

dr Zofia Wróblewska

mgr inż. Zdzisław Czapliński

Wykrywanie uszkodzeń izolacji rurociągów podziemnych

1. Wprowadzenie

Powłoki izolacyjne najlepiej nawet wykonane ulegają uszkodzeniom mechanicznym podczas transportu rur na miejsce budowy oraz w trakcie załadunku i wyładunku a także podczas opuszczania już zaizolowanego rurociągu do wykopu. Powoduje to, że rurociąg już od samego początku ułożenia w gruncie wykazuje uszkodzenia. Zły stan izolacji pociąga za sobą przyspieszenie procesu korozyjnego, co może prowadzić do dużych ubytków ¹/_{prze-}rdzewienia materiału rur powodując ułatwienie się gazu i zagrożenie wybuchowe.

Systematyczna kontrola stanu izolacji rurociągów podziemnych pozwala na wczesne wykrycie wad izolacji i przeprowadzenie napraw pokrycia ochronnego wcześniej niż przewidywany okres remontu, ograniczając prace remontowe do naprawy jedynie miejsc uszkodzonych bez potrzeby wymiany całych odcinków rur.

Z uwagi na trudności wynikające z dostępu do eksploatowanego w gruncie rurociągu została opracowana metoda wykrywania uszkodzeń pokryć ochronnych bez potrzeby jego odkopywania.

Metoda wykrywania uszkodzeń izolacji rurociągów podziemnych bez potrzeby dokonywania wykopów pozwala na uzyskanie bieżącej informacji o stanie izolacji i tym samym o stanie technicznym przewodów gazowych.

2. Opis metody i budowa odbiornika

Wykrywanie uszkodzeń izolacji rurociągów podziemnych prowadzone jest z równoczesną lokalizacją trasy rurociągów.

Metoda polega na pomiarze różnicy potencjałów na powierzchni gruntu nad trasą rurociągu wytworzonej przez przepływ prądu przemiennego doprowadzonego z generatora szukacza trasy podziemnych urządzeń w miejscach uszkodzeń izolacji rury.

Metoda wykrywania uszkodzeń izolacji rurociągów podziemnych nie jest rozpowszechniona w Polsce z powodu braku odpowiedniej aparatury krajowej.

W Krakowskim Przedsiębiorstwie Geodezyjnym został skonstruowany w oparciu o dokumentację AGH lokalizator trasy podziemnych urządzeń LC1. Składa się on z generatora o mocy wyjściowej 5W i częstotliwości sygnałów 9,7 kHz przy sprzężeniu indukcyjnym i 0,77 kHz przy sprzężeniu galwanicznym z rurociągiem oraz odbiornika z anteną ferrytową. Odbiornik stanowi selektywny wzmacniacz rezonansowy dostrojony tylko do odbioru sygnałów o częstotliwościach nadajnika. Lokalizator działa na zasadzie odbioru fal elektromagnetycznych wokół zakopanego obiektu. Sygnał nadajnika doprowadzony do szukanego rurociągu powoduje wytworzenie wokół niego pola elektromagnetycznego, wykrywane za pośrednictwem anteny ferrytowej odbiornika. Wytworzona w antenie siła elektromotoryczna zostaje wzmocniona i przetworzona na sygnał akustyczny odbierany w słuchawkach albo mierzony wbudowanym miernikiem. Przy pomocy lokalizatora LC1 wykrywanie uszkodzeń izolacji jest bardzo utrudnione bowiem odbiornik ten nie posiada przełącznika zmiany zakresu pomiarowego co uniemożliwia ocenę wielkości odbieranego sygnału a tym samym wielkości uszkodzenia. Ponadto nie pozwala on na równoczesne odbieranie sygnału przez słuchawki i miernik wskaźnikowy. Dobry odbiornik jest zatem zasadniczym elementem umożliwiającym zastosowanie opisanej metody w praktyce. Odbiornik winien mieć duże wzmocnienie regulowane skokowo oraz płynnie oraz możliwość pomiaru wielkości odbieranego sygnału miernikiem wskaźnikowym. Pożądana jest również możliwość dodatkowej kontroli wielkości sygnału za pomocą słuchawek. Odbiornik powinien być selektywny tj. odbierać tylko sygnał o częstotliwości nadawanej eliminując inne sygnały zakłócające /np. przemysłowe o częstotliwości 50 Hz/. W celu umożliwienia korzystania z różnych typów generatorów korzystne byłoby mieć możliwość dostrojenia odbiornika do odbioru sygnałów różnych częstotliwości stosowanych przez producentów w lokalizatorach trasy rurociągów.

W Polsce nie produkuje się odbiorników tego rodzaju, istnieje natomiast możliwość wykonania go z elementów krajowych dostęp-

- 3 -

tych w handlu.

Wymagania jakie musi spełniać odbiornik są następujące:

- wielkość napięcia podawanego na wejście odbiornika zależy od wielkości uszkodzenia izolacji, mocy generatora zasilającego, gazociąg, odległości elektrod oraz w mniejszym stopniu od odległości odbiornika od punktu podłączenia generatora. W wyniku przeprowadzonych pomiarów ustalono, że zakres zmienności napięcia waha się od kilku do kilkuset miliwoltów,
- wielkość rezystancji wejściowej zależy od stanu zawilgożenia gleby, jej rodzaju oraz od odstępów elektrod, nie przekraczając w najgorszym przypadku wielkości kilkuset tysięcy omów,
- odbiornik musi odbierać selektywnie sygnał o częstotliwości nadawanej przez generator. Generatory rozpowszechnione w przemyśle gazowniczym używane głównie do lokalizacji trasy, pracują na jednej ściśle określonej częstotliwości. Odbiornik powinien mieć możliwość współpracy z każdym generatorem dlatego musi być tak zaprojektowany, by można było dostroić do częstotliwości pracy generatorów, która jest zawarta w przedziale 500 Hz - 1500 Hz. Ponieważ wielkość odbieranego sygnału jest miarą uszkodzenia, odbiornik musi być wyposażony na wyjściu w miernik wskazówkowy oraz przełącznik umożliwiający skokową zmianę wzmożenia o ściśle określoną wartość. Możliwość nasłuchu wielkości sygnału przez słuchawki jest bardzo pożądana, gdyż umożliwia rozróżnienie, czy sygnał powodujący wychylenie wskazówki pochodzi od generatora czy też od innych źródeł zakłócających. Niezależnie od tego odbiornik musi posiadać płynną nieskalibrowaną regulację wzmożenia w celu nastawienia przed pomiarem tzw. zerowego poziomu odniesienia dla rur bez uszkodzenia izolacji i zorygowania go w miarę oddalania się od punktu podłączenia generatora,
- przy dokonywaniu pomiarów oprócz sygnałów pochodzących z generatora, do odbiornika mogą również dochodzić sygnały zakłócające, mające swe źródło w płynących przez ziemię prądach, przeważnie o częstotliwości 50 Hz. Są to prądy ziemnopowrotne, płynące wskutek braku symetrii obciążenia systemu

elektrycznego oraz konieczności uzziemiania punktów zerowych trójfazowych urządzeń elektroenergetycznych wysokiego oraz niskiego napięcia.

Zakłócenia wywołane przez te prądy są tym większe im bardziej uprzemysłowiony jest teren, przez który przebiega rurociąg. Zakłócenia te mogą całkowicie uniemożliwić pomiar, gdyż ich wielkość może znacznie przewyższać średni poziom sygnału generatora. Dlatego odbiornik musi być wyposażony w układ filtrów eliminujących skutecznie sygnały zakłóceniowe 50 Hz oraz ich harmoniczne.

Przy pracy w terenie wiejskim, daleko od ośrodków przemysłowych możnaby zrezygnować ze stosowania generatora i zamiast niego wykorzystać prąd ochrony katodowej. Upraszcza to znacznie pomiary, gdyż staje się zbędne podłączanie i przenoszenie co 1 km generatora, ponieważ taki jest jego zasięg.

Aby móc to zrealizować odbiornik musi mieć możliwość wyłączenia filtrów eliminujących sygnały 50 Hz, gdyż w tym przypadku stanowią one sygnał użyteczny, o zasięgu rzędu szeregu kilometrów, ponieważ moc stacji ochrony katodowej jest większa o dwa rzędy wielkości od mocy generatorów,

odbiornik powinien być wyposażony w baterie zasilające mogące zapewnić co najmniej kilkadziesiąt godzin nieprzerwanej pracy.

Opis odbiornika oparto o poniższe dane techniczne, stosując łącznie dostępne w kraju elementy do jego budowy:

zakres odbieranych częstotliwości 500 - 1500 Hz

rezystancja wejściowa 500 kΩ

zakres mierzonego napięcia 0,1 mV - 10V

pomiar napięcia na wbudowanym mierniku wskazówkowym oraz

orientacyjnie głośnością tonu w słuchawkach

niekalibrowana płynna regulacja wzmocnienia w zakresie 1 : 10

dwustopniowa kalibrowana skokowo regulacja wzmocnienia

w zakresach 1 : 1; 1 : 3; 1 : 10; oraz 1 : 0,1; 1 : 1; 1 : 10;

1 : 100

zasilanie : 4 sucha baterie R 12

pobór prądu : 15 mA.

Źródłem prądu jest generator połączony galwanicznie z gazociągami oraz uziomem pomocniczym. Mierzone napięcia na powierzchni gruntu podawane jest na wejście odbiornika za pośrednictwem elektrod stykowych mocowanych na butach oraz przewodów łączących. Odbiornik można dostroić od 500 do 1500 Hz i dlatego może współpracować z dowolnym typem generatora lokalizatora trasy podziemnych urządzeń.

Odbiornik posiada skokową i płynną zmianę zakresu pomiarowego, umożliwiającą dokładny pomiar napięcia wbudowanym miernikiem wskazówkowym. Równocześnie wielkość sygnału odbierana jest w słuchawkach jako ton o odpowiednim natężeniu. Wielkość mierzonego sygnału jest miarą wielkości uszkodzenia powłoki.

Do eliminacji przemysłowych sygnałów zakłócających odbiornik wyposażony jest w układ filtrów wąskopasmowych i szerokopasmowych. Filtry wąskopasmowe mogą być wyłączone za pomocą przełącznika i wówczas odbiornik może pracować bez generatora, wykorzystując wyprostowany pulsujący prąd ochrony katodowej. Ten sposób pomiarów jest możliwy jedynie w terenie niezabudowanym pozbawionym zakłóceń przemysłowych.

Schemat blokowy opracowania odbiornika przedstawiono na rys. 1.

3. Zasada pomiaru

Pomiary lokalizacyjne wad izolacji rurociągów podziemnych wykonywane są przez dwie osoby. Jedna z nich lokalizuje trasę rurociągu zaś druga bada stan jego izolacji. Obydwie osoby posiadają na butach stalowe elektrody kontaktowe, a na biodrach pasy ze skrzynkami rozdzielczymi. Elektrody kontaktowe połączone są przewodami ze skrzynkami, które z kolei łączy się ekranowanym kablem o długości 6 m. W ten sposób obie osoby zostają połączone ze sobą.

Obie osoby są wyposażone w odbiorniki oraz słuchawki. Osoba idąca po trasie gazociągu posiada odbiornik do lokalizacji trasy, trzymając w ręku antenę odbiorczą. Druga osoba idzie równolegle obok pierwszej w odległości 6 m, z odbiornikiem do lokalizacji uszkodzeń izolacji, którego wejście połączone jest poprzez

skrzynki rozdzielcze z nożnymi elektrodami kontaktowymi obu

Spóś wykrywania uszkodzeń izolacji przedstawiono na rys. 2. Średnio prądu tj. generator połączony jest galwanicznie z podziemnym rurociągiem oraz uziomem pomocniczym. Pomiar rozpoczyna się w odległości ok. 15 m od punktu przyłączenia generatora.

Na wstępie odbiornik należy dostroić do częstotliwości generatora, a następnie potencjometrem płynnej regulacji wzmocnienia ustawić tzw. w poziom zerowy odbieranego sygnału. Po tych czynnościach wykonuje się pomiary notując każdorazowo każdy wzrost sygnału odczytywany na mierniku, jak również odległość od punktu przyłączenia generatora. Wyniki pomiarów wzrostu napięcia spowodowanych upływem prądu w miejscach nieszczelności izolacji nanosi się na wykres. Przedstawia on zmiany wartości różnicy potencjałów na powierzchni gruntu wzdłuż trasy rurociągu podziemnego.

Interpretacja wyników badań

Pracowana metoda pozwala na ocenę jakości izolacji. W miejscach uszkodzeń izolacji obserwuje się wzrost mierzonego sygnału. Interpretację wyników jest trudna i to dlatego jednak, że z powodów małego rozpowszechnienia tej metody w terenie. Wzrost sygnału bowiem obserwuje się w odniesieniu do sygnału, którym zakłada się brak uszkodzeń w danym izolacyjnym. Jest to tzw. poziom odniesienia. Jeżeli jakość powłoki izolacyjnej powłoki jest gorsza, to ten sam poziom odniesienia otrzyma się przy mniejszym wzmocnieniu odbiornika i powoduje występowanie błędów w powłoce, a więc i większym upływie prądu do ziemi. Wzrost sygnału wskazujący duże uszkodzenia będzie również występować nie mniejszy niż przy jakości o lepszym pokryciu izolacyjnym. Metoda ta nie podaje jednoznacznie, jak dużym uszkodzeniem opiera się określony wzrost sygnału. Informacje z literatury nie podają częstości odbiorników, ani ściślejszych kryteriów oceny jakości. Kryteria oceny jakości izolacji można ustalić jedynie na podstawie szeregu pomiarów.

W celu znalezienia miejsca o nieszczelności izolacji należy następnie przejść pewien odcinek gazociągu aż wartości odczyty-

wan
Nal
pom
pra
po
nyc
nan
Usta
bitu
wyko
Na z
siln
defe
W mi
350
wzro
Dla
pona
ki r
nem
Wyty
wska
zgodi
Odko
do 12
scow
chni
lowa
powle
cie z
lacji
wierz
Przy
1500
zerowi
cie p
ne nie

wanego napięcia osiągnie minimum.

Należy zaznaczyć, że zarówno prawidłowy sposób przeprowadzania pomiarów jak i właściwa interpretacja wyników wymaga dużej praktyki terenowej, którą obsługa aparatu może uzyskać dopiero po pewnym czasie eksploatacji urządzenia i weryfikacji uzyskanych wyników z stanem izolacji po odkopaniu rurociągu i dokonania inspekcji rury.

Ustalenie poziomu wzrostu sygnału przy uszkodzeniu izolacji bitumicznej w warunkach krajowych oparto o pomiary i badania wykonane na rurociągach naftowych w rejonie Torunia i Płocka. Na rurociągu tym stwierdzono występowanie w kilku miejscach silnie zwiększonych sygnałów, co wskazywało na występowanie defektów w powłoce izolacyjnej.

W miejscach tych odbiornik wykazywał napięcie od wartości 350 do 900 działek, co wskazywało na 7-krotny, aż 18-krotny wzrost sygnału ponad poziom zerowy.

Dla wyznaczenia korelacji między krotnością wzrostu sygnału ponad poziom zerowy, a wielkością uszkodzenia wykonano odkrywkę rurociągu i stwierdzono zgodność wskazań odbiornika ze stanem faktycznym.

Wytypowano urządzenia do odkopania i sprawdzenia zgodności wskazań przyrządu powyżej 6-krotnego wzrostu sygnału zerowego zgodnie z przyjętymi w CSRS kryteriami.

Odkopano rurociąg w miejscu wskazań przyrządu od 8-krotnego do 12-krotnego wzrostu sygnału. W miejscu tym wystąpiły miejscowe uszkodzenia izolacji po obu stronach rury aż do całkowitego zerwania metalicznej, spowodowane wgnieceniem lin kablowych i zerwaniem taśmy izolacyjnej. Miejsca odsłonięte do powierzchni metalicznej pokryte były rdzą. Przy niższym wzroście sygnałów, tj. 6-krotnym wystąpiły jedynie uszkodzenia izolacji od wgniecenia liny, jednakże bez odsłonięcia gołej powierzchni metalu.

Przy wzroście napięcia mierzonego przez odbiornik od 420 do 1500 działek, a więc od 8-miu do 33-krotnej wartości sygnału zerowego wystąpiły duże defekty powłoki izolacyjnej i odsłonięcie powierzchni metalicznej o wielkości ok. $0,25 \text{ m}^2$ oraz lokalne niewielkie uszkodzenia. Odsłonięty metal pokryty był warstwą

rdzy. Gałkowita powierzchnia rury pozbawiona izolacji wynosi-
ła 0,4 m².

W wyniku przeprowadzonej wizji lokalnej po odkopaniu rurociągu stwierdzono, że uszkodzenia izolacji kwalifikujące się do odkopania i naprawy w warunkach krajowych występują dopiero przy 10-krotnym wzroście sygnału ponad poziom zerowy. Przy niższych wskazaniach odbiornika np. 8-krotnym występowają jedynie pory w powłoce izolacyjnej wykryte wysokonapięciowym poroskopem iskrowym, które jeszcze nie kwalifikują się do naprawy.

Na podstawie przeprowadzonych powyższych pomiarów przyjęto dla izolacji bitumicznej następujące kryteria oceny stanu izolacji :

- przy 10-krotnym lub wyższym wzroście sygnału należy miejsca te odkopać i naprawić izolację,
- w miejscach w których stwierdzono 5 do 10-krotny wzrost sygnału nie wymagają odkopania i naprawy lecz powtórnych pomiarów kontrolnych po półrocznym okresie,
- w miejscach, w których zaobserwowano 3 do 5-krotny wzrost sygnału również nie wymagają naprawy izolacji lecz należy je powtórnie pomierzyć po okresie 1 roku.

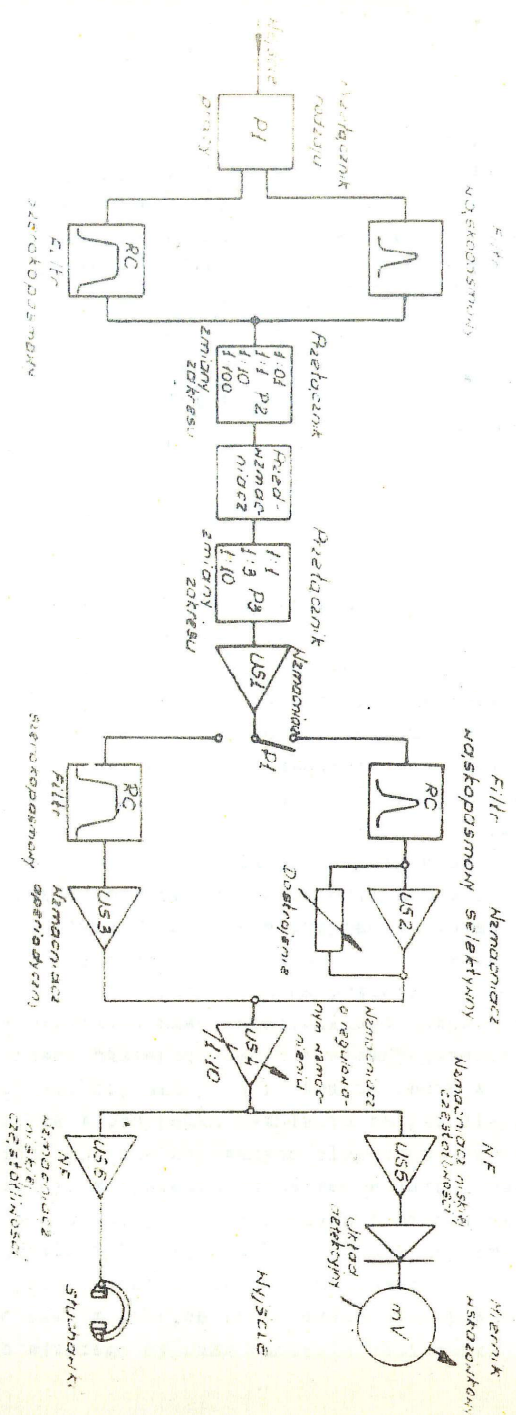
Kryteria oceny dla izolacji polietylenowej oparte o pomiary wykonane na nowołożonych rurociągach oraz po rocznej eksploatacji. Stwierdzono, że w przypadku izolacji polietylenowej, która posiada wysoką rezystancję przejścia różnica potencjałów mierzona odbiornikiem na powierzchni gruntu jest niewielka. W przypadku nawet niewielkiego uszkodzenia powłoki polietylenowej następuje gwałtowne zmniejszenia jej rezystancji, co objawia się silnym wzrostem napięcia w odbiorniku. Stwierdzono, że w przypadku istnienia na gazociągu dużych ubytków izolacji np. nieizolowanych elementów, wzrost sygnału jest tak silny, że przekracza zakres wskazań aparatu. Na podstawie dotychczas przeprowadzonych pomiarów na gazociągu z izolacją polietylenową ustalono wyższe kryteria oceny z uwagi na lepszą jakość izolacji a mianowicie :

- miejsca, w których stwierdzono występowanie 15-krotnego lub wyższego sygnału napięcia w odbiorniku kwalifikują się

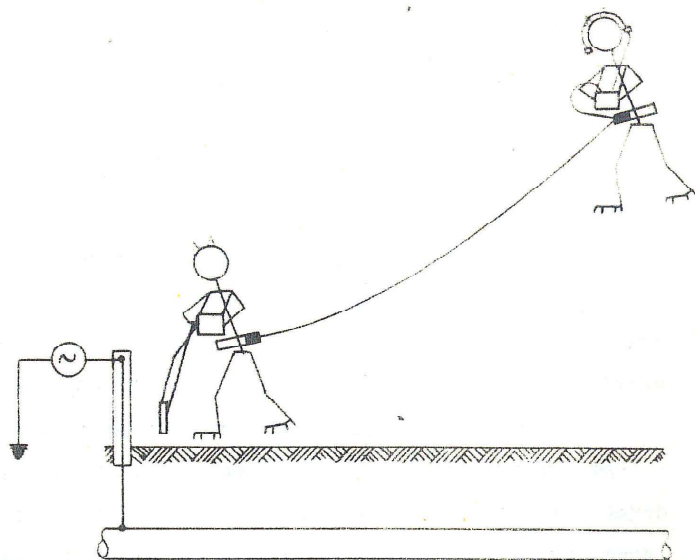
94

do odkopania i naprawy.

- miejsca, w których obserwuje się 10-krotny do 15-krotny wzrost sygnału zaznaczyć na planie gazociągu i w miejscach tych przeprowadzić powtórne pomiary w terminie półrocznym, Jeżeli powtórne pomiary wykażą zwiększony wzrost sygnału, miejsca te zaznaczyć do odkopania i naprawy izolacji.
- miejsca, w których wystąpił 5-krotny do 10-krotny wzrost sygnału również należy zaznaczyć na planie gazociągu i wykonać powtórne pomiary po okresie 1 roku, przyjmując zasady postępowania podane wyżej.



rys. 1. Schemat blokowy odbiornika



Rys. 2 Sposob wykrywania uszkodzen
izolacji