

ZASTOSOWANIE METODY ZNACZNIKÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH DO KONTROLI SZCZELNOŚCI I LOKALIZACJI NIESZCZELNOŚCI W OBIEKTACH PRZEMYSŁOWYCH

Janusz Kraś, Lech Waliś, Stanisław Myczkowski

Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, 03-195 Warszawa, ul. Dorodna 16



PL0100791

1. WSTĘP

Prowadzone od ponad 35 lat w Instytucie Badań Jądrowych (IBJ), a obecnie w Instytucie Chemii i Techniki Jądrowej (IChTJ) prace dotyczące wykorzystania metod znaczników radioizotopowych w przemyśle i technice zaowocowały opracowaniem wielu metod i technik pomiarowych.

Jedną z dziedzin, gdzie zastosowanie technik radioizotopowych w stosunku do stosowania technik tradycyjnych przynosi wyraźne efekty ekonomiczne i poznawcze, jest kontrola szczelności i lokalizacja miejsc nieszczelnych w obiektach przemysłowych.

Opracowane metody i urządzenia są rutynowo stosowane do kontroli szczelności takich obiektów, jak: reaktory i kolumny przemysłu chemicznego i petrochemicznego, wymienniki, zbiorniki podziemne i naziemne, rurociągi przesyłowe i technologiczne, zasady, zawory itp.

Podstawowymi zaletami radioizotopowej metody kontroli szczelności i lokalizacji miejsc nieszczelnych jest łatwość jej stosowania, krótki czas trwania eksperymentu, stosunkowo niski koszt i krótki czas prac adaptacyjnych obiektu do kontroli oraz bardzo duża czułość wykonywanych ekspertyz. Dzięki zastosowaniu techniki znaczników radioizotopowych możliwe jest wykonanie ekspertyzy przy ciśnieniu roboczym lub przy ciśnieniu dowolnie niskim, które nie powoduje dodatkowego i zbytecznego wyęźnienia materiałów konstrukcyjnych.

Metoda radioznacznikowa, mimo że nie jest próbą wytrzymałościową, jest komplementarna dla prób ciśnieniowych - hydraulicznej i pneumatycznej. Sama metoda, jak i uzyskane za jej pomocą wyniki są akceptowane przez Urząd Dozoru Technicznego.

Przedstawiono zasady wykorzystania znacznika w postaci gazowego bromku metylu znakowanego bromem Br-82, jego otrzymywanie, sposoby iniekcji i prowadzenia pomiarów radiometrycznych w zależności od rodzaju kontrolowanego obiektu.

Omawiane metody znaczników radioizotopowych do kontroli szczelności zostały wraz ze specjalistyczną aparaturą opracowane w IChTJ i są w sposób rutynowy stosowane. Metoda kontroli rurociągów przy użyciu znaczników radioizotopowych oraz konieczna do jej wykorzystania aparatura i urządzenia były przedmiotem eksportu. W ramach kontraktu z Międzynarodową Agencją Energii Atomowej (MAEA) w Wiedniu dostarczono do Iranu kompletną aparaturę, metodykę oraz przeszkolono ekipę badawczą. Przeszkolona w Polsce ekipa z Nuclear Research Institute w Tehe-

ranie od 1995 roku prowadzi rutynowe kontrole miejscowych rurociągów metodą radioznacznikową stwierdzając w nich liczne nieszczelności. Wydatki tych nieszczelności zawierają się w granicach od 0,8 do 4,5 l/ godz.

2. METODA I ZNACZNIK

Ogólna zasada radioizotopowej metody kontroli szczelności polega na wprowadzeniu do kontrolowanego obiektu znacznika radioizotopowego. Znacznik ten po wymieszaniu się z medium kontrolnym lub roboczym, pod wpływem panującego w obiekcie ciśnienia (od 0,2 MPa do ciśnienia roboczego) lub roboczego ruchu medium przemieszcza się w kierunku nieszczelności i tam jest adsorbowany na adsorbentach naturalnych (ziemia, izolacja termiczna) lub sztucznych (specjalne materiały nakładane przed rozpoczęciem kontroli). Pomiar radiometryczny adsorbenta pozwala na precyzyjną lokalizację nieszczelności lub wykluczenie jej istnienia.

Najlepsze własności jako znacznik w omawianych badaniach ma gazowy bromek metylu znakowany bromem Br-82. Związek ten jest uzyskiwany z bromku potasu napromienianego w reaktorze w strumieniu neutronów termicznych. Przetwarzanie ciała stałego jakim jest bromek potasu w gazowy bromek metylu zachodzi w specjalnie skonstruowanym mobilnym reaktorze chemicznym zwanym wytwornicą bromku metylu.

Do wykrywania i lokalizacji nieszczelności przez rejestrację zmian natężenia promieniowania używa się najczęściej typowych radiometrów z sondami scyntylicyjnymi. Jedynie do kontroli rurociągów z komorami czyszczakowymi stosuje się specjalne detektory nadążne.

3. KONTROLA SZCZELNOŚCI RUROCIĄGÓW PODZIEMNYCH

3.1. Rurociągi bez komór czyszczakowych

Kontrola szczelności rurociągów, do wnętrza których nie można wprowadzić detektora nadążnego oparta jest na detekcji promieniowania gamma emitowanego przez znacznik, wydobywający się przez nieszczelność w rurociągu i desorbujący ku górnym warstwom ziemi. Detektor jest przemieszczany tuż nad powierzchnią ziemi na całej trasie rurociągu lub jego odcinka. Sposób ten wymaga okresowego wyłączenia badanego rurociągu z normalnej eksploatacji, a osiągnięta czułość pomiaru nie jest gorsza niż 1 dcm³/h wydatku nieszczelności.

O wyborze sposobu kontroli decyduje przewidywana wielkość nieszczelności, długość kontrolowanego rurociągu i jego średnica. Czynniki te wpływają na prędkość przesuwania się znacznika na drodze od miejsca znakowania do miejsca nieszczelności. Badanie szczelności nowych rurociągów może być wykonane przed próbami

wytrzymałościowymi, w czasie ich trwania, po ich zakończeniu lub podczas okresowego wyłączenia rurociągu z normalnej eksploatacji.

Metoda jest szczególnie przydatna do kontroli rurociągów do transportu gazu lub przy użyciu gazu jako medium kontrolnego. Poszczególne jej warianty różnią się sposobem tłoczenia medium próbnego i radioaktywnego znacznika. Można wyróżnić następujące warianty metodyczne:

- metodę znakowania całej objętości rurociągu,
- metodę jednorazowego impulsowego dozowania znacznika,
- metodę impulsowego dozowania znacznika w kilku punktach rurociągu,
- metodę impulsowego dozowania znacznika z ciągłym dotłaczaniem medium.

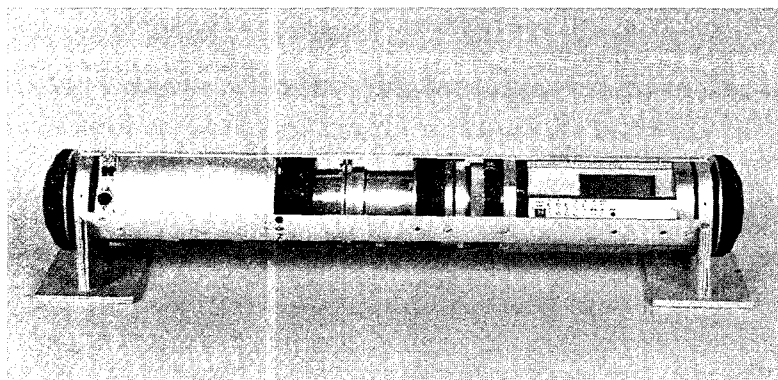
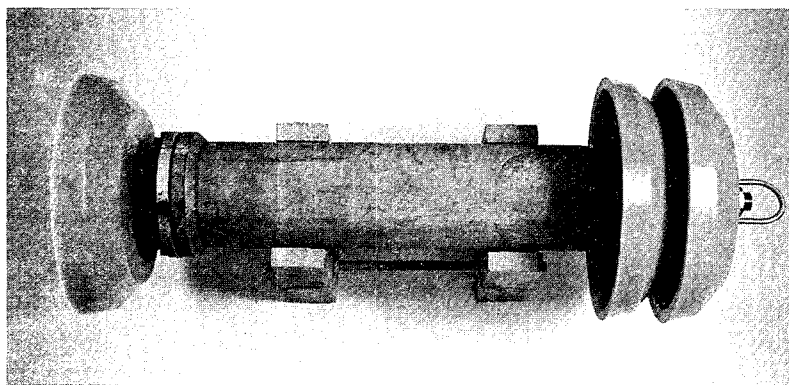
Stosując metodę znakowania całej objętości medium w rurociągu praktycznie każda nieszczelność, która zostanie stwierdzona na podstawie pomiarów manometrycznych lub innych, jest wykrywana i lokalizowana. Warunkiem koniecznym jest, aby do górnych warstw ziemi w strefie nieszczelności można było doprowadzić znacznik o aktywności około $1\mu\text{Ci}$ (37 kBq). Przyjmując, że tylko 1% znacznika zostaje zatrzymany w warstwie przypowierzchniowej obliczyć można, że przez nieszczelność musi przedostać się znacznik o aktualnej aktywności na poziomie $100\ \mu\text{C}$ ($3,7\text{ MBq}$). Czy taka porcja znacznika może być odprowadzona do ziemi zależy tylko od jego stężenia w medium kontrolnym i czasu przebywania pod nieszczelnością. Zwiększenie czułości pomiarów dla lokalizacji nieszczelności o wydatku poniżej $1\text{ dcm}^3/\text{h}$ umożliwiają 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. Zatem pomiary radiometryczne należy rozpoczynać po upływie pewnego czasu (dla nadkładu o grubości 100 cm po 8-10 godzinach) od osiągnięcia ciśnienia próby. Niewykrycie promieniowania na trasie rurociągu może świadczyć o tym, że rurociąg jest szczelny lub istnieje kilka nieszczelności o wydatku każdej z nich mniejszym niż próg wykrywalności metody.

Stosując pozostałe metody zlokalizować można każdą nieszczelność powodującą ruch medium w rurociągu. Śledzenie tego ruchu musi naprowadzić na strefę nieszczelną. Ograniczenie metody może wynikać jedynie ze zbyt długiego czasu migracji znacznika od punktu iniekcji do punktu istnienia nieszczelności. W tym przypadku należy zwiększyć ilość miejsc iniekcji.

Koszt kontroli rurociągów opisanymi wyżej metodami nie jest wysoki, a stosowana aparatura izotopowa i radiometryczna jest produkowana w kraju.

3.2. Rurociągi wyposażone w komory czyszczakowe

W omawianym przypadku gazowy bromek metylu (o objętości ok. 200 cm^3), znakowany radioaktywnym bromem Br-82 jest wprowadzany do płynącego rurociągiem czynnika roboczego przy użyciu sprężonego powietrza lub azotu w trakcie pompowania medium roboczego. Ewentualny wyciek jest wykrywany specjalnym detektorem promieniowania gamma umieszczonym w szczelnej obudowie ciśnieniowej i przemieszczającym się wraz z medium.



Fot. Detektor nieszczelności ABSR.

Detektor ten zostaje wprowadzony do rurociągu w ustalonym wcześniej czasie po zadozowaniu radioaktywnego znacznika i rejestruje w sposób ciągły tło naturalne w rurociągu, a na tym tle piki pochodzące od promieniowania Br-82 zawartego w ewentualnym wycieku. Wymagana do wyraźnego zarejestrowania aktywność Br-82 zawartego w wycieku wynosi w przybliżeniu 1-10 μCi (37-370 kBq). Uzyskany zapis zwany lokalizacją ogólną wycieku daje informację o położeniu nieszczelności z dokładnością od kilku do kilkudziesięciu metrów, w zależności od gęstości usytuowania znaczników odległości (najczęściej są to źródła Co-60 o aktywności rzędu 2 MBq wcześniej rozmieszczone na zewnętrznych ściankach rurociągu). Lokalizację szczegółową nieszczelności uzyskuje się przez sondowanie gruntu lub pomiary radiometryczne nad rurociągiem w strefie wybranej na podstawie lokalizacji ogólnej. Minimalny wydatek nieszczelności możliwy do zarejestrowania wynosi 0,5 dcm^3/h . Przy użyciu detektorów nadążnych mogą być aktualnie kontrolowane z podaną wyżej czułością, rurociągi o średnicach 200-600 mm. W przypadku konieczności kontroli rurociągów o większych średnicach czułość kontroli jest niższa, ale nie gorsza niż 1,5 dcm^3/h .

Całkowitą kontrolę szczelności rurociągu wykonuje się w dwu przebiegach detektora. W pierwszym przebiegu jest rejestrowane tło naturalne rurociągu oraz dane potrzebne do wyliczenia aktywności całkowitej znacznika koniecznej dla realizacji kontroli z założoną czułością. W drugim przebiegu dokonywana jest właściwa kontrola szczelności.

Kontrolę rurociągów wykonuje się w trakcie ich normalnej eksploatacji.

3.2.1. Urządzenia

Urządzenia (detektory) oznaczone symbolami ABSR-1 i ABSR-3 służą do detekcji i rejestracji w sposób ciągły na całej trasie kontrolowanego odcinka rurociągu promieniowania emitowanego przez zaabsorbowany w miejscu wycieku znacznik radioizotopowy. Ponadto rejestrowany jest:

- rozkład promieniowania naturalnego w bezpośrednim otoczeniu rurociągu,
- natężenie promieniowania od izotopowych znaczników odległości,
- natężenie promieniowania od izotopowych wzorców wykrywalności.

Detektor ABSR-1 przeznaczony jest do pracy w rurociągach o średnicach 300-600 mm, a detektor ABSR-3 w rurociągach o średnicach 200-300 mm.

Stosowane detektory różnią się między sobą średnicą zewnętrzną i pojemnością akumulatorów zasilających wewnętrzny komputer detektora, a co za tym idzie maksymalnym czasem trwania eksperymentu. W detektorze ABSR-1 zainstalowany jest akumulator o pojemności 6 Ah o pojemności 70 godzin pracy, a w detektorze ABSR-3 o pojemności 3 Ah o pojemności 35 godzin pracy. Drugą różnicą jest typ zainstalowanych scyntybłoków. W detektorze ABSR-1 jest scyntybłok z kryształem NaJ/Tl 3x3", a w detektorze ABSR-3 - 2x2". Poza powyższymi różnicami oba typy detektorów są identyczne pod względem możliwości funkcjonalnych i przyjętych rozwiązań układów elektronicznych.

Detektor umożliwia ustawianie parametrów pomiaru, odczyt danych po zakończeniu eksperymentu oraz transmisję danych do komputera. Obsługa detektora jest dokonywana przy użyciu klawiatury oraz wyświetlacza. Na wyświetlaczu użytkownik może odczytać stan miernika, nastawione parametry pomiaru (ilość kanałów pomiarowych, czas na kanał, opóźnienie uruchomienia pomiaru) oraz zgromadzone wyniki.

Analiza wyników uzyskanych z koniecznych przy kontroli szczelności rurociągu podziemnego dwu przebiegów detektora dokonywana jest przy użyciu specjalnie do tego celu opracowanego programu. Analiza ta polega na porównaniu wyników z obu przebiegów i wychwyceniu miejsc o podwyższonym tle w przebiegu kontrolnym w stosunku do tych samych miejsc w przebiegu rejestracji tła rurociągu.

W fazie prób eksploatacyjnych znajduje się wyposażony w zestaw hodometrów (urządzenia rejestrujące w sposób ciągły drogę i chwilowe położenie detektora w rurociągu) detektor DN 1 do kontroli rurociągów o średnicach od 200 do 600 mm. Detektor ten zastąpić może obecnie eksploatowane detektory ABSR-1 i ABSR-3. W wyniku zastosowania nowych rozwiązań technicznych charakteryzuje się on zwiększoną czułością pomiarów, wydłużonym do 100 godzin czasem pracy w rurociągu oraz wewnętrznym układem do ładowania akumulatorów i transmisji uzyskanych wyników.

4. KONTROLA SZCZELNOŚCI OBIEKTÓW TECHNOLOGICZNYCH PRZEMYSŁU CHEMICZNEGO I PETROCHEMICZNEGO

Podstawowymi zaletami radioizotopowej metody kontroli szczelności i lokalizacji miejsc nieszczelnych w obiektach technologicznych jest łatwość jej stosowania, krótki czas trwania eksperymentu, stosunkowo niski koszt i krótki czas prac adaptacyjnych obiektu do kontroli oraz bardzo duża czułość wykonywanych ekspertyz. Dzięki zastosowaniu techniki izotopowej możliwe jest wykonanie ekspertyzy przy niskim ciśnieniu, które nie powoduje dodatkowego i zbytecznego wyęźnienia materiałów konstrukcyjnych. Należy wspomnieć, że w niektórych obiektach ze względów technicznych lub technologicznych, mimo konieczności kontroli ich szczelności, próba hydrauliczna nie może być stosowana. Dotyczy to obiektów o dużej wysokości i małej średnicy (zbyt duże obciążenie fundamentów) oraz obiektów z wewnętrznymi wykładzinami, które po wprowadzeniu do nich wody wymagają ze względu na późniejszy proces technologiczny długotrwałego suszenia.

Do wykrywania i lokalizacji nieszczelności przez rejestrację zmian natężenia promieniowania używa się najczęściej typowych radiometrów z sondami scyntylicyjnymi. W niektórych przypadkach, gdy jest wykonywana jedynie kontrola szczelności bez lokalizacji nieszczelności, np. w przypadku kontroli szczelności zasuw stosowany jest analizator wielokanałowy z możliwością rejestracji szybkości przemieszczania się znacznika w kilku punktach pomiarowych jednocześnie.

Ze względu na materiał adsorpcyjny pochodzącego z nieszczelności znacznika radioizotopowego kontrolę szczelności instalacji technologicznych można podzielić na trzy grupy. We wszystkich grupach sposób dozowania znacznika w postaci gazowego bromku metylu jest taki sam. Podawany jest on do obiektu z pojemników lub z wytwornicy. Zalecane jest stosowanie aktywności właściwej medium kontrolnego na poziomie 1 mCi (37 MBq) na 1 m³, co pozwala na uzyskanie czułości około 30 cm³/h wydatku nieszczelności. Po zaznakowaniu kontrolowany obiekt lub zespół obiektów jest napełniany sprężonym suchym powietrzem lub azotem do ciśnienia próby. Pomiar radiometryczny są prowadzone po upływie około 20 godzin od osiągnięcia ciśnienia próby.

Kontrolę szczelności obiektów technologicznych prowadzi się po wyłączeniu ich z ruchu i opróżnieniu z mediów roboczych, ale bez opróżniania z wypełnień np. katalizatorów, demontażu izolacji i budowy rusztowań.

Pomiary radiometryczne w celu **kontroli szczelności obiektów pokrytych izolacją technologiczną** prowadzone są z zewnątrz, po opróżnieniu urządzenia z medium aktywnego. Istnienie nieszczelności sygnalizowane jest podwyższeniem ilości zliczeń w miejscu jej występowania, co spowodowane jest adsorpcją znacznika radioizotopowego w warstwie izolacji. W każdym przypadku zarejestrowania miejsca o podwyższonym tle konieczne jest sprawdzenie przyczyny. W tym celu warstwę izolacji należy zdemontować i zmierzyć pod kątem skażenia radioaktywnego. Brak skażenia izolacji świadczy o niewystępowaniu nieszczelności. Podwyższenie ilości zliczeń w takich przypadkach najczęściej jest spowodowane adsorpcją znacznika na wewnętrznych powierzchniach obiektu, co jest łatwe do stwierdzenia przez ponowny

jego pomiar. Przed przystąpieniem do tego rodzaju prac konieczna jest pełna znajomość własności adsorpcyjnych warstw izolacyjnych i wypełnień stosowanych w kontrolowanym obiekcie.

Kontrola szczelności spawów na obiektach nie izolowanych musi być poprzedzona oklejeniem wszystkich miejsc występowania ewentualnych nieszczelności materiałem adsorpcyjnym. Materiał okleiny powinien charakteryzować się dużą przychepnością do instalacji, często zanieczyszczonej lub skorodowanej, oraz dużą zdolnością do adsorpcji, a małą do desorpcji dla bromku metylu. Najczęściej używana jest do tego celu jednostronnie powlekana klejem taśma bawełniana lub gąbka poliuretanowa. Pomiar skażeń materiałów adsorpcyjnych może być prowadzony na badanym obiekcie lub po ich usunięciu. O istnieniu nieszczelności świadczy wzrost ilości zliczeń na adsorbencie. Podczas zrywania adsorbentów należy postępować w ten sposób, aby w przypadku stwierdzenia wzrostu zliczeń, zatem nieszczelności, można było ją precyzyjnie zlokalizować. W trakcie opisywanych powyżej ekspertyz poza kontrolą szczelności płaszczy zewnętrznych obiektów można kontrolować również **stan ich wymurówki wewnętrznej**.

Kontrola szczelności obiektów obudowanych inną przestrzenią (wymylniki ciepła, cold-boxy) oparta jest na pomiarze intensywności promieniowania znacznika przechodzącego z przestrzeni znakowanej do przestrzeni kontrolowanej przez ewentualną nieszczelność. Pomiar prowadzony jest na pochłaniaczu do gazów zainstalowanym na dowolnym przyłączy do przestrzeni badanej. W celu uzyskania wpływu czynnika przez pochłaniacz, ciśnienie w kontrolowanej przestrzeni powinno być nieznacznie wyższe od atmosferycznego. W opisany wyżej sposób nie można zlokalizować miejsca nieszczelności, ale fakt jej istnienia rejestrowany jest z bardzo dużą, około $5 \text{ cm}^3/\text{h}$ wydanku nieszczelności, czułością.

Kontrola szczelności zasuw przy użyciu metody znaczników radioizotopowych oparta jest na następującym założeniu. Jeśli przed zamkniętą, kontrolowaną zasuwę zostanie impulsowo podany znacznik radioizotopowy, a następnie wytworzona różnica ciśnień przed i za zasuwą, to w przypadku istnienia nieszczelności zasuwę medium wraz ze znacznikiem będzie się przesuwalo w kierunku niższego ciśnienia. Szybkość tego ruchu jest zależna od wielkości nieszczelności. Ponieważ na odcinku rurociągu między miejscem znakowania a kontrolowaną zasuwą oraz za nią są umieszczone czujniki promieniowania, przesuwanie się znacznika radioizotopowego w polu widzenia czujnika jest łatwe do zarejestrowania. Fakt pojawiania się znacznika w polu widzenia kolejnych czujników świadczy o nieszczelności kontrolowanej zasuwę, a z prędkości przesuwania się znacznika można wyliczyć wielkość jej nieszczelności.

Przedstawione powyżej zastosowania metody znaczników radioizotopowych do kontroli szczelności obiektów technologicznych zostały opracowane i wdrożone w IChTJ. Są one w sposób rutynowy stosowane m. in. w Polskim Koncernie Naftowym - Płock, Zakładach Rafineryjnych - Gdańsk, Przedsiębiorstwie Eksploatacji Rurociągów Naftowych, Bazach Magazynowych CPN.

5. KONTROLA SZCZELNOŚCI ZBIORNIKÓW METALOWYCH PODZIEMNYCH I POSADOWIONYCH NA GRUNCIE UTWARDZONYM

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 obecnie 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 w przypadkach silnego jego odparowywania.

5.1. Zbiorniki podziemne

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

Radioaktywny znacznik ($\text{CH}_3 \text{Br}^{82}$) zostaje wprowadzony do zbiornika o odciętych (zaślepionych) wszystkich rurociągach i opróżnionego z medium magazynowanego. Następnie należy sprężonym powietrzem lub azotem podnieść w zbiorniku ciśnienie do wcześniej ustalonej wartości ciśnienia kontrolnego. Celowe jest podawanie znacznika radioaktywnego równocześnie z medium kontrolnym. 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 osłonową warstwę nadkładu. Zwiększenie czułości pomiarów dla lokalizacji nieszczelności o wydatku poniżej $1 \text{ dcm}^3/\text{h}$, tzn. do pewnego pomiaru radiometrycznego wycieku zawierającego $0,1 \text{ mCi}$ ($3,7 \text{ MBq}$) umożliwiają własności stosowanego znacznika i związku chemicznego w jakim jest on dozowany. Pomiar radiometryczny należy rozpoczynać po upływie pewnego czasu (dla nadkładu o grubości 100 cm po $8-10$ godzinach) od osiągnięcia ciśnienia próby. Od tego momentu pomiar jest prowadzony w formie pomiaru źródła ciągle zasilanego o wykładniczo malejącej intensywności promieniowania, a możliwa do pomiaru aktywność wynosi około $5 \mu\text{Ci}$ (185 kBq). W zależności od parametrów geometrycznych zbiornika i grubości warstwy nadkładu pomiary prowadzi się przez okres nie dłuższy niż 100 godzin. Przedstawioną powyżej metodą można praktycznie kontrolować szczelność zbiorników o głębokości zalegania nie większej niż 10 .

5.2. Zbiorniki naziemne

Ze względu na dostępność zbiorniki naziemne możemy podzielić na zbiorniki, z jednostronnym dostępem do dna i 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 są stosowane 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 także metodą znakowania strefowego, membranową, płaszczową i pływakową.

Technika płaszczowa

Technika ta polega na kontroli szczelności dna zbiornika urządzeniem składającym się z płaszczem, dozownikiem 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 płaszcz nad wyciekami strumień cieczy przesuwa się w kierunku nieszczelności, a samoczynne uzupełnianie cieczy pod płaszczem powoduje przesuwanie się znacznika w cylindrze. Lokalizację nieszczelności można przyspieszyć wprowadzając pod płaszcz niewielkie ilości substancji koloryzującej, np. nadmanganianu potasu, i obserwując ruch tej substancji.

Technika membranowa

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

Urządzenie składa się z okrągłej elastycznej membrany z kołnierzem przyłgowym, zamkniętego źródła promieniowania gamma - Co^{60} o aktywności około $6 \mu\text{Ci}$

(250 kBq) umocowanego 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 około 1 m zbiornika tworzy z jego dnem naczynie zamknięte. W pierwszym momencie po ustawieniu na dnie membrana uniesie się 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. W efekcie będzie ona osiadała powodując rejestrowany ruch źródła promieniowania gamma.

Technika pływakowa

Technika pływakowa oparta jest na wymuszeniu przepływu cieczy w strefie nieszczelności w kierunku pionowym. W tym celu na dnie zbiornika jest ustawione naczynie otwarte doszczelnione do niego przylgami. Z naczynia wyprowadzona jest nad poziom wody rurka wykonana ze szkła organicznego o średnicy ϕ równej 5 mm. W rurce znajduje się szczelny pływak z zamkniętym źródłem promieniowania gamma ($Cs-137$ o aktywności około $5 \mu Ci - 200 kBq$). W przypadku nieszczelności pływak w rurce opada, a jego ruch jest rejestrowany dowolnym układem pomiarowym z kolimowaną sondą scyntylacyjną. Technika pływakową można lokalizować strefę wycieku i wykrywać nieszczelności o wydatku nie mniejszym niż $0,05 dcm^3/h$.

Technika znakowania strefowego

W pierwszej fazie kontroli, wcześniej przygotowanym i zainstalowanym, specjalnym systemem rurek w strefę dna zbiornika napełnionego wodą jest podawany znacznik radioizotopowy. Roztwór znakujący powinien mieć gęstość większą niż woda w zbiorniku i temperaturę niższą lub co najmniej równą temperaturze 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 za pomocą kolimowanej sondy scyntylacyjnej, połączonej z dowolnym urządzeniem pomiarowym (RUST-3, analizator DIDAC, radiometr BASC) i 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 zlokalizowaniu takich miejsc, w celu potwierdzenia występowania w nich nieszczelności można zastosować jedną z uprzednio omówionych metod lub metodę tradycyjną, np. penetracyjną lub próżniową.

Ze względu na stosunkowo duże zagrożenie radiologiczne omówiona powyżej technika nie jest polecana. Praktycznie stosuje się jej wersję bez zlokalizowania miejsca wycieku, a jedynie z lokalizacją 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 wprowadzane są w fazie pomiarów sondy scyntylacyjne (najlepiej pracującego w systemie multi-

scalingu analizatora wielokanałowego DIDAC lub podobnego). Rejestracja intensywności promieniowania, skorelowanego z położeniem sondy pomiarowej, pozwala na lokalizację strefy wycieku.

Technika wód gruntowych

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

Stosując tę technikę 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.