

HYDROGEOLOGICZNE PROBLEMY PODZIEMNEGO SKŁADOWANIA ŚCIEKÓW PRZEMYSŁOWYCH

UKD 502.7:550.75]:628.54.001.556.388.2

Jedną z metod unieszkodliwiania odpadów przemysłowych, mogących zatruć lub zniszczyć środowisko człowieka, jest ich podziemne składowanie. Dotyczy to zwłaszcza ścieków najbardziej szkodliwych dla człowieka, usunięcie których innymi metodami ze względów technicznych lub ekonomicznych nie jest możliwe.

Istnieją cztery sposoby podziemnego składowania ścieków przemysłowych:

I. Wypełnianie ściekami współczesnych, sztucznych kawern i próżni znajdujących się w nieprzepuszczalnych lub słaboprzepuszczalnych skałach w strefie aeracji (próżnie krasowe, stare wyrobiska itp.). Ujemną stroną tego sposobu składowania ścieków jest na ogół niewielka pojemność próżni nadających się do wypełniania ściekami oraz regionalnie ograniczone obszary, w których występują warunki odpowiednie dla takiego sposobu składowania. W wypadkach bezwzględnej konieczności stosowania tego rodzaju składowania ścieków, w niektórych regionach geologicznych mogą znaleźć zastosowanie celowo wykonane wyrobiska.

II. Odprowadzanie ścieków do płytkich, lecz izolowanych warstw wodonośnych, w obrębie których występują wody słodkie. Ścieki włączane są pod ciśnieniem, w wyniku czego z warstwy wodonośnej usuwana jest woda słodka. Zasięg strefy, do której zatłoczono ścieki sprawdza się za pomocą analiz chemicznych wód pobranych z otworów badawczych.

Ujemną stroną omawianego sposobu jest regionalnie ograniczone występowanie warunków pozwalających na prowadzenie tego rodzaju prac. Ponadto bezużytecznie niszczone są słodkie wody podziemne występujące pierwotnie w wykorzystywanych do zatłaczania warstwach wodonośnych. Istnieje również duże niebezpieczeństwo zanieczyszczenia wód powierzchniowych przez ścieki, w wypadku nie kontrolowanego ich wypływu otworami badawczymi. Metoda ta pozwala, podobnie jak poprzednia, na składowanie niewielkich ilości ścieków przemysłowych.

III. Wprowadzanie ścieków do wyeksploatowanych warstw pierwotnie wypełnionych ropą naftową lub gazem ziemnym. W takich wypadkach wprowadzane ścieki wyrównują ciśnienia złożowe w strefach wyeksploatowanych. Dodatnią stroną omawianego sposobu podziemnego składowania ścieków przemysłowych jest fakt, że można nim składować znaczne ilości ścieków. Ujemną stroną jest natomiast to, że tylko niektóre rodzaje ścieków, ze względu na ich skład chemiczny, mogą być tak składowane.

IV. Wprowadzanie ścieków do głębokich jednostek hydrogeologicznych. Sposób ten jest najbardziej racjonalny. Za pomocą tej metody można usuwać z powierzchni ziemi znaczne ilości ścieków i to o różnym składzie chemicznym.

Zagadnienia hydrogeologiczne, które należy rozwiązać przy wprowadzaniu ścieków do głęboko leżących warstw wodonośnych można podzielić na dwie grupy:

1) prognoza warunków hydrogeologicznych w aspekcie możliwości występowania warstw wodonośnych odpowiednich do odprowadzania ścieków;

2) prognoza zmian warunków filtracji (w czasie i przestrzeni) występujących przy wprowadzaniu ścieków, a wpływających na możliwość składowania i przemieszczania się wprowadzanych ścieków przemysłowych.

Warstwy wodonośne, do których można wprowadzać ścieki przemysłowe powinny odpowiadać następującym warunkom:

- 1) wykazywać znaczną pojemność;
- 2) wykazywać dobrą izolację, szczególnie w wypadku występowania w warstwach sąsiednich wód eksploatowanych do celów pitnych, przemysłowych lub leczniczych;
- 3) nie zawierać wód pitnych.

Oprócz czynników hydrogeologicznych, przy planowaniu prac mających na celu odprowadzanie ścieków przemysłowych do głębokich jednostek hydrogeologicznych należy rozpatrywać czynniki ekonomiczne, niekiedy decydujące o niestosowaniu tej metody. Badanie warunków hydrogeologicznych prowadzone dla oceny możliwości wprowadzania ścieków przemysłowych do głęboko występujących warstw wodonośnych przeprowadza się w dwóch etapach: wstępnym i podstawowym.

We wstępnym etapie badań prognozą możliwości wprowadzania ścieków przemysłowych opiera się na analizie ogólnych warunków tektoniczno-strukturalnych, hydrogeologicznych i hydrochemicznych. Opracowuje się wstępną mapę hydrogeologiczną rejoniacji w aspekcie możliwości wprowadzania ścieków do środowiska wód podziemnych. Na mapie wydziela się poziomy wodonośne, do których można wprowadzać ścieki, określa się rejony z jednym lub kilkoma poziomami wykazującymi różny stopień przydatności dla magazynowania ścieków. Dla każdego poziomu wodonośnego podaje się głębokość występowania, miąższość, porowatość i przewodnictwo skał oraz skład chemiczny wód podziemnych. Na mapie nanosi się ponadto strefy występowania hydraulicznych kontaktów między poszczególnymi poziomami wodonośnymi ustalone wg kryteriów tektoniczno-strukturalnych i hydrogeologicznych.

W podstawowym etapie badań hydrogeologicznych prowadzi się szczegółowe prace dla dokładnego określenia przydatności poszczególnych poziomów wodonośnych dla podziemnego magazynowania ścieków przemysłowych. Badania hydrogeologiczne tego etapu obejmują rozwiązania problemów teoretycznych, doświadczalnych i metodycznych w konkretnych warunkach hydrogeologicznych poszczególnych warstw wodonośnych. Główne zagadnienia, podobnie jak we wstępnym etapie, koncentrują się wokół warunków filtracyjnych i izolacji poziomów wodonośnych.

Warunki hydrogeologiczne wpływające na możliwość magazynowania podziemnego ścieków przemysłowych bada się w dwóch stadiach:

- 1) stadium zalewania otworu ściekami przemysłowymi;
- 2) stadium przepływu ścieków w warstwie wodonośnej już po zalaniu nimi otworu.

W stadium zalewania hydrodynamiczne warunki przepływu ścieków w warstwie wodonośnej zależą głównie od przyczyn technologicznych, tj. od objętości ścieków i reżimu zalewania. Po zatłoczeniu ścieków, w stadium przepływu, hydrodynamiczne warunki przepływu ścieków w warstwie wodonośnej zależą głównie od naturalnych warunków hydrogeologicznych. Czas rozprzestrzeniania się ścieków w warstwie wodonośnej zależy od pierwotnej szybkości ruchu wód podziemnych i charakteru fizyczno-chemicznych procesów zachodzących między ściekami, wodą podziemną i skałą. Prognozowanie hydrogeologiczne po zalaniu ściekami dotyczy problemu rozprzestrzeniania się ścieków oraz czasu, w którym następuje spadek koncentracji zrzuconych ze ściekami elementów hydrochemicznych do stanu zbliżonego do naturalnego danej warstwy wodonośnej.

W tym stadium najwięcej uwagi poświęca się badaniom własności filtracyjnych i opracowaniu profili oraz map przepływów. Na takich mapach i profilach podaje się wskaźniki jakościowej i ilościowej zmienności właściwości filtracyjnych. Wskaźniki jakościowe dotyczą właściwości strukturalno-tektonicznych (strefy tektoniczne zaangażowane, skrasowiałe lub rozwiercone), litologiczno-geochemicznych danej warstwy wodonośnej oraz składu chemicznego wód podziemnych. Właściwości filtracyjne skał pod względem ilościowym charakteryzuje się za pomocą wskaźników porowatości, przewodnictwa, wodoprzepuszczalności itp. Określa się je za pomocą bezpośrednich pomiarów laboratoryjnych, badań szlifów oraz przy zastosowaniu geofizyki otworowej. Izolację poziomów wodonośnych, w które zamierza się zrzucić ścieki przemysłowe określa się przez badania warunków hydrodynamicznych. W badaniach tych określa się strefy wykazujące związki hydrauliczne, kierunki zmienności właściwości filtracyjnych w pionie i poziomie oraz podaje się ilościową charakterystykę przepływów wód podziemnych. Równoległe z kompleksowymi badaniami właściwości hydrodynamicznych wykonywanymi dla prawidłowej prognozy możliwości zrzucania ścieków przemysłowych do wód podziemnych, należy bezwzględnie prowadzić szczegółowe badania hydrogeochemiczne.

Główne etapy badań prowadzonych w celu oceny hydrogeochemicznych efektów wprowadzania ścieków do głębokich wód podziemnych przedstawiają się następująco:

- 1) zbadanie naturalnych warunków hydrogeochemicznych określonej warstwy wodonośnej przed wprowadzeniem ścieków;
- 2) zbadanie naturalnych warunków filtracyjnych wód podziemnych danej warstwy wodonośnej;
- 3) doświadczalne zbadanie współdziałania ścieków z wodą podziemną i skałą, w celu określenia procesów hydrogeochemicznych;
- 4) zbadanie zmiany przepuszczalności skały związanej ze współdziałaniem ścieków z podziemną wodą i skałą.

Przy wprowadzaniu ścieków przemysłowych do wód podziemnych, wokół otworów, którymi wprowadza się ścieki, wytwarzają się dwie strefy współdziałania hydrochemicznego:

II. Strefa współdziałania ścieków i skały, która tworzy się bezpośrednio wokół otworu wiertniczego, tam gdzie woda wypierana jest przez ścieki.

II. Strefa współdziałania ścieków, wody podziemnej i skały. Współdziałanie tych elementów odbywa się w dalszych obszarach niż współdziałanie ścieków i skały.

W każdej strefie zachodzą konkretne fizyczno-chemiczne procesy wpływające w różny sposób na przepuszczalność skały. W poszczególnych wypadkach procesy współdziałania decydują o tym, że dana warstwa wodonośna może przyjąć różną objętość ścieków, w zależności od ich chemicznego składu. Niekiedy nawet konkretna warstwa wodonośna, do której można zatłaczać określone rodzaje ścieków, nie jest w stanie w ogóle przyjąć pewnych, ściśle określonych ścieków. Stwierdzono np., że przy wprowadzaniu ścieków do skał węglanowych występujących na znacznych głębokościach odbywają się różnokierunkowo działające procesy fizyczno-chemiczne.

W konkretnych warunkach może następować rozpuszczanie skały wodonośnej lub też w innym wypadku wypadanie z wprowadzonych ścieków różnych substancji. Rozpuszczalność skał może przybierać różne formy, przy czym występuje zwykle na znacznych przestrzeniach, natomiast wypadanie substancji z roztworów ma na ogół charakter lokalny, odbywa się głównie na granicy między obydwooma strefami współdziałania chemicznego (ścieki — skała oraz ścieki — wody podziemnej — skała). Obydwa rodzaje procesów mają bardzo istotne praktyczne znaczenie dla oceny możliwości wprowadzania ścieków do wód podziemnych.

Poznanie hydrogeochemicznych procesów, kierunków przemian i ich intensywności w strefach współdziałania wody i skały oraz ścieków — skały i wody jest trudne, ze względu na ich złożony charakter. Wpływa na nie znaczna ilość czynników, z których najważniejszymi są: skład chemiczny ścieków, chemizm wód podziemnych i skał, przepuszczalność skał, ciśnienie, temperatura. Współzależność tych czynników badano doświadczalnie w Katedrze Hydrogeologii Uniwersytetu Moskiewskiego. Doświadczenia prowadzono w warunkach zbliżonych do naturalnych, istniejących na różnych głębokościach w konkretnych rejonach. Zastosowane ciśnienia odpowiadały geostaticznym i hydraulicznym, temperatury — konkretnie mierzonym na określonych głębokościach. Badania te prowadzono dla zakresów głębokości 1000—3000 m, temperatury sięgały 40—60°C. Badaniom poddawano konkretne próbki, głównie skał węglanowych, nasycone podziemnymi wodami w nich występującymi oraz ścieki przemysłowe o różnym składzie chemicznym. Mineralizacja badanych ścieków wynosiła od kilku do 50 g/l, mineralizacja wód podziemnych sięgała 150—200 g/l. Ścieki przemysłowe oraz ich roztwory w wodach podziemnych (o różnych proporcjach) przepuszczano przez rdzenie badanych skał. Czas badań wynosił od kilku minut do kilkunastu godzin. Przed filtracją i po filtracji mierzono przepuszczalność skały, natomiast w czasie trwania doświadczenia dodatkowo szczegółowo badano skład chemiczny przefiltrowanych roztworów.

W wyniku omówionych doświadczeń określono zmienność przepuszczalności w zależności od składu chemicznego przepuszczanych roztworów, określono również zmienność chemizmu przepuszczanych roztworów w zależności od różnych warunków przeprowadzanych doświadczeń.

Opracowanie wyników doświadczeń pozwoliło wyciągnąć szereg wniosków dotyczących zarówno zagadnień teoretycznych jak i praktycznych. Wnioski praktyczne dotyczą głównie oceny możliwości wprowadzania określonych ścieków przemysłowych w różnego rodzaju skały. Ważniejsze wnioski związane z omawianym problemem przedstawiają się następująco:

1. Wszystkie ścieki przemysłowe oraz ich mieszaniny z wodami podziemnymi można podzielić na kilka grup, zależnie od reakcji ze skałami węglanowymi:
 - a) słabo zmineralizowane ścieki o różnym składzie chemicznym, które rozpuszczają skały węglanowe i siarczanowe;
 - b) ścieki o wysokiej mineralizacji chlorkowo-sodowej ($\text{pH} \leq 7$), które również rozpuszczają skały węglanowe i siarczanowe, lecz w nieco mniejszym stopniu niż wyżej wymienione;
 - c) ścieki o wysokiej mineralizacji, w których przeważają jony Ca^{2+} , Mg^{2+} i SO_4^{2-} . Ścieki takie bardzo słabo rozkładają skały węglanowe lub w ogóle ich nie rozkładają.
2. Przy mieszaniu się wód podziemnych ze ściekami powstają roztwory o różnym składzie chemicznym, które w obrębie skał węglanowych mogą niekiedy tworzyć inkrustacje CaSO_4 lub CaCO_3 .
3. Podwyższenie ciśnienia wpływa w istotny sposób na jakościowy i ilościowy przebieg procesów hydrogeochemicznych w środowisku wód podziemnych, do którego wprowadzane są ścieki przemysłowe. Podwyższenie ciśnienia wpływa m.in. na zniszczenie struktury krystalicznej poszczególnych minerałów powodując intensywniejsze chemiczne współdziałanie

ścieków i skał. Z podwyższeniem ciśnienia związane jest również „zagęszczanie ścieków”, co powoduje niekiedy wypadanie substancji z roztworów. W takich wypadkach wypadają z roztworu substancje znajdujące się w nim w największych ilościach, mogą to więc być zarówno substancje łatwo jak i trudno rozpuszczalne.

4. Wpływ temperatury w warunkach podwyższonego ciśnienia nieznacznie wpływa na współdziałanie ścieków ze skałami.

5. Przepuszczalność skał węglanowych pod wpływem ścieków przemysłowych (w warunkach podwyższonego ciśnienia i temperatury) często zwiększa się, osiągając nawet wartości 2 i 3-krotnie wyższe od pierwotnych.

Na podstawie dotychczas wykonanych doświadczeń można przeprowadzać wstępną prognozę dotyczącą jakościowych zmian hydrochemicznych w obrębie warstw wodonośnych, do których będą wprowadzane ścieki. Dla szczegółowego określenia zmian (zwłaszcza w aspekcie zmian ilościowych) należy bezwzględnie każdorazowo przeprowadzać szczegółowe prace doświadczalne dotyczące współdziałania skał i ścieków przemysłowych. Doświadczenia takie należy prowadzić przy użyciu próbek skał z badanych obszarów oraz ścieków przemysłowych o identycznym składzie jak przewidziane do zatłaczania.

Ogólną prognozę dotyczącą wypadania osadów z roztworów przy wprowadzaniu ścieków do wód podziemnych można przeprowadzić metodą obliczeń hydrochemicznych. Obliczenia te dotyczą określenia nasycenia roztworów trudno rozpuszczalnymi substancjami.

SUMMARY

The problem of underground storage of industrial wastes is discussed from the hydrogeological point of view. Underground storage is one of techniques of neutralization of industrial wastes which, otherwise, could poison or pollute the natural environment. This is especially the case of wastes most harmful to man and hard to remove using other techniques because of technical and economical reasons. The main stages of studies on hydrogeological effects of introduction of wastes to waters circulating at large depths are discussed. Moreover, various techniques of underground storage of industrial wastes are presented.

Na zakończenie warto podkreślić, że ze względu na złożony charakter procesów współdziałania ścieków przemysłowych z wodą podziemną i skałami istnieje cały szereg związanych z tym problemów wymagających rozwiązania. Z punktu widzenia praktycznej oceny regionalnych prognoz dotyczących możliwości zrzucania ścieków przemysłowych do wód podziemnych, najważniejszymi i najbardziej pilnymi do rozwiązania zagadnieniami będą:

1) sklasyfikowanie ścieków przemysłowych, ze względu na ich skład chemiczny oraz szkodliwe działanie na organizm ludzki; opracowanie ogólnej rejonizacji (mapy) składu chemicznego wytwarzanych odpadów i ścieków przemysłowych z uwzględnieniem ich szkodliwego działania na organizm ludzki; ujęcie takie pozwoli na regionalne rozpoznanie potrzeb zrzucania ścieków przemysłowych do wód podziemnych;

2) regionalne opracowanie (m.in. kartograficzne) występowania warunków hydrogeologicznych korzystnych dla zrzucania ścieków przemysłowych o określonym składzie chemicznym do wód podziemnych;

3) opracowanie map prognoz zmian składu chemicznego wód podziemnych pod wpływem zrzucanych ścieków przemysłowych; mapy takie pozwolą na rozpoznanie m.in. stref, w których można się spodziewać wypadania osadów z roztworu, inkrustacji skał itp.;

4) opracowanie map prognoz zmian warunków filtracyjnych skał wodonośnych związanych z wprowadzaniem określonych ścieków przemysłowych do wód podziemnych.

Z rosyjskiego przyłożyła A. Macioszczykowa

РЕЗЮМЕ

Автор занимается проблемой подземного складирования промышленных водостоксв из гидрогеологической точки зрения. Приходит к выводу, что одним из методов обезвреждения промышленных отбросов, которые могут отравить или уничтожить природную среду человека, является их подземное складирование. Описывает главные этапы исследований, проводимых для оценки гидрохимических эффектов введения водостоксв в глубокие подземные воды. Приводит также разные методы подземного складирования промышленных водостоксв.