

METODY KONTROLI SZCZELNOŚCI ZBIORNIKÓW METALOWYCH PODZIEMNYCH I POSADOWIONYCH NA GRUNCIE UTWARDZONYM PRZY UŻYCIU ZNACZNIKÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH

*Janusz Kraś, Lech Waliś,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej
ul. Dorodna 16
03-195 Warszawa*

1. WSTĘP

Zbiorniki metalowe na ciecze i gazy, są stosowane w wielu gałęziach przemysłu i gospodarki komunalnej. Ilość tych zbiorników rośnie bardzo szybko. Nowe zbiorniki szczególnie zbiorniki podziemne do paliw i cieczy agresywnych, już w fazie projektowania są obecnie wyposażane w specjalne układy sygnalizacyjne i zabezpieczenia, dzięki którym każda ich nieszczelność jest natychmiast sygnalizowana i w większości przypadków lokalizowana. Nie dotyczy to jednak zbiorników wielkogabarytowych tak podziemnych jak i posadowionych na gruncie utwardzonym oraz zbiorników eksploatowanych od kilkunastu lat.

W związku z tym rośnie zagrożenie środowiska naturalnego, a w szczególności wód podziemnych skażeniem szkodliwymi substancjami jakie wyciekają ze zbiorników do ziemi podczas produkcji, przeróbki lub magazynowania. Zagrożenie to połączone z niebezpieczeństwem pożarów względnie eksplozją zbiorników jest troską służb eksploatacyjnych szukających drogi do zapewnienia maksymalnie bezpiecznej eksploatacji tych konstrukcji.

Jednym ze sposobów prowadzących do prawidłowych warunków pracy jest zapewnienie szczelności zbiorników i usunięcie zagrożenia wynikającego z ich nieszczelności. Techniczne rozwiązanie tego problemu jest jednak bardzo trudne i w chwili obecnej nie istnieją metody niezawodnej kontroli szczelności i lokalizacji nieszczelności. Trudności te wynikają z bardzo dużych pojemności zbiorników, oraz z faktu, że najczęściej wyciekająca z nieszczelnego zbiornika substancja w sposób niezauważalny przedostaje się do ziemi i jeżeli nie wydostanie się na jej powierzchnię brak jest jakiegokolwiek sygnału o istnieniu nieszczelności. Szczególnie trudno jest zauważyć ubytki w zbiornikach o krótkotrwałych i częstych cyklach wymiany medium, lub też w przypadkach silnego jego odparowywania.

2. OMÓWIENIE METOD KONTROLI Z WYKORZYSTANIEM ZNACZNIKÓW RADIOIZOTO-POWYCH

W niniejszym opracowaniu nie zajmujemy się kontrolą nowych zbiorników w fazie ich oddawania do eksploatacji, a jedynie zbiornikami już eksploatowanymi przez dłuższy okres czasu. W związku z tym, jako ogólną zasadę należy przyjąć, że kontrolowane zbiorniki muszą być na okres kontroli wyłączone z eksploatacji i odpowiednio do kontroli przygotowane.

Przygotowanie to polega na opróżnieniu zbiornika z medium roboczego, dokładnym przepłukaniu i oczyszczeniu z brudu i korozji. W zależności od przyjętej metody kontroli, w niektórych przypadkach konieczne jest również wyposażenie zbiornika w dodatkowe oprzyrządowanie takie jak pompy i rurki oraz wiercenie otworów w podłożu zbiornika lub wykonanie hydrologicznego rozpoznania wód gruntowych w jego najbliższym otoczeniu.

2.1. ZBIORNIKI PODZIEMNE

Kontrola szczelności zbiorników podziemnych bez osłon betonowych całkowicie pokrytych nadkładem ziemi wykonywana jest metodą analogiczną do kontroli rurociągów podziemnych bez komór czyszczakowych.

Radioaktywna substancja o odpowiednich właściwościach fizyko-chemicznych (w omawianym przypadku jest to gazowy bromek metylu CH_3Br znakowany radioaktywnym bromem Br^{82}) i aktywności, zostaje wprowadzona do zbiornika o odciętych (zaslepionych) wszystkich rurociągach i opróżnionego z medium magazynowanego. Następnie w zbiorniku, należy sprężonym powietrzem lub azotem podnieść ciśnienie do wcześniej ustalonej wartości ciśnienia kontrolnego. W trakcie podnoszenia ciśnienia następuje również wymieszanie znacznika i rozprowadzenie go w miarę równomiernie w całym kontrolowanym obiekcie. Celowe jest podawanie znacznika radioaktywnego równocześnie z podawaniem medium kontrolnego. W przypadku istnienia nieszczelności, pewna część radioaktywnego znacznika przedostaje się wraz z wyciekami na zewnątrz zbiornika, gdzie jest on adsorbowany w gruncie (nadkładzie). Prowadzone na powierzchni nadkładu pomiary radiometryczne pozwalają na stwierdzenie istnienia nieszczelności. W celu zlokalizowania miejsca nieszczelności konieczne jest stopniowe zdejmowanie nadkładu i jego kontrola pod kątem skażenia radiologicznego. Taki sposób postępowania jednoznacznie „doprowadza” eksperymentatora do miejsca na zbiorniku, gdzie istnieje nieszczelność.

Kontrola szczelności zbiorników podziemnych przy użyciu metody znaczników radioizotopowych wymaga stosowania dużych aktywności całkowitych. Wymaganie to jest spowodowane koniecznością pomiaru radiometrycznego znacznika zawartego w wycieku przez osłonną warstwę nadkładu.

Dla radioizotopu bromu Br-82 przez warstwę ziemi o grubości 100 cm możliwe jest zlokalizowanie wycieku zawierającego aktywność minimum 1 mCi (37 MBq). Dla zbiorników magazynowych o znacznych objętościach, oraz przy respektowaniu ograniczenia Urzędu Dozoru Jądrowego co do maksymalnej stosowanej w wytwornicy ABC – urządzenie do przetwarzania uzyskiwanego z reaktora neutronowego znakowanego Br-82 bromku potasu na gazowy bromek metylu – aktywności do 10 Ci (370 GBq) możliwa jest lokalizacja wycieku o wydatku z reguły zbyt dużym z punktu widzenia zleceńodawcy.

Zwiększenie czułości pomiarów dla lokalizacji nieszczelności o wydatku poniżej $1 \text{ cm}^3/\text{godz.}$, to znaczy do pewnego pomiaru radiometrycznego wycieku zawierającego 0,1 mCi (3,7 MBq) umożliwiające właściwości stosowanego znacznika i związku chemicznego w jakim jest on dozowany, a mianowicie desorpcja bromku metylu z gruntu w kierunku powierzchni nadkładu od 10 cm/h dla gruntów ciężkich do 15 cm/h dla gruntów lekkich.

Tak więc pomiary radiometryczne należy rozpoczynać po upływie pewnego czasu (dla nadkładu o grubości 100 cm po 8. do 10. godz.) od osiągnięcia ciśnienia próby. Od tego momentu pomiar jest prowadzony w formie pomiaru źródła ciągle zasilanego o wykładniczo (zgodnie z krzywą rozpadu radioizotopu bromu Br^{82}) malejącej intensywności promieniowania, a możliwa do pomiaru aktywność wynosi około 5 μCi (185 kBq). W zależności od parametrów geometrycznych zbiornika i grubości warstwy nadkładu pomiary prowadzi się przez okres nie dłuższy niż sto godzin.

Przedstawioną powyżej metodą można praktycznie kontrolować szczelność zbiorników o głębokości zalegania nie większej niż 10 metrów.

2.2. ZBIORNIKI NAZIEMNE

Ze względu na dostępność, zbiorniki naziemne możemy podzielić na zbiorniki, w których jest jednostronny dostęp do dna i zbiorniki bez dostępu. Z kolei izotopowe metody kontrolne możemy podzielić

na metody oparte na wykorzystaniu wymuszonego ruchu medium kontrolnego i stosowaniu małych źródeł promieniowania, oraz metody w których używane są duże aktywności.

Praktycznie do kontroli szczelności zbiorników naziemnych, a raczej ich den do których nie ma jednostronnego (od środka zbiornika) dostępu mogą być wykorzystane tylko dwie metody – drenażowa i wód gruntowych. Drugi rodzaj zbiorników może być kontrolowany tymi dwiema metodami, a poza tym metodą znakowania strefowego, membranową, płaszczową i pływakową.

2.2.1. LOKALIZACJA NIESZCZELNOŚCI TECHNIKAMI OPARTYMI NA WYMUSZONYM RUCHU MEDIUM I STOSOWANIU MAŁYCH ŹRÓDEŁ PROMIENIOWANIA

Ogólna zasada referowanych metod polega na przyspieszaniu przepływu cieczy w kontrolowanym zbiorniku w kierunku nieszczelności, przez zastosowanie specjalnych osłon lub naczyń. Metody te mogą być stosowane do kontroli szczelności i wykrywania nieszczelności w zbiornikach opróżnionych z medium roboczego, a na czas kontroli napełnionych wodą do wysokości nie mniejszej niż 100 cm. Wymóg wysokości słupa wody wynika z faktu iż bardzo często niewielkie nieszczelności ujawniają się w zbiorniku dopiero pod obciążeniem, a w stanie nieobciążonym nie występują.

2.2.1.1. TECHNIKA PŁASZCZOWA

Technika ta polega na kontroli szczelności dna zbiornika urządzeniem składającym się z płaszczem, dozownika cieczy znakującej i detektora promieniowania gamma. Płaszcz w postaci płyty z cylindrem dozującym wykonanej ze szkła organicznego tworzy z dnem zbiornika otwarte na obwodzie naczynie płaskie. Jeżeli pod płaszczem nie ma wycieku, to ciecz w tej strefie zachowuje się spokojnie, prawie bez ruchu. Wprowadzony w tych warunkach znacznik radioizotopowy nie zmienia swego położenia w cylindrze dozownika. W przypadku ustawienia płaszczu nad wyciekiem strumień cieczy przesuwają się w kierunku nieszczelności, a samoczynne uzupełnianie cieczy pod płaszczem powoduje przesuwanie się znacznika w cylindrze. Prędkość tego przesuwania jest tym większa im mniejsza jest odległość płaszczu od dna zbiornika i oczywiście im większy jest wydatek nieszczelności. Pomiar intensywności promieniowania wzdłuż cylindra i na powierzchni płaszczu (sondą kolimowaną) pozwala na względnie szybkie określenie kierunku przepływu znacznika, a więc istnienia i miejsca występowania nieszczelności. W zależności od wielkości dna zbiornika stosowane są płaszcze o różnych wielkościach.

Wykorzystując technikę płaszczową można wykrywać i lokalizować nieszczelności o wydatku nie mniejszym niż $1 \text{ dm}^3/\text{h}$, a stosowane aktywności znacznika radioizotopowego Br^{82} zawierają się w granicach $1 \mu\text{Ci}$ do 1 mCi (37 kBq do 37 MBq).

Lokalizację nieszczelności można przyspieszyć wprowadzając pod płaszcz niewielkie ilości substancji koloryzującej np. nadmanganianu potasu i obserwując ruch tej substancji.

2.2.1.2. TECHNIKA MEMBRANOWA

Technika membranowa wykorzystywana jest do kontroli szczelności i lokalizowania strefy występowania wykrytej nieszczelności.

Urządzenie składa się z okrągłej elastycznej membrany z kołnierzem przylgowym, zamkniętego źródła promieniowania gamma – Co^{60} o aktywności ok. $6 \mu\text{Ci}$ (250 kBq) przymocowanego w środkowej strefie membrany na elastycznym sznurze i korpusu pozwalającego na przemieszczanie urządzenia po dnie kontrolowanego zbiornika.

Urządzenie ustawione na dnie napełnionego wodą do wysokości ok. 1 m zbiornika tworzy z jego dnem naczynie zamknięte. W pierwszym momencie po ustawieniu na dnie, membrana uniesie nieco w górę tworząc nad dnem czaszę. Wynika to ze wzrostu ciśnienia wody pod membraną na skutek odkształcenia kołnierza przylgowego. W przypadku istnienia nieszczelności w strefie ograniczonej membraną, ciśnienie pod nią będzie malało, a w efekcie będzie ona osiadała powodując rejestrowany ruch źródła

promieniowania gamma. Prędkość tego ruchu jest tym większa im większy jest wyciek, a pomiar intensywności promieniowania emitowanego przez źródło umożliwia wykrycie nieszczelności, szacunkowe określenie jej wydatku i lokalizację strefy jej występowania.

Wykorzystując technikę membranową można wykrywać i lokalizować nieszczelności o wydatku nie mniejszym niż $0,5 \text{ dcm}^3/\text{h}$.

2.2.1.3. TECHNIKA PŁYWAKOWA

Technika pływakowa oparta jest na wymuszeniu przepływu cieczy w strefie nieszczelności w kierunku pionowym. W tym celu na dnie zbiornika ustawione jest naczynie otwarte doszczelnione do niego przyłgami. Z naczynia wyprowadzona jest nad poziom wody rurka wykonana ze szkła organicznego o średnicy 5 mm. W rurce znajduje się szczelny pływak z zamkniętym źródłem promieniowania gamma (Cs-137 o aktywności ok. $5 \mu\text{Ci}$ – 200 kBq). W przypadku nieszczelności, pływak w rurce opada, a jego ruch jest rejestrowany dowolnym układem pomiarowym z kolimowaną sondą scyntylacyjną.

Techniką pływakową można lokalizować strefę wycieku i wykrywać nieszczelności o wydatku nie mniejszym niż $0,05 \text{ dcm}^3/\text{h}$.

2.2.2. TECHNIKA ZNAKOWANIA STREFOWEGO

W pierwszej fazie kontroli, wcześniej przygotowanym i zainstalowanym specjalnym systemem rurek w strefę dna zbiornika napełnionego wodą jest podawany znacznik radioizotopowy. Znacznik ten w postaci wodnego roztworu mieszaniny radioaktywnego i nieradioaktywnego bromku potasu lub chlorku sodu jest wstępnie przygotowywany i magazynowany w dozowniku na dachu kontrolowanego zbiornika. Roztwór znakujący powinien mieć gęstość większą niż woda w zbiorniku (stąd mieszanina radio- i nieradioaktywnego znacznika w celu zagęszczenia roztworu) i temperaturę niższą lub co najmniej równą tej wody. W takich warunkach znacznik może być przez dłuższy czas zatrzymany w strefie dna, zasilając strefę wycieku i sam ewentualny wyciek dużą porcją radioaktywnego bromu Br-82 lub sodu Na-24.

Po odczekaniu 10–12 godzin od zakończenia wprowadzania znacznika, należy szybko opróżnić zbiornik. Czas opróżniania nie powinien być dłuższy niż dwie doby. Najkorzystniejsze ze względu na wykrywalność jest ewakuowanie wody od góry zbiornika, gdyż podczas opróżniania w dalszym ciągu nieszczelność jest zasilana radioznacznikiem. Po opróżnieniu zbiornika, jego dno należy przemyć silnym strumieniem wody.

Tak przygotowane i zaznakowane dno zbiornika należy przy użyciu kolimowanej sondy scyntylacyjnej połączonej z dowolnym urządzeniem pomiarowym (RUST-3, analizator DIDAC, radiometr BASC) zamontowanej na wózku obmierzać pod kątem lokalizacji miejsc o wyraźnie podwyższonym tle promieniowania. Praktycznie należy kontrolować jedynie spoiny, bo wystąpienie nieszczelności w materiale rodzimym jest mało prawdopodobne.

Po lokalizacji takich miejsc, w celu potwierdzenia występowania w nich nieszczelności można zastosować którąś z uprzednio omówionych metod lub metodę tradycyjną np. penetracyjną lub próżniową.

Stosowane w omawianej technice aktywności są duże – do 10 Ci (370 GBq) dla bromu Br-82 i o rząd mniejsze dla sodu Na-24, wykrywane przy jej użyciu nieszczelności nie mogą być mniejsze niż $0,5 \text{ dcm}^3/\text{h}$.

Ze względu na stosunkowo duże zagrożenie radiologiczne omówiona powyżej technika nie jest polecana. Praktycznie stosuje się jej wersję bez zlokalizacji miejsca wycieku, a jedynie lokalizacji strefy jego występowania tzn. bez pomiarów wymagających pracy ludzi wewnątrz zaznakowanego zbiornika.

W celu wykonania takiej lokalizacji konieczne jest przed znakowaniem wykonanie pod dnem zbiornika kanałów pomiarowych w postaci orurowanych odwiertów. W odwierty wprowadzone są w fazie pomiarów sondy scyntylacyjne, najlepiej pracującego w systemie multiscalingu analizatora wielokanałowego DIDAC

lub podobnego. Rejestracja intensywności promieniowania, skorelowanego z położeniem sondy pomiarowej pozwala na pewną lokalizację strefy wycieku.

W pewnych konstrukcjach zbiorników, możliwe jest uniknięcie wierceń, a do pomiarów wykorzystać można istniejące kanały drenażowe.

Szczegółowa lokalizacja może być wykonana dowolną metodą, lub jak to praktycznie się dzieje poprawiane są wszystkie spoiny w tej strefie.

2.2.3. TECHNIKA WÓD GRUNTOWYCH

Kontrola szczelności techniką wód gruntowych może być realizowana przy użyciu różnego rodzaju znaczników. Tak więc można stosować znaczniki w postaci charakterystycznych związków chemicznych łatwo wykrywanych przy użyciu wyspecjalizowanych polowych chromatografów, znaczniki koloryzujące i znaczniki radioizotopowe.

Przy użyciu tej techniki można stwierdzić lub wykluczyć istnienie nieszczelności, a jej ewentualna lokalizacja musi być wykonana innymi technikami.

Atrakcyjność metody wynika jedynie z faktu, że zbiorniki mogą być kontrolowane bez wyłączenia z normalnej eksploatacji i bez konieczności wchodzenia ludzi do ich wnętrza.

Technika polega na wprowadzeniu w warstwę przydenną medium kontrolnego lub technologicznego wybranego rodzaju znacznika, a następnie na szukaniu jego obecności w specjalnie przygotowanych odwiertach lub naturalnych już istniejących dościach do wody gruntowej w otoczeniu kontrolowanego zbiornika. W celu zwiększenia efektywności kontroli, stosowane jest również podnoszenie poziomu wód gruntowych przez pompowanie wody w strefę dna.

Przed przystąpieniem do kontroli konieczna jest znajomość charakterystyki hydrologicznej strefy okołozbiornikowej. W celu oszacowania wielkości ewentualnego wycieku przydatna jest również znajomość własności adsorpcyjnych warstw ziemi w otoczeniu zbiornika na zastosowany do kontroli znacznik.