

Tomasz SUPONIK
Politechnika Śląska, Gliwice

REMEDIACJA IN SITU STARYCH SKŁADOWISK ODPADÓW ZA POMOCĄ SYSTEMU SZCZELNEJ IZOLACJI ORAZ BARIERY AKTYWNEJ

Streszczenie. W referacie opisano metodę remediacji wód podziemnych za pomocą szczelnej izolacji i aktywnej bariery, przedstawiono warunki stosowania tej metody oraz problemy temu towarzyszące. W technologii szczelnej izolacji oraz bariery aktywnej zanieczyszczenia są usuwane bezpośrednio w warstwie wodonośnej przez przepływ skażonego strumienia wód podziemnych przez barierę aktywną.

IN SITU REMEDIATION OLD LANDFILLS USING CUT-OFF WALLS AND REACTIVE BARRIERS

Summary. A new technique of groundwater remediation called funnel and gate system is passive remediation, where contaminants are removed into aquifer by flow through reactive walls filled with reactive material. This paper presents this technique and describes conditions and problems which accompany it.

1. Wprowadzenie

Woda jest bogactwem narodowym, które nieodłącznie towarzyszy człowiekowi we wszystkich dziedzinach życia. Niestety, z chwilą szybkiego rozwoju przemysłu rozpoczął się proces wzmożonej jej eksploatacji oraz zanieczyszczenia. Ilość, a szczególnie jakość wód w wielu miejscach przyjmuje poziom krytyczny. Rodzi się więc konieczność, szczególnie w miejscach o wysokim deficycie wodnym, poprawy jakości istniejących zbiorników wodnych

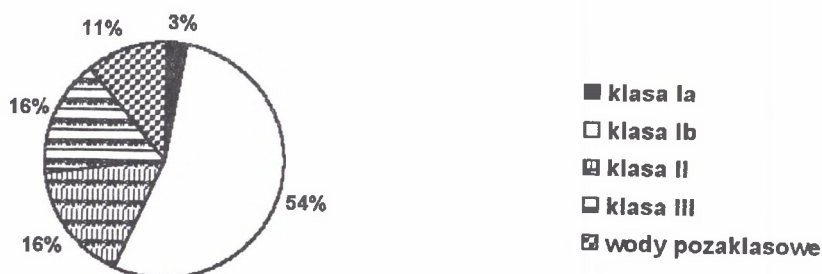
oraz potrzeba poszukiwania nowych źródeł zaopatrzenia. Oba te sposoby wiążą się z wysokimi kosztami, które muszą być ponoszone.

Szczególnym rodzajem wód są wody podziemne. Ze względu na duże zasoby oraz wysoką jakość są one często wykorzystywane. Jednak wody te od pewnego czasu są również narażone na zanieczyszczenia. Istotnym źródłem ich zanieczyszczeń są odcieki ze składowisk odpadów. Ze względu na skalę tego procesu w ostatnich latach wzrosło zainteresowanie problemem szeroko rozumianej prewencji oraz oczyszczania tych wód z zanieczyszczeń.

Problem ten jest zauważalny również na Śląsku, który jest obszarem gęsto zaludnionym o wysokim deficycie wodnym, gdzie znajduje się dużo niewłaściwie prowadzonych składowisk odpadów. Na obszarze tym użytkowe wody podziemne występują w utworach czwartorzędu, trzeciorzędu, kredy, jury, triasu, karbonu i dewonu.

W części centralnej województwa istotną rolę odgrywają podziemne wody w utworach serii węglanowej triasu. Stanowią one podstawę zaopatrzenia w wodę szeregu miast Górnego Śląska. Na obszarze tym częściowo lub w całości umiejscowionych jest pięć GZWP (główne zbiorniki wód podziemnych). Duże zagrożenie dla wód tego piętra stanowią zanieczyszczone wody powierzchniowe mające kontakt hydrauliczny z wodami podziemnymi oraz wyjątkowe nagromadzenie ognisk zanieczyszczeń (składowiska odpadów) w Górnos Śląskim Okręgu Przemysłowym. Jakość wód w utworach serii węglanowej triasu prezentuje rys. 1.

Wody te są zanieczyszczone głównie ze względu na mineralizację, wysokie stężenia siarczków, żelaza, strontu, magnezu, manganu, sodu, potasu oraz związków azotu i cech fizycznych [5].



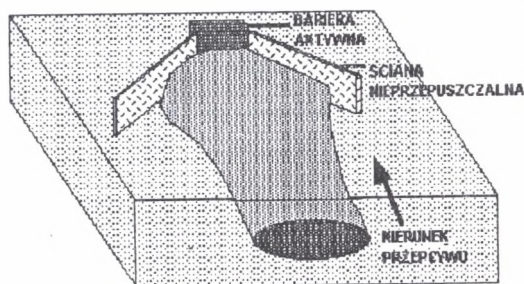
Rys.1. Klasy jakości wód w utworach triasu

Fig.1. Quality of water in triassic

2. Technologia bariery aktywnej i szczelnej izolacji

Spośród wielu sposobów likwidacji zanieczyszczeń w środowisku wodno-gruntowym bardzo skuteczna, uniwersalna i w ostatnich latach w kilku krajach coraz częściej stosowana jest technologia barier aktywnych. W procesie tym zanieczyszczenia są usuwane bezpośrednio w warstwie wodonośnej przez przepływ strumienia wodnego przez przepuszczalną barierę aktywną.

Jednym z wariantów tej technologii jest metoda szczelnej izolacji i bariery aktywnej, której zasadę prezentuje rys.2. Technologia ta składa się z kombinacji dwóch systemów o różnych, przeciwstawnych hydraulicznie, właściwościach. Większa część konstrukcji składa się z nieprzepuszczalnej ściany, która razem z nieprzepuszczalną warstwą zalegającą pod składowiskiem doprowadza zanieczyszczoną wodę w miejsce, gdzie znajduje się bariera aktywna, która ma za zadanie oczyszczanie skażonej wody.



Rys. 2. Oczyszczanie wód podziemnych za pomocą bariery aktywnej i szczelnej izolacji

Fig. 2. Plume capture by a funnel and gate system. Cut-off walls direct the plume through the reactive gate

Metoda szczelnej izolacji i bariery aktywnej znalazła szerokie zastosowanie w latach dziewięćdziesiątych w krajach wysoko rozwiniętych. Jest więc to metoda nowa, a doceniona została dzięki zaletom, do których zaliczamy:

- remediację podziemną, bez potrzeby pompowania i oczyszczania wody,
- niski koszt konstrukcji i utrzymania,
- wysoką efektywność,
- instalację konstrukcji na niewielkiej powierzchni,

- niewielką ilość użytego materiału aktywnego,
- możliwość wymiany aktywnego materiału,
- możliwość stosowania do wszystkich rodzajów zanieczyszczeń,
- możliwość wykonania bariery aktywnej w formie gotowych prefabrykatów, co pozwala na szybką wymianę oraz obniżenie kosztów,
- przebieg procesu bez potrzeby dostarczania energii.

Niestety, metoda ta niesie za sobą również pewne niebezpieczeństwa i problemy. Zmieniające się naturalne warunki przepływu wód podziemnych mogą spowodować znaczący przyrost jej objętości wewnątrz wykonanej konstrukcji, a to może prowadzić do nieefektywnej pracy, a nawet do awarii całego systemu. W celu zminimalizowania tego problemu określa się odpowiednią objętość przestrzeni ograniczonej przez ścianę szczelną, identyfikuje warunki hydrogeologiczne oraz przyjmuje optymalne położenie i przepuszczalność bariery aktywnej. Duże znaczenie w tym wypadku ma długość, kształt i sposób wykonania nieprzepuszczalnej ściany.

Aby przebieg procesu oczyszczania był najefektywniejszy, dobiera się rodzaj materiału aktywnego, czas przebywania zanieczyszczeń wewnątrz bariery aktywnej oraz wynikającą z tych parametrów grubość bariery.

W celu określenia tych oraz innych parametrów niezbędna jest znajomość stężenia, rodzaju zanieczyszczeń oraz szybkości spadku zanieczyszczeń. Wartości te uzyskuje się w drodze badań laboratoryjnych i określa indywidualnie dla każdego przypadku.

Bardzo istotnym aspektem warunkującym skuteczność procesu jest również dobra izolacja zanieczyszczeń przez wyeliminowanie kontaktowej filtracji na styku nieprzepuszczalnej ściany pionowej oraz nieprzepuszczalnej warstwy gruntu.

3. Nieprzepuszczalna ściana

W budownictwie wodnym i podziemnym znane są różne, wielokrotnie sprawdzone technologie wykonywania pionowych nieprzepuszczalnych ścian. Praktyka ostatnich lat pokazuje jednak, że najczęściej stosowana jest tzw. "ściana w gruncie". Znane są dwa rodzaje tej konstrukcji, są to przepony jednofazowe oraz dwufazowe.

Technologia budowy *jednofazowej przepony* polega na wykonaniu rowu i wypełnianiu go substancjami płynnymi, które posiadają zdolności krzepnące i tworzą stabilną konstrukcję.

Do substancji takich zaliczamy zawiesinę bentonitową (tikotropową). Jest to mieszanina ilitu, cementu, piasku oraz wody. Szczególną cechą tej zawiesiny jest jej pęcznienie; występuje ono po 12 - 24 godzinach po wymieszaniu składników i jest zależne od stopnia wymieszania oraz temperatury wody zarobowej. Drugą cechą jest tiksotropia, która jest izotermiczną przemianą odwracalną żelu w zol, zachodzącą pod wpływem mieszania składników mieszaniny. Po pewnym czasie zol przechodzi samorzutnie w żel, a więc tworzy ponownie sieciową jego strukturę.

Dwufazowa przepona różni się od jednofazowej tym, że po wykonaniu wykopu i po stabilizacji zawiesina bentonitowa jest wypierana przez inny materiał, który również podlega procesowi krzepnięcia.

Pionowe ściany szczelne, poza spełnieniem warunków hydraulicznych, muszą spełniać również warunki statyczne i nie pozwolić na zniszczenie ciągłości konstrukcji. Z tych względów szczelny ekran powinien się charakteryzować następującymi cechami [6]:

1. odpowiednią wytrzymałością - ściany nieprzepuszczalne są narażone na działanie naprężeń, które mogą spowodować przerwanie ciągłości konstrukcji, a tym samym utratę własności izolujących i awarię całego systemu. Problem ten może się pojawić na terenach wzmoczonej eksploatacji górniczej. W miejscach takich ścianki nieprzepuszczalne powinny być projektowane i budowane z uwzględnieniem tego problemu. Wytrzymałość ścianki szczelnej jest uzależniona głównie od wieku oraz składu mieszaniny użytej do konstrukcji i powinna przyjmować wartość porównywalną do wytrzymałości otaczającego ją gruntu, tj. od 200 – 400 kPa;
2. niską przepuszczalnością - przepuszczalność konwencjonalnej ścianki nieprzepuszczalnej nie powinna być wyższa niż 10^{-9} m/s. Jest ona uzależniona, podobnie jak w przypadku wytrzymałości, od wieku ścianki, składu oraz warunków hydraulicznych;
3. stabilnością erozyjną - przepływowi wody przez ściankę mogą towarzyszyć procesy erozyjne, których skutki w negatywny sposób wpływają na jej szczelność;
4. długotrwałą stabilnością chemiczną - zastosowanie ścianek szczelnych wokół składowisk odpadów wiąże się z narażeniem masy ścianki na działanie agresywnych wód. Materiał, z którego jest wykonana ścianka nieprzepuszczalna, powinien być stabilny chemicznie, tzn. powinien się biernie zachowywać wobec agresywnych wód odciekowych.

W celu wyeliminowania zagrożeń utraty własności izolacyjnych ścianki szczelnej oraz dzięki rozwojowi nauki i techniki zostały wprowadzone nowe technologie, które przy zwiększeniu stopnia niezawodności pozwalają również na obniżenie kosztów. Technologie te polegają na wprowadzaniu do szczelin z płynną zawiesiną bentonitową dodatkowych elementów

uszczelniających jednowarstwowych z geomembran HDPE, geokompozytów warstwowych oraz innych materiałów [4].

Wykorzystanie klasycznej metody "ściany w gruncie" ze względów ekonomicznych jest ograniczone do głębokości około 8 m. Alternatywą oraz odmianą klasycznej metody, która pozwala na wykonanie szczelnej ściany na dużych głębokościach oraz w trudnych warunkach, jest tzw. metoda "*jet technology*" [3]. Maksymalna głębokość "ściany w gruncie" przy wykorzystaniu tej technologii może dochodzić do 50 m. Metoda ta pozwala poza tym na wykonanie ścianki o minimalnej grubości i - co bardzo istotne - nie podnosi kosztów produkcji. Sprzęt specjalistyczny potrzebny do wykonania tej konstrukcji może być stosowany zarówno do budowy ścianki nieprzepuszczalnej, jak i bariery aktywnej.

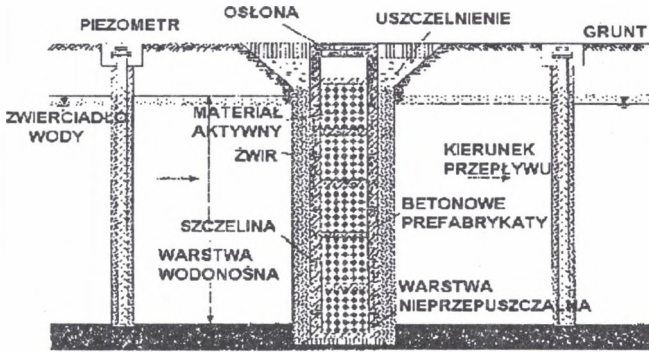
4. Bariera aktywna

Integralną częścią przedstawionej technologii jest przepuszczalna bariera aktywna. Stanowi ona strefę czynną wypełnioną aktywnym materiałem, która dzięki procesom wymiany jonowej, sorpcji, filtracji, rozkładu naturalnego i biochemicznego oraz strącania oczyszcza wody podziemne, bez konieczności wydobywania jej na powierzchnię.

Środek aktywny jest zakopywany w wąskim rowie lub jest instalowany bezpośrednio w wykopie w formie gotowych prefabrykatów. Możliwość łatwej i szybkiej wymiany prefabrykatów oraz prostota ich wykonania determinuje częstsze stosowanie drugiej opcji. Wymiary prefabrykatów są uzależnione od możliwości technologicznych i instalacyjnych.

Konwencjonalna aktywna bariera skonstruowana z prefabrykatów składa się z:

- warstwy filtrującej po obu stronach aktywnego materiału – jest to najczęściej piasek lub żwir,
- szkieletu z prefabrykatów betonowych lub specjalnie wykonanych cegieł. Szkielet taki znajduje się wewnątrz warstwy filtrującej i dzięki szczelinom znajdującym się w nim pozwala na poziomy przepływ wód podziemnych,
- aktywnego materiału wewnątrz szkieletu, który najczęściej składa się z ziaren żelaza, aktywnego węgla, bakterii, kompostu lub torfu, gliny organofilowej oraz innych związków chemicznych [2],
- gliny uszczelniającej, która uniemożliwia kontakt z atmosferą oraz przepływ wody podziemnej nad barierą,
- szczelnej osłony, która umożliwia wymianę aktywnego materiału [1].



Rys. 3. Konstrukcja przepuszczalnej bariery aktywnej

Fig. 3. Permeable treatment wall construction

Jednym z najistotniejszych czynników warunkujących prawidłowy przebieg remediacji jest przepuszczalność bariery aktywnej. Powinna ona być co najmniej dwa razy wyższa niż warstwy wodonośnej. Jednak różne czynniki, jak niekontrolowany wzrost mikroorganizmów czy napływ drobnych ziaren mogą ją redukować. Dlatego przyjmuje się że bariera aktywna powinna charakteryzować się przepuszczalnością znacznie wyższą niż warstwy wodonośnej.

Wymiary aktywnej bariery, a szczególnie jej grubość jest uwarunkowana poziomem zanieczyszczeń, w określonym miejscu i może przyjmować różną wartość. Grubość bariery w centralnej części rozpatrywanego skażonego terenu, gdzie spodziewany jest najwyższy poziom zanieczyszczeń, może przyjmować najwyższą wartość, zaś na jej obrzeżach najniższą. W celu poprawy skuteczności oraz wyrównania długoterminowego działania całego systemu mogą być stosowane dodatkowe bariery aktywne umieszczone przed zasadniczą częścią konstrukcji.

5. Podsumowanie

Deficyt wodny na Śląsku, problemy ze skażonymi wodami podziemnymi oraz konieczność dostosowania jakości wód do standardów panujących w krajach Unii Europejskiej zmu-

sza do podejmowania działań w zakresie szeroko pojętego zabezpieczenia wód podziemnych przed zanieczyszczeniami.

Jednym z takich działań może być remediacja skażeń pod "nieekologicznymi" składowiskami odpadów za pomocą metody szczelnej izolacji i bariery aktywnej. W metodzie tej proces oczyszczania odbywa się pod ziemią i może być stosowany do wszystkich rodzajów zanieczyszczeń. Te oraz inne zalety powodują, iż metoda ta staje się atrakcyjna i jest coraz częściej wykorzystywana w krajach wysoko rozwiniętych, mimo istniejących pewnych warunków ograniczających jej stosowanie.

Warunkiem koniecznym w tej metodzie jest ciągła warstwa nieprzepuszczalna zalegająca poziomo pod składowiskiem. Ważnym aspektem decydującym o skuteczności metody jest określenie grubości, składu, położenia oraz przepuszczalności bariery aktywnej. Kolejnym istotnym czynnikiem jest dobra izolacja zanieczyszczeń oraz zachowanie własności statycznych ściany nieprzepuszczalnej.

LITERATURA

1. Beitinger E., Tamowski F., Gehrke M., Burmeier H.: Permeable treatment walls for in-situ groundwater remediation – how to avoid precipitation and bio-clogging. Contaminated Soil '98 Edinburg UK 1998 Volume 1.
2. Bradl H.B., Bartl U.: Reactive walls – a possible solution to the remediation of old landfills?. Environmental impact, aftercare and remediation of landfills. Symp:Sardinia 1999.
3. Debreczeni E., Meggyes T.: Construction of cut-off walls and reactive barriers using jet technology. Environmental impact, aftercare and remediation of landfills. Symp:Sardinia 1999.
4. Ghezzi G., Ghezzi P. Pellegrini M.: Use of a cement-bentonite-slurry plastic diaphragm with HDPE membrane for MSW landfill. Environmental impact, aftercare and remediation of landfills. Symp:Sardinia 1999.
5. Gorgoń E., Siwek P., Storożenko Z.: Informacja o stanie czystości wód podziemnych województwa śląskiego w 1999 r. Inspekcja Ochrony Środowiska, Śląski Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Katowicach, Katowice kwiecień 2000.

6. Jacenków S.: Właściwości ścianek szczelinowych jednofazowych stosowanych przy zabezpieczaniu składowisk odpadów. Geotechniczne aspekty składowania odpadów. mat. sem. tom I. Gdańsk 1994.

Recenzent: Dr inż. Barbara Białecka

Abstract

Underground water is very polluted in industrial part of the Silesia. One of the main causes of this situation are old and uncontrolled landfills. Remediation of this contamination seems very important for both economic and ecology reasons. In order to clean this water we should choose appropriate method paying attention to conditions and demands. A possible solution to the remediation of old landfills is construction of cut-off walls and reactive barriers. In this method contaminants are removed into aquifer by flow through reactive walls filled with reactive material.

The technology consists of two elements, permeable reactive walls and tight cut-off walls. Both of this components were presented, and also conditions and problems which accompany this method were described.