

Jan Macuda*, Ludwik Zawisza*

**TECHNICZNE UWARUNKOWANIA
SKŁADOWANIA ODPADÓW PŁYNNYCH W GÓROTWORZE
METODĄ OTWOROWĄ****

1. WSTĘP

Zatłaczanie odpadów płynnych do górotworu poprzez odwierty chłonne jest możliwe przy spełnieniu wymogów dotyczących zarówno bezpiecznego prowadzenia prac górniczych, jak i ochrony środowiska. Problem ten ma szczególne znaczenie zwłaszcza przy wykorzystaniu do celów zatłaczaniu odwiertów naftowych zastawionych lub przeznaczonych do likwidacji [1, 3, 5, 6].

Zatłaczanie odpadów płynnych do górotworu odbywa się poprzez kolumnę rur tłocznych, która na górze zamocowana jest w głowicy odwiertu, a na dole zapięta w urządzeniu uszczelniającym (pakerze). Przestrzeń pomiędzy kolumną rur tłocznych a kolumną rur okładzinowych wypełniona jest płynem nadpakerowym, który ma za zadanie zmniejszyć różnicę ciśnień działających na paker i jednocześnie umożliwia natychmiastową kontrolę szczelności kolumn rur i pakera.

Ponadto, dzięki wprowadzeniu do niego dodatków w postaci inhibitorów korozji efektywnie ogranicza korozję rur okładzinowych i tłocznych. Interwał warstw chłonnych udostępnia się poprzez perforację rur okładzinowych, zainstalowany filtr lub otwór „bosy”, w przypadku występowania warstw o dużej stabilności.

Bezpieczna eksploatacja instalacji do zatłaczania ścieków i odpadów płynnych uzależniona jest również od prawidłowo zaprojektowanego, napowierzchniowego uzbrojenia odwiertów chłonnych. Maksymalne ciśnienie robocze urządzeń stanowiących uzbrojenie napowierzchniowe powinno być dostosowane do projektowanych ciśnień zatłaczania.

* Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, Kraków

** Praca wykonana w ramach badań własnych w 2006 r.

2. KRYTERIA DOBORU ODWIERTÓW CHŁONNYCH DO ZATŁACZANIA ODPADÓW CIEKŁYCH

Odwiert przeznaczony do zatłaczania odpadów płynnych do górotworu musi spełniać trzy podstawowe kryteria [5]:

- 1) kryterium ekologiczne,
- 2) kryterium geologiczne,
- 3) kryterium techniczne.

Kryterium ekologiczne

Stosowanie odwiertów chłonnych do bezzbiornikowego składowania odpadów w górotworze powinno się odbywać warunkach maksymalnej ochrony aktywnej biosfery i wód podziemnych [1, 4].

Lokalizacja odwiertu chłonnego powinna być w takim miejscu, aby zminimalizować jego oddziaływanie na poszczególne elementy środowiska:

- powietrze,
- powierzchnię ziemi,
- wody powierzchniowe i podziemne,
- klimat akustyczny,
- złoża kopalin,
- świat zwierzęcy i roślinny,
- ludzi.

Kryterium ekologiczne zależy w istotnym stopniu od walorów środowiska przyrodniczego w rejonie lokalizacji odwiertu chłonnego i uwzględnia możliwy wpływ bezzbiornikowego składowania odpadów w górotworze na aktywną biosferę.

Kryterium geologiczne

Możliwość bezpiecznego dla środowiska, a zwłaszcza dla wód podziemnych i innych kopalin użytecznych, stosowania odwiertu chłonnego dla bezzbiornikowego składowania odpadów w górotworze zależy od wielu parametrów determinowanych warunkami geologicznymi. Wymagania stawiane odwiertom chłonnym dotyczą zarówno budowy geologicznej, jak i warunków hydrogeologicznych, w tym zwłaszcza odpowiedniej chłonności górotworu i należytej izolacji warstwy chłonnej. Kryterium geologiczne uwzględnia parametry hydrodynamiczne warstwy chłonnej i zmiany chłonności odwiertu w czasie prowadzenia bezzbiornikowego składowania odpadów.

Kryterium techniczne

Możliwość wykorzystania odwiertów chłonnych do bezzbiornikowego składowania odpadów płynnych w górotworze jest uwarunkowana ich właściwą konstrukcją oraz odpowiednim stanem technicznym.

Wskaźnik techniczny określany jest w oparciu o:

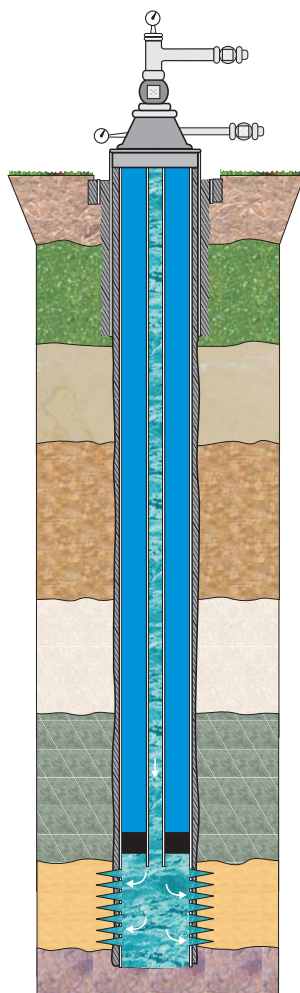
- analizę konstrukcji odwiertu chłonnego,
- badania stanu technicznego odwiertu,
- rodzaj i stan techniczny infrastruktury napowierzchniowej.

Ze względu na ochronę środowiska naturalnego i równoczesne wyeliminowanie ryzyka jego skażenia przez zatłaczane do górotworu odpady najbardziej korzystne jest wy-

korzystanie do tego celu nowo odwierconych oraz „negatywnych” odwiertów geologiczno-poszukiwawczych. Możliwe jest także wykorzystanie odwiertów poeksploatacyjnych, przeznaczonych do likwidacji.

3. KONSTRUKCJE ODWIERTÓW PRZEZNACZONYCH DO SKŁADOWANIA ODPADÓW W GÓROTWORZE

Podstawowym założeniem przy projektowaniu otworów do zatłaczania odpadów płynnych jest skuteczne odizolowanie warstw chłonnych od zalegających wyżej poziomów wód pitnych i użytkowych w celu ich ochrony. Do tego celu służą instalowane w otworze i następnie szczelnie cementowane techniczne kolumny rur okładzinowych. Na rysunku 1 przedstawiono typowy schemat konstrukcji odwiertu do zatłaczania odpadów płynnych.

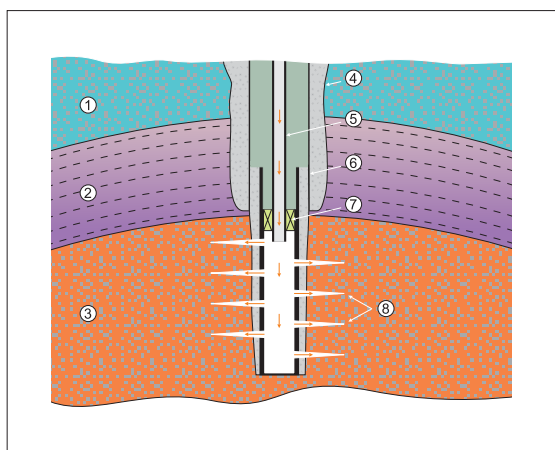


Rys. 1. Konstrukcja odwiertu chłonnego z zainstalowaną głowicą eksploatacyjną

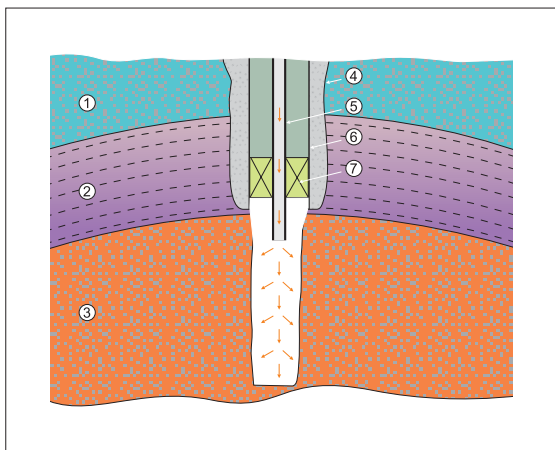
W zależności od sposobu udostępnienia poziomu warstw chłonnych odwierty przeznaczone do zatłaczania odpadów można podzielić na trzy typy [5]:

- 1) odwierty udostępniające warstwy chłonne poprzez perforację rur okładzinowych,
- 2) odwierty udostępniające warstwy chłonne przez strefę niezarurowaną,
- 3) odwierty udostępniające warstwy chłonne przez zainstalowany filtr.

Udostępnianie warstw chłonnych przez perforację rur okładzinowych jest najczęściej stosowaną metodą. Może być ona stosowana w różnych warunkach geologicznych i umożliwia precyzyjne wybranie strefy o najkorzystniejszych warunkach filtracyjnych (rys. 2).



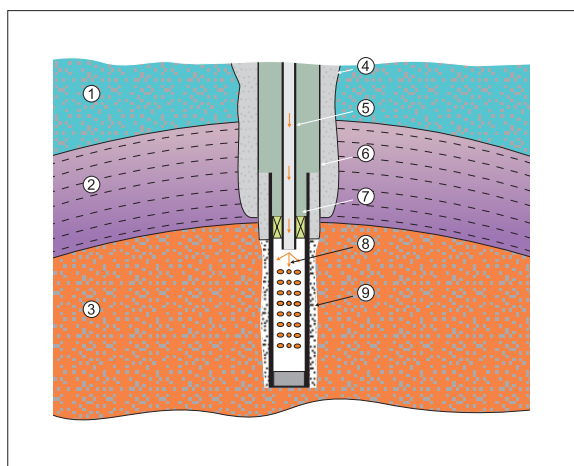
Rys. 2. Udostępnianie warstw chłonnych przez perforację rur okładzinowych: 1 – warstwa wodonośna, 2 – warstwa nieprzepuszczalna, 3 – warstwa chłonna, 4 – płaszcz cementacyjny, 5 – rurki zatłaczające, 6 – rura okładzinowa, 7 – pakier, 8 – perforacja rur okładzinowych



Rys. 3. Udostępnianie warstw chłonnych przez niezarurowany odcinek odwiertu w strefie złożowej: 1 – warstwa wodonośna, 2 – warstwa nieprzepuszczalna, 3 – warstwa chłonna, 4 – płaszcz cementacyjny, 5 – rurki zatłaczające, 6 – rura okładzinowa, 7 – pakier

W przypadku udostępniania warstw chłonnych odwiertem z niezarurowanym dolnym odcinkiem, kolumnę rur technicznych stawia się w ich stropie, a następnie przewierca się warstwy chłonne i pozostawia interwał niezarurowany. Taką konstrukcję odwiertu stosuje się w przypadkach, gdy skały chłonne wykształcone są w postaci skał zwięzłych i dobrze scementowanych (rys. 3).

Przy udostępnianiu skał nieskonsolidowanych, wykształconych w postaci np. luźnych piasków lub żwirów, w dolnej części odwiertu instaluje się odpowiednio zaprojektowany filtr, a przestrzeń pierścieniową wypełnia się obsypką żwirową (rys. 4).



Rys. 4. Udostępnianie warstw chłonnych przez filtrowany odcinek odwiertu w strefie złożowej: 1 – warstwa wodonośna, 2 – warstwa nieprzepuszczalna, 3 – warstwa chłonna, 4 – płaszcz cementowy, 5 – rurki zatłaczające, 6 – rura okładzinowa, 7 – paker, 8 – filtr, 9 – obsypka

4. NAPONOWIERZCHNIOWE UZBROJENIE ODWIERTÓW CHŁONNYCH

Napowierzchniowe wyposażenie odwiertu służącego do zatłaczania odpadów do górotworu stanowi typowa głowica eksploatacyjna zamontowana na więźbie rurowej. Ponadto w skład napowierzchniowego uzbrojenia wchodzi również system zasuw i zaworów, zapewniający prawidłową i bezpieczną eksploatację instalacji. Maksymalne ciśnienie robocze urządzeń stanowiących uzbrojenie napowierzchniowe powinno być dostosowane do projektowanych ciśnień zatłaczania. Manometry zainstalowane na głowicy otworu powinny umożliwiać kontrolę ciśnienia zatłaczania odpadów oraz ciśnienia w przestrzeni pierścieniowej.

5. STAN TECHNICZNY ODWIERTÓW CHŁONNYCH

Wykorzystanie odwiertów chłonnych do bezzbiornikowego składowania odpadów płynnych w górotworze jest uwarunkowane zarówno ich właściwą konstrukcją, jak i odpowiednim stanem technicznym.

Warunki te określane są w oparciu o:

- analizę konstrukcji odwiertu chłonnego,
- badania stanu technicznego kolumn rur okładzinowych,
- ocenę stanu technicznego infrastruktury napowierzchniowej.

Ze względu na konieczność obniżenia całkowitych kosztów budowy instalacji do zatłaczania odpadów najbardziej korzystne jest wykorzystanie do zatłaczania odpadów nowo odwierconych i „negatywnych” odwiertów geologiczno-poszukiwawczych.

Uwarunkowane jest to m.in. ich:

- dobrym stanem technicznym (są szczelne),
- brakiem konieczności wykonywania prac rekonstrukcyjnych,
- wyposażeniem w odpowiedni osprzęt.

Natomiast wykorzystanie do zatłaczania odwiertów poeksploatacyjnych, z powodu możliwości wystąpienia znacznej korozji rur okładzinowych oraz uszkodzenia płaszcza cementowego, znacznie zwiększa prawdopodobieństwo wystąpienia migracji odpadów do nadległych warstw wodonośnych.

W celu wyeliminowania tego ryzyka przed zakwalifikowaniem takich odwiertów do zatłaczania należy wykonać badania geofizyczne stanu technicznego ich konstrukcji. Ponadto, w przypadku podjęcia decyzji o wykorzystaniu takiego odwiertu do zatłaczania odpadów należy wykonać w nim zabiegi stymulacyjne, poprawiające jego sprawność hydrodynamiczną.

6. BADANIA STANU TECHNICZNEGO KONSTRUKCJI ODWIERTÓW CHŁONNYCH

Dobry stan techniczny odwiertu gwarantuje jego bezpieczną eksploatację i ogranicza do minimum możliwość wystąpienia awarii związanej z jego nieszczelnością.

W celu jednoznacznej oceny stanu technicznego takich odwiertów należy wykonać w nich zestaw badań geofizycznych. Powinno się do tego celu wykorzystać: cementomierz akustyczny (CBL oraz PET), sondę magnetyczną (MTT), kawernomierz wieloramienny (MIT), skaner akustyczny CAST i termometr.

Cementomierz akustyczny umożliwia określenie jakości wiązania zaczynu cementowego z rurami i formacją skalną, stopnia wypełnienia przestrzeni pozarurowej oraz wykrycie ewentualnych stref przepływu mediów poza rurami. Ustalenie tych stref umożliwia także profilowanie termiczne. Wyniki pomiaru sondą magnetyczną umożliwiają natomiast identyfikację uszkodzeń rur okładzinowych, a także ocenę skuteczności ewentualnych zabiegów perforacyjnych. Jednak dla precyzyjnej oceny stanu technicznego rur okładzinowych, szczególnie do wykrywania wszelkiego rodzaju uszkodzeń (pęknięcia, zmiany średnicy, ślady otworów perforacyjnych, ślady zapięcia korka mechanicznego itp.), zalecane jest ich badanie przy użyciu skanera akustycznego.

7. KOMPLIKACJE I AWARIE TOWARZYSZĄCE ZATŁACZANIU ODPADÓW

Podczas składowania odpadów ciekłych w górotworze (w wyeksploatowanych złożach ropy naftowej i gazu ziemnego, a także w półotwartych strukturach hydrogeologicznych, oddzielonych od aktywnego systemu wód podziemnych nieprzepuszczalną strefą), mogą wystąpić pewne komplikacje, które ze względu na miejsce ich wystąpienia dzielimy na pięć głównych grup [2]:

- 1) błędnie wytypowana struktura chłonna,
- 2) nieprawidłowo zaprojektowana i wybudowana stacja do zatłaczania odpadów,
- 3) nieprawidłowo zaprojektowana konstrukcja otworu chłonnego,
- 4) kolmatacja ośrodka porowatego w strefie przyodwiertowej,
- 5) nieprawidłowy dobór odpadów ciekłych ze względu na ich zgodność hydrochemiczną z ośrodkiem porowatym.

Oprócz wymienionych powyżej mogą wystąpić również awarie podczas normalnej pracy instalacji do zatłaczania i są one związane z:

- uszkodzeniem zbiorników do magazynowania odpadów,
- uszkodzeniem instalacji do chemicznej obróbki odpadów,
- uszkodzeniem pomp tłocznych,
- uszkodzeniem rurociągu tłoczego,

8. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

1. Bezzbiornikowe składowanie odpadów w górotworze reguluje ustawa *Prawo geologiczne i górnicze*, która określa zasady i warunki prowadzenia prac geologicznych i górniczych na potrzeby składowania odpadów w górotworze oraz zasady ochrony złóż kopalin, wód podziemnych i innych elementów ochrony środowiska w najbliższym otoczeniu podziemnego składowiska odpadów.
2. Składowanie odpadów ciekłych w górotworze powinno być prowadzone poprzez specjalnie do tego celu przystosowane odwierty tłoczne. Powinny być one wyposażone w kolumnę rur tłocznych, zapiętą w szczelnym pakercie oddzielającym komorę tłoczenia od przestrzeni pierścieniowej zawartej pomiędzy kolumną rur tłocznych a kolumną rur okładzinowych.
3. W celu ochrony kolumn rur okładzinowych przed nadmierną korozją oraz zmniejszenia różnicy ciśnienia na pakercie przestrzeń pierścieniowa pomiędzy kolumną rur okładzinowych a kolumną rur tłocznych powinna być wypełniona cieczą z dodatkami inhibitorów korozji.
4. W celu kontroli szczelności odwiertu zatłaczającego bezwzględnie należy kontrolować ciśnienie cieczy nadpakerowej. Zmiany ciśnienia w tej przestrzeni świadczą o uszkodzeniu pakera, kolumny rur tłocznych lub okładzinowych.
5. Aby uzyskać obniżenie kosztów budowy instalacji do składowania odpadów w górotworze, należy wykorzystać wyeksploatowane złoża węglowodorów wraz z infrastrukturą techniczną.

LITERATURA

- [1] Macuda J.: *Badanie zmian chemizmu wód podziemnych w rejonie składowiska odpadów przemysłowych*. Rocznik AGH Wiertnictwo Nafta Gaz, t. 22/1, 2005
- [2] Macuda J., Nagy S., Zawisza L.: *Ecological Aspects of Underground Gas Storage (UGS) Development and Eksploitation*. 5th International Symposium on the reclamation, Treatment and Utilization of Coal Mining Wastes & 3rd Conference on Environmental and Mineral Processing. Part II. 10–13 September 1996, Ostrava – Poruba Czech Republic, 1996
- [3] Macuda J., Lewkiewicz-Małysa A.: *Toxic chemical waste deposition in deep post-extraction wells*. II Mezinárodní Conference, Ostrava 17–18 listopada 1999, Vysoká škola Báňská – Technická Universita Ostrava, Hornicko-Geologická Fakulta, Ostrava VSB 1999
- [4] Mazurkiewicz M., Piotrowski Z., Poborska-Młynarska K.: *Przegląd światowych koncepcji składowania odpadów niebezpiecznych w wyrobiskach podziemnych*. Mat. Szkoły Gospodarki Odpadami, Ryto 2000
- [5] Zawisza L., Macuda J.: *Analiza przepisów UE oraz doświadczeń krajów UE w zakresie składowania odpadów w górotworze, Raport Końcowy – Część B*. Składowanie odpadów w górotworze metodą otworową. Kraków, Stowarzyszenie Naukowe im St. Staszica 2004
- [6] Whiteside R.F., Roth T.P. Jr., Creech J.R.: *Applications of Corrosion-Resistant Materials and Cement in the Design and Construction of Class I Injection Wells*. Deep Injection Disposal of Hazardous and Industrial Waste, Academic Press 1996