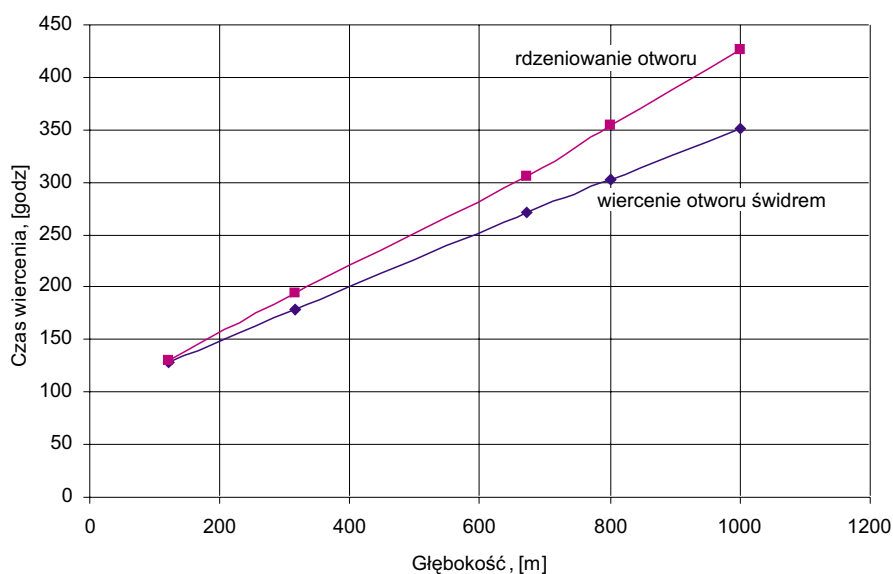
Czas wykonania otworu oraz przeprowadzenie testów stanowi podstawę oszacowania kosztów odwiercenia otworu chłonnego do żądanej głębokości. Znając koszt podstawowych czynności wiertniczych, można dokładnie wyznaczyć koszt planowanej inwestycji.

Oczywiście do końcowego kosztu inwestycji należy doliczyć dodatkowe koszty, takie jak:

- koszty narzędzi,
- materiałów płuczkowych i pędnych,
- uzbrojenia wglębnego i napowierzchniowego,
- koszt przeprowadzenia kompleksowego testu chłonności.

Z przeprowadzonej analizy wynika, że wykonanie otworu chłonnego do głębokości 1000 m pochłonęło łącznie (odwiercenie otworu i próby) 1092 godzin pracy. Czas montażu i demontażu urządzenia stanowił ok. 14%, wiercenie otworu ok. 42%, pomiary geofizyczne 4%. Pozostałe prace takie, jak operacje dźwigowe, prace pomocnicze – ok. 10% ogólnego czasu wykonania otworu. Prace związane z rurowaniem i cementowaniem uzależnione są od aktualnej konstrukcji zarurowania otworu, dla omawianego otworu stanowiły one ok. 17%. Wstępny test chłonności to ok. 13% ogólnego czasu wykonania otworu.

Rozpatrując ogólny czas odwiercenia otworu, należy mieć na uwadze fakt, że głębienie otworu od głębokości 120 m do jego końcowej głębokości prowadzono koronką rdzeniową z wykorzystaniem wrzutowego aparatu rdzeniowego. Etap ten można skrócić poprzez zastosowanie wiercenia pełoprzekrojowego. Z przeprowadzonych analiz wynika [6], że zastosowanie technologii rdzeniowania z użyciem aparatu wrzutowego wydłużyło czas operacji wiertniczych o około 72 godz (rys. 1). Porównując czas rdzeniowania z ogólnym czasem wykonania otworu, można stwierdzić, że czas ten wzrósł o około 7%. Jest to jednak mały wzrost w odniesieniu do całościowego kosztu inwestycji. Zdobyte informacje o rzeczywistym profilu geologicznym stanowią dla inwestora niezmiernie ważną informację. Pomagają również w rozpoznaniu geologicznym terenu górniczego.



Rys. 1. Czas wykonania otworu metodą pełoprzekrojową i rdzeniową w funkcji głębokości

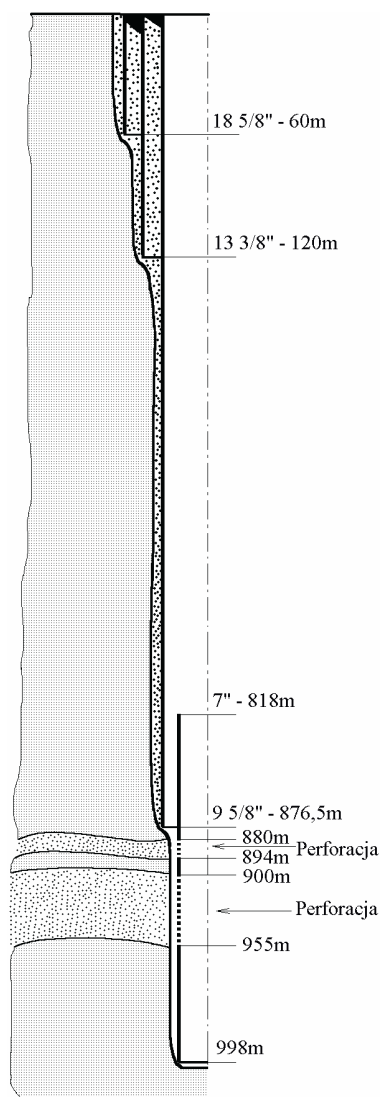
## 5. WYPOSAŻENIE TECHNICZNE OTWORU CHŁONNEGO

Uwzględniając charakter pracy instalację do zatłaczania można podzielić na dwie części:

- 1) niskociśnieniową,
- 2) wysokociśnieniową.

W części niskociśnieniowej zlokalizowane są elementy zapewniające odpowiednią czystość i skład chemiczny zatłaczanej wody. Część wysokociśnieniowa odpowiedzialna jest za zatłaczanie przygotowanej w części niskociśnieniowej wody za pomocą zespołu pomp wysokociśnieniowych.

Instalacja do zatłaczania może być zlokalizowana na powierzchni lub pod ziemią. Lokalizacja w wyrobiskach podziemnych może ograniczyć zużycie energii poprzez eliminację fazy wypompowywania zasolonych wód kopalnianych oraz zmniejszyć koszt wykonania otworu wiertniczego. Konstrukcję analizowanego otworu przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Konstrukcja otworu chłonnego

Z analizy konstrukcji otworu wynika, że zatłaczanie można prowadzić na kilka sposobów w zależności od powierzchniowego, jak i wglębnego uzbrojenia otworu. Jednym z proponowanych rozwiązań jest zapuszczenie rurek wydobywczych  $3\frac{1}{2}$  z pakerem RTTS zapiętym w rurach okładzinowych  $9\frac{5}{8}$  i zatłaczanie wód mineralizowanych do warstw chłonnych z powierzchni terenu. W celu zwiększenia wydajności zatłaczania istnieje możliwość przy tego typu konstrukcji otworu zapuszczenia do otworu rur wydobywczych  $4\frac{1}{2}$  lub 5 z pakerem izolującym. W takim przypadku zdecydowanie zwiększymy wydatek zatłaczania. Jednak z drugiej strony należy pamiętać, że warstwy posiadają odpowiednią chłonność. Zatłaczanie wód mineralizowanych zawierających cząstki stałe, jak również wód, z których wytrącają się takie cząstki, może w szybkim stopniu doprowadzić do kolmatacji strefy chłonnej i zmniejszenia przepuszczalności warstwy. Dlatego też wody takie muszą być poddawane wstępnemu oczyszczaniu.

## 6. WNIOSKI

- Jeżeli rejon jest słabo rozpoznany należy zastosować technologię rdzeniowania. Z analizy wynika, że operacja ta spowodowała wzrost czasu wykonania otworu o 7% w porównaniu z wierceniem otworu świdrami. Wykonanie rdzeniowania odcinków otworu w 100% powinno odbywać się wszędzie tam, gdzie zdobycie informacji o formacji geologicznej (zwłaszcza w rejonach gdzie prowadzona był działalność górnicza) jest rzeczą niezbędną dla prawidłowego zaprojektowania otworu.
- Jak wynika z analiz, 42% czasu niezbędnego do wykonania otworu pochłania praca narzędzi. W związku z tym, oszczędności w czasie wykonania otworu należy upatrywać w odpowiednim doborze technologii wiercenia.
- Projektując otwory chłonne czy też otwory zrzutowe wód kopalnianych, należy uwzględnić możliwość ich zatłaczania z poziomu wyrobiska górniczego. Spowoduje to spadek kosztów związanych z energochłonnością inwestycji, a tym samym spadek kosztów inwestycji.

## LITERATURA

- [1] Kalus D., Rado R.: *Possibilities of using absorptive bohrholes foor environmental protection purposes*. International Scientific Conference, Ostrava 12–17.09.1995
- [2] Motyka I. i in.: *Szczegółowe dane bilansowe w aspekcie selekcji wód dołowych grupy III i IV*. Katowice, 1987
- [3] Rogóż M., Posyłek E.: *Ograniczenie ilości wód odprowadzanych z kopalń metodą recyrkulacji*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej Górnictwo, z. 172, 1988
- [4] Wilk Z., Adamczyk A.: *O pewnych możliwościach ograniczenia zrzutów słonych wód kopalnianych do rzek na przykładzie KWK „Silesia”*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej Górnictwo, z. 172, 1988
- [5] Wilk Z., Adamczyk A.: *Analiza technologii i koncepcji kompleksowego zagospodarowania wód kopalnianych*. Praca niepublikowana, 1989 (maszynopis)

- [6] Lubaś J., Rado R.: *Analiza czasu wykonania otworów pełnoprzekrojowych i rdzeniowych do głębokości ok. 1500 m.* Rocznik AGH Wiertnictwo Nafta Gaz, t. 15, 1998
- [7] Poradnik hydrogeologa. Warszawa, Wydawnictwo Geologiczne 1971
- [8] Pinka J., Marcin M., Skvarekova E., Sidorova M.: *Possibility of Radioactive and Toxic Waste Disposal In a Rock salt Deposits in Slovakia Combining Wells and Cavities.* Acta Montanistica Slovaca, Rocnik 9, 2004