Centralna Komisja Ochrony przed Korozją SEP
Oddział Rzeszowski
SEP

II Krajowa Konferencja

„Pomiary korozyjne w ochronie elektrochemicznej"

Rzeszów 9–11 października 1986 r.

Dr inż. Władysław Dziuba
Instytut Elektrotechniki
Warszawa

POMIARY KOROZYJNE W OCHRONIE ELEKTROCHEMICZNEJ

(Referat wprowadzający)

Wyniki badań i pomiarów są podstawowym i niezbędnym materiałem służącym do oceny zagrożenia korozyjnego podziemnej konstrukcji, oceny przyczyn stwierdzonej korozji, a także oceny skuteczności i zasięgu działania ochrony katodowej. Ze względu na mnogość czynników wpływających na przebieg zjawisk korozyjnych oraz rozmaitość warunków terenowych, pomiary będą zawsze podstawowym źródłem informacji dla fachowców pracujących nad problematyką ochrony elektrochemicznej.

Wprawdzie wszystkie pomiary stosowane w praktyce terenowej można sprowadzić do wyznaczania trzech podstawowych w elektrotechnice wielkości, tj. napięcia, natężenia prądu i rezystancji, ale warunki prowadzenia tych pomiarów zmuszają zwykle do stosowania specjalnych metod, przyrządów lub sposobów opracowania wyników.

Z tego względu, zarówno w kraju jak i za granicą, prowadzi się wiele prac naukowo - badawczych, których celem jest doskonalenie metod i technik pomiarowych mających zastosowanie w ochronie przed korozją.

Wymiana doświadczeń i prezentacja wyników takich prac jest ważnym celem konferencji "Pomiary korozyjne w ochronie elektrochemicznej", organizowanej w r. 1986 w Rzeszowie, przy współudziale miejscowego oddziału SEP. Należy pamiętać, że jest to druga konferencja poświęcona tej tematyce. Pierwsza odbyła się w r. 1980 w Słupsku.

Na obie konferencje zgłoszono referaty o dość szerokiej problematyce. Warto podkreślić, że istnieją w niej dwa zagadnienia na tyle żywotne i widocznie aktualne, że znalazły miejsce w tematyce obu

spotkań. Pierwszym zagadnieniem jest lokalizacja uszkodzeń osłon ochronnych podziemnych kabli i rurociągów oraz sprzęt służący do tego celu a także metody i sprzęt do badań jakości tych osłon. Warto podkreślić, że na konferencję zostały zgłoszone referaty z obu krajowych ośrodków zajmujących się od lat tą tematyką w odniesieniu do rurociągów i kabli, tj. z Instytutu Górnictwa Naftowego i Gazownictwa oraz z Instytutu Łączności.

Drugim zagadnieniem jest pomiar potencjału konstrukcji względem środowiska elektrolitycznego z eliminacją składowej IR. Instytut Łączności, który od lat zajmuje się tą kwestią, prezentuje interesujące własne rozwiązania elektrod do tego rodzaju pomiarów poparte wynikami badań także dla stref oddziaływania prądów błądzących..

Jednakże szczególne zainteresowanie uczestników konferencji powinny - jak się wydaje - obudzić inne referaty, związane z oceną niebezpieczeństwa korozji spowodowanej oddziaływaniem prądów błądzących, w tym także w strefach zmian znaku potencjału konstrukcji podziemnej. Bardzo interesujące prace prowadzone w tej kwestii od kilku lat w Politechnice Gdańskiej są przedstawione w referacie dr Wojciecha Sokulskiego, a jednocześnie, nieco inne naświetlenie tego samego problemu znaleźć można w pracach Politechniki Poznańskiej prezentowanych przez dr Grzegorza Twardosza. Można mieć nadzieję, że różnice w poglądach obu Autorów na sposób oceny zagrożenia konstrukcji w strefach znakoprzemiennych staną się okazją do ożywionej polemiki, niestety niezbyt często spotykanej w naszym środowisku naukowym.

Zupełnie inne podejście do problemu oceny niebezpieczeństwa korozji powodowanej przez prądy błądzące proponuje mgr inż. Maciej Marciniak z IGNiG, sugerując przyjęcie jako kryterium nie potencjału konstrukcji lecz prądu przepływającego między konstrukcją a specjalnie ułożoną w ziemi elektrodą symulującą. Jest to bardzo ciekawa

propozycja, która w przyszłości może w sposób zasadniczy zmienić sposób oceny zagrożenia korozyjnego, wymagająca jednak na pewno jeszcze dalszych badań.

Wyrazem nowego podejścia do techniki pomiarów korozyjnych i obróbki ich wyników jest zastosowanie mikrokomputerów. Ciekawe propozycje w tej sprawie przedstawia dr Wojciech Sokulski w oparciu o doświadczenia z prac badawczych Politechniki Gdańskiej, a uzupełnieniem prezentowanych w tym opracowaniu zastosowań jest referat mgr inż. Grzegorza Mojzesowicza z Przedsiębiorstwa Eksploatacji Rurociągów Naftowych "Przyjaźń", ukazujący zrealizowaną w praktyce możliwość zdalnych pomiarów parame w ochrony katodowej długiego rurociągu oraz komputerowej obróbki otrzymywanych w ten sposób wyników.

Przedstawiona tu skrótowo tematyka ciekawszych referatów jest zgodna z kierunkami prac prowadzonych w różnych ośrodkach badawczych Europy. Na IV Sympozjum "Soil corrosion", które odbyło się w maju b.r. w Siofok na Węgrzech przedstawiono szereg referatów dotyczących badania osłon ochronnych na rurociągach oraz lokalizacji uszkodzeń tych osłon, a także dwa referaty węgierskie omawiające stosowanie technik komputerowych w badaniach korozyjnych. Potwierdza to zgodność kierunków prowadzonych w kraju prac z niektórymi trendami w innych krajach europejskich, co z kolei umożliwia wymianę międzynarodową informacji i doświadczeń.

Przegląd referatów zgłoszonych na konferencję w Rzeszowie pozwala także na sformułowanie kilku pytań i problemów do przedyskutowania. Można je ująć następująco:

Którą z prezentowanych 2 elektrod symulacyjnych zalecałby Instytut Łączności do upowszechnienia, kiedy i kto będzie takie elektrody produkował? Jakie wielkości i w jakich warunkach jest najkorzystniej rejestrować dla uzyskania pomyślnych wyników skorelowania

tych wielkości z potencjałem konstrukcja - ziemia. Czy częstotliwość zmian znaku potencjału konstrukcji w stosunku do jej potencjału spoczynkowego ma wpływ na stopień zagrożenia korozyjnego tej konstrukcji. Czy i kiedy przyrządy do lokalizacji uszkodzeń korozyjnych w kablach i rurociągach zostaną wdrożone do produkcji. Kto i jakie prace badawcze powinien przedsięwziąć dla weryfikacji metody określania stopnia niebezpieczeństwa korozji konstrukcji na podstawie pomiaru prądu między konstrukcją i elektrodą symulującą w strefie oddziaływania prądów błądzących.

Podobnych pytań i zagadnień pojawi się zapewne wiele w czasie dyskusji nad referatami. Ale ostatnie z podanych wyżej pytań skłania - w swoim podtekście - do sformułowania także pewnych wniosków. Idzie o to, że niektóre ważniejsze i ciekawsze tematy powinny być prowadzone równolegle przez więcej niż jeden ośrodek, tak aby osiągnięte wyniki mogły być wzajemnie weryfikowane. Wymagałoby to współpracy odnośnych ośrodków, a zapewne także uzgodnienia programu badań, a być może także ich metodyki. To ostatnie dotyczy zwłaszcza badań laboratoryjnych, w których ujednolicenie warunków eksperymentu ma szczególne znaczenie. Wydaje się także pożądane troskliwe utrzymywanie a być może nawet rozszerzanie przyjętego zwyczaju szybkiego informowania o przebiegu i wynikach prowadzonych badań na seminariach prowadzonych przez Centralną Komisję d/s Elektrochemicznej Ochrony przez Korozją SEP. Natomiast terenem dla bardziej kompletnego prezentowania i dyskusji prac w zakresie metod i technik pomiarowych powinny być w przyszłości kolejne konferencje z cyklu "Pomiary korozyjne w ochronie elektrochemicznej".

Grzegorz Mojzesowicz
PERN "Przyjaźń"
ul. Wieczorka 2a
09-400 Płock

Zdalna kontrola pracy systemów ochrony katodowej magistralnych rurociągów naftowych.

Systematyczna, odpowiednio częsta i rzetelna kontrola parametrów pracy urządzeń OK jest - z różnych względów - wymaganiem trudnym do spełnienia w dotychczasowej praktyce eksploatacyjnej. Trudności te potęgują się wraz ze wzrostem ilości nadzorowanych urządzeń i odległości miejsca ich montażu od centrum zarządzania.

Dla wyeliminowania szeregu elementów spośród istniejących trudności oraz kierując się dążeniem do:

- zapewnienia ciągłego nadzoru nad pracą urządzeń OK, a przez to podwyższenia niezawodności i efektywności ich pracy

oraz

- uniezależnienia się od subiektywnych przyczyn, wpływających na rzetelność wykonywania pomiarów,

podjęto próby wykorzystania systemów telemechaniki do zdalnej kontroli pracy urządzeń OK.

Uwzględniając wyniki przeprowadzonej analizy potrzeb z jednej strony, a możliwości tj. pojemności systemów telemechaniki i możliwości sprzętowych ze strony drugiej, opracowano dwie metody realizacji zamierzenia.

Rozwiązania techniczne zaproponowane w metodzie pierwszej pozwalają na przesyłanie jedynie sygnałów dwustanowych o pracy lub wyłączeniu urządzeń ochrony katodowej, natomiast

- -

sposób drugi umożliwia przesyłanie serii sygnałów pomiarowych obrazujących pracę systemów OK.

Rozpatrzmy przypadek - zresztą często teoretyczny - gdy przy każdej zainstalowanej przy rurociągu stacji OK /SOK/ znajduje się - wykorzystywana dotychczas do innych celów - - podstacja telemechaniki /PS/, posiadająca jeszcze pewną rezerwę swej pojemności w zakresie transmisji sygnałów dwustanowych /przypadek spotykany często w praktyce eksploatacyjnej/. Rezerwa ta może być więc wykorzystana do przekazywania sygnałów o pracy lub wyłączeniu /z dowolnego powodu/ kontrolowanej SOK.

Inne kryteria rządzące doborem miejsca montażu podstacji telemechaniki, a inne - doborem miejsca montażu SOK powodują, iż w praktyce eksploatacyjnej rzadko występuje zbieżność lokalizacji PS i SOK. Nie wyklucza to jednak możliwości stosowania omawianego rozwiązania. Z każdego miejsca rurociągu magistralnego można wyprowadzić tzw. słupek kontrolno-pomiarowy /skp/ i dokonać odpowiednich pomiarów potencjału. Można więc pomiary wykonywać również w bezpośredniej bliskości PS. Przy właściwie dobranych parametrach pracy SOK - zlokalizowanych wg właściwych kryteriów - każdemu skp przyporządkować można określoną krytyczną maksymalną wartość potencjału, przy którym uznaje się, iż określony odcinek rurociągu chroniony jest jeszcze w sposób właściwy. Powyższe dotyczy również potencjałów w skp, montowanych przy podstacjach telemechaniki /rys.1./.

Wzrost potencjału powyżej ustalonego poziomu może świadczyć np. o uszkodzeniu jednej z SOK, sąsiadujących z tym punktem.

Problem techniczny sprowadza się więc jedynie do porównania aktualnego potencjału rurociągu w odpowiednim skp, zlokalizowanym przy podstacji telemechaniki, z zadaną krytyczną wartością tego potencjału. Ustalana jest ona w oparciu o uprzednio wykonane pomiary. Wynik tego porównania przetwarzany jest na sygnał dwustanowy o parametrach możliwych do przyjęcia przez dany system telemechaniki. Sygnał ten wprowadzany jest do systemu telemechaniki, przekazywany do właściwego centrum zarządzania i traktowany przez służby eksploatacyjne na równi z innymi sygnałami, określającymi sprawność urządzeń technicznych.

Dla realizacji drugiego sposobu kontroli pracy systemów OK rurociągów magistralnych, niezbędną jest większa pojemność systemów telemechaniki. Koniecznymi są więc odpowiednie działania wyprzedzające, przedsięwzięte na etapie projektowania i montażu tych systemów.

Większa pojemność systemu telemechaniki pozwala na przesłanie następujących dodatkowych pomiarów i sygnałów, ściśle związanych z pracą SOK:

- potencjał rurociągu w stosunku do odpowiedniej stałej elektrody odniesienia,
- prąd OK,
- istnienie lub brak napięcia zasilającego SOK.

W przypadku braku SOK w rejonie podstacji telemechaniki, przesyłany jest jedynie potencjał rurociągu z skp przy danej podstacji.

Powyższe informacje zbierane są przez system telemechaniki w cyklu, określonym parametrami technicznymi tego systemu /np. co 2 minuty/. Tak duża częstotliwość nie jest oczywiście konieczną dla kontroli pracy systemu OK, a wynika z innych

wymagań postawionych systemowi telemechaniki, a w tym wymagań związanych z charakterem nadzorowanego procesu technologicznego.

Ponieważ system telemechaniki sprzęgnięty jest z systemem komputerowym, istnieje możliwość m.in. zapamiętywania i porządkowania informacji. Parametry pracy systemu OK zbierane i zapamiętywane są co 4 godziny przez całą dobę. Z końcem doby emitowany jest uporządkowany wydruk tych parametrów, z możliwością jednoczesnej wizualizacji ich na ekranie monitora. Dodatkowo przewidziano możliwość emisji - niezależnie od siebie - tak wydruku jak i obrazu w dowolnej chwili czasowej /"na żądanie"/.

Otrzymane w ten sposób informacje, mające postać określonego dokumentu /rys.2./, przekazywane są właściwym służbom technicznym i podlegają odpowiedniej analizie. /Przykładowo: przypadek, gdy $I_{OK} = 0$ winien być analizowany wraz z informacją o jednoczesnym istnieniu lub braku napięcia zasilającego SOK/.

Zdając sobie sprawę z możliwości jakie stawia do dyspozycji użytkownika system komputerowy, zasadność wykorzystywania takiego sprzętu jedynie do gromadzenia informacji i przedstawiania jej w uporządkowany sposób, wydaje się być mocno dyskusyjna. Dodatkowa konieczność analizowania i przechowywania wielu dziesiątków dokumentów /jeden wydruk na dobę/ zmusza do opracowania i wdrożenia bardziej racjonalnej metodyki działań, już oczywiście z pełniejszym wykorzystywaniem techniki komputerowej.

Już teraz jednak można szacować korzyści, wynikające z praktycznego zastosowania zdalnej kontroli pracy systemów ochrony przed korozją. Korzyści te, to przede wszystkim

- ograniczenie czasu i ilości prac wykonywanych w terenie,
- zapewnienie ciągłego nadzoru nad pracą urządzeń OK,
- zapewnienie rzetelności pomierów, na miarę jakości urządzeń pomiarowych,
- zmniejszenie zużycia limitowanych paliw płynnych i ograniczenie potrzeb w zakresie użytkowania taboru samochodowego,
- racjonalizacja zatrudnienia, poprzez stworzenie możliwości bardziej racjonalnego wykorzystania czasu pracy.

Kompleks przedstawionych wyżej działań zmierza do zapewnienia prawidłowej pracy systemów ochrony przed korozją, a przez to - pośrednio do ograniczenia zniszczeń korozyjnych. W podsumowaniu więc - nie można pominąć efektu, jakim jest wydłużenie czasu eksploatacji rurociągów i podwyższenie pewności ich pracy, a przez to zmniejszenie zagrożeń, jakie dla środowiska naturalnego niosą uszkodzenia rurociągów magistralnych.

Ponadto należy odnotować, iż w ramach realizacji tematu Nr IV RWPG "Ochrona elektrochemiczna metalowych konstrukcji i aparatów" zgłoszony został i przyjęty do planu roboczego na lata 1986 - 1990 temat dotyczący "zdalnej kontroli urządzeń ochrony elektrochemicznej rurociągów i kabli". Urządzenia kontrolujące pracę stacji ochrony katodowej - - według posiadanych informacji - pracują na gazociągach ZSRR.

Biorąc pod uwagę problemy związane z eksploatacją systemów elektrochemicznej ochrony przed korozją, należy przestrzec jednak przed zbytnim optymizmem, a co za tym idzie prawdopodobnym samouspokojeniem, płynącym z faktu zastosowania do praktyki eksploatacyjnej nowego, sprawnego, obiektywnego narzędzia jakim jawią się układy zdalnej kontroli pracy systemów ochrony katodowej, dodatkowo współpracujące z systemami koputerowym

Wyniki badań zaprezentowane m.in. przez specjalistów z Wielkiej Brytanii w grudniu ub.r. w Moskwie na I Międzynarodowym Sympozjum naukowo - technicznym n.t."Diagnostyka rurociągów" wskazują na niebezpieczeństwa, wynikające z przeceniania rutynowych pomiarów kontrolnych wykonywanych w ustalonych punktach rurociągów. Z przedstawionych danych wynika m.in., że ubytki korozyjne - aż do perforacji ścianki rurociągów włącznie - rejestrowane są stosunkowo często mimo, iż dany odcinek rurociągu jest - zdaniem służby eksploatacyjnej - chroniony poprawnie. Wnioski takie - służby korozyjne użytkownika - wysnuwały w oparciu o analizę wyników pomiarów, wykonywanych na słupkach kontolno-pomiarowych, zlokalizowanych na trasie rurociągów w ogólnie znany sposób.

Lokalne ogniwa korozyjne - będące jedną z najczęstszych przyczyn pęknięć ścianki rurociągu - usytuowane między dwoma kolejnymi punktami kontrolnymi rurociągu, istnieć mogą mimo zapewnienia właściwego potencjału ochronnego w tych punktach kontrolnych.

Rozwiązanie problemu tego nie rozwiązują układy zdalnej kontroli systemów ochrony katodowej.

Powyższe rozważania nie są więc niczym nowym, a jedynie zwróceniem uwagi na fakt, iż mimo istniejących możliwości posługiwania się coraz doskonalszymi narzędziami pracy, nie należy zapominać o problemach eksploatacyjnych dotychczas nierozwiązanych. Do problemów tych zaliczyłbym m.in. wykonywanie takich pomiarów potencjału np. rurociągu, w oparciu o które możliwą byłaby lokalizacja miejsc, gdzie rozpoczyna się groźny proces korozji, bez względu na odległość tych miejsc od stałych punktów kontrolno-pomiarowych.

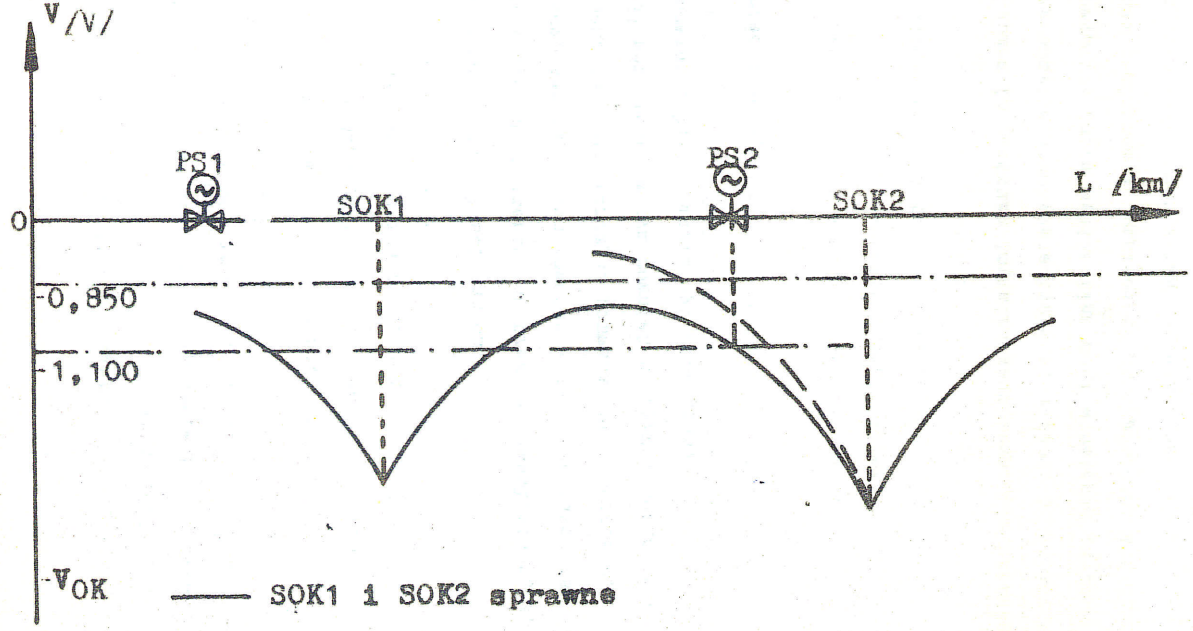
Ogólnie znana i stosowana metoda pomiarów z "wyniesioną elektrodą" jest w praktyce eksploatacyjnej bardzo kłopotliwa, pracochłonna i czasochłonna. Wymagałaby więc usprawnienia w zakresie:

- metodyki wykonywania pomiarów, tj. m.in. określenia /oszacowania/ odległości między kolejnymi punktami pomiaru /długi przewód pomiarowy, wykorzystanie np. elektrody kołowej wraz z pojazdem poruszającym się wzdłuż trasy konstrukcji podziemnej, itp./, uwzględnieniu technik eliminujących błąd wynikający ze spadku "IR",
- obróbki bardzo dużej ilości danych.

Wkraczająca coraz szerzej do praktyki eksploatacyjnej technika komputerowa, w tym również w zakresie zagadnień związanych z ochroną przed korozją, pozwala żywić nadzieję, iż przynajmniej część problemów, w tym również niesygnalizowanych w niniejszym opracowaniu, będzie mogła być rozwiązana.

Płock, marzec 1986 r.

Rys.1 Przykładowy rozkład potencjałów wzdłuż rurociągu.



13

mgr inż. Maksymilian Dung
02-161 Warszawa
ul. Komorska 4 m 156

Referat na Krajową Konferencję
Ochrony przed Korozją

Wpływ warunków na dokładność pomiaru potencjału konstrukcji

Pomiar potencjału konstrukcji jest najbardziej podstawowym pomiarem niezbędnym dla stopnia zagrożenia korozyjnego, jak również dla oceny działania ochrony katodowej tzn. jej skuteczności.

Pomiar potencjału jest zwykle obarczony błędem, na który mają wpływ różne czynniki, takie, jak metoda pomiaru, właściwości miejsca /stanowiska/ pomiarowego i inne właściwości obwodu pomiarowego. Najczęściej występującym czynnikiem powodującym błąd pomiaru jest omowy spadek potencjału, który wpływa na fakt, że np. mierzony potencjał katody jest bardziej ujemny, niż rzeczywisty potencjał. Metody pomiaru z wyeliminowaniem składowej omowej potencjału zostaną omówione w odrębnym referacie. Z różnych powodów metody te nie są w naszych warunkach powszechnie stosowane i dlatego w poniższych uwagach zostaną omówione niektóre czynniki powodujące błąd pomiaru i sposoby ich ograniczenia przy wykonywaniu pomiarów metodami tradycyjnymi.

1. Przyrządy pomiarowe stosowane do pomiaru potencjału

Pomiar potencjału powinien być dokonywany w warunkach bezprądowych. Obciążenie prądowe obwodu pomiarowego powoduje bowiem błąd pomiaru.

Dla wyeliminowania tego błędu, do pomiaru potencjału stosuje się przyrządy magnetoelektryczne o dużej rezystancji wewnętrznej, równej lub większej od 100 kΩ / V. Stosowane są także elektryczne przyrządy uniwersalne lub elektroniczne woltomierze ze wzmacnieniami, których impedancja wejściowa wynosi ponad 10 MΩ.

W naszych warunkach najczęściej stosowany jest przyrząd - multimetr V- 640 produkowany przez Zakłady Aparatury Pomiarowej "Meratonik" w Warszawie.

Miernik ten charakteryzuje się szerokim zakresem mierzonych wartości napięć i prądów oraz dużą impedancję wejściową, rzędu 100 MΩ .

Inną istotną cechą przyrządów pomiarowych do pomiaru potencjału bez składowej omowej I R wykonywanego metodą wyłączeniową oraz pomiarówW obecności prądów błądzących oddziaływujących na konstrukcję jest ograniczenie czasu ustalenia wskazań. Czas ten powinien być nie większy od 1 s a tłumienie aperiodyczne. Występowanie prądów błądzących o dużej amplitudzie i częstotliwości zmian powodujem duże trudności pomiarowe. Czas rejestracji przyrządów bezpośrednich ~~nie~~ jest zbyt długi i uzyskanie poprawnych wartości mierzonego potencjału na podstawie tach pomiarów jest prawie niemożliwe.Dlatego też,dla uniknięcia błędów stosuje się rejestratory ,które,oprócz zarejestrowania wartości ekstremalnych zmian potencjału pozwalają na dokładne wyznaczenie wartości średnich w czasie. Ponadto pozwalają na dowolne/potrzebne / przedłużenie czasu pomiaru w różnych warunkach np. w porze nocnej itp. Przy powolnych zmianach potencjału wywołanych prądami błądzącymi rejestrację można prowadzić za pomocą rejestratorów punktowych z wysokoomowym przyrządem pomiarowym o wskazaniach bezpośrednich . Do odczytów z zapisem ciągłym szybkich zmian potencjału stosuje się rejestratory kompensacyjne. Rejestrator dwukanałowy, magnetyczny o czułości 0,5 mV z możliwością zapisu na dowolny środek informacji, zasilany z sieci lub bateryjnie produkowany jest przez Ośrodek Doświadczalny Politechniki Gdańskiej oraz Zakłady "Meramont " w Gdańsku.

2. Elektroda pomiarowa

Najczęściej używana do pomiaru potencjału w warunkach terenowych jest elektroda techniczna Cu / $CuSO_4$.
Elektrodę tę,jak wiadomo stanowi metaliczna miedź zanurzona w nasyconym roztworze wodnym siarczanu miedzi. Elektroda taka jest półogniwem utworzonym przez miedź zanurzoną w jonach własnych.

Elektroda wykazuje stały potencjał równy 0,316 V względem normalnej elektrody wodorowej.
Stałość potencjału elektrody należy od stężenia elektrolitu, od stanu czystości miedzi oraz ciągłego stanu zanurzenia pręta w elektrolicie.
Istnieją elektrody, które zamiast pręta mają wbudowaną blachę miedzianą dotykającą do materiału porowatego np. filcu nasyconego roztworem siarczanu miedzi. Wymagają one częstego uzupełnienia elektrolitu ubywającego przez wysychanie lub odsączanego przez podłoże glebowe. Taka konstrukcja elektrody utrudnia też kontrolę wizualną stężenia elektrolitu.

Przygotowując elektrodę do użycia należy element miedziany oczyścić , uzupełnić krystaliczny siarczan miedzi oraz detylowaną wodę zapewniając niezbędny zapas elektrolitu.

Zarówno zmiana stężenia roztworu $CuSO_4$, jak również zmiana przewodności elementów elektrody wpływają na zmianę jej potencjału a w efekcie na błąd pomiaru.

Powyższe uwagi świadczą o potrzebie zachowania jak najmniejszej rezystancji wewnętrznej elektrody w celu wyeliminowania błędu wynikającego z omowego spadku potencjału w elektrodzie przy obciążeniu prądowym.
Również istotną sprawą jest zachowanie jak najmniejszej rezystancji przejścia elektroda- ziemia albo inaczej rezystancję uziemienia elektrody. Rezystancja ta określona jest wzorem :

$$R = \frac{\rho}{2D} + Rw \qquad [\Omega]$$

gdzie :

ρ - rezystywność gruntu Ω m
D - średnica diafragmy elektrody
Rw - rezystancja wewnętrzna elektrody

Jak widać na wartość rezystancji uziemienia ma wpływ średnica diafragmy elektrody .
Należy dążyć do ograniczenia wartości rezystancji uziemienia do max. 500 Ω . Z powyższej zależności można obliczyć średnicę diafragmy elektrody wymaganej do pomiaru potencjału w danych warunkach gruntowych.
Najczęściej stosowane są elektrody o średnicach 0,1 - 0,15
Można do pomiarów potencjału stosować elektrody o mniejszych średnicach w gruntach o niskiej rezystywności pamiętając jednak o starannym i obfitym nawilżeniu miejsca ustawienia elektrody.

3. Sposób umieszczenia elektrody względem konstrukcji badanej

Elektroda pomiarowa powinna być umieszczona w ziemi, obok konstrukcji metalowej jaknajbliżej jej powierzchni. Także umieszczenie elektrody zmniejsza do minimum błąd wywołany omowym spadkiem potencjału w elektrodzie / glebie/. Przy ~~z~~stosowaniu elektrody stałego działania takie jej usytuowanie względem konstrukcji badanej może być i jest najczęściej stosowane.
Warunkiem umieszczenia w glebie elektrody stałego działania jest ciągłe utrzymywanie się wilgoci wokół elektrody. W spodziewanych przypadkach wysychania gleby na głębokości ułożenia konstrukcji elektrodę pomiarową należy umieścić głębiej lub zaniechać jej stosowania.
Ze względu na koszty , elektrody stałego działania nie umieszcza się w każdym stanowisku pomiarowym.
Najczęściej do pomiarów potencjału konstrukcji w celu oceny stanu jej zagrożenia lub skuteczności ochrony ,używa się przenośnej elektrody pomiarowej. Jej położenie względem konstrukcji ma wpływ na wartość mierzoną. Elektroda powinna być umieszczona dokładnie nad konstrukcją. Przesunięcie elektrody względem konstrukcji chronionej wprowadza dodatkowy błąd pomiaru. Błąd ten wynika ze zwiększonego spadku omowego albo z oddziaływania innej sąsiedniej konstrukcji albo z oddziaływania stożka potencjałowego występującego wzdłuż konstrukcji.

Potencjałem rzeczywistym, stanowiącym podstawę do oceny stanu konstrukcji jest potencjał tej konstrukcji względem gl w najbliższym otoczeniu. Podczas polaryzacji konstrukcji chronionej katodowo tworzy się wokół lub wzdłuż stożek lub rów napięciowy wykazujący niższy /bardziej ujemny/ potencjał gleba w dalszym otoczeniu. Teoretycznie strefa obniżonego po cjału w otoczeniu konstrukcji powinna mieć regularny i dają się w pewnym stopniu przewidzieć „kształt". Ze względu na wa izolacji konstrukcji oraz na niejednorodność struktury elekt litu ziemnego kształt strefy oddziaływania polaryzacji konst kcji jest nieregularny i stanowi przyczynę błędu pomiaru.
W systemie wspólnej ochrony kilku konstrukcji istotne znacze na wybór miejsca ustawienia mają oznaczenia zacisków i przew pomiarowych w punktach kontrolno- pomiarowych. Zdarza się bo ze ustawienie elektrody jest błędne i pomiar dotyczy innego, rurociągu lub kabla.
Jest wreszcie jeszcze jeden powód błędu pomiaru potencjału a mianowicie brak kontaktu porowatej ścianki elektrody z pod żem / glebą/.
Taka sytuacja zdarza się na terenach piaszczystych w warunka znacznego wysuszenia warstwy gleby przykrywającej konstrukcj Mimo powierzchniowego nawilżenia miejsca ustawiania elektro obwód pomiarowy może być nie zamknięty. Wskazań przyrządu pomiarowego nie obserwuje się lub są one całkowicie błędne. W takich warunkach stanowisko pomiarowe wymaga starannego przygotowania.
Obfite zwilżenie powierzchni gruntu może nie dać rezultatu. Nawilżanie w takich warunkach należy wykonywać po wbiciu pręta lub rurki „która utworzy pionowy kanał umożliwiający wnikanie wody w głąb gruntu.
Gleby z przewagą piasków pylastych wysuszone podczas długo- trwałych okresów braku opadów nawilżają się źle i długo. W takich okolicznościach przygotowanie stanowiska pomiarowe wykonać należy w dniu poprzedzającym pomiar.

o p r a c o w a ł :

.....

mgr inż. Maciej Merkiewicz

Wykorzystanie wyników pomiarów prądów przepływających pomiędzy rurociągiem a ziemią do oceny zagrożenia korozyjnego i skuteczności ochrony katodowej rurociągów

1. Wstęp.

Pomiary elektryczne na metalowych konstrukcjach stykających się z elektrolitem glebowym lub wodnym wykonuje się w celu uzyskania informacji o zagrożeniu konstrukcji korozją powodowaną przez prądy błądzące, jak również celem dokonania oceny skuteczności ochrony katodowej konstrukcji. Pomiary z zakresu zagrożenia oddziaływaniem prądów błądzących wykonuje się najczęściej w związku z analizą przyczyn uszkodzeń korozyjnych konstrukcji względnie w związku z zamiarem podjęcia działań profilaktycznych na konstrukcji, co do której istnieje podejrzenie, że może być narażona na korozyjne skutki prądów błądzących.

Podstawowym, a często jedynym pomiarem wykonywanym rutynowo we wszystkich wymienionych okolicznościach jest pomiar potencjału konstrukcji względem elektrody odniesienia umieszczonej w otaczającym elektrolicie.

W przypadku konstrukcji trwale spolaryzowanej katodowo pomiar potencjału wykonany w sposób pozwalający na porównanie zmierzonej wartości z potencjałowym kryterium ochrony tj. pomiar z wyłączeniem polaryzacji omowej, jest wystarczający dla oceny skuteczności ochrony katodowej.

Natomiast w badaniach zagrożenia korozyjnego konstrukcji prądami błądzącymi stosowanie metod pomiaru potencjału z wyeliminowaniem polaryzacji omowej jest nieprzydatne. Lokalizacja stref anodowych i katodowych na podstawie wartości potencjałów konstrukcji jest bowiem tym łatwiejsza im bardziej zmierzone wartości potencjałów różnią się od wartości potencjałów spoczynkowych.

Wartość potencjału konstrukcji bardziej ujemna od wartości jej potencjału spoczynkowego świadczy o istnieniu w danym miejscu i w danym czasie strefy katodowej na konstrukcji. Natomiast wartość potencjału konstrukcji bardziej dodatnia od wartości jej potencjału spoczynkowego świadczy o istnieniu w danym miejscu i w danym czasie strefy anodowej na konstrukcji. Identyfikacja rodzaju strefy jest łatwa jeżeli można porównać wartość potencjału zmierzoną w danym miejscu w warunkach oddziaływania prądów błądzących z wartością potencjału spoczynkowego zmierzoną podczas okresowego wyłączenia źródła prądów błądzących. Ten drugi pomiar jest jednak praktycznie niemożliwy w przypadku kolei państwowych. Natomiast w przypadku tramwajów i kolei przemysłowych można skorzystać z nocnej przerwy w ruchu. Względy natury techniczno-organizacyjnej powodują jednak, że w praktyce pomiary tego rodzaju są wykonywane rzadko.

Wartość potencjału spoczynkowego konstrukcji zależy od stanu powierzchni metalu, jakości pokrycia antykorozyjnego oraz rodzaju elektrolitu stykającego się z konstrukcją. Wartości potencjałów spoczynkowych stalowych konstrukcji podziemnych mieszczą się w zakresie od około -0,35 V do -0,80 V względem elektrody $Cu/CuSO_4$. Najmniej ujemne wartości potencjału

mierzy się na konstrukcjach skorodowanych, pozbawionych pokrycia antykorozyjnego, a także na konstrukcjach znajdujących się w gruntach lekkich, dobrze napowietrzonych. Natomiast najbardziej ujemne wartości potencjałów występują na konstrukcjach nowych, nieskorodowanych, dobrze izolowanych, a także na konstrukcjach umieszczonych w gruntach ciężkich, nieprzepuszczalnych.

Zmiany wartości prądu błądzącego oddziaływującego na konstrukcję znajdują tym większe odbicie w zmianach wartości polaryzacji omowej, a tym samym potencjału konstrukcji, im lepszej jakości jest pokrycie ochronne konstrukcji. Ilość równolegle połączonych szczelin w pokryciu w miejscu pomiaru jest wtedy niewielka, tym samym ich wypadkowa rezystancja jest duża i polaryzacja omowa osiąga znaczne wartości. Jeżeli zaś konstrukcja jest źle izolowana, posiada liczne i duże nieszczelności, to gęstość prądu na ich powierzchni jest mała, podobnie jak ich wypadkowa rezystancja i polaryzacja omowa nie osiąga dużych wartości.

Znaczne zróżnicowanie wartości potencjałów spoczynkowych oraz możliwość nieuwzględnienia udziału polaryzacji omowej w mierzonej wartości potencjału utrudniają identyfikację stref anodowych i katodowych na konstrukcji. Przy potencjale nowego stalowego rurociągu wahającym się w zakresie np. od -0,62 do -0,64V względem elektrody $Cu/CuSO_4$, może w danym miejscu istnieć trwała strefa anodowa. Natomiast potencjał starego rurociągu wahający się w granicach np. od -0,38V do -0,58V może oznaczać okresowo występującą strefę katodową w danym miejscu rurociągu, przy potencjale spoczynkowym -0,38V. Aby się nie pomylić w identyfikacji stref należy przyjmować szeroki margines bezpieczeństwa.

W praktyce oznacza to, że strefę anodową można przyporządkować potenc mniej ujemnym od -0,35 V względem elektrody $Cu/CuSO_4$, a strefę katodową - potencjałom bardziej ujemnym od -0,75 V. Wartości potencjałów stalowej konstrukcji mieszczące się w zakresie od -0,35 do -0,75 V nie nadają się do jednoznacznej interpretacji i jako takie nie mogą być wystarczającą podstawą oceny zagrożenia korozyjnego konstrukcji prądami błądzącymi. Celowym staje się wówczas pomiar drugiej wielkości elektrycznej, tj. prądu błądzącego wpływającego do lub wypływającego z konstrukcji. Często dodatkowe informacje o zagrożeniu korozyjnym prądami błądzącymi można uzyskać z wyników pomiarów różnicy potencjałów konstrukcja - szyna trakcji elektrycznej.

2. Metodyka pomiarów i interpretacja wyników pomiarów prądu wpływającego do lub wypływającego z konstrukcji.

Do pomiaru prądu wpływającego do lub wypływającego z podziemnej konstrukcji, np. stalowego izolowanego rurociągu wykorzystywano przenośne elektrody symulacyjne te same, które stosuje się w pomiarach potencjałów konstrukcji wykonywanych z ograniczeniem polaryzacji omowej /1, 2/. Ustawiając elektrodę symulacyjną na powierzchni ziemi i łącząc ją z rurociągiem poprzez mikroamperomierz, umieszcza się na powierzchni ziemi fikcyjny defekt w pokryciu ochronnym konstrukcji. Powierzchnia defektu jest równa powierzchni płytki elektrody symulacyjnej. Płytka ta, wykonana z tego samego materiału co chroniona konstrukcja, jest umieszczona w tworzywie izolacyjnym w ten sposób, że tylko jedna płaska kołowa jej powierzchnia jest odizolowana. Powierzchnią tą płytka styka się z elektrolitem w pobliżu

chronionej konstrukcji, z którą jest połączona przewodem elektrycznym. Podlega więc tym samym oddziaływaniom zewnętrznych prądów /ochrony katodowej i błądzących/, którym podlega konstrukcja. W przypadku konstrukcji podziemnych najczęściej stosuje się elektrody symulacyjne o powierzchniach płytek 1, 10 względnie 1,5 ; 15 cm^2.

Na Rys. 1 przedstawiono 3 sytuacje pomiarowe jakie występują w układzie płytka elektrody symulacyjnej - ziemia - rurociąg.

W sytuacji 1a prąd mierzony mikroamperomierzem jest tylko prądem obciążenia ogniwa elektrochemicznego, którego elektrodami są: powierzchnia płytki elektrody symulacyjnej oraz suma defektów w pokryciu ochronnym rurociągu położonych w pobliżu miejsca pomiaru. Określenie "pobliże" jest względne, bowiem im mniejsza rezystywność gruntu tym bardziej odległe nieszczelności składają się na elektrodę "rurociągową".

Wartość prądu płytka elektrody - rurociąg określa zależność:

$$i_{p-g} = \frac{U - U_e}{R_u + R_e + R_m + R_l} = \frac{U - U_e}{\sum R} \qquad /1/$$

gdzie:

U - potencjał rurociągu względem elektrody $Cu/CuSO_4$,

U_e - potencjał płytki elektrody symulacyjnej względem elektrody $Cu/CuSO_4$,

R_u - rezystancja uziemienia rurociągu,

R_e - rezystancja uziemienia płytki elektrody symulacyjnej,

R_m - rezystancja wewnętrzna miernika prądu,

R_1 - rezystancja przewodów łączących.

Bezpośrednio po ustawieniu elektrody na powierzchni ziemi potencjał płytki jest zwykle mniej ujemny od potencjału rurociągu, płytka jest więc katodą, rurociąg anodą, a prąd ogniwa płynie w kierunku zaznaczonym na Rys. 1. Płytka, która ma powierzchnię gładką, czystą i wyzlifowaną, szybko polaryzuje się ujemnie i po czasie 15 - 20 minut nieraz przyjmuje potencjał bardziej ujemny od potencjału rurociągu, stając się anodą ogniwa. Prąd zmienia wówczas kierunek i płynie od rurociągu do płytki. Monotonicznym zmianom wartości potencjału płytki towarzyszą monotoniczne zmiany prądu ogniwa zgodnie z zależnością /1/. Potencjał płytki stabilizuje się na ogół w czasie od 15 minut do 1 godziny. Po tym czasie prąd i_{p-g} = const.

Zakłócenie monotonicznego przebiegu $i_{p-g} = f/t/$ /rys. 1b i c/ jest dodatkiem oddziaływania prądu błądzącego na płytkę elektrody a tym samym na rurociąg w danym miejscu. Prąd w obwodzie jest wówczas prądem wypadkowym: $i_{p-g} + i_{bp}$. Możliwe są 2 sytuacje:

a/ o kierunku przepływu prądu płytka elektrody symulacyjnej - rurociąg nadal decyduje różnica potencjałów pomiędzy płytką a rurociągiem. Biegunowość prądu nie zmienia się więc, a w jego przebiegu czasowym dają się zaobserwować mniej lub bardziej gwałtowne wahania spowodowane wpływającym do względnie wypływającym z płytki prądem błądzącym,

b/ prąd błądzący jest na tyle duży, że zaczyna decydować o kierunku przepływu prądu pomiędzy płytką a rurociągiem; jest to przypadek silnej strefy anodowej na rurociągu, kiedy przy

$$U_e > U \qquad |i_{bp}| > |i_{p-g}|$$

Kasahara i inni /3/ opracowując potencjałowo-prądowe kryterium ochrony katodowej, sformułowali również kryterium występowania stref anodowej i katodowej na rurociągach stalowych: Prąd większy od 0,001 mA wypływający z powierzchni próbki 1 cm^2 świadczy o strefie anodowej a prąd większy od 0,001 mA wpływający do próbki świadczy o strefie katodowej w danym miejscu na rurociągu. Zakres gęstości prądu pomiędzy +0,001 mA/cm^2 i -0,001 mA/cm^2 został nazwany obszarem swobodnej korozji. Badania mikroskopowe próbek wykazały, w tym obszarze minimalną korozję spowodowaną działaniem mikroogniw.

3. Zastosowanie metody równoczesnych pomiarów prądu, potencjału i ewentualnie różnicy potencjałów gazociąg-szyna do oceny zagrożenia korozyjnego gazociągów.

3.1. Równoczesna rejestracja przebiegów czasowych potencjału, prądu i ewentualnie różnicy potencjałów gazociąg-szyna.

Prąd mierzono przy użyciu miernika rejestrującego Multiscript 3 o rezystancji 560 Ω przy pomiarze prądu do 250 μA, względnie 160 Ω przy pomiarze prądu do 1000 μA. Potencjał gazociągu rejestrowano przy użyciu miernika Minigor RE 501 o impedancji wejściowej większej odpowiednio od 1, 2 i 5 MΩ na zakresach 1, 2 i 5 mV/cm. Obydwie wielkości rejestrowano równocześnie, najczęściej w ciągu 1 godziny. Stosowano elektrodę symulacyjną o powierzchni płytki 15 cm^2.

Przykładowe wyniki pomiarów przedstawiono na rys. 2.

Duża ujemna różnica potencjałów płytka elektrody symulacyjnej - gazociąg w punkcie BN /około -210 mV/ pod koniec trwających 1 godzinę pomiarów/ powoduje, że cały przebieg prądu

widoczny na rys. 2. mieści się w zakresie wartości ujemnych, mimo że prąd ulega znacznym wahaniom, podobnie jak potencjał gazociągu. Częstotliwość zmian obydwóch wielkości jest duża a w oddziaływaniu prądów błądzących na gazociąg nie występują przerwy. Przyjęte w tych warunkach pod koniec trwania pomiarów, wartości prądu ogniwa 90 μA i potencjału spoczynkowego gazociągu -480 mV mają charakter orientacyjny. Ponadto, pomiar prądu jest obarczony błędem około 25%, wynikającym z użycia miernika o rezystancji 560 Ω do pomiaru prądu w obwodzie którego rezystancja wynosi około 2000 Ω . Wahania wartości prądu wokół wartości prądu ogniwa wynoszące ± 50 μA na rys. 2, są w rzeczywistości o około 25% większe, sięgają więc ± 60 μA, co odpowiada ± 4 $\mu A/cm^2$. Wartości te spełniają cytowane wyżej kryterium występowania stref katodowych i anodowych ± 1 $\mu A/cm^2$.

Reasumując; gazociąg w punkcie 8N podlega cały czas oddziaływaniu prądów błądzących, na przemian katodowemu i anodowemu o podobnej intensywności, przy czym zmiany charakteru oddziaływania odbywają się z dużą częstotliwością. Gazociąg w punkcie 8N należy uznać za zagrożony korozją powodowaną przez prądy błądzące.

Wszystkie trzy przebiegi przedstawione na rys. 3 są zmienne w szerokim zakresie. Kształt przebiegu prądu pomiędzy 10 a 15 minutą pomiaru pozwala przypuszczać, że mierzony wówczas prąd /około -20 μA/ był prądem ogniwa płytka - gazociąg. Wahania prądu wokół tej wartości sięgają 70 μA w kierunku ujemnym i 180 μA w kierunku dodatnim. Przeliczając te wartości na 1 cm^2 i uwzględniając prawdopodobny 20% owy błąd

pomiaru spowodowany zbyt dużą rezystancją miernika, otrzymuje się -9 μA i +21 μA, tj. wartości wielokrotnie przewyższające kryterium występowania stref anodowej i katodowej ± 1 μA/cm^2. Biorąc pod uwagę czasy oddziaływania anodowego i katodowego można stwierdzić, że w punkcie 4 występuje okresowo krótkotrwała intensywna korozja oraz w dłuższych okresach ochrona katodowa w wyniku polaryzacji katodowej rurociągu prądem błądzącym.

3.2. Pomiary zależności U=f/$\triangle U_{g-sz}$/przy użyciu rejestratora x-y

Stosowano rejestrator x-y typu Minigor RE 501 z dzielnikami napięcia.

W badaniach zagrożenia korozyjnego rurociągów zależności korelacyjne typu U = f/$\triangle U_{g-sz}$/ są cennym uzupełnieniem przebiegów czasowych tych wielkości, nie stanowią jednak samodzielnego materiału interpretacyjnego. Przykładem jest tutaj zależność przedstawiona na rys. 4. Niewielka dodatnia różnica potencjałów gazociąg - szyna tramwajowa nie ma żadnego wpływu na potencjał gazociągu. Stanowi to potwierdzenie wniosku o niewielkim zagrożeniu gazociągu prądami błądzącymi w punkcie 1N., sformułowanego w /4/ na podstawie analizy przebiegów czasowych potencjału i prądu.

Na rys. 5 widoczna jest wyraźna zależność potencjału gazociągu od różnicy potencjałów gazociąg - szyna kolejowa zmieniającej się w zakresie od 0 do -28V. Trwający 10 minut pomiar wykazał wyraźnie katodowy charakter oddziaływania prądu błądzącego na gazociąg w punkcie 1. Potwierdza to również analiza godzinnych równoczesnych przebiegów prądu i potencjału wykonanych w /5/.

4. Zastosowanie metody równoczesnych pomiarów potencjału gazociągu i prądu do oceny skuteczności drenażu polaryzowanego.

Na Rys. 6 przedstawiono równoczesne przebiegi czasowe potencjału gazociągu oraz prądu płytka elektrody symulacyjnej-gazociąg w p. 3. Jak widać z obydwóch przebiegów, drenaż polaryzowany nie dopuszcza do pojawienia się stref anodowych na gazociągu. Można przyjąć, że prąd ogniwa elektrochemicznego płytka elektrody symulacyjnej-gazociąg wynosi -30 μA. Przyrosty prądu ponad tę wartość w kierunku anodowym sięgają przy niepracującym drenażu 270 a nawet 470 μA. Przeliczając te wartości na 1 cm^2 i uwzględniając przypuszczalny błąd pomiaru spowodowany rezystancją miernika prądu, otrzymuje się wartości 20 luh 33 $\mu A/cm^2$, wielokrotnie przewyższające kryterium występowania strefy anodowej 1 $\mu A/cm^2$. Gazociąg byłby okresowo silnie zagrożony korozją powodowaną przez prądy błądzące, gdyby nie zainstalowano drenażu polaryzowanego.

Prąd drenażu jak widać z Rys. 7 jest niewielki, sięga zaledwie 4,5 A, lecz powoduje, że potencjał gazociągu obniża się do -760 mV.

Na Rys. 8 widoczny jest wpływ drenażu polaryzowanego w punkcie 5 odległym o 300 m od punktu drenażu. Potencjał gazociągu obniża się bądź w wyniku istnienia strefy katodowej na gazociągu, o czym świadczy ujemna różnica potencjałów gazociąg - szyna kolejowa, bądź wskutek działania drenażu, co jest możliwe przy dodatniej różnicy potencjałów gazociąg-szyna.

5. Podsumowanie i wnioski.

Pomiar potencjału rurociągu wykonany w sposób pozwalający na porównanie zmierzonej wartości z potencjałowym kryterium ochrony tj. pomiar z wyłączeniem polaryzacji omowej, umożliwia ocenę skuteczności ochrony katodowej rurociągu trwale spolaryzowanego. Pomiar taki jest natomiast nieprzydatny dla oceny zagrożenia korozyjnego rurociągu oddziaływaniem prądów błądzących. Należy wówczas mierzyć potencjał zawierający polaryzację omową. Wyniki takiego pomiaru, w wielu przypadkach nie nadają się jednak do samodzielnej, jednoznacznej interpretacji. Dlatego pomiar potencjału należy uzupełnić równocześnie wykonywanym pomiarem prądu wpływającego do lub wypływającego z rurociągu poprzez płytkę elektrody symulacyjnej ustawionej na powierzchni ziemi nad rurociągiem.

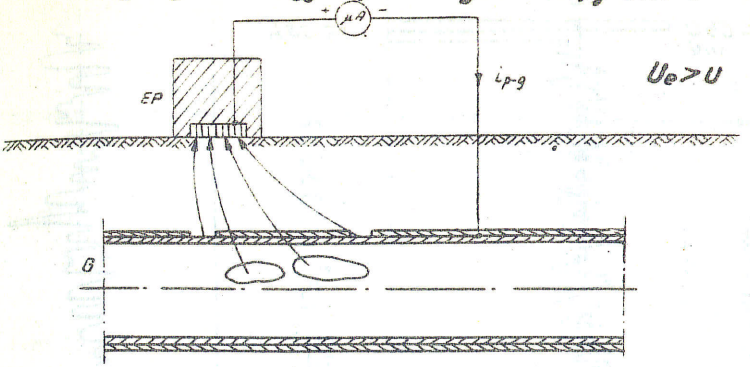
Trzecią wielkością, którą można mierzyć równocześnie z potencjałem i prądem jest różnica potencjałów rurociąg-szyna trakcji elektrycznej. Pożądanym jest bezpośredni pomiar przy użyciu rejestratora x-y zależności potencjału rurociągu od różnicy potencjałów rurociąg-szyna.

Rezultatem analizy wyników równoczesnych pomiarów prądu i potencjału jest lokalizacja stref anodowych i katodowych na rurociągu, a także ocena skuteczności próbnej lub stałej ochrony katodowej.

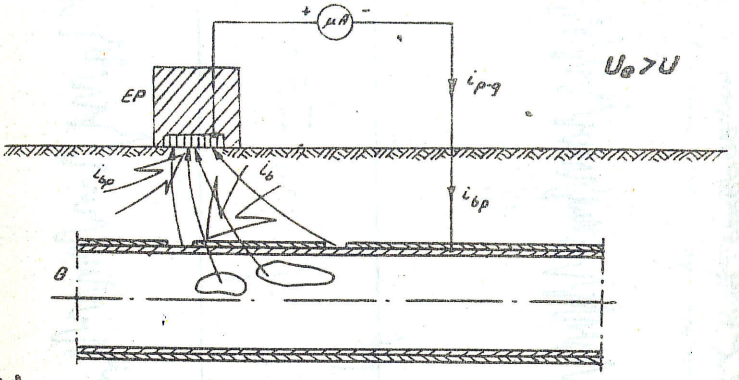
Literatura

1. Vavřina J., Mičko F.: "Snimaci elektroda pro meřeni polarizačního potencialu kovovych konstrukci", Patent ČSRS nr 182083.
2. Baeckmann W., Prinz W.G.: "New methods of Cathodic Potential Monitoring at Coating Holidays", 15-th World Gas Conference Lausanne, 1982.
3. Kasahara K., Sato T., Adachi H., Materials Performance nr 9/1980.
4. Streustromuntersuchungen in einem Stadtteil der Haupstadt de DDR, praca Instytutu Górnictwa Naftowego i Gazownictwa nr PD 4/85, Kraków 1986.
5. Założenie do projektów ochrony katodowej gazowych sieci roz dzielczych w miastach Rzeszów, Łańcut, Przemorsk. Część 3. Przemorsk, Praca Instytutu Górnictwa Naftowego i Gazownictw nr 8818 GP, Kraków 1985 r.

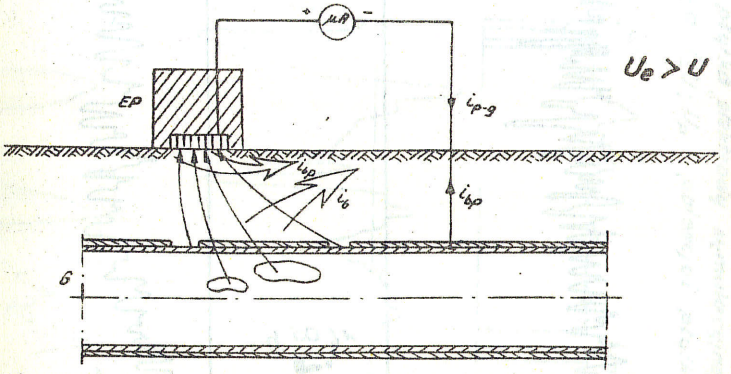
5.1. Schemat przepływu prądów pomiędzy płytką elektrody symulacyjnej EP i gazociągiem G



a) brak oddziaływania prądów błądzących; i_{p-g} - prąd ogniwa elektrochemicznego; U_e - potencjał płytki elektrody symulacyjnej; U - potencjał gazociągu.



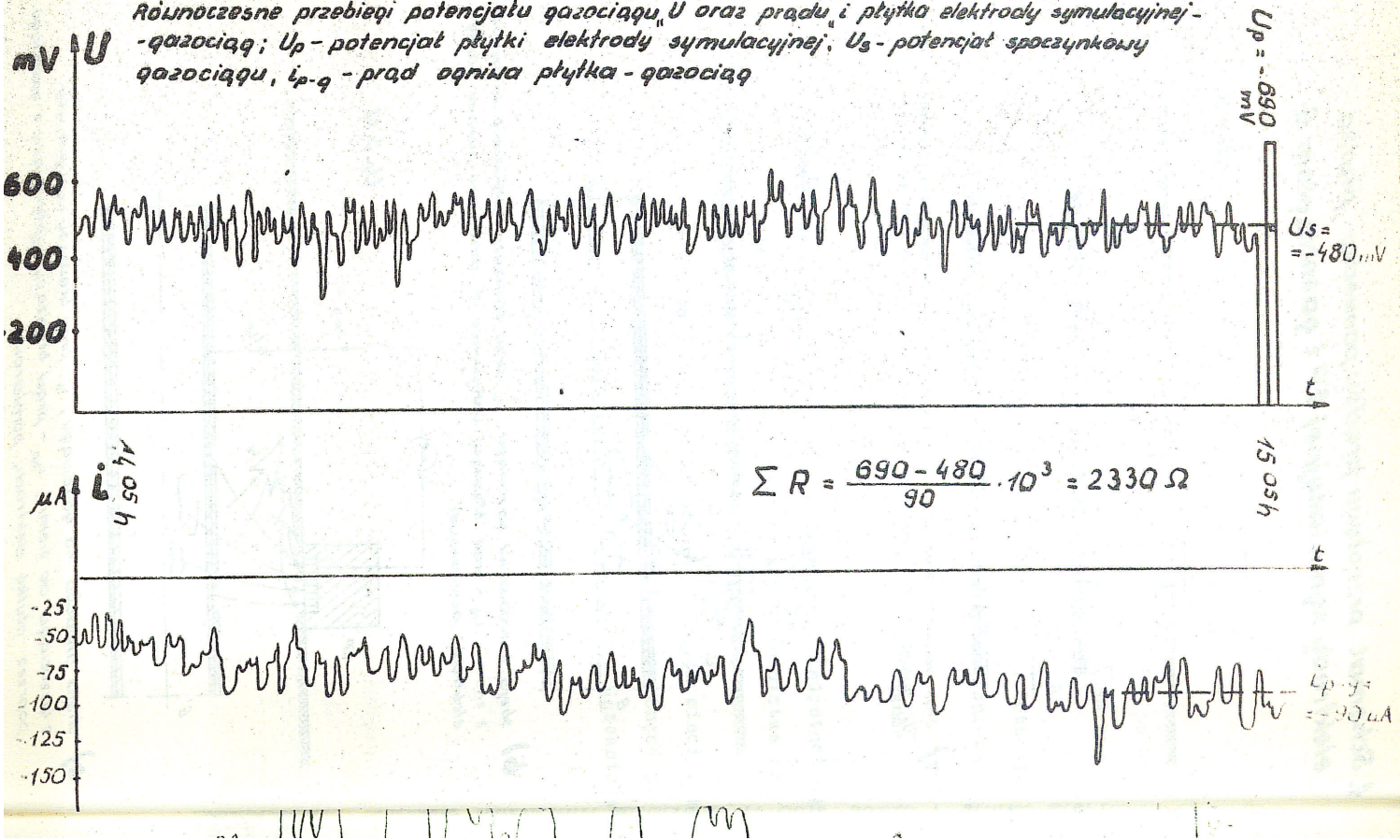
b) strefa katodowa na gazociągu; i_b - prąd błądzący upływający do gazociągu z ziemi; i_{bp} - prąd błądzący upływający do gazociągu poprzez płytkę elektrody pomiarowej.



c) strefa anodowa na gazociągu; i_b - prąd błądzący wypływający z gazociągu do ziemi; i_{bp} - prąd błądzący wypływający z gazociągu poprzez płytkę elektrody pomiarowej.

Rys. 2. Berlin p. BN. 30.09.1985.

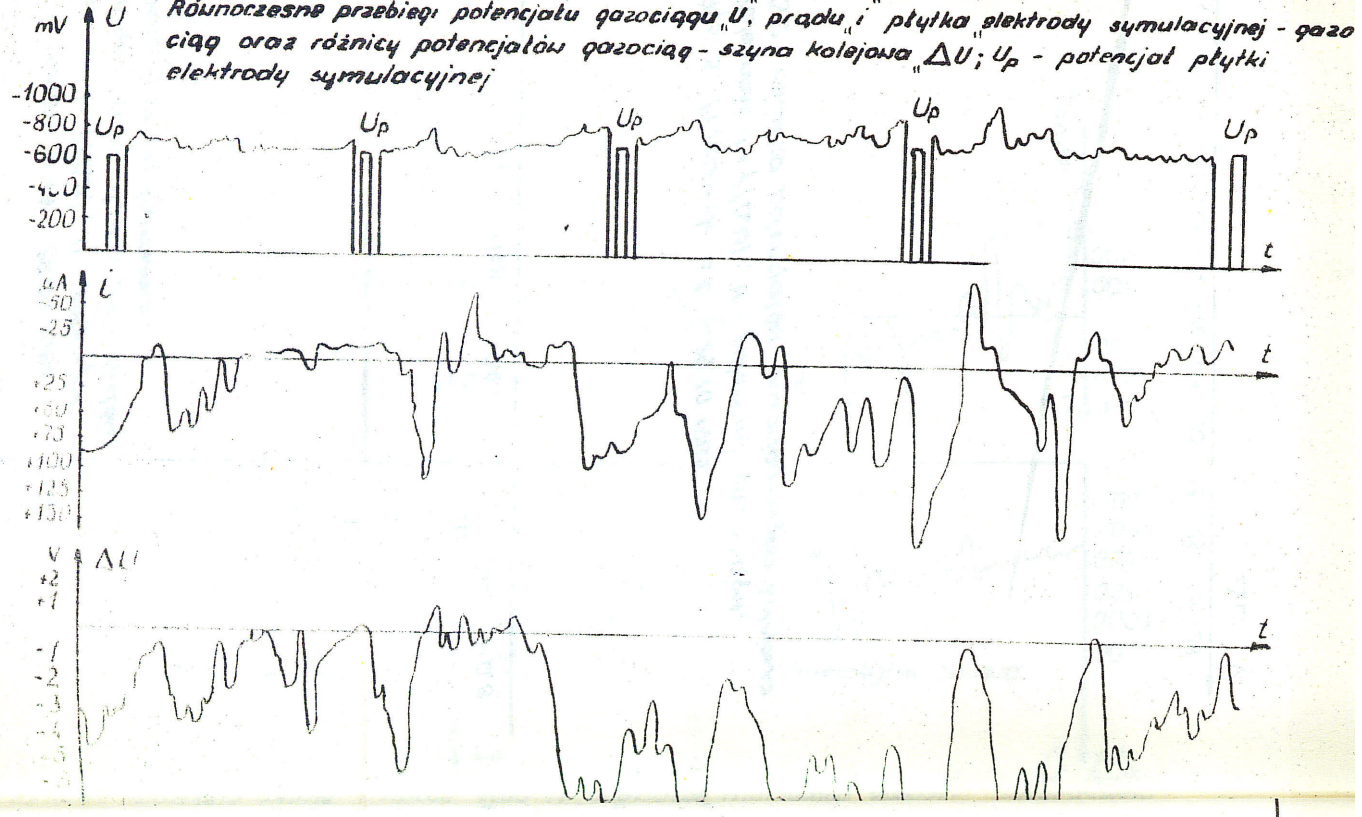
Równoczesne przebiegi potencjału gazociągu „U" oraz prądu „i" płytka elektrody symulacyjnej - gazociąg; U_p - potencjał płytki elektrody symulacyjnej, U_s - potencjał spoczynkowy gazociągu, i_{p-g} - prąd ogniwa płytka - gazociąg

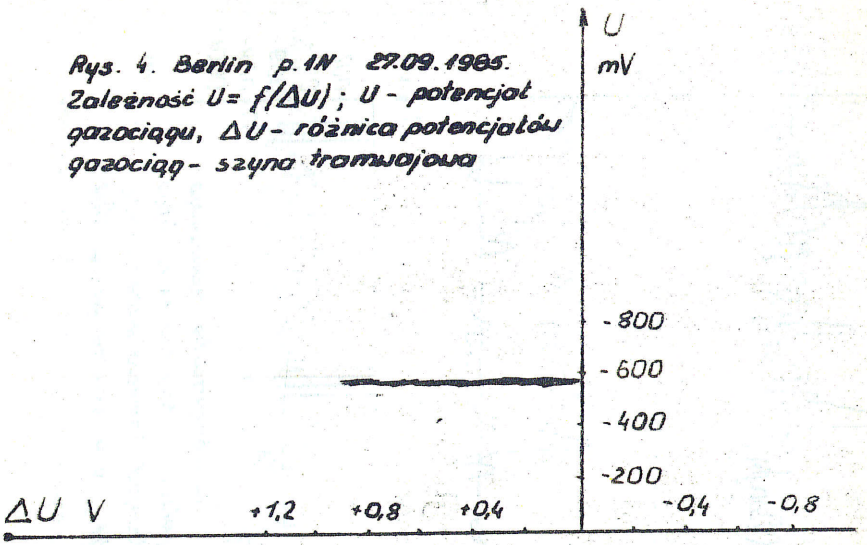


$$\Sigma R = \frac{690 - 480}{90} \cdot 10^3 = 2330\ \Omega$$

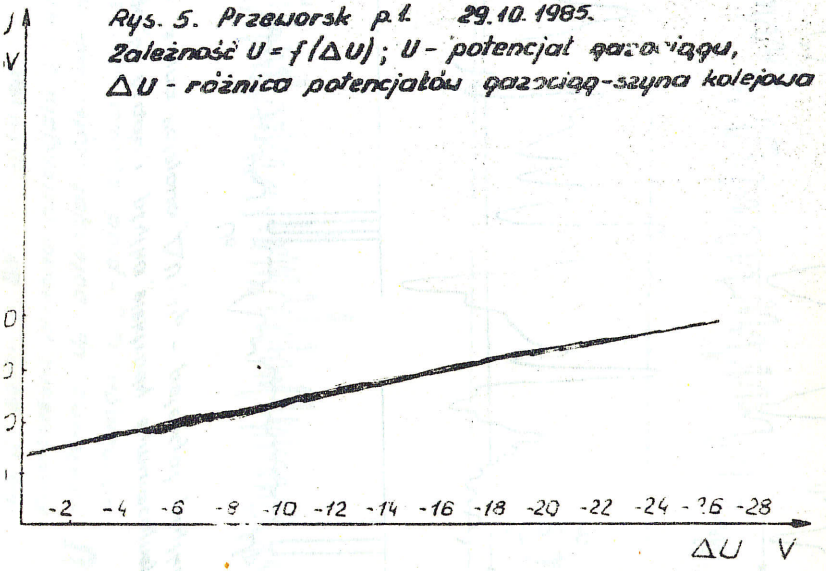
33

Rys. 3. Przeworsk p. 4. 14. 11. 1985.
Równoczesne przebiegi potencjału gazociągu „U", prądu „i" płytka elektrody symulacyjnej - gazociąg oraz różnicy potencjałów gazociąg - szyna kolejowa „ΔU; U_p - potencjał płytki elektrody symulacyjnej





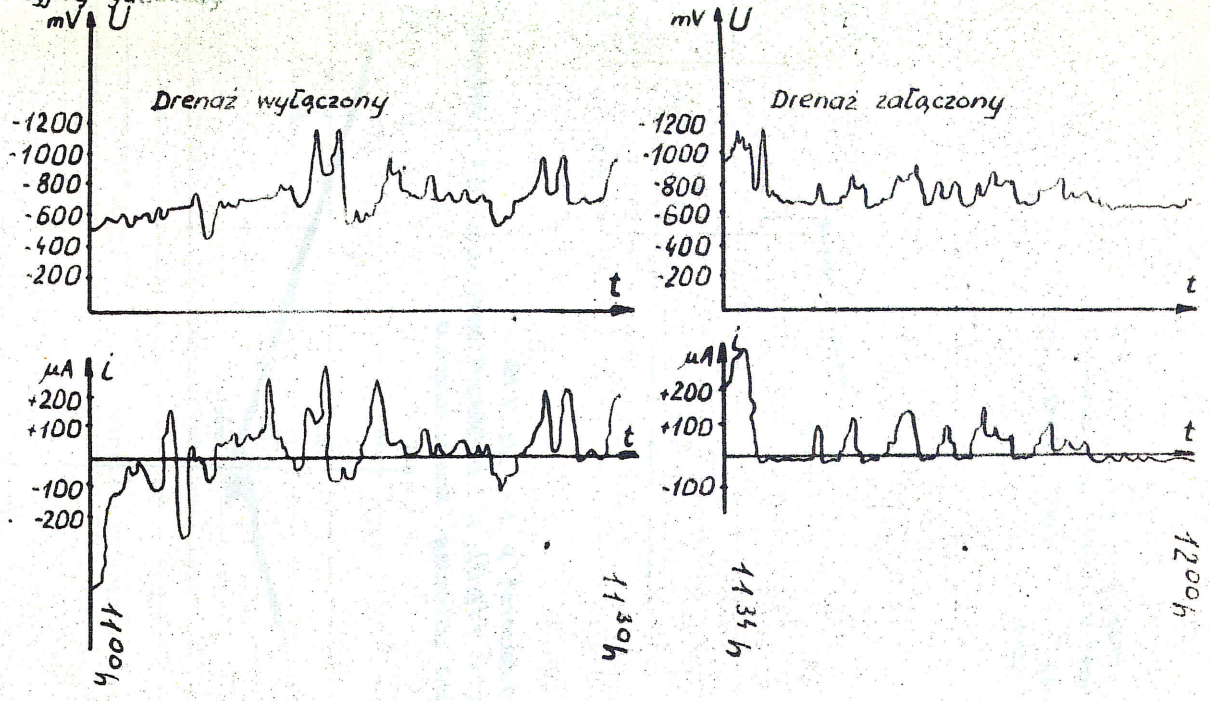
Rys. 4. Berlin p.1N 27.09.1985.
Zależność U = f(ΔU); U - potencjał gazociągu, ΔU - różnica potencjałów gazociąg - szyna tramwajowa



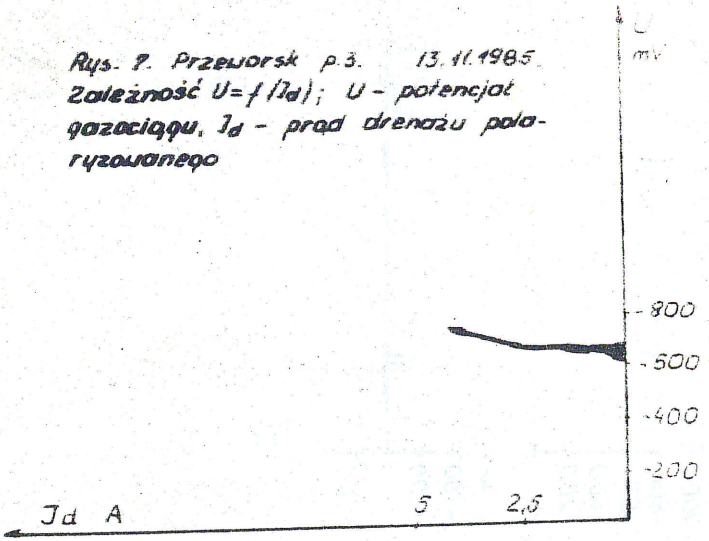
Rys. 5. Przeworsk p.1. 29.10.1985.
Zależność U = f(ΔU); U - potencjał gazociągu, ΔU - różnica potencjałów gazociąg-szyna kolejowa

Równoczesne przebiegi potencjału gazociągu „U" oraz prądu „i" płytką elektrody symulu... cyjnej - ga...

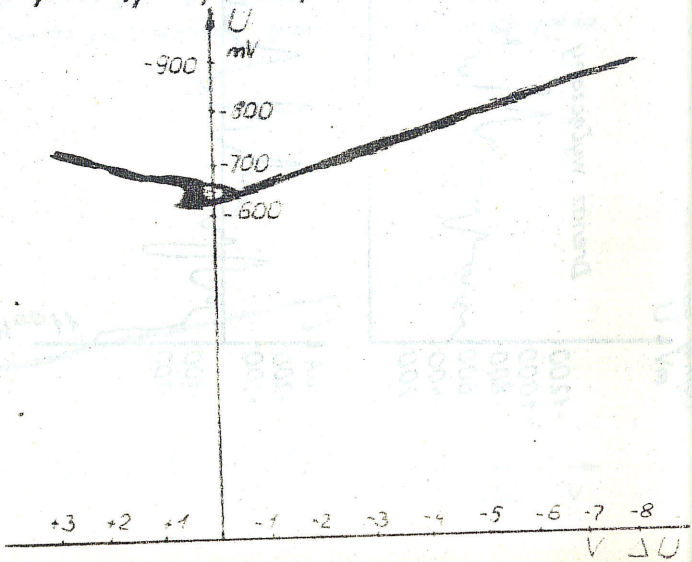
Równoczesne przebiegi potencjału gazociągu „U" oraz prądu „i" płytki elektrody symulacyjnej - gazociąg



Rys. 7. Przeworsk p.3. 13.11.1985.
Zależność $U = f(J_d)$; U – potencjał gazociągu, J_d – prąd drenażu polaryzowanego



Rys. 8. Przeworsk p. 5. 13.11.1985.
Zależność $U = f(\Delta U)$; U – potencjał gazociągu, ΔU – różnica potencjałów gazociąg- szyna kolejowa



ZASIĘG POLARYZACJI KATODOWEJ PRZY STOSOWANIU UZIOMÓW GŁĘBOKICH

Jerzy Sibila
Politechnika Poznańska

1. Wprowadzenie

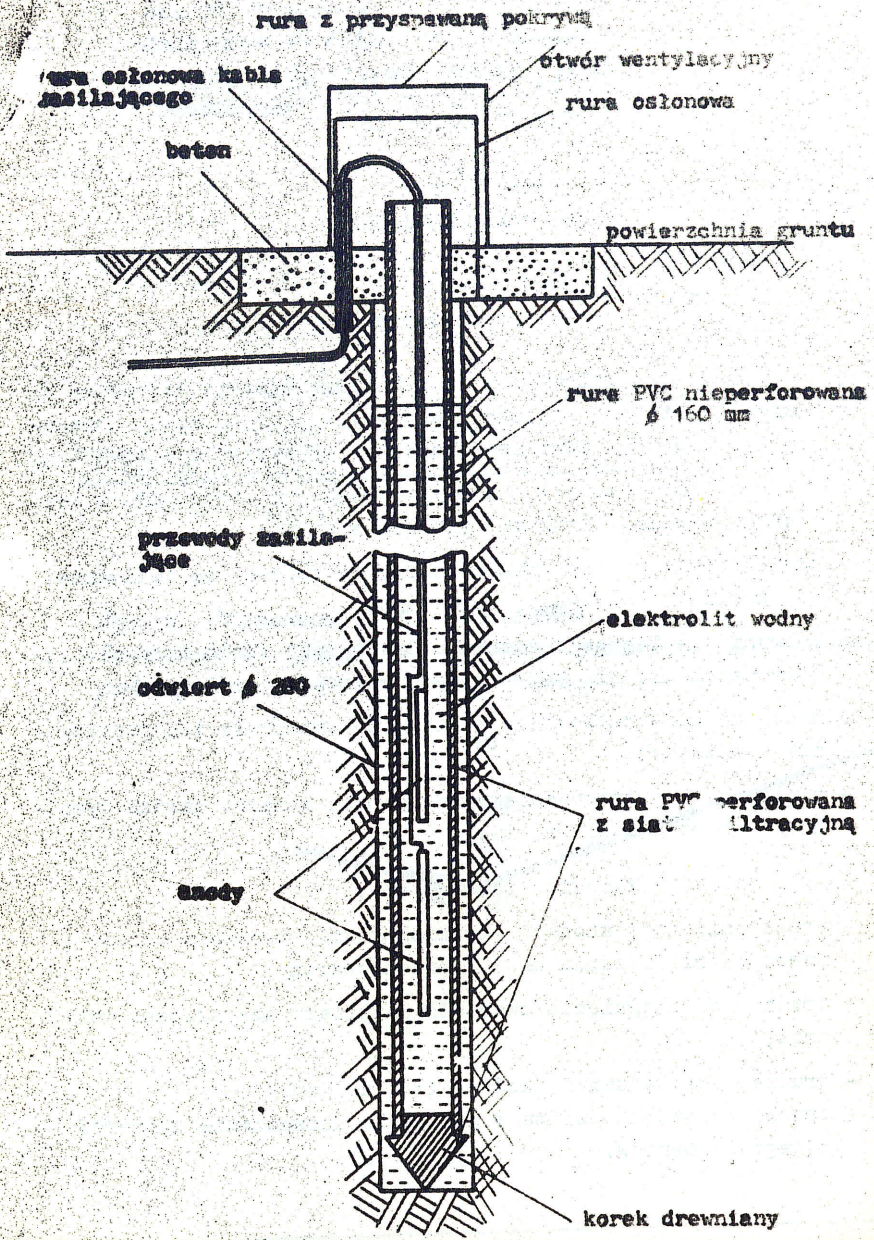
W ostatnich kilkunastu latach coraz szerzej stosowane są w ochronie katodowej uziomy głębokie, w których anody umieszczone są pionowo, jedna nad drugą, na głębokościach 15-200 m.

Jako główne zalety uziomów głębokich w porównaniu z tradycyjnymi anodami płytkimi wymienia się [1]:

- zmniejszenie oddziaływania ochrony katodowej na sąsiednie, niechronione konstrukcje podziemne,
- zapewnienie lepszego rozkładu prądu ochronnego i to o większym natężeniu niż przy anodach podpowierzchniowych,
- mniejsze zapotrzebowanie terenu, co umożliwia ich stosowanie w miastach,
- możliwość ich stosowania na obszarach o nawet bardzo wysokiej rezystywności gruntu.

Do wad uziomów głębokich zalicza się:

- wyższy niż przy anodach płytkich koszt wykonania uziomu i to nawet w przeliczeniu na 1 A prądu ochrony,
- trudną do osiągnięcia zwartość materiału zasypkowego wokół anod,
- trudne odprowadzanie gazów z łoża anodowego,
- trudną renowację uziomu w przypadku uszkodzenia któregoś z jego elementów.



Rys.1. Anodowy uziom głęboki typu otwartego

2. Rodzaje uziomów głębokich

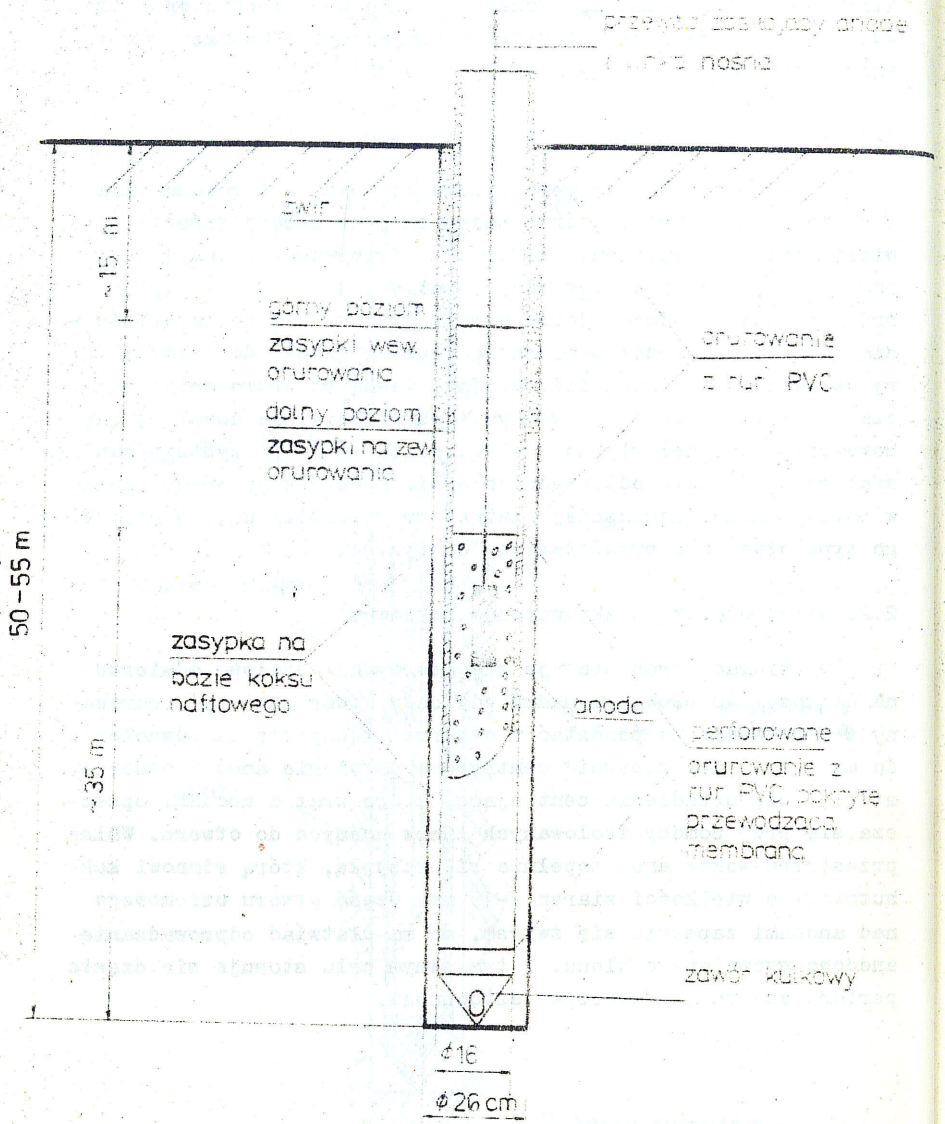
Istnieje wiele rozwiązań konstrukcyjnych stosowanych aktualnie uziomów głębokich, jednak ze względu na technologię ich wykonania a zwłaszcza materiał wypełniający przestrzeń wokół anod można wyróżnić trzy rodzaje tych uziomów.

2.1. Anodowy uziom głęboki typu otwartego

Zasadniczy element tego uziomu stanowi perforowana rura z polichlorku winylu, której zadaniem jest zabezpieczenie odwiertu przed zasypaniem. Perforacja powierzchni bocznej rury umożliwia swobodny dopływ wody gruntowej do uziomu i wypływ prądu z anod do odpowiednich warstw gruntu. W celu zapobieżenia przenikaniu przez perforację cząstek gruntu do wnętrza rury owija się ją siatką filtracyjną. Wewnątrz orurowania umieszcza się w łatwy sposób w wodnym elektrolicie, na dowolnej głębokości anody. Rezystywność elektrolitu można korzystnie zmniejszać przez dodanie odpowiednich soli. Konstrukcję opracowanego w Politechnice Poznańskiej /patent nr P 240862/ uziomu głębokiego typu otwartego przedstawiono na rys. 1.

2.2. Uziom głęboki z aktywatorem koksowym

W uziomach tych stosuje się orurowanie stalowe odwiertu na długości 10 m. W przypadku gdy cały otwór musi być orurowany i orurowanie ma pozostać w otworze, łączy się je równolegle do anod [2]. Aby zapewnić centryczne położenie anod w otworze, stosuje się urządzenie centrujące, które wraz z anodami opuszcza się przy pomocy izolowanych linek nośnych do otworu. Wolną przestrzeń wokół anod zapełnia się zasypką, którą stanowi koks hutniczy o wielkości ziaren 2-15 mm. Część otworu uziomowego nad anodami zapełnia się żwirem, co ma ułatwiać odprowadzanie anodowo wyzwalanego tlenu. W tym samym celu stosuje się często perforowaną rurę z tworzywa sztucznego.


przewód zasilający anodę
i rura nośna
Zwir
~15 m
górny poziom
zasypki wew.
orurowania
dolny poziom
zasypki na zew.
orurowania
orurowanie
z rur PVC
50-55 m
zasypka na
bazie koksu
naftowego
~35 m
anoda
perforowane
orurowanie z
rur PVC, pokryte
przewodzącą
membraną
zawór kulkowy
ϕ16
ϕ26 cm

2.3. Uziom głęboki z fluidyzowanym aktywatorem koksowym

W uziomie głębokim typu otwartego, na skutek umieszczenia anod w elektrolicie wodnym zachodzi przyspieszone zużycie materiału anod. Natomiast w uziomie z zasypką z koksu hutniczego wymiana anod np. w przypadku ich uszkodzenia, jest praktycznie niemożliwa.

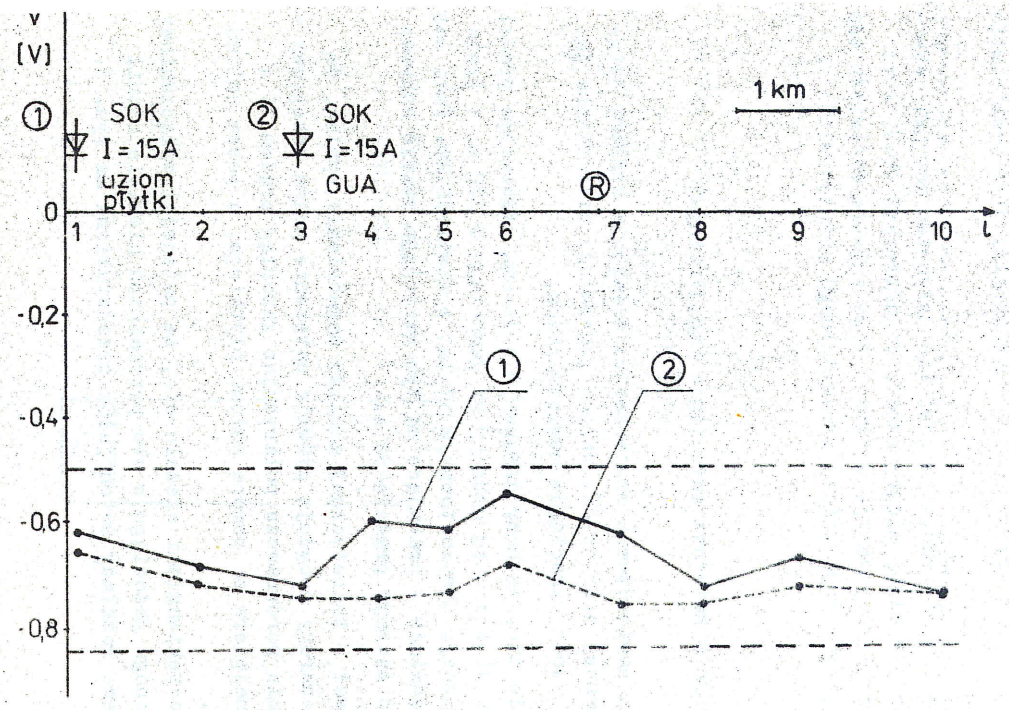
Dopiero zastosowanie dającej się upłynniać zasypki koksowej umożliwia wymianę nieprawidłowo działających anod, oraz zapewnia niską rezystancję uziomu i małe zużycie materiału anod. Konstrukcję tego typu uziomu wymienialnego przedstawiono na rys. 2.

3. Ochrona katodowa rurociągów magistralnych

W celu stwierdzenia skuteczności działania ochrony katodowej wykonanej przy użyciu uziomu głębokiego zastosowano ją do ochrony dwóch gazociągów magistralnych.

Okazało się, że przy uzyskanym z uziomu głębokiego prądzie o natężeniu 40 A zasięg ochrony na gazociągu Ø 600 m, o izolacji bitumicznej, eksploatowanym 17 lat wynosił 32 km. Taki sam zasięg zapewniały 4 pracujące na tym gazociągu stacje ochrony katodowej o łącznym prądzie 52 A.

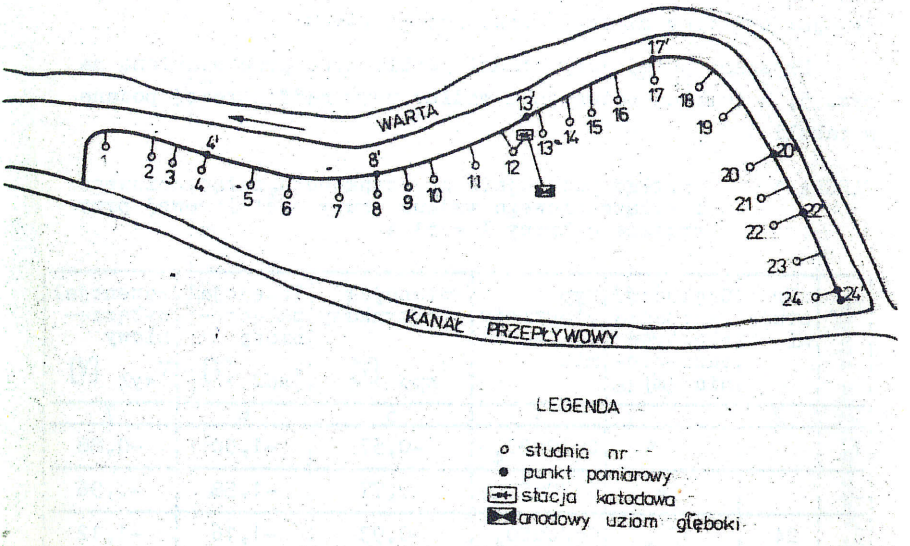
Ponieważ z teoretycznej analizy zagadnienia wynika, że o zasięgu ochrony decyduje głównie natężenie prądu przeprowadzono badania porównawcze polaryzując gazociąg prądem 15 A uzyskanym najpierw za pomocą uziomu płytkiego, a potem uziomu głębokiego.
Zgodnie z oczekiwaniami okazało się, że potencjał wyłączeniowy zabezpieczanego gazociągu w obu przypadkach niewiele różnił się. Uzyskane rozkłady potencjałów przedstawiono na rys. 3.



Rys.3. Potencjał wyłączeniowy wzdłuż wyprostowanej trasy gazociągu w przypadku działania istniejącej ochrony katodowej (1) oraz doświadczalnej ochrony z głębokim uziomem anodowym (2)

4. Ochrona katodowa studni głębinowych

Kolejny uziom głęboki zastosowano do wspólnej ochrony katodowej 24 studni głębinowych i rurociągu zbiorczego wody surowej na ujęciu wody dla m.Poznania. Plan sytuacyjny rurociągu i studni przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4 Plan sytuacyjny ochrony katodowej studni

Próbna ochrona katodowa wykonana za pomocą anod podpowierzchniowych nie dała pozytywnego rezultatu, gdyż prąd ochrony /14 A/ wpływał tylko do 4-5 najbliższych studni a przesunięcie potenc

wynosiło zaledwie 20-25 mV.

W uziomie głębokim umieszczono 14 anod z żeliwa wysokokrzemowo-chromowego i uzyskano prąd ochrony 51 A. W celu określenia skuteczności działania tego uziomu przeprowadzono pomiary potencjału elektrochemicznego rurociągu tłocznego i rur nadfiltrowych studni przy powierzchni ziemi. Dla zmierzenia rozkładu potencjału wzdłuż rury nadfiltrowej studni, umieszczono dla wybranej studni, na kilku różnych głębokościach elektrody odniesienia. Okazało się, że wraz ze wzrostem głębokości potencjał rury nadfiltrowej jest coraz bardziej ujemny. Można zatem sądzić, że jeżeli osiągnięty został potencjał ochronny obudowy studni przy powierzchni ziemi, to został osiągnięty potencjał ochronny na całej powierzchni studni.

Uzyskane potencjały studni głębinowych przedstawiono na rys. 5, a rozkład potencjału wzdłuż rury nadfiltrowej podano w tabeli 1.

TABELA 1 Rozkład potencjału spoczynkowego, załączeniowego i wyłączeniowego wzdłuż rury nadfiltrowej przy prądzie ochrony I = 51 A

Lp.	Nr studni	Głębokość zakopania elektrod odniesienia [m]	Typ elektrody odniesienia	Potencjał spoczynkowy V_{spo} [V]	Potencjał załączeniowy $V_{zał}$ [V]	Potencjał wyłączeniowy $V_{wył}$ [V]
1	2	3	4	5	6	7
1.		0	$Cu/CuSO_4$	-0,57	-1,90	-0,88
2.		5	$Cu/CuSO_4$	-0,77	-1,58	-0,96
3.	24	13	$Cu/CuSO_4$	-0,93	-1,16	-1,12
4.		13	Zn	+0,10	-0,70	-0,08
5.		23	Zn	-0,04	-0,58	-0,48

Rys. 5. Rozkład potencjałów studni

[V]

,88
,96
,12
,08
,48

W n i o s k i

1. Z uziomu głębokiego można otrzymać znacznie większe prądy aniżeli z anod powierzchniowych, co zapewnia większy zasięg ochrony i umożliwia ochronę katodową konstrukcji wymagają - cych dużych gęstości prądu ochrony.

2. Ochrona katodowa z uziomem głębokim daje bardzo równomierny rozkład potencjału na chronionej konstrukcji.

3. Dzięki zastosowaniu uziomu głębokiego możliwa jest wspólna ochrona katodowa tak złożonego obiektu jakim są studnie głębinowe wraz z rurociągiem zbiorczym.

Literatura

1. Horst W., Kozłowski J., Machczyński W., Massiel G., Sibila J.: Zastosowanie anodowych uziomów głębokich w ochronie elektrochemicznej. Materiały I Sesji Naukowej podproblemu C.2 "Ochrona elektrochemiczna", Politechnika Gdańska, Gdańsk 1983

2. Baeckmann W., Schwenk W.: Handbuch des Kathodischen Korro - sionsschutzes, Verlag Chemie, GmbH, Weinheim, 1980.

mgr. Wojciech Sokólski
Politechnika Gdańska

OCENA ZAGROŻENIA KOROZYJNEGO W POLU ODDZIAŁYWANIA PRĄDÓW BŁĄDZĄCYCH

1. Wprowadzenie

Prądy błądzące upływające do ziemi z trakcji elektrycznych i innych instalacji prądu stałego stanowią największe zagrożenie korozyjne dla podziemnych i podwodnych konstrukcji metalowych na terenie aglomeracji miejskich i przemysłowych. Szybkość korozji elektrolitycznej powodowanej przez te prądy jest wielokrotnie większa od naturalnych procesów korozyjnych przebiegających na wspomnianych konstrukcjach w środowisku ziemnym lub wodnym. Wywołana jest ona nadmierną polaryzacją anodową granicy faz metal-środowisko elektryczne wskutek przepływu zewnętrznego prądu elektrycznego. Wielkość uszkodzeń stali powodowanych przez korozję elektrolityczną jest większa niż ok. 10 kg A^{-1} rok^{-1}. Omawiane prądy są przyczyną licznych awarii korozyjnych rurociągów, kabli i zbiorników podziemnych, szczególnie w aglomeracjach miejskich, gdzie eksploatowane są trakcje elektryczne. Prądy błądzące towarzyszą nieodłącznie każdej takiej trakcji wykorzystującej szyny jezdne jako przewody powrotne zasilania.

Stopień szkodliwości prądów błądzących dla metalowych konstrukcji podziemnych, tzn. wielkość ich zagrożenia korozyjnego, zależy od wielu różnych czynników, a w szczególności od wzajemnej lokalizacji źródeł prądów błądzących i konstrukcji podziemnych, stanu technicznego obwodów powrotnych trakcji, jakości izolacji na zewnętrznych powierzchniach konstrukcji, właściwości fizyko-

chemicznych środowiskach itd. Czynniki te mogą być charakteryzowane przy pomocy wielkości elektrycznych /napięć, rezystancji, natężeń prądu/ dla poszczególnych elementów obwodu : źródła prądów błądzących - konstrukcje podziemne a także wielkości elektrochemicznych na granicy faz metal-środowisko elektrolityczne /potencjał konstrukcji, parametry kinetyczne procesów elektrodowych, gęstość prądu korozyjnego i inne/. Ponieważ bezpośrednim skutkiem przepływu prądów przez konstrukcje podziemne jest polaryzacja elektrochemiczna, towarzysząca temu zjawisku zmiana potencjału elektrodowego może być przyjęta za jakościową miarę szkodliwego oddziaływania prądów błądzących. Jednak losowy charakter zmienności pól elektrycznych wytwarzanych przez prądy błądzące, zwłaszcza w miastach, powoduje że ocena stopnia zagrożenia korozją elektrolityczną na podstawie pomiaru w/w wielkości jest złożona i wymaga specjalistycznych metod pomiarowych.

2. Kryteria zagrożenia korozją elektrolityczną

W działalności technicznej przyjmuje się, że konstrukcja podziemna jest zagrożona i wymaga ochrony przeciwkorozyjnej jeśli znajduje się w strefie oddziaływania prądów błądzących /PN-77/E-05030/. Sformułowanie to odzwierciedla słuszne przeświadczenie, że prądy błądzące stanowią największe zagrożenie korozyjne dla konstrukcji podziemnych, jednak nie sugeruje żadnego kryterium umożliwiającego oszacowanie kierunku i wielkości tego oddziaływania.

Stwierdzenie podczas pomiaru potencjału konstrukcji wahań mierzonej wielkości przyjmowane jest powszechnie jako niezbity dowód istnienie pól elektrycznych wywołanych obecnością prądów błądzących. Wyznaczenie wartości ekstremalnych i w różny

sposób obliczanych średnich z tych wahań może służyć do porównawczego określenia wielkości oddziaływań prądów błądzących w różnym czasie lub w różnych miejscach konstrukcji, co w konsekwencji umożliwia lokalizację rejonów o największym zagrożeniu korozyjnym. Należy w tym miejscu wyraźnie zaznaczyć, że brak istotnych zmian potencjału konstrukcji nie upoważnia do wyciągnięcia wniosku przeciwnego tzn. o braku oddziaływania prądów błądzących, gdyż stała wartość potencjału może być obserwowana np. przy okresowej wysokiej rezystancji układu źródło prądu - konstrukcja lub w obecności statycznych prądów błądzących. Istotnym problemem w posługiwaniu się wartościami potencjału konstrukcji jest trudność wiarygodnego wyznaczenia tej wielkości w polu elektrycznym prądów błądzących, tj. z wyeliminowaniem tzw. składowej omowej. Wśród nieliczonych metod pomiarowych nadających się do tego celu popularność zdobyła technika tzw. symulowanej elektrody, chociaż wymaga ona stosowania specjalnych punktów pomiarowych i odpowiedniej aparatury badawczej.

Wartość potencjału konstrukcji, a ściślej różnicę tego potencjału względem potencjału stacjonarnego, można przyjąć jako kryterium zagrożenia korozją elektrolityczną wyłącznie w przypadku jednokierunkowych oddziaływań prądów błądzących, tj. wywołujących jedynie polaryzację anodową lub jedynie polaryzację katodową konstrukcji, bowiem tylko w takich warunkach możliwe jest jednoznaczne stwierdzenie istnienia lub braku korozji elektrolitycznej. Omawiane zagadnienie znacznie komplikuje się przy losowo zmiennym kierunku i natężeniu przepływu prądów błądzących a więc w sytuacjach najczęściej obserwowanych w aglomeracjach miejskich i przemysłowych. Istota tego problemu związana jest z odmiennym mechanizmem procesów korozyjnych przy zmiennym

kierunku polaryzacji w stosunku do dobrze poznanych zjawisk wywoływanych przez polaryzację prądem stałym. Ponieważ anodowe i katodowe reakcje korozyjne w warunkach znakoprzemiennej polaryzacji charakteryzują się pewnym stopniem odwracalności, zależnym w decydującej mierze od właściwości fizyko-chemicznych granicy faz metal-środowisko elektrolityczne, musi istnieć określona w danych warunkach proporcja pomiędzy sumaryczną średnią polaryzacją anodową i katodową konstrukcji, przy której, pomimo silnego oddziaływania prądów błądzących, wynikowa szybkość procesu korozji elektrolitycznej jest równa zeru.

Sformułowana powyżej teza wynika z opracowanego w Politechnice Gdańskiej nowego ujęcia teoretycznego problematyki korozji elektrolitycznej, w którym prądy błądzące upływające z trakcji elektrycznych prądu stałego zostały zakwalifikowane do tzw. bipolarnych prądów nałożonych ze stochastyczną składową zmienną [1-4]. Takie podejście umożliwiło ustalenie, że korozja elektrolityczna w omawianych warunkach uzależniona jest od stosunku obu składowych: stałej i stochastycznie zmiennej a dobrą miarą charakteryzującą zagrożenie korozyjne jest współczynnik asymetrii zmian potencjału konstrukcji względem jej potencjału stacjonarnego określony wzorem:

$$\gamma = \frac{t_a}{T}$$

gdzie: t_a - czas, podczas którego występuje polaryzacja anodowa konstrukcji,

T - całkowity czas obserwacji.

Możliwość wykorzystania wyżej zdefiniowanego współczynnika asymetrii jako kryterium zagrożenia korozją elektrolityczną została szeroko sprawdzona w warunkach technicznych [5,6]. Opracowano także specjalną metodykę pomiarową i aparaturę badawczą.

3. Metodyka pomiarowa

Prądy błądzące upływające z trakcji elektrycznych prądu stałego, a także pochodzące z innych źródeł np. urządzeń spawalniczych posiadają charakter losowy. Konsekwencją tego faktu jest konieczność stosowania elementów teorii procesów stochastycznych przy realizacji wszystkich metod badawczych wykorzystywanych przy określaniu dowolnych parametrów charakteryzujących oddziaływanie prądów błądzących - począwszych od zagadnień teoretycznych, poprzez badania laboratoryjne aż do pomiarów terenowych na urządzeniach trakcyjnych i konstrukcjach podziemnych skończywszy. Badania i ocena wszystkich mierzonych wielkości w omawianych przypadkach powinna odbywać się zgodnie z zasadami pomiaru i analizy sygnałów losowych.

Zasadniczą kwestią, jaka musi być roztrzygnięta w tego typu sytuacji, jest określenie okresu próbkowania i całkowitego czasu obserwacji sygnału, np. potencjału konstrukcji, dla optymalnej z technicznego punktu widzenia dokładności oszacowania badanej wielkości. Wielkości te zależą od oczekiwanego zakresu częstotliwości w badanym sygnale pomiarowym. Na podstawie szeregu prac należy przyjąć, że w warunkach miejskich przy średnim nasileniu ruchu na trakcji tramwajowej pomiary powinny być przeprowadzane w ilości ok. 2-5 na sekundę w czasie ok. 20-30 minut. Spełnienie takich wymagań możliwe jest wyłącznie przy zastosowaniu automatyzacji procesu pomiarowego i wykorzystaniu metod numerycznych do analizy wyników.

Badanie współzależności dwóch lub więcej sygnałów losowych, tj. określenie tzw. zależności korelacyjnych, umożliwiło uzyskanie zasadniczego postępu w interpretacji oddziaływań prądów błądzących na podziemne konstrukcje metalowe [7]. Jeśli jedną

z analizowanych wielkości jest potencjał konstrukcji a drugą dowolny mierzalny parametr pola elektrycznego wywołującego polaryzację tej konstrukcji, to zależność korelacyjna pomiędzy tymi sygnałami umożliwia uzyskanie niezwykle cennych informacji o zagrożeniu korozyjnym; między innymi wartości potencjału stacjonarnego konstrukcji - wielkości niezbędnej do prawidłowego określenie wyżej zdefiniowanego współczynnika asymetrii. Widmo dwuwymiarowego rozkładu gęstości prawdopodobieństwa /graficzna ilustracja zależności korelacyjnej/ nie tylko jest stosunkowo łatwe do interpretacji, ale także stanowi doskonałą formę dokumentacji oddziaływania prądów błądzących na konstrukcje metalowe. Zmiany pola elektrycznego prądów błądzących mogą być w badaniach korelacji reprezentowana przez różne sygnały, np. potencjał elektryczny szyn, napięcie szyny - konstrukcja, spadek napięcia na powierzchni ziemi, natężenie prądu płynącego wzdłuż rurociągu, natężenie prądu w obwodach drenażowych i pomiarowych. Obliczenie wielkości charakterystycznych dla omawianej zależności korelacyjnej wymaga zastosowania technik komputerowych, chociaż dla prostych zastosowań można zadowolić się graficzną analizą np. na rejestratorze X-Y.

Obserwowany w ostatnich latach rozwój techniki mikroprocesowej umożliwia wykorzystanie zdobyczy wiedzy w tej dziedzinie do rozwoju metod pomiarowych prądów błądzących stosownie do zasad analizy sygnałów losowych, zarówno w badaniach laboratoryjnych jak również technicznych. Prace w tym kierunku prowadzone są w Politechnice Gdańskiej od kilku lat i ich wynikiem jest opracowany system pomiarowy wykorzystujący magnetyczną rejestrację i analizę zagrożeń korozyjnych w polu oddziaływania prądów błądzących.

4. Magnetyczna rejestracja pomiarów

Upowszechnienie w działalności terenowej komputerowych metod pomiarowych natrafia jeszcze na szereg trudności związanych głównie z ceną tego typu sprzętu i brakiem specjalistów. Częściowe wyeliminowanie tych niedogodności stwarza specjalnie do tego celu skonstruowany przenośny, dwukanałowy rejestrator magnetyczny, który stanowi ogniwo pośrednie pomiędzy pracami pomiarowymi w terenie a analizą wyników z zastosowaniem metod numerycznych. Jednoczesny zapis dwóch zmiennych jest wystarczający do realizacji kilkudziesięciu wariantów różnych technik pomiarowych wielkości charakteryzujących oddziaływanie prądów błądzących. Rejestrator wykonany został na bazie przenośnego stereofonicznego magnetofonu kasetowego. Mierzone napięcia w zakresach pomiarowych 60 mV - 18 V rejestrowane są na taśmie magnetofonowej poprzez modulację szerokości impulsów o częstotliwości 100 Hz. Zastosowana technika zapisu umożliwia stosowanie taśm kasetowych zwykłej jakości, przy zachowaniu dokładności odczytu lepszej niż 1%. Uproszczony schemat zasady działania rejestratora przedstawia rys. 1.

Kilkuletnia praktyka w posługiwaniu się rejestratorem magnetycznym jako narzędziem pomiarowym wskazuje na jego dużą przydatność oraz na możliwość upowszechnienia tego rozwiązania w działalności technicznej. Nadaje się on w szczególności do:

- prognozowania zagrożenia prądami błądzącymi /rozkład pól elektrycznych w ziemi/,
- oceny zagrożenia konstrukcji podziemnych /zależności korelacyjnej pomiędzy skutkiem a przyczynami przepływu prądów błądzących/,

- oceny stanu technicznego obwodów trakcji elektrycznej /rezystancja wzdłużna szyn, kabli powrotnych, rozkład potencjału szyn itd./,
- oceny skuteczności zabezpieczenia przed prądami błądzącymi /np. charakterystyki drenaży elektrycznych/.

5. Interpretacja wyników

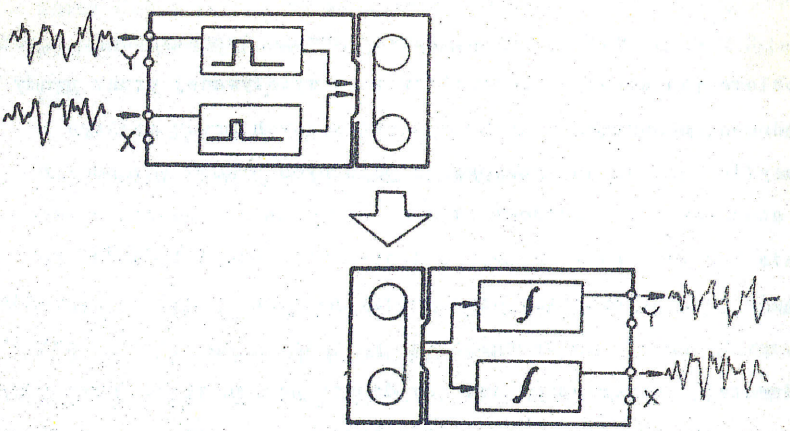
W celu należytego wykorzystania omawianej techniki oraz możliwości rejestratora magnetycznego konieczne jest stworzenie wysoce wyspecjalizowanego systemu do interpretacji zapisów magnetycznych. Schemat funkcjonowania takiego systemu zilustrowano na rys. 2. Jego zasadniczym elementem jest odpowiednio przystosowany mikrokomputer odczytujący zapisy magnetyczne i wykonujący stosowną analizę numeryczną. Pracę systemu nadzoruje grupa programów opracowanych do analizy różnego rodzaju danych pomiarowych. Zawierają one procedury obsługi rejestratora magnetycznego, przetworników analogowo-cyfrowych i pamięci komputera oraz procedury arytmetyczne i organizacji wydruków końcowych. W oprogramowaniu komputera zawarte są wieloletnie doświadczenia zgromadzone podczas badań oddziaływań prądów błądzących na konstrukcje podziemne. Przykładowy wydruk jednego z pierwszych tego typu programów o nazwie AC-KOR przedstawiono na rys. 3. Zawiera on fragmenty przebiegów czasowych obu zarejestrowanych sygnałów, histogramy i rozkłady funkcji prawdopodobieństwa, zależności korelacyjne obu sygnałów oraz wyliczone parametry. Wydruk ten jest podstawą oceny zagrożenia korozją elektrolityczną badanej konstrukcji oraz służy jako dokumentacja przeprowadzonych badań. Opisana technika jest nadal rozwijana i modernizowana w Politechnice Gdańskiej.

6. Podsumowanie

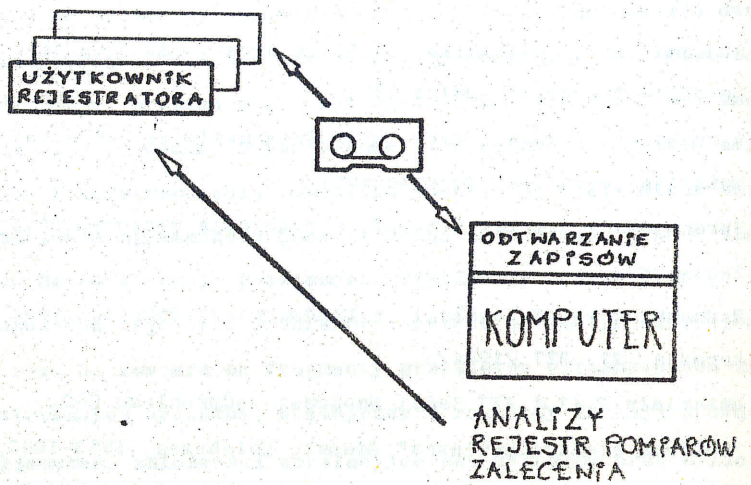
Z przedstawionego wyżej zarysu nowego teoretycznego ujęcia problematyki korozji elektrolitycznej wywoływanej przez prądy błądzące pochodzące z trakcji elektrycznych prądu stałego - klasyfikujące je do kategorii bipolarnych prądów nałożonych ze stochastyczną składową zmienną - wynika, że do oceny zagrożenia korozyjnego w znakoprzemiennym polu oddziaływania tych prądów powinny być stosowane metody pomiaru i analizy sygnałów losowych. Metody te wymagają korzystania ze specjalnej techniki badawczej i numerycznej analizy danych pomiarowych. Opracowany system mikrokomputerowy z zastosowaniem rejestracji magnetycznej stwarza możliwość szerszego wykorzystania tych metod w działalności technicznej.

7. Literatura

1. R.Juchniewicz, W.Sokólski: 8 th International Congress on Metallic Corrosion, Mainz 1981
2. R.Juchniewicz, W.Sokólski: 9 th International Congress on Metallic Corrosion, Toronto 1984.
3. Sprawozdania z pracy C.2.P.1. w problemie węzłowym 05.3, 1981-1985.
4. R.Juchniewicz, W.Sokólski, W.Bohdanowicz: Ochrona przed korozją, 27, 227 /1984/.
5. Materiały I,II i III Sesji Naukowej Podproblemu C-2, "Ochrona elektrochemiczna" Gdańsk, Kołobrzeg, 1983-1985.
6. R.Juchniewicz, W.Sokólski: Materials Perform. 24, No 7, 26 /1985/.
7. R.Juchniewicz, W.Sokólski: Corrosion 86, Paper No 38, 1986.



Rys.1. Ogólny schemat funkcjonowania rejestratora magnetycznego z modulacją szerokości impulsów



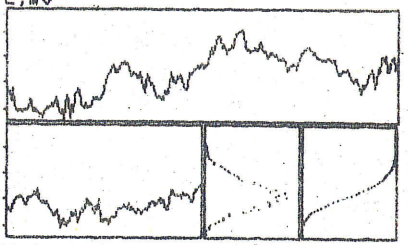
Rys.2. Schemat systemu pomiarowego z wykorzystaniem rejestratorów magnetycznych i komputerowej analizy zagrożenia korozyjnego wywoływanego przez prądy błądzące

Zakład Technologii Zabezpieczeń Przeciwkorozyjnych ICHiTN PG

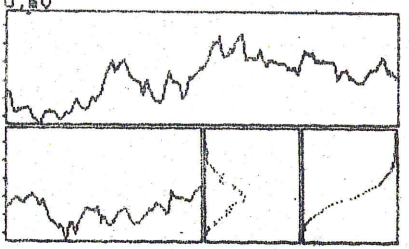
ANALIZA POMIARÓW KOROZYJNYCH
ODDZIAŁYWANIA PRĄDÓW BŁĄDZĄCYCH
PROGRAM AC-KOR wersja 1.0

Zapis : 10/1 86.04.08.
Bydgoszcz, ul.Toruńska
K 517-518

Kanał Y : POTENCJAŁ KONSTRUKCJI
Skala 200 mV ΔE= 830 mV
Emax= -48 mV Emin= -878 mV
Eśr.= -549 mV s(E)= 116 mV
E,mV

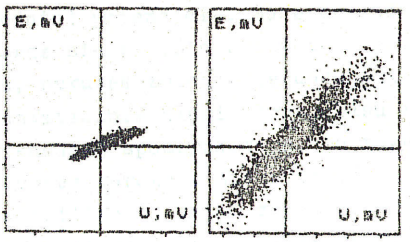


Kanał X : NAPIĘCIE WZGL. ŹRÓDŁA
Skala 1000 mV ΔU= 5900 mV
Umax= 3540 mV Umin= -2360 mV
Uśr.= 113 mV s(U)= 927 mV
U,mV



KORELACJA : POTENCJAŁ - NAPIĘCIE

Ilość odczytów	4000
Wsp.kor. x1000	912
Potencjał st.	-562 mV
Nachylenie	114 mV/V
Składowa stała	13 mV
Wsp. asymetrii	52 %



Skala	Skala
y: 1000 mV	y: 200 mV
x: 5000 mV	x: 1000 mV

Rys.3. Wydruk analizy komputerowej - AC-KOR

Twardosz Grzegorz
Instytut Elektrotechniki Przemysłowej
POLITECHNIKA POZNAŃSKA

WPŁYW ZMIENNOŚCI POLARYZACJI NA INTENSYWNOŚĆ PROCESÓW KOROZYJNYCH STALI

Wprowadzenie

W strefie oddziaływania prądów błądzących ocenę stopnia zagrożenia korozyjnego metalowych konstrukcji podziemnych przeprowadza się w oparciu o przepisy zawarte w PN-77/E-0530/ /00 i PN-77/E-05030/01 [1-2], obliczając wartość średnią potencjału badanej konstrukcji podziemnej na podstawie pomiaru prowadzonego w ciągu co najmniej 20 minut. Jeżeli wartość średnia potencjału jest bardziej ujemna od wartości potencjału spoczynkowego, to przyjmuje się, że nie następuje korozyjne zagrożenie urządzenia. Gdy wartość średnia potencjału jest bardziej dodatnia od wartości potencjału spoczynkowego, przyjmuje się, że występuje zagrożenie metalowej konstrukcji podziemnej. Podane kryterium oceny stopnia zagrożenia korozyjnego metalowych konstrukcji podziemnych przez prąd błądzący budzi szereg wątpliwości w przypadku występowania znakoprzemiennych wartości potencjału w stosunku do wartości potencjału spoczynkowego. Dziuba niejednokrotnie [3-4] zwracał uwagę, że w takim przypadku ocena stopnia zagrożenia, oparta wyłącznie na wartości średniej potencjału, może prowadzić do znacznych błędów. Nie bierze się w ogóle pod uwagę faktu, że gdy potencjał urządzenia, wskutek zmiany kierunku prądu błądzącego, przyjmuje na dostatecznie długi okres czasu wartości bardziej dodatnie od potencjału spoczynkowego, to może występować zjawisko intensywnej korozji. Nie uwzględnia się też możliwego wpływu częstotliwości zmian znaku potencjału względem potencjału spoczynkowego, czy wreszcie zakresu zmian potencja

Zaletę polskich przepisów jest natomiast wielka prostota obliczania wyniku pomiaru potencjału i całkowita jednoznaczność jego interpretacji.
Szersze badania zjawiska wpływu prądu zmiennego na intensywność procesów korozyjnych prowadzili tylko nieliczni. Wymienić tu można prace Fuchsa i in. [5], Michajłowskiego [6-7], oraz Sokólskiego [8].
W przepisach RFN, czechosłowackich, radzieckich i angielskich brak jest wskazówek co do sposobu interpretacji wyniku pomiaru potencjału w przypadku występowania znakoprzemiennych wartości potencjału w stosunku do potencjału spoczynkowego.

W normie NRD [9] podano, że w strefie występowania znakoprzemiennych wartości potencjału metalowej konstrukcji podziemnej w stosunku do wartości potencjału spoczynkowego korozyjne zagrożenie nie wystąpi, jeżeli anodowy udział prądu wymiany /polaryzacja anodowa/ nie przekracza 30 % w stosunku do całkowitej polaryzacji.
Anodowy udział prądu wymiany jest to stosunek sumy dodatnich powierzchni w odniesieniu do wartości potencjału spoczynkowego do całkowitej powierzchni określonej przez przebieg zmian potencjału konstrukcji względem elektrody odniesienia w czasie trwania pomiarów. W normie nie podano jednak sposobu obliczania tego współczynnika.

Przedmiotem pracy są badania laboratoryjne nad wpływem szybkości zmian kierunku prądu płynącego przez próbkę oraz wpływem zmian amplitudy prądu na intensywność procesów korozyjnych stali.

Zakres i metodyka badań

Wpływ prądu zmiennego na polaryzację elektrod, w tym i na intensywność procesów korozyjnych, badano w warunkach laboratoryjnych na próbkach stalowych. Badania właściwe poprzedzono badaniami wstępnymi, w których określono:

- sposób przygotowania próbek do badań,
- czas trwania badań,
- sposób prowadzenia badań właściwych,
- dokładność i precyzję metody badawczej.

W ramach badań wstępnych przeprowadzono próby ślepe i bez polaryzacji, jako porównawcze przy kontroli ubytków masy. W badaniach właściwych stosowano próbki wykonane ze stali St-3, okrągłe o powierzchni jednostronnej 20 cm^2 oraz grubości 1 mm. Elektrolitem była ciecz naturalna tzn. woda wodociągowa z sieci miejskiej m.Poznania. Czas trwania badań właściwych był równy 168 h. Jako elektrodę pomiarową zastosowano nasyconą elektrodę kalomelową typu KPS-65-K602. Elektrodą pomocniczą był drut platynowy. Badania właściwe prowadzono dla trzech różnych częstotliwości zmian składowej przemiennej napięcia polaryzującego elektrodę badaną, a mianowicie: 0,1; 0,01 oraz 0,001 Hz. Są to częstotliwości zmian spotykane w praktyce. Przy każdej z badanych częstotliwości wykonywano po 4 serie pomiarów. Na każdą serię badań składało się 6 równolegle i w takich samych warunkach przeprowadzanych prób. Żądane zmiany potencjału elektrody badanej uzyskiwano dzięki szeregowemu połączeniu zasilacza stabilizowanego z tranzystorowym generatorem funkcyjnym.
Badania obejmowały:

- pomiary potencjałów polaryzowanych elektrod stalowych,
- pomiary natężenia prądu płynącego przez badane elektrody,
- określenie ubytków wagowych i szybkości korozji elektrod,
- obserwacje wizualne elektrod w czasie trwania badań i po ich zakończeniu.

Szczegółowy opis metodyki badań podano w [10].

Wyniki badań i ich omówienie

Najważniejsze uzyskane wyniki badań szybkości korozji stali St-3 polaryzowanej prądem zmiennym o różnej częstotliwości przedstawiono w formie graficznej na rys. 1-6.

Na rys. 1 przedstawiono typowe przebiegi zmian potencjału próbki i prądu płynącego przez próbkę dla częstotliwości zmian prądu 0,1 Hz. Zakreskowane pola oznaczają strefę anodową, tj. przepływ prądu od próbki do elektrolitu, oraz potencjał próbki bardziej dodatni od potencjału spoczynkowego. Charakter zmian przebiegów potencjału i prądu z rys. 1 jest identyczny. Wynika stąd, że elektrodę badaną można traktować jako rezystancję. Identyczność kształtów przebiegów potencjału i prądu płynącego przez próbkę z kształtem napięcia polaryzującego układ elektroda badana - elektroda pomocnicza może wskazywać, że pod wpływem okresowych zmian kierunku prądu uległa zakłóceniu elektryczna warstwa podwójna [11]. Analiza przebiegów pozwala również na wyciągnięcie wniosku, że wartość chwilowa potencjału próbki określa jednoznacznie kierunek przepływu prądu przez próbkę.

Zjawiska interpretowanego jako przebicie elektrycznej warstwy podwójnej nie zaobserwowano dla częstotliwości zmian prądu płynącego przez próbkę równych 0,01 i 0,001 Hz. Przykładowe przebiegi zmian potencjału elektrody oraz prądu płynącego przez próbkę dla częstotliwości 0,01 Hz przedstawiono na rys. 2. Przebiegi zmian prądu płynącego przez próbkę wskazują wyraźnie na charakter czynno-pojemnościowy układu elektroda badana-elektrolit. Z analizy przedstawionych przebiegów wynika ważny wniosek praktyczny. W strefie występowania znakoprzemiennych wartości potencjału próbki w stosunku do potencjału spoczynkowego znak potencjału nie określa jednoznacznie kierunku prądu płynącego przez elektrodę. Pomimo tego że prąd wypływa z elektrody do elektrolitu, wartość potencjału jest bardziej ujemna od potencjału spoczynkowego. Odmienność przebiegów dla częstotliwości 0,01 i 0,001 Hz jest

bardzo interesująca i wyjaśnienie tego zjawiska wymaga dalszych badań.

Na rys. 3 przedstawiono zależność pomiędzy szybkością korozji k, a wartością średnią całookresową $V_{śr}$ potencjału próbki dla różnych częstotliwości. Jest to więc zależność szybkości korozji od kryterium zagrożenia przyjętego w przepisach PN-77/E-05030. Z przebiegów wg rys. 3 wynika, że przy częstotliwości 0,1 Hz szybkość korozji rośnie wraz z przesuwaniem się potencjału próbki w stronę dodatnią, co potwierdza słuszność sposobu oceny niebezpieczeństwa korozji przyjętego w PN. Ale dla niższych częstotliwości, tj. 0,01 i 0,001 Hz zależność jest odwrotna, szybkość korozji rośnie wraz ze wzrostem ujemnego potencjału próbki. Oznacza to, że kryterium zagrożenia korozją podane w PN traci sens w niektórych przypadkach występowania znakoprzemiennych potencjałów stali w stosunku do potencjału spoczynkowego.
Wyniki badań przedstawionych na rys. 3 dowiodły więc, że kryterium podane w PN nie może być traktowane jako uniwersalne, ponieważ w niektórych przypadkach może prowadzić do całkowicie błędnej oceny faktycznego stanu zagrożenia.

Na rys. 4 przedstawiono przebieg zależności pomiędzy szybkością korozji a wartością całookresową $I_{śr+}$ prądu wypływającego z próbki do elektrolitu, czyli prądu upływu.
Z przedstawionych przebiegów wynika ogólna prawidłowość, że w miarę zwiększania się wartości natężenia prądu upływu zwiększa się szybkość korozji. Jest to zgodne z wynikami badań Fuchsa i in. [5], a także tłumaczy przebiegi dla 0,01 i 0,001 Hz podane na rys. 3.

Wartości średnie natężenia prądu upływu dla częstotliwości 0,01 i 0,001 Hz są znacznie mniejsze od wartości natężenia prądu anodowego dla częstotliwości 0,1 Hz przy takim samym ubytku masy. Pozwala to na wyciągnięcie wniosku, że na szybkość korozji ma wpływ nie tylko wartość prądu, lecz także czas trwania impulsu anodowego. Wniosek ten jest zgodny z wynikami badań Michajlovskiego [6-7].

Na podstawie rys. 4 można także wyciągnąć wniosek, że przy tej samej wartości natężenia prądu szybkość korozji maleje w miarę wzrostu częstotliwości. Jest to zgodne z wynikami badań Fuchsa i in. [5].

W celu porównania wyników badań z przepisami [9] przedstawiono na rys. 5 zależność pomiędzy szybkością korozji, a tzw. anodowym udziałem prądu wymiany. Wyniki badań uzyskane przez autora nie potwierdziły słuszności kryterium oceny zagrożenia korozyjnego podanego w przepisach NRD. Jest to szczególnie widoczne dla częstotliwości 0,01 i 0,001 Hz. Np. dla częstotliwości 0,01 Hz, stosując kryterium podane w przepisach [9], uznaje się za nieistotny 9-krotny wzrost szybkości korozji w stosunku do szybkości korozji w warunkach stacjonarnych. Jak widać, zasadniczą wadą kryterium zagrożenia korozyjnego podanego w przepisach NRD jest nieuwzględnienie wpływu częstotliwości.

Na rys. 6 przedstawiono zależność pomiędzy szybkością korozji a wartością średnią całookresową potencjału bardziej dodatniego od potencjału spoczynkowego, liczoną względem potencjału spoczynkowego. Przebieg tej zależności dla badanych częstotliwości ma charakter analogiczny, co pozwala przypuszczać, że właśnie ta wartość może stanowić podstawę do określenia kryterium oceny zagrożenia korozyjnego. Zależność $k = f / \Delta V_{śr+} /$ jest funkcją potęgową o postaci:

$$k = a / \Delta V_{śr+} /^{b} \qquad /1/$$

Ponieważ współczynniki a i b przyjmują różne wartości dla różnych częstotliwości, oznacza to, że są one funkcją częstotliwości. Okazało się, że są one funkcją liniową 1/f. Poprawnośc wzoru /1/ sprawdzono dla częstotliwości 0,05 i 0,005 Hz. Wartości teoretyczne szybkości korozji były większe od rzeczywiście występujących nie więcej niż kilkanaście procent.

Jest dyskusyjne kiedy należy uznać, że zagrożenie korozyjne, scharakteryzowane przez wartość szybkości korozji, powodowane

prądami błądzącymi należy uznać za istotne.

Uzyskane wyniki wskazują na odmienność mechanizmu procesu elektrodowego w przypadku występowania znakoprzemiennych wartości potencjałów w stosunku do wartości potencjału spoczynkowego w porównaniu z mechanizmem procesu elektrodowego zachodzącym przy polaryzacji napięciem stałym.

Zaprezentowane wyniki podważają słuszność przyjętego w PN-77/E-05030 sposobu oceny niebezpieczeństwa korozji konstrukcji na podstawie obliczonej wartości średniej potencjału tej konstrukcji.

Z przedstawionej dyskusji wydaje się, że wartość średnia całookresowa potencjału bardziej dodatniego od potencjału spoczynkowego i częstotliwośćzmian kierunku prądu są najistotniejszymi czynnikami wpływającymi na szybkość korozji w strefach występowania znakoprzemiennych wartości potencjału w stosunku do wartości potencjału spoczynkowego. Uzyskane wyniki pozwoliły na wyprowadzenie zależności funkcyjnej pomiędzy w/w wielkościami a szybkością korozji.

Szybkość korozji obliczana wg wzoru /1/ może służyć jako dobry wskaźnik zagrożenia korozyjnego powodowanego prądem błądzącym, ponieważ pozwala na określenie ilościowej zależności pomiędzy współczynnikiem k a $\Delta V_{śr+} \cdot f$. Wielkości $\Delta V_{śr+}$ i f można określić po zarejestrowaniu przebiegu zmian potencjału urządzenia względem elektrody odniesienia. Dotychczasowe badania ograniczone były do stali St-3 i kilku częstotliwości zmian kierunku prądu płynącego przez badaną próbkę. Wniosków z niniejszej pracy nie można dlatego uogólnić na pozostałe materiały środowiska i częstotliwości bez przeprowadzenia dalszych badań.
Badania takie są kontynuowane w Politechnice Poznańskiej.

LITERATURA

1. PN-77/E-05030/00. Ochrona przed korozją. Ochrona katodowa. Wspólne wymagania i badania.

2. PN-77/E-05030/01. Ochrona przed korozją. Ochrona katodowa. Ochrona metalowych konstrukcji podziemnych.

3. Dziuba Wł.: Niektóre aspekty pomiaru potencjału konstrukcji metalowej względem ziemi. Ochrona przed Korozją. 1975/11

4. Dziuba Wł.: Ocena niebezpieczeństwa korozji metalowej konstrukcji podziemnej w strefie oddziaływania prądów błądzących w świetle niektórych norm i przepisów. Ochrona przed Korozją. 1978/5.

5. Fuchs W., Steinrath, Tarnes H.: Corrosion of iron by alternating current with relation to current density and frequency. Das Gas und Wasserfach. 1958/1

6. Michajlovskij J.N.: Korrozija metallov pod dejstviem peremennogo toka v premesivaemych sredach. Žurnal Fizičeskoj Chimii. 1964/4

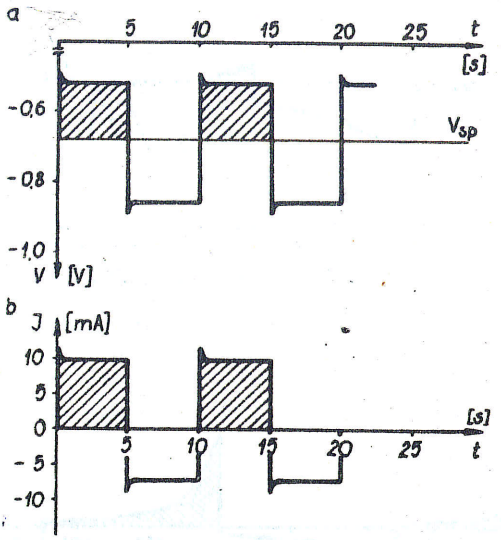
7. Michajlovskij J.N.: Korrozija metallov pod dejstviem peremennogo toka v elektrolitičeskich sredach. Trudy III Meždunarodnovo Kongresa Korrozii Metallov. Moskva 1966

8. Sokólski W.: Praca doktorska. Politechnika Gdańska, 1980

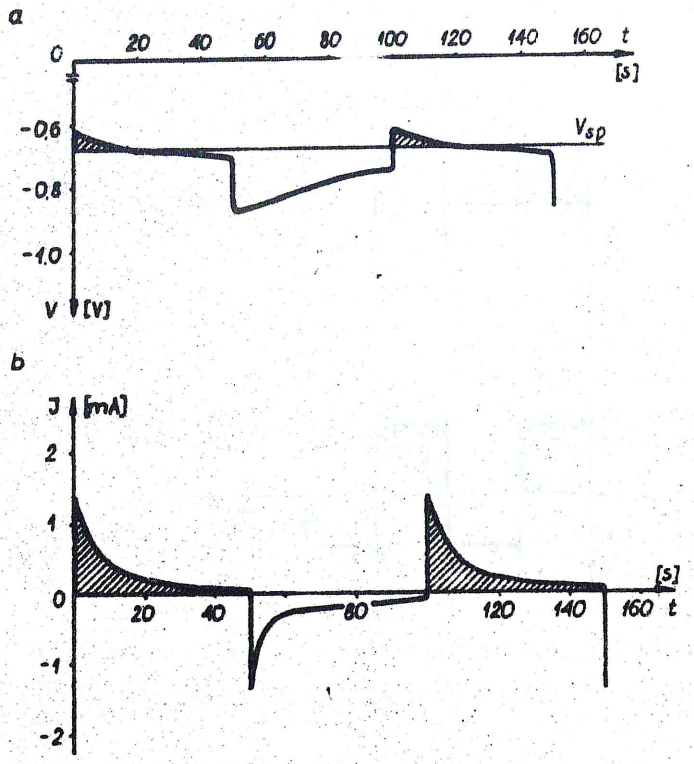
9. TGL 18790. Schutz metallener Objekte vor Streustromkorrosion durch Gleichspannungsanlagen. 1980

10. Twardosz G.: Praca doktorska. Politechnika Poznańska, 1983

11. Aksielrud G.A., Mołczanow A.D.: Rozpuszczanie ciał stałych. WNT. Warszawa 1981, s. 207.



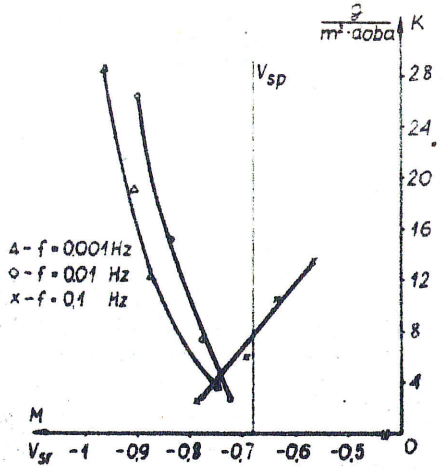
Rys.1 Przebiegi zmian potencjału próbki /a/ i prądu /b/ płynącego przez próbkę w funkcji czasu dla f = 0,1Hz



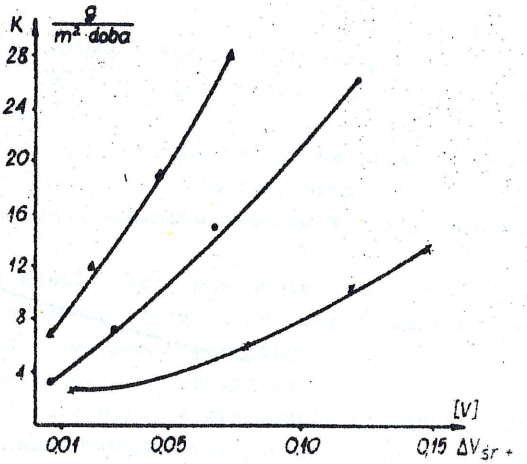
Rys.2 Przebiegi zmian potencjału próbki /a/ i prądu /b/ płynącego przez próbkę w funkcji czasu dla f = 0,01Hz

Rys.3

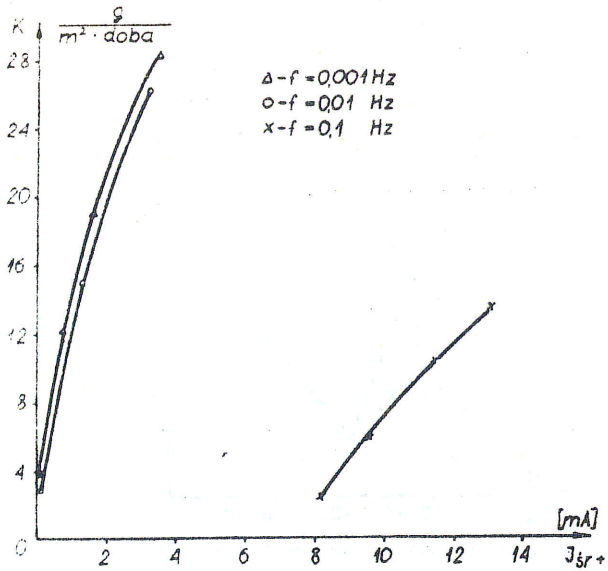
Rys.6



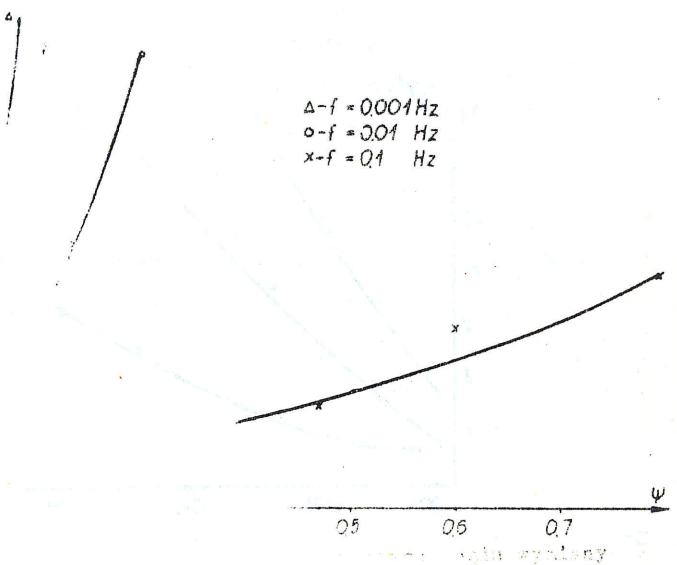
Rys.3 Szybkość korozji stali St-3 w funkcji wartości średniej całookresowej potencjału



Rys.6 Szybkość korozji stali St-3 w funkcji wartości średniej całookresowej potencjału bardziej dodatniego od potencjału korozyjnego liczonej względem potencjału korozyjnego



[illegible] stali St-3 w funkcji wartości średniej prądu



[illegible] wyniany

dr Zofi

Metody i

1. Wprow

Hutni
cach
Metoda
łaczar
Nowe p
nia me
powłok
Prawid
nie wł

- być
- wyst
brak
czać
- małą
- plas
dosta
gu w
- odpow
nie u
ładun
ciągu
Powło
natom
grunt
- wysok
cych
jącycl
niw wy

dr Zofia Wróblewska

Metody i przyrządy do badania jakości powłok z tworzyw sztucznych

1. Wprowadzenie

Hutnictwo krajowe od kilku lat produkuje rury stalowe o średnicach od 57 do 219 mm powlekane polietylenem metodą wytłaczania. Metoda polega na nałożeniu polietylenu wychodzącego z głowicy wytłaczarki bezpośrednio na rury stalowe.

Nowe pokrycia ochronne wykonane z polietylenu wymagały opracowania metod badań i przyrządów do kontroli jakości wytworzonych powłok.

Prawidłowo wykonana powłoka izolacyjna winna posiadać odpowiednie własności fizyko-mechaniczne:

- być szczelną - powłoka nie powinna posiadać pęknięć i por,
- wystarczającą przyczepność do powierzchni rury, a w przypadku braku przyczepności do ścianki rury, pokrycie winno nie dopuszczać do migracji wilgoci i powietrza pod powłokę,
- małą nasiąkliwość wodą,
- plastyczność zapewniającą ciągłość pokrycia. Pokrycie winno być dostatecznie elastyczne, aby nie pękało przy wyginaniu gazociągu w czasie montażu,
- odpowiednią wytrzymałość mechaniczną uniemożliwiającą powstawanie uszkodzeń rur w czasie transportu, przy załadunku oraz wyładunku i zapobiegającą uleganiu pękania w czasie montażu gazociągu.

  Powłoki w trakcie eksploatacji nie powinny ulegać deformacji, natomiast winny wykazywać zdolność do przyjmowania obciążeń gruntu po ułożeniu i zakopaniu gazociągu,
- wysoką rezystancję powłoki utrudniającą przepływ prądów błądzących oraz prądów pochodzących z mikroogniw galwanicznych powstających w wyniku niejednorodności struktury metalu oraz makroogniw wywołanych zróżnicowaniem środowiska.

Dla zapewnienia właściwej jakości pokrycia winna być prowadzona kontrola powłok izolacyjnych we wszystkich fazach budowy wizualnie oraz przy pomocy przyrządów.

2. Metody badań stosowane przez Hutę im. Lenina

W Polsce metody badań powłok polietylenowych zostały ujęte normą zakładową Huty im. Lenina.
Norma podaje podstawowe metody badań, a mianowicie: oznaczenie grubości, porowatości i przyczepności.
Badanie grubości przeprowadza się metodami niedestruktywnymi przy pomocy odpowiednich przyrządów umożliwiających wykonanie pomiaru z dokładnością ± 10 %.
Badanie porowatości przeprowadza się wysokonapięciowym poroskopem iskrowym TPI przy napięciu probierczym dobranym odpowiednio do grubości powłoki izolacyjnej zgodnie z wzorem:

$$U = 7{,}84 \sqrt{t}$$

gdzie: U - napięcie probiercze, kV
t - grubość powłoki, mm

Pomiar ten pozwala na wykrycie niewidocznych gołym okiem porów i szczelin.
Przyczepność powłoki oznacza się przez nacięcie dwukrotne na całym obwodzie rury paska izolacji o szerokości 50 mm. Pasek należy przeciąć równolegle do osi rury i oderwać na obwodzie w zakresie 45°. Do paska przymocować obciążnik o masie 2 kg oraz zmierzyć czas odrywania aż do najniższego punktu. Czas odrywania winien wynosić co najmiej 0,4 D minut, przy czym D wyraża średnicę rury w centymetrach.
Sposób oznaczania przyczepności przedstawiono na rys. 1.
Wymienione metody badań nie w pełni określają jakość pokrycia ochronnego.
Normy zagraniczne NRD, RFN i ASTM ujmują szerszy zakres badań, a mianowicie:
- wytrzymałość na uderzenie,
- odporność na wgniatanie,
- określenie nasiąkliwości wodą,
- odrywanie powłoki pod wpływem prądu ochrony katodowej.

Podane właściwości badane są metodami, które mogą być przeprowadzone w warunkach ruchowych /dla kontroli produkcji/, i na budowie oraz w warunkach laboratoryjnych na rurach izolowanych fabrycznie.

3. Metody badań ustanowione normami zagranicznymi

3.1. Przyczepność

Metoda badań przyczepności podana przez normę ZN-80/0648-17 oparta jest o normę RFN - DIN 30670, przy czym zgodnie z normą DIN zalecana metoda odnosi się do rur o średnicy powyżej 100 mm. Dla rur o średnicy do 100 mm siłę przylegania oznacza się przez odrywanie paska izolacji przy pomocy maszyny wytrzymałościowej. Pasek o szerokości 50 mm przecięty prostopadle do osi rury zostaje oderwany od niej na długości 20 mm i zamocowany w maszynie wytrzymałościowej, która odrywa izolację od rury z prędkością 10 mm/min. zapisując równocześnie na wykresie wartość siły odrywającej.
Przyrząd do badania siły przylegania przedstawia rys. 2.
Otrzymany wykres należy splanimetrować odrzucając pierwsze i ostatnie 20 mm i obliczyć średnią wartość przyczepności:

$$M = \frac{A}{l_o} \quad cm$$

gdzie:
M - średnia wysokość wykresu, cm
A - powierzchnia, cm^2
l_o - długość,cm

Norma NRD - TGL 31663 zaleca oznaczanie przyczepności przez wyznaczanie siły przylegania przy pomocy maszyny wytrzymałościowej analogicznie jak norma DIN 30670.

3.2. Wytrzymałość na uderzenie

Norma DIN 30670 zaleca wykonanie próby wytrzymałości na uderzenie przez swobodne spadanie grota z wysokości 1 m na badaną powłokę. Masa grota metalowego uzależniona jest od grubości

powłoki. Grot wykonany jest ze stali o twardości 48 HRC, czoło grota uderzające w powłokę izolacyjną rury zakończone jest czaszą kulistą o średnicy 25 mm. Minimalna praca jaką wykonać ma spadający grot wynosi 5 Nm na każdy milimetr grubości powłoki.

Normy TGL i ASTM podają podobne metody badań oparte o wyznaczenie odporności powłoki pod wpływem swobodnie spadającego grota z odpowiedniej wysokości i sprawdzeniu szczelności powłoki wysokonapięciowym poroskopem.

Poszczególne metody badań różnią się ciężarem grota i wysokością jego spuszczania na powłokę.

Norma TGL 31669 zaleca stosowanie grota o masie wynoszącej 1,150 kg zakończonego czaszą kulistą o promieniu 12,5 mm. Wysokość spadania grota obliczona jest z minimalnej pracy jaką wykonać ma spadający grot, tj. 12 Nm.

Norma ASTM G 14 - 69 T przyjmuje grot o masie 1,36 kg zakończony półkulistą czaszą o średnicy 15,8 mm. Grot spuszczany jest na powłokę z wysokości od 0,61 m do 1,22 m. Powłoka powinna wytrzymywać energię uderzenia spadającego grota z wysokości 0,91m. Dla ustalenia wymaganej wysokości wystarczającej do spowodowania uszkodzenia powłoki należy odpowiednio obniżać lub podnosić wysokość zrzutów, po czym należy obniżyć o 50% wysokość zrzutu i kontynuować badanie aż do wyznaczenia wysokości, przyktórej nie wystąpi uszkodzenie w powłoce.
Po przeanalizowaniu powyższych metod badań stwierdzono, że norma DIN - 30670 podaje najdogodniejszą metodę badań umożliwiającą porównywanie wyników i łatwą ich interpretację. Dlatego też w oparciu o tę normę opracowano metodę badania dla krajowych pokryć polietylenowych.
Badanie przeprowadza się na przyrządzie przedstawionym na rys.3 Stosowany do badań grot posiada masę 1150 g ± 10 g. wykonany jest ze stali o twardości 48 HRC. Czoło grota uderzające w powłokę izolacyjną rury zakończone jest czaszą kulistą o średnicy 25 mm.

Minimalna praca jaką ma wykonać spadający grot wynosi 5 Nm na każdy mm grubości powłoki. Długość badanej próbki wynosi min. 700 mm. Minimalna odległość między sąsiednimi uderzeniami grota wynosi 30 mm, a na obwodzie rury można wykonać 3 pun-

kty pomiarowe co 120°.
Dla jednego rodzaju powłoki należy wykonać 60 do 100 pomiarów. Firma zachodnioniemiecka Fusch stosuje 60 uderzeń grota.

Po wykonaniu uderzeń grota w powłokę izolacyjną rury należy poddać ją badaniu szczelności poroskopem wysokonapięciowym o napięciu 25 kV i porównać wyniki z wykresem podanym na rys. 4 sporządzonym na podstawie zasad statystyki, z którego wynika, że należy wykonać tyle uderzeń w powłokę izolacyjną rury, aby ilość uszkodzonych punktów powłoki, które wykazały negatywny wynik próby napięciowej leżała w obszarze A /Wynik pozytywny próby/ lub C /wynik negatywny/. Jeżeli liczba przebitych punktów pomiarowych leży w obszarze B, to badanie powtarza się aż do osiągnięcia obszaru A lub C.

3. 3. Odporność na wgniatanie

Odporność na wgniatanie określana jest głębokością wgniecenia grota przy odpowiednim nacisku.

Norma NRD TGL - 31670 stosuje grot o masie 2,5 kg, który zakończony jest współosiowo iglicą o średnicy 1,8 mm, wykonaną ze stali o twardości 48 HRC, przy czym czoło iglicy jest zeszlifowane. Badaną powłokę umieszcza się w przyrządzie wyposażonym w czujnik zegarowy, który służy do pomiaru głębokości wgniatania grota w powłokę izolacyjną. Czas trwania pomiaru wynosi 24 godziny, a głębokość wgniecenia nie może przekraczać 0,25 mm.

Norma RFN - DIN - 30670 zaleca przeprowadzenie badań conajmniej na pięciu rurach. Jeżeli jedna z próbek nie spełnia wymagań, badania powtarza się na dziesięciu próbkach. Stosowany grot do badań składa się z pręta metalowego o masie 250 g i dodatkowych obciążników. Na dolnym końcu pręta znajduje się współśrodkowo trzpień o średnicy 1,8 mm /o powierzchni 2,5 mm^2/. Całkowity ciężar wynosi 2,5 kg, a zatem nacisk wywierany na powłokę izolacyjną wynosi 10 N/mm^2.

Przed przystąpieniem do badań rurę poddaje się kąpieli wodnej w temperaturze 25°C i po 1 godzinie przykłada się grot z czujnikiem zegarowym do powłoki izolacyjnej rury przy nałożeniu dodatkowego ciężaru 2,25 kg. Głębokość wgniecenia

mierzy się czujnikiem zegarowym odczytując wartość po 24 godzinach.

Głębokość wgniecenia grota w powłokę nie powinna przekraczać wartości :

- 0,3 mm dla powłok wykonanych metodą wytłaczania,
- 0,15 mm dla powłok wykonanych metodą spiekania.

Norma USA - ASTM - G 17 - 71 T podaje przyspieszoną metodę badań względnej wytrzymałości powłoki na wgniatanie pod wpływem nacisku wywieranym przez płaski pręt z określoną siłą. 3.4.

Głębokość wgniatania spowodowana przez obciążony tępy koniec grota przyłożony do powłoki izolacyjnej rury stalowej jest mierzona przez określony czas przy pomocy czujnika mikrometrycznego. Odczyt głębokości dokonuje się trzykrotnie w określonych odstępach czasu.

W oparciu o podane normy została opracowana metoda badania wytrzymałości na wgniatanie dla powłok krajowych.

Przyrząd do badania odporności na wgniatanie przedstawiono na rys. 5.

Długość badanej próbki winna wynosić conajmniej 60 mm. Pomiar należy wykonać na pięciu próbkach.

Grot stosowany do badań o masie 2,5 kg jest zakończony współosiowo iglicą o średnicy 1,8 mm wykonaną ze stali o twardości 48 HRC.

Czoło iglicy zeszlifowane jest prostopadle do jego osi. Powierzchnia czoła iglicy wynosi 2,5 mm^2, a więc podczas badania grot wywiera nacisk na powłokę izolacyjną o wartości 10 N/mm^2.

Badaną powłokę umieszcza się na pryźmie, na której spoczywa również statyw z czujnikiem zegarowym i uchwyt utrzymujący grot w pozycji pionowej. Na próbce leżącej w pryźmie umieszcza się nad osią rury grot w uchwycie, który zapewnia utrzymanie go w pozycji pionowej przy jednoczesnym zapewnieniu swobodnego spoczynku grota całym swoim ciężarem na powłoce izolacyjnej rury.

Natomiast końcówka czujnika zegarowego zamocowanego na statywie ma spoczywać na górnej płaszczyźnie grota, prostopa-

dżej do jego osi. Ustawiając końcówkę czujnika zegarowego na grocie należy spowodować wstępny naciąg sprężyny mechanizmu czujnika do wartości 5 mm i wyzerować.

Pomiar trwa 24 godziny, po czym należy odczytać wskazania czujnika. W przypadku przekroczenia dopuszczalnego wgniecenia przynajmniej jednej z próbek wynik badania uważa się za negatywny.

3.4. Określenie nasiąkliwości wodą

Badanie nasiąkliwością wodą powłok izolacyjnych podaje norma ASTM - G 9 - 69 T. Metoda polega na wyznaczeniu szybkości i głębokości penetracji wody przez powłokę izolacyjną przez pomiar pojemności elektrycznej.

Pomiar pojemności przeprowadza się przy zastosowaniu mostka Scheringa, który zasila się prądem przemiennym o częstotliwości 1 kHz i napięciu 30V.

Po określeniu średnicy rury, grubości powłoki i długości zanurzenia badanej próbki, mierzy się stałą dielektryczną powłoki K_o. W tym celu do naczynia pomiarowego wlewa się rtęć do wysokości górnej powierzchni czapy. Czapa znajduje się w dolnej części rury odizolowując rurę od elektrolitu. Następnie włącza się mostek Scheringa pomiędzy elektrodę wykonaną z nierdzewnej stali, zanurzoną w rtęci i badaną rurę i mierzy się pojemność dolnej czapy rury C_c. Następnie dolewa się rtęci aż do zaznaczonego poziomu zanurzenia i powtórnie mierzy się pojemność rury C_o.

Z otrzymanych wyników pomiarów oblicza się stałą dielektryczną powłoki wg poniższego wzoru :

$$K_o = \frac{/ C_o - C_c /}{WL} \ln / \frac{2t_o + d}{d} /$$

gdzie :

K_o - stała dielektryczna

C_o - początkowa pojemność rury, pF

C_c - pojemność czapy, pF
d - zewnętrzna średnica rury, cm
t_o - grubość pokrycia, cm
L - zanurzona długość powłok, cm
N - 0,566 współczynnik przeliczeniowy.

Po usunięciu rtęci z naczynia napełnia się go elektrolitem 1% roztworem NaCl, Na_2SO_4 i Na_2CO_3 do zaznaczonego poziomu i podłącza się zewnętrzne źródło prądu 6 V, przy czym ujemny biegun przyłącza się do rury, zaś dodatni do elektrody. Przez cały okres badań, który powinien trwać 4 - 6 miesięcy, przeprowadza się okresowo pomiary pojemności każdej badanej próbki po uprzednim odłączaniu źródła prądu stałego. Wskutek penetracji wody do powłoki izolacyjnej pojemność rur wzrasta. Z przyrostu oblicza się głębokość penetracji wody do powłoki zgodnie z poniższym wzorem :

$$t_p = t_o - \frac{d}{2} / e^M - 1/$$

gdzie :

t_p - głębokość penetracji wody, cm

$$M = \frac{N K_o L}{C - C_o}$$

C - zmierzona pojemność rury po określonym czasie, pF.

W początkowym okresie woda penetruje szybko i częstotliwość pomiarów winna być większa, np co kilka dni, w późniejszym okresie może być mniejsza, np raz na tydzień. Gdy próbki nie wykazują już przyrostu pojemności lub wykazują ją w bardzo małym stopniu, badanie można zakończyć.

Wyniki pomiarów przedstawia się graficznie na wykresie zależności, głębokości penetracji od czasu.

litem
omu
jem-
dy.
ięcy,
anej
ku-
r
ody

otli-
niej-
róbki
bar-

ie

3.3. Odrywanie powłok pod wpływem prądu ochrony katodowej

Metoda badania zachowania się powłok izolacyjnych pod wpływem prądu ochrony katodowej została ujęta normą ASTM G 8 - 69 T.

Ocenę odporności powłok na prąd ochrony katodowej, który może powodować odrywanie powłoki w miejscach uprzednio powstałych uszkodzeń przeprowadza się w elektrolicie na sztucznych uszkodzeniach.

Elektrolit stanowi 1% roztwór chlorku sodu, siarczanu sodu i węglanu sodu. Pomiary przeprowadza się w naczyniu z tworzywa sztucznego, w którym umieszcza się pionowo próbki z badanymi powłokami.

Próbki w dolnej części odizolowane są od elektrolitu. W naczyniu znajduje się anoda, wykonana ze stopu magnezu. Badana powłoka zostaje sztucznie uszkodzona przez nawiercenie wiertłem o średnicy większej od trzykrotnej grubości powłoki.

Badanie przeprowadza się na dwóch badanych rurach, w środku których znajduje się anoda magnezowa. Potencjał anody Mg w elektrolicie w stosunku do elektrody $Cu/CuSO_4$ wynosi - 1,51 V.

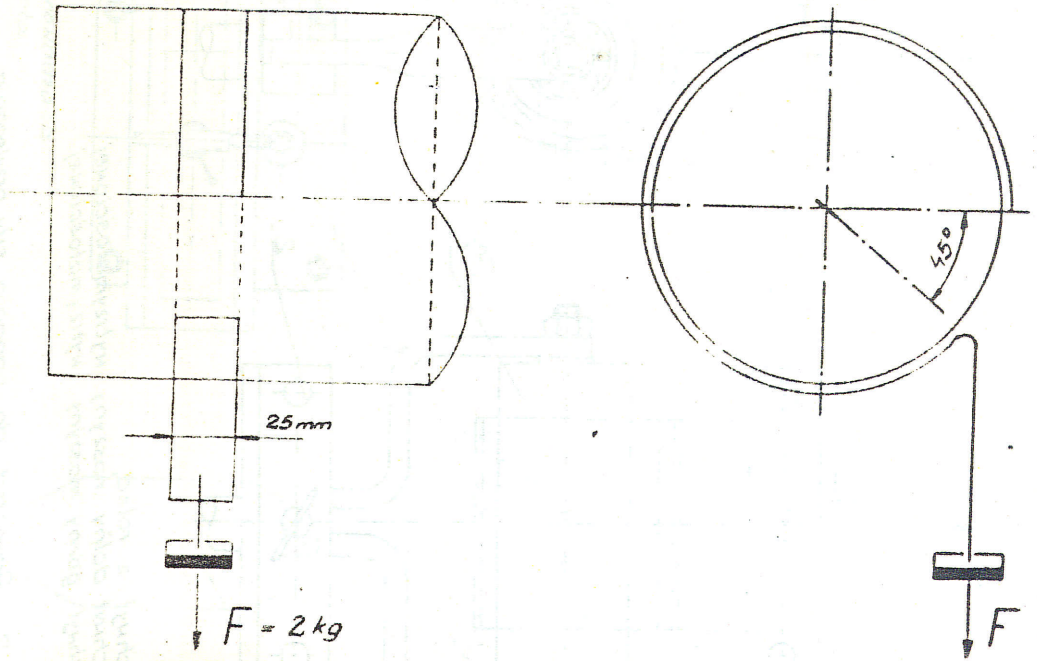
Po zmierzeniu wielkości potencjału anody łączy się przewodem obie rury z anodą na zewnątrz naczynia. Na skutek powstałego ogniwa następuje przepływ prądu. Przez cały czas badań kontroluje się pracę ogniwa mierząc prąd płynący w obwodzie rura-anoda. Po skończonym pomiarze, który powinien trwać od 1 - 3 miesięcy w miejscach sztucznych uszkodzeń nacina się powłokę w celu określenia wielkości powierzchni odstającej powłoki.

Technologia budowy gazociągów stosowane w Polsce polega na łączeniu na terenie budowy rur stalowych powlekanych polietylenem w hutach i izolowaniu spoin tych rur w warunkach terenowych. Do izolowania tych spoin stosuje się samoprzylepne taśmy polietylenowe nakładane na specjalne podkłady gruntujące. Metody badań powłok wykonanych z taśm samoprzylepnych są analogiczne do metod badań po-

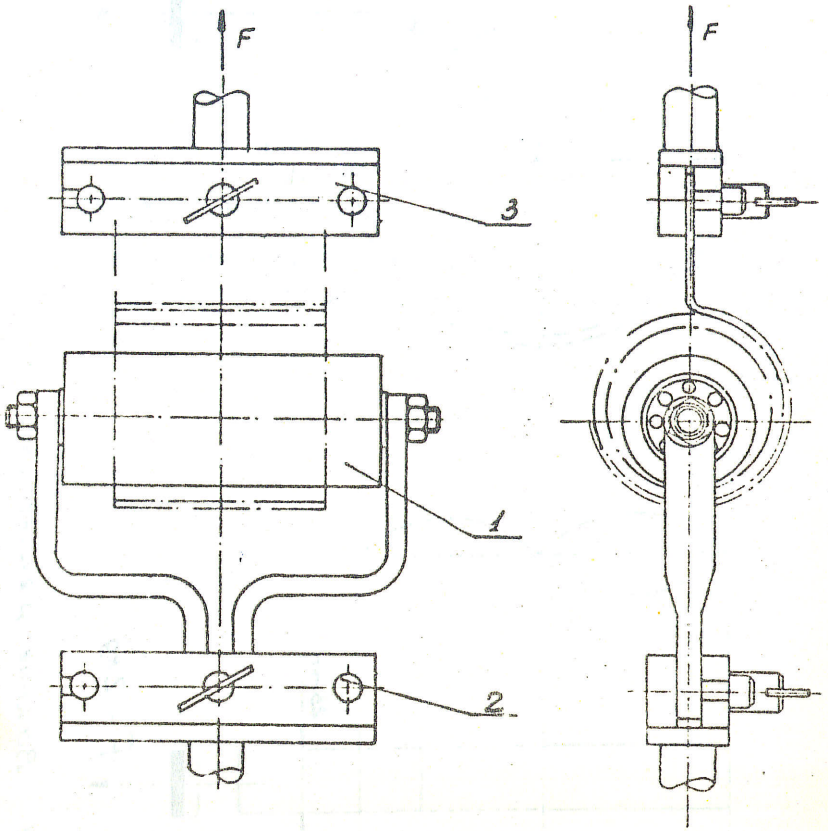
włok polietylenowych nałożonych metodą wytłaczania, przy czym stosuje się znacznie niższe kryteria a mianowicie :

- szczelność określa się przy napięciu probierczym 5 kV + 5 kV/mm grubości powłoki,
- przyczepność przez odrywanie paska izolacji siłą 2 N,
- wytrzymałość na uderzenie przy energii uderzenia wynoszącej 2 Nm,
- odporność na wgniecenie przy wywieraniu mniejszego nacisku 0,1 N/mm^2 przy zastosowaniu grota o większej powierzchni czołowej równej 100 mm^2.

Na podstawie omówionych metod badań można w pełni ocenić jakość pokryć ochronnych z tworzyw sztucznych.

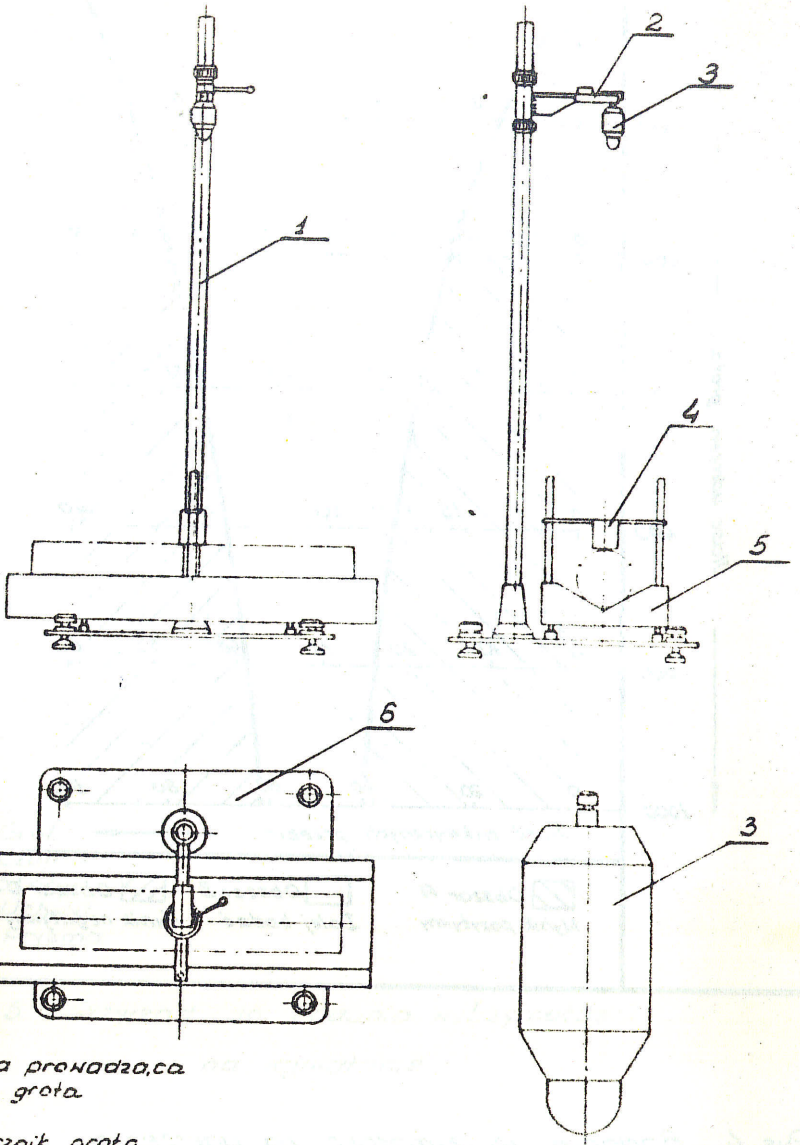


Rys. 1. Badanie przyczepności powłoki polietylenowej



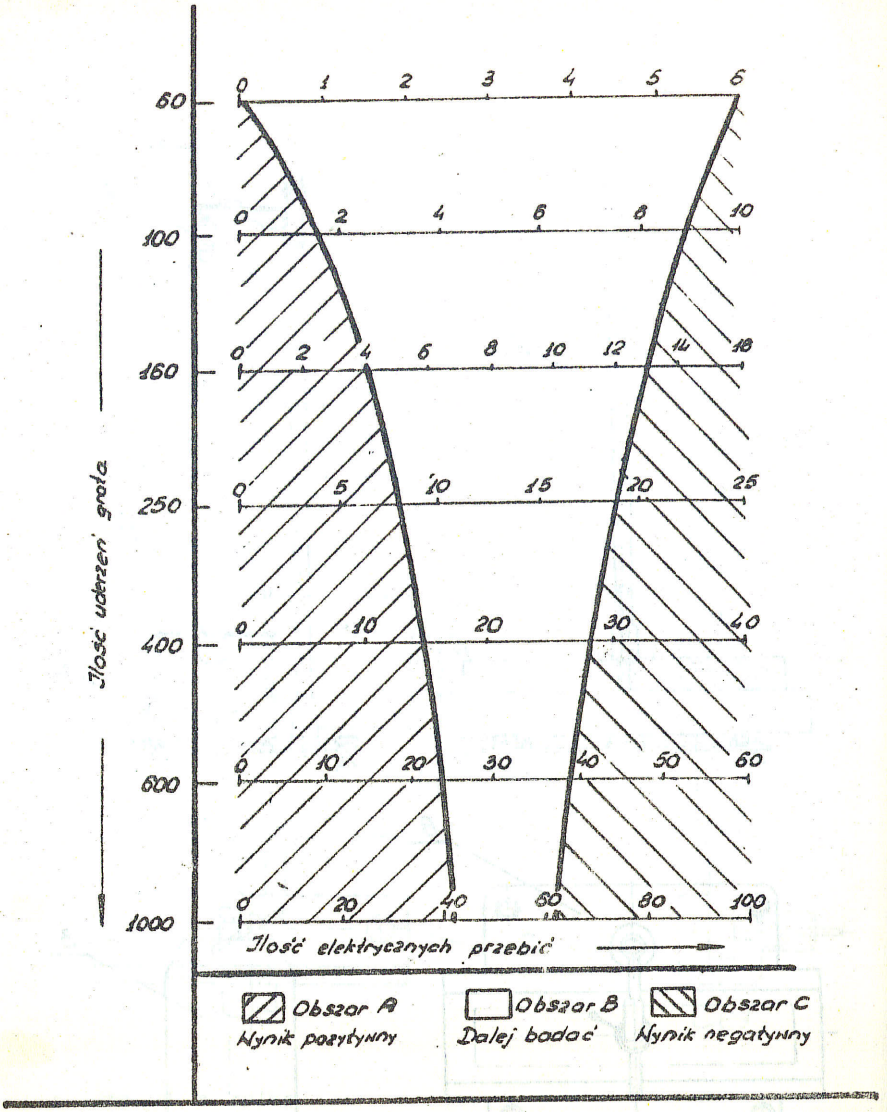
1. Uchwyt z rolka,
2. Uchwyt dolny maszyny wytrzymałościowej
3. Uchwyt górny maszyny wytrzymałościowej

Rys. 2. Przyrząd do badania siły przylegania

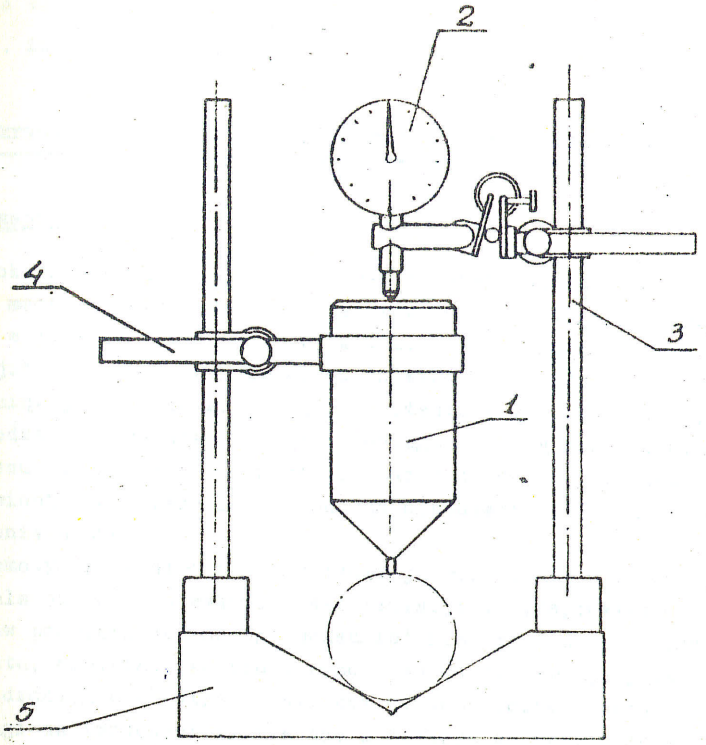


1. Kolumna prowadząca
2. Uchwyt grota
3. Grot
4. Ogranicznik grota
5. Pryzma
6. Podstawa

Rys. 3. Przyrząd do badania wytrzymałości na uderzenie



Rys. 4. Badanie wytrzymałości na uderzenie



1. Grot
2. Czujnik
3. Statyw
4. Uchwyt
5. Pryzma

Rys. 5. Przyrząd do badania wytrzymałości na wyginanie

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 przerdzewienia materiału rur powodując ulatnianie 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-

nych 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 zawilgocenia gleby, jej rodzaju oraz od odstępu 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 50 Hz - 1900 Hz.

  Ponieważ wielkość odbieranego sygnału jest miarą uszkodzenia, odbiornik musi być wyposażony na wyjściu w miernik wskazówkowy oraz przełącznik umożliwiający skokową zmianę wzmocnienia 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 niekalibrowaną regulację wzmocnienia w celu nastawienia przed pomiarem tzw. zerowego poziomu odniesienia dla rur bez uszkodzenia izolacji i korygowania 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 uziemiania 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 conajmniej kilkadziesiąt godzin nieprzerwanej pracy.

ncepcję odbiornika oparto o poniższe dane techniczne, stosując łącznie dostępne w kraju elementy do jego budowy:
zakres odbieranych częstotliwości 500 - 1500 Hz
rezystancja wej-ściowa 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 suche baterie R 12
pobór prądu : 15 mA.

3.

Źródłem prądu jest generator połączony galwanicznie z gazociągiem oraz uziomem pomocniczym. Mierzone napięcie na powierzchni gruntu podawane jest na wejście odbiornika za pośrednictwem elektrod stykowych mocowanych na butach oraz przewodów łączeniowych. 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 opracowanego 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 obsługi.

Sposób wykrywania uszkodzeń izolacji przedstawiono na rys. 2. Źródło 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 podłączenia 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 rurociągów podziemnych.

Interpretacja wyników badań

Opracowana metoda pozwala na ocenę jakości izolacji, ponieważ w miejscach uszkodzeń izolacji obserwuje się wzrost mierzonego sygnału. Interpretacją wyników jest trudna i to głównie jedynie z powodów małego rozpowszechnienia tej metody w świecie. Wzrost sygnału bowiem ocenia się w odniesieniu do sygnału, przy którym zakłada się brak uszkodzeń izolacyjnych. Jest to tzw. poziom odniesienia. Jeżeli gazociąg posiada izolację dobrej jakości, to ten sam poziom odniesienia otrzyma się przy większym wzmocnieniu odbiornika z powodu występowania mikroporów w powłoce, a więc i większym upływie prądu do ziemi, wzrost sygnału wskazujący duże uszkodzenie będzie również znaczniejszy niż przy gazociągu o lepszym pokryciu izolacyjnym. Jednak, ta nie podaje jednoznacznie, jak dużym uszkodzeniom odpowiada określony wzrost sygnału. Informacje z literatury nie podają czułości odbiorników, ani ścisłych kryteriów oceny izolacji. Kryteria oceny jakości izolacji można ustalić jedynie na podstawie szeregu pomiarów.

W celu znalezienia miejsca o nieuszkodzonej izolacji należy wstępnie przejść pewien odcinek gazociągu aż wartość odczyty-

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 dokonaniu inspekcji rury.
Ustalenie poziomu wzrostu sygnału przy uszkodzeniu izolacji bitumicznej w warunkach krajowych oparto o pomiary i badania wykonane na rurociągach naftowych w rejonie Tczewa 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 do 18-krotny wzrost sygnału ponad poziom zerowy.
Dla wyznaczenia korelacji między krotnością wzrostu sygnału ponad poziom zerowy, a wielkością uszkodzenia dokonano odkrywki 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 powierzchni metalicznej spowodowane częściowo wgnieceniem liny metalowej i zerwaniem taśmy izolacyjnej. Miejsca odsłonięte do powierzchni metalicznej pokryte były rdzą. Przy niższym wzroście sygnałów, tj. 8-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 m^2 oraz lokalne niewielkie uszkodzenia. Odsłonięty metal pokryty był warstwą

razy. Całkowita powierzchnia rury pozbawiona izolacji wynosiła 0,4 m^2.

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 występowały 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 :

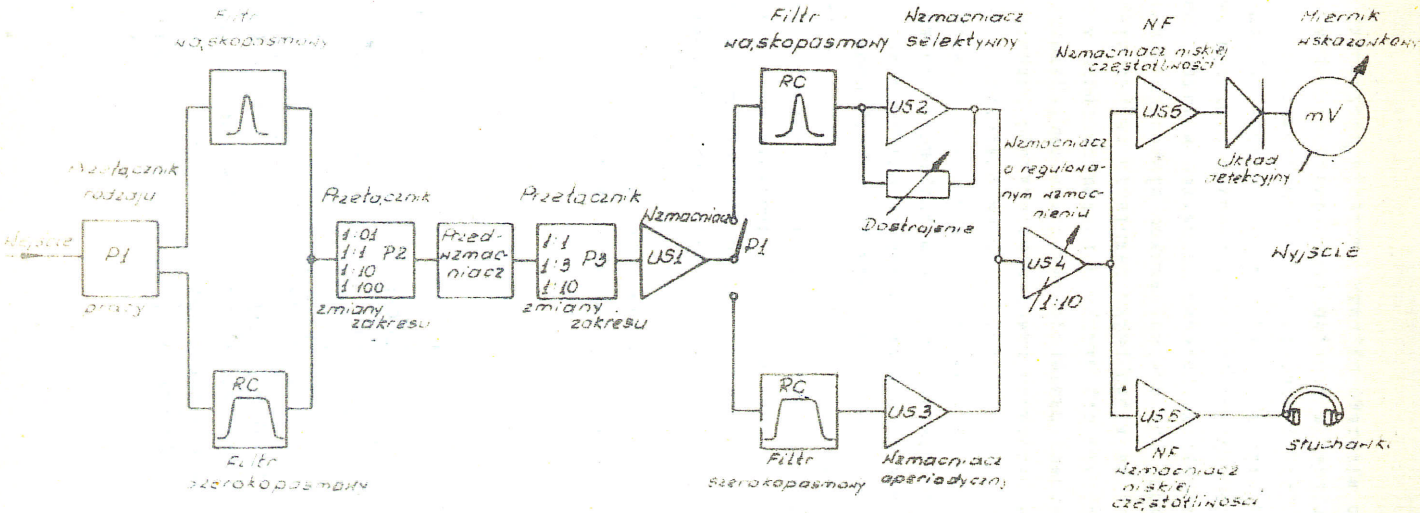
- przy 10-krotnym lub wyższym wzroście sygnału należy miejsca te odkopać i naprawić izolację,
- w miejscach w których stwierdzono 5 do 10-krotny wzrost sygnału nie wymagają odkopania i naprawy lecz powtórnych pomiarów kontrolnych po półrocznym okresie,
- w miejscach, w których zaobserwowano 3 do 5-krotny 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 nowoułożonych 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 zmniejszenie 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 :

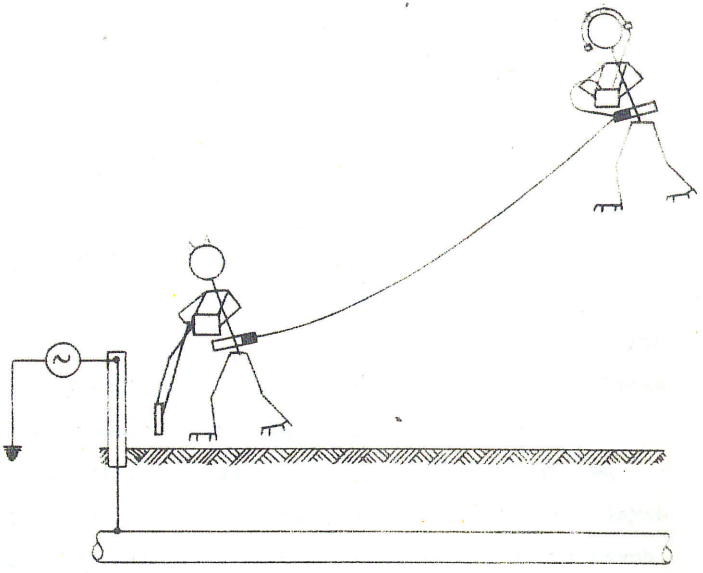
- miejsca, w których stwierdzono występowanie 15-krotnego lub wyższego sygnału napięcia w odbiorniku kwalifikują się

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. Sposób wykrywania uszkodzeń izolacji

Olimpia Skiba-Rogalska
Krystyna Teska-Świderek
Instytut Łączności, Warszawa

POMIARY POTENCJAŁU BEZ SKŁADOWEJ IR NA KABLACH TELEKOMUNIKACYJNYCH

1. Wprowadzenie.

Zagadnienie pomiaru potencjału rzeczywistego metalowej konstrukcji podziemnej, będącej pod działaniem prądu polaryzującego pojawiło się dość wcześnie w praktyce korozyjnej. Wiele towarzystw naftowych i gazowniczych w Stanach Zjednoczonych Ameryki posiadało już w latach 20-tych naszego wieku tysiące kilometrów rurociągów podziemnych, które wymagały zabezpieczenia przed korozją elektrolityczną od prądów błądzących odgałęziających się z systemów trakcyjnych prądu stałego i przed działaniem galwanicznym w agresywnych środowiskach. W związku z planowaniem środków ochrony przed korozją zainteresowano się pomiarami elektrycznymi do oceny zagrożenia korozyjnego konstrukcji podziemnych. W 1928r Kuhn w Stanach Zjednoczonych wprowadził pierwszą ochronę katodową gazociągu i ustalił kryterium potencjałowe tej ochrony -0,85V wzgl $Cu/CuSO_4$ /1/. Pomiary elektryczne stosowane na metalowych konstrukcjach podziemnych umożliwiły, w tym przypadku lepsze poznanie elektrochemicznych procesów związanych z korozją metalu i ochroną katodową. Zwłaszcza przy elektrolitycznym oddziaływaniu prądów błądzących pomiary pozwoliły na wykrycie stref anodowej i katodowej polaryzacji metalowej konstrukcji podziemnej. Już wtedy zauważono, że

największy spadek napięcia w obwodzie elektrycznym występuje w środowisku glebowym, którego rezystancja jest bardzo duża w porównaniu z rezystancją metalu rurociągu, co przy pomiarach należy brać pod uwagę /2/. W celu eliminowania błędów pomiarowych zwracano uwagę na właściwy dobór przyrządów do mierzenia potencjału, podkreślając, że potencjał konstrukcja-ziemia względem $Cu/CuSO_4$ powinien być mierzony przyrządem o bardzo dużej rezystancji /3/. Do tego celu były początkowo wykorzystywane przyrządy potencjometryczne, które nie pobierały z obwodu pomiarowego wogóle prądu, lub w niewielkim tylko stopniu.

Prąd przepływający przez elektrodę, metalową powoduje jej polaryzację, pociągającą za sobą zmianę potencjału. Potencjał charakteryzuje więc stan elektrochemiczny metalu na styku z elektrolitem i powinien być mierzony na granicy faz "metal-elektrolit". W praktyce taki pomiar jest raczej trudny do wykonania. Elektrodę odniesienia ustawia się najczęściej na powierzchni ziemi nad konstrukcją badaną. Jeśli przez konstrukcję płynie prąd /ochronny lub błądzący/ to wynik pomiaru jest prawie zawsze nawet przy stosowaniu wysokooporowych przyrządów obciążony błędem wynikającym z omowego spadku napięcia /IR/, na drodze między konstrukcją i elektrodą odniesienia. Na temat eliminacji tego błędu z wartości mierzonej w ciągu ostatnich 40 lat wiele już napisano. Prowadzący badania nad przyrządami do pomiarów korozyjnych dr J.M. Pearson z Amerykańskiego Biura Standardów zaproponował pod koniec lat 30-tych, metody mostkowe do eliminacji omowego spadku napięcia z wartości mierzonego potencjału /4/.

W ciągu ostatnich lat proponowane były różne odmiany metod mostkowych do pomiarów /5/. Jednak nie znalazły one szerszego zastosowania w praktyce terenowej. Błędy wynikające ze zbyt skomplikowanego obwodu pomiarowego mogą niekiedy przewyższać korzyści jakie uzyskuje się z eliminacji składowej omowej.

W praktyce do chwili obecnej stosowane są różne niżej wymienione sposoby mierzenia potencjału polaryzacyjnego.

- Pomiary bezpośrednie, przy włączonym prądzie polaryzacyjnym. Pomiary takie mogą być prowadzone w przypadku małej rezystywności środowiska i przy niewielkich prądach płynących w obwodzie ochrony. Nieduży błąd wynikający z omowego spadku napięcia można zaniedbać.

Błąd spadku napięcia można, przy pomiarze bezpośrednim, w dużym stopniu zmniejszyć przed umieszczeniem stałej elektrody odniesienia w najbliższym sąsiedztwie polaryzowanej konstrukcji.

- Pomiary względem "dalekiej ziemi", to znaczy względem obszaru w którym nie obserwuje się zmian potencjału metalowej konstrukcji podziemnej. Wynik pomiaru względem dalekiej ziemi zawiera składową omową, zwłaszcza w przypadku środowisk o dużej rezystywności. Taki sposób pomiaru potencjału nadaje się również do środowisk o małej rezystywności;

- Pomiary przez ekstrapolację. Potencjał mierzy się jako funkcję odległości elektrody odniesienia od konstrukcji badanej. Dane nanosi się we współrzędnych i ekstrapoluje do odległości zerowej. Metoda jest czasochłonna, a funkcja ekstrapolacyjna niepewna, zwłaszcza w pobliżu pola rysowanej konstrukcji;

- Metody obliczeniowe. W tym przypadku potencjał rzeczywisty polaryzowanej katodowo konstrukcji oblicza się przez odjęcie z wartości mierzonej omowego spadku napięcia Baeckmann i inni /6,7/ podają specjalne wzory obliczeniowe.

Metody obliczeniowe z pewnymi modyfikacjami wykorzystali Baeckmann i Funk /8/ do określenia potencjału rzeczywistego, w rejonach oddziaływania prądów błądzących /metoda impulsowa/. Przy średnich i dużych gęstościach prądu ostatnio proponowane są metody komputerowe /9/. Na uwagę zasługuje także metoda opracowana w Politechnice Gdańskiej /10/.

Do pomiaru potencjału rzeczywistego na kablach opancerzonych opracowano specjalne nomogramy ułatwiające określenie potencjału z dwu różnych wartości mierzonych przy dwu różnych rezystancjach przyrządu /11/. Metoda jednak nie nadaje się do określania potencjału w rejonach oddziaływania prądów błądzących. Do określania potencjału rzeczywistego kabli zaproponowano również wzór z którego wylicza się potencjał polaryzacyjny powłoki metalowej kabla na podstawie zmierzonego potencjału opancerzenia /12/. Metoda obliczania potencjału powłoki podana jest w normie radzieckiej GOST 9.015-74 /13/;

- Metody wyłączeniowe. Najprostszy sposób eliminacji omowego spadku napięcia to wykonanie pomiaru potencjału natychmiast po wyłączeniu prądu polaryzującego metalową konstrukcję. W metodzie tej wykorzystuje się zróżnicowanie czasów zaniku polaryzacji po wyłączeniu prądu. Polaryzacje elektrochemiczne /aktywacyjna i stężeniowa/ zanikają w czasie 10^{-3}s i dłuższym. Polaryzacja omowa, czyli spadek napięcia IR, ma na ogół bardzo krótki czas zaniku. Jeśli metalowa konstrukcja podziemna jest dobrze uziemiona jak to ma miejsce w przypadku

kabli tradycyjnych to czas ten wynosi 10^{-5}s. Natomiast w przypadku dobrych pokryć ochronnych na metalowych konstrukcjach czas zaniku polaryzacji omowej może być tego samego rzędu, jak dla polaryzacji elektrochemicznej aktywacyjnej, 10^{-3}s /5/. Błąd popełniamy przy takim pomiarze nie jest jednak znaczący dla praktyki polowej i dlatego za granicą, zwłaszcza w Stanach Zjednoczonych, metodę wyłączeniową stosuje się z powodzeniem do pomiarów metalowych konstrukcji polaryzowanych katodowo. W strefach gdzie nie ma oddziaływania prądów błądzących wg normy TGL /14/ potencjał wyłączeniowy powinien być mierzony w czasie nie dłuższym niż 30s po wyłączeniu prądu ochrony.

W rejonach oddziaływania prądów błądzących eliminacja omowego spadku napięcia wymaga specjalnych technik. W ostatnich latach rozwinęły się metody elektrody symulującej, wbudowanej w specjalną sondę z elektrodą odniesienia, lub stosowanej oddzielnie obok elektrody odniesienia. Na czas pomiaru odłącza się nie źródło prądów polaryzujących, lecz elektrodę symulującą. Różne warianty sond pomiarowych badanych za granicą i w kraju opisane są w literaturze technicznej /15÷26/. Szersze badania w zakresie sond pomiarowych prowadzone były od ponad 20 lat na terenie RFN przez Baeckmanna, ponadto w Czechosłowacji przez J. Polaka i w Japonii.

Sondę w której płytka symulująca nie jest odłączana na czas pomiaru z obwodu konstrukcji polaryzowanej opracowali [illegible] /19/, w rozwiązaniach do zakopania na stałe w ziemi i jako przenośną.

Tego typu sondy były wstępnie badane w odniesieniu do kabli telekomunikacyjnych, przez Czechosłowacki Instytut

Łączności /27/.

Sondy pomiarowe zbudowane są z płytki metalowej symulującej defekt w pokryciu izolującym na metalowej konstrukcji podziemnej. Najczęściej wykonuje się je we wspólnej obudowie z elektrodą odniesienia np $Cu/CuSO_4$. Diafragma sondy czyli element zapewniający jonowe połączenie z ziemią znajduje się w bliskiej odległości od płytki /el o ody/ symulującej. Odległość ta w różnych rozwiązaniach wynosi kilka do kilkadziesiąt milimetrów.

Elektroda symulująca sondy jest zwykle wykonana z tego samego materiału co konstrukcja badana. Elektrodę łączy się do wspólnej polaryzacji z konstrukcją podziemną, a na czas pomiaru przerywa połączenie stosując do tego celu różne, niekiedy kosztowne rozwiązania aparaturowe umożliwiające automatyczne włączanie i wyłączanie.

Potencjał zmierzony na płytce symulującej odpowiada potencjałowi konstrukcji polaryzowanej, w miejscu defektu, przy założeniu, że powierzchnie płytki i defektu izolacji są podobne, że mają taką samą gęstość prądu polaryzującego i stykają się ze środowiskiem o takiej samej rezystywności.

ondy w założeniu swoim przeznaczone były do pomiarów na konstrukcjach dobrze izolowanych. Rurociągi podziemne mają stosunkowo dobrą izolację. Podziemne kable o budowie tradycyjnej praktycznie pozbawione są pokrycia izolującego. Ponadto kable stanowią konstrukcję bimetaliczną w przeciwieństwie do rurociągów. Ołowiana powłoka kabla i opancerzenia stalowe połączone

są ze sobą w złączach kablowych. Między złączami mają kontakt jonowy przez wilgotny warstwy celulozowych osłon włóknistych.

Interesujące było więc sprawdzenie możliwości wykorzystania sond do pomiarów na kablach.

2. Badania własne

Celem prac własnych było m. inn:

- przebadanie możliwości wykorzystania sond do pomiarów w obszarach oddziaływania prądów błądzących. W takich obszarach dla praktyki pomiarowej korzystne byłoby uśrednienie wartości mierzonych. Uśrednianie obserwowano przy pomiarach na rurociągach /23/;
- sprawdzenie materiału płytki symulującej w układach złożonych, takich jak kable o powłoce metalowej z opancerzeniem stalowym;
- sprawdzenie przy pomiarach wpływu wielkości powierzchni płytki symulującej.

Badania prowadzone były w warunkach laboratoryjnych i terenowych. Do tego celu przygotowano dwa rozwiązania sondy pomiarowej pokazane na rys.1 i 2.

Wariant na rys.1, przeznaczony do zakopania na stałe w ziemi do pomiarów terenowych, miał diafragmę o bardzo małej średnicy /5mm/ i płytkę symulującą w odległości kilku mm od diafragmy. Wariant pokazany na rys.2 miał diafragmę o dużej średnicy, /ceramiczne dno stałej elektrody odniesienia $Cu/CuSO_4$/, a płytka symulująca odsunięta była od diafragmy na odległość około 5cm.

Ten wariant przeznaczony był do badań laboratoryjnych.

We wcześniejszych badaniach modelowych IL /28/ sprawdzano już możliwość eliminacji składowej omowej z wartości mierzonego potencjału, przy czym pomiary wykonywano bez odłączania elektrody symulującej od modelu polaryzowanej konstrukcji. Taki sposób mierzenia potencjałów rzeczywistych byłby dla praktyki również bardzo korzystny.

Nie stosowanie przerywania prądu polaryzującego w trakcie mierzenia potencjału konstrukcji miałoby jeszcze tę zaletę, że pomiar można byłoby realizować za pomocą ogólnie dostępnych w praktyce korozyjnej przyrządów.

W opisanych tu badaniach ograniczono się do pomiarów na tradycyjnych kablach dziemnych posiadających powłoki ołowiane, stalowe opancerzenie i jutowo-bitumiczne osłony. Badania laboratoryjne wykonane były w 3 układach modelowych, w których elektrolitem był piasek gruboziarnisty z 20% domieszką torfu i bentonit.

W badaniach stosowano zmody-fikowaną sondę pomiarową /rys.2/. Modyfikacja dotyczyła odsunięcia elektrody symulującej od diafragmy na cylindryczną obudowę sondy wykonaną z tworzywa sztucznego. Elektroda symulująca wykonana była z taśmy stalowej opancerzenia kabla i miała powierzchnię 6,25cm^2 /podobną do opisanej w normie GOST /13/ /. We wnętrzu sondy umieszczona była ceramiczna elektroda odniesienia Cu/$CuSO_4$ z elektrolitem stałym produkcji Przedsiębiorstwa Korchem we Włocławku. Dno tej elektrody było jednocześnie dnem i diafragmą

sondy pomiarowej. Przestrzeń między cylindryczną obudową sondy i elektrodą odniesienia wypełniona była elektrolitem pośrednim jak w rozwiązaniu przeznaczonym do pomiarów terenowych /rys.1/.

Anody, katody i model konstrukcji w układach laboratoryjnych, były stalowe. Poza sondami, w układach stosowano oddzielne ceramiczne elektrody $Cu/CuSO_4$ z elektrolitem stałym i przenosne elektrody $Cu/CuSO_4$ z elektrolitem ciekłym. Symulowany prąd błądzący doprowadzany był do anod poprzez stabilizowane zasilacze tranzystorowe typ 204 produkcji Zakładów Radiowych Kasprzaka.

Pomiary potencjału wykonywano woltomierzem Unigor 4 prod. austryjackiej; pomiar prądu krajowym multimetrem V-640 firmy "Meratronik"; pomiary rezystancji przejścia - przyrządem typu XS firmy "Ganz" /WRL/.

Płytka symulująca sondy pomiarowej była zawsze w polu oddziaływania dodatnich prądów, w odległości 4mm od modelu konstrukcji, umieszczonej również w polu oddziaływania symulowanych prądów błądzących.

Badania prowadzone były około 40 dni przy czym prąd podawany na anodę był rzędu 0,026mA/cm^2 do 0,047mA/cm^2.

Anodowy prąd dodatni 0,4÷0,6mA (tablica 1) powodował, w gruncie piaszczystym, przesunięcie potencjału elektrody symulującej do wysokich wartości dodatnich.

W środowisku o małej rezystywności /bentonit/ nie obserwowano pod wpływem prądu anodowego o natężeniu jak wyżej, wyraźnego przesunięcia w stronę dodatnią potencjału elektrody symulującej, przy czym wartości potencjału konstrukcji

mierzone względem różnych elektrod były w tym przypadku podobne.

Przypuszcza się więc, że wartości potencjału, mierzone w warunkach oddziaływania na płytkę symulującą sondy modelowanych prądów błądzących zawierają bardzo duży udział składowej omowej, w gruncie o dużej rezystywności.

Po zakończeniu 40 dniowych badań i wyłączeniu prądu polaryzującego, wpływ polaryzacji anodowej na płytkach symulujących uwydatnił się przesunięciem ich potencjału w kierunku dodatnim o 100 w układzie z bentonitem do 200mV w układzie z piaskiem w stosunku do wartości mierzonych przed rozpoczęciem prób polaryzacyjnych.

Oględziny wykazały znaczną korozję płytek symulujących, przy czym płytki otoczone gruntem piaszczystym miały powierzchnie skorodowane w 50-60% z pojedyńczymi wżerami do 1/4 grubości płytki. Natomiast płytka symulująca otoczona bentonitem skorodowana była powierzchniowo w 80%.

Wyniki badań laboratoryjnych wskazywałyby na inny przebieg polaryzacji anodowej na płytce symulującej w stosunku do polaryzacji dużej powierzchni nieizolowanej konstrukcji metalowej, w środowisku o dużej rezystywności. Symulująca elektroda sondy w opisanym wykonaniu nie może więc być w takich warunkach wykorzystana jako miara elektrochemicznego zachowania się metalowej konstrukcji w polu oddziaływania prądów błądzących.

Ze względu na korozję płytki symulującej w polu prądów błądzących, potencjał jej może się z upływem czasu

zmieniać inaczej niż potencjał konstrukcji badanej. Dlatego też zakopywanie sondy na stałe do pomiarów na konstrukcjach podziemnych pozostających w polu oddziaływania prądów błądzących może być niekorzystne.

3. Konstrukcja sondy do badań polowych.

Badania w różnych warunkach terenowych prowadzono za pomocą sondy pomiarowej pokazanej na rys.1, w którą wbudowana była ceramiczna elektroda odniesienia $Cu/CuSO_4$ z elektrolitem stałym.

Elektrody symulujące sondy wykonane były ze stali tłoczonej 2T i miały powierzchnię $5cm^2$, $10cm^2$ i $30cm^2$.

Sonda obudowana była rurą z polichlorku winylu, przy czym stalowa elektroda symulująca stanowiła dno sondy i osadzona była od strony wewnętrznej i bocznej w żywicy epoksydowej. Współśrodkowo w dnie sondy znajdowała się diafragma /kołek z drewna lipowego/ o średnicy 5mm. Diafragma odizolowana była od elektrody symulującej otoczką teflonową. Elektroda $Cu/CuSO_4$ osadzona była współosiowo wewnątrz rury z polichlorku winylu i otoczona elektrolitem pośrednim /zawiesiną bentonitu z 4% roztworem siarczanu sodu/. kontaktowała się ona ze środowiskiem gruntowym poprzez elektrolit pośredni i drewnianą diafragmę. Przewody od elektrody symulującej i elektrody odniesienia $Cu/CuSO_4$ wyprowadzone były w sposób izolowany z obudowy sondy na zewnątrz.

4. Przebieg i wyniki badań polowych.

Sondy zakopano w ziemi przy kablu w różnych warunkach eksploatacyjnych a mianowicie:

- w gruncie piaszczystym w odległości 30m od szyny trakcyjnej prądu stałego,
- w gruncie piaszczysto-gliniastym 700 i 1000m od uziomu stacji katodowej o parametrach I=4,2A, U=60V
- w agresywnych gruntach gliniastych i torfiastych, bez oddziaływania prądów.

Schemat instalacji pokazano na rys.3.

Przewody od elektrody symulującej i elektrody odniesienia sondy wyprowadzono na słupek oznaczeniowo-pomiarowy. Do słupka doprowadzony był także przewód od kabla. Elektroda symulująca była zwarta z kablem na stałe i połączenia tego nie rozwierano na czas pomiarów z wyjątkiem stosowania wibracyjnego miernika potencjału do celów porównawczych. Oprócz pomiaru na sondach mierzono różnice potencjałów kabel-ziemia względem oddzielnej stałej elektrody odniesienia $Cu/CuSO_4$ usytuowanej obok sondy w ziemi oraz względem przenośnej elektrody $Cu/CuSO_4$ ustawianej w czasie pomiaru na powierzchni ziemi nad kablem.

W rejonach oddziaływania prądów błądzących pomiary prowadzono równolegle, przy wykorzystaniu woltomierzy rejestrujących.

W rejonach oddziaływania prądów błądzących potencjał elektroda symulująca - ziemia mierzony względem elektrody odniesienia sondy był stały /rys.4/. Początkowo jego wartość była średnią wartości potencjałów kabel-ziemia zmierzonych względem oddzielnie umieszczonej stałej elektrody odniesienia

$Cu/CuSO_4$.

Po upływie 32 tygodni wartość potencjału elektroda symulująca-ziemia przesunęła się w stronę dodatnią /mniej ujemną/.
Po 40 tygodniach wystąpiło dalsze przesunięcie w stronę wartości dodatnich /mniej ujemnych/.

W przypadku oddziaływania prądów ochrony katodowej na kabel /rys.5/ wartości potencjałów elektroda symulująca-ziemia zmierzone względem elektrody odniesienia sondy są bardziej dodatnie /mniej ujemne/ niż wartości potencjałów kabel-ziemia zmierzone względem stałej i przenośnej elektrody $Cu/CuSO_4$. Przy czym na sondzie usytuowanej przy kablu w odległości 700m, od uziomu anodowego potencjał był średnio o 400mV mniej ujemny w stosunku do wartości zmierzonej względem elektrody $Cu/CuSO_4$ przenośnej ustawinej nad kablem na powierzchni ziemi oraz średnio o 250mV mniej ujemny w porównaniu z wartością zmierzoną względem elektrody ceramicznej zakopanej obok sondy.
W okresach suchych wartość potencjału zmierzonego na płytce symulującej wskazywała na brak dostatecznej polaryzacji katodowej kabli, podczas gdy wartości zmierzone w tym samym okresie względem przenośnej i stałej elektrody odniesienia były bardziej ujemne niż -0,85V /rys.5/.

Wyniki pomiaru potencjału względem elektrod stałej i przenośnej są obciążone składową omową, tym większą im większa była rezystywność gruntu i im większa odległość elektrody od kabla.

W obszarach bez oddziaływania prądów polaryzujących różnice pomiędzy potencjałem zmierzonym na płytce symulującej sondy oraz potencjałami kabel-ziemia zmierzonymi względem stałej i przenośnej elektrody $Cu/CuSO_4$ są niewielkie.

Dodatkowo przeprowadzono także pomiary przy użyciu sondy wykonanej do badań laboratoryjnych. W sondzie tej płytka symulująca była odsunięta od diafragmy /rys.2/. Wykonano również pomiary przy użyciu wibracyjnego miernika potencjału "Victor" produkcji Dolnośląskich Okręgowych Zakładów Gazownictwa we Wrocławiu, cyklicznie zwierającego i rozwierającego połączenie kabel-elektroda symulująca.

Jak widać z tablicy 2 wartości potencjału zmierzone na płytce symulującej sondy /rys.1/ bez użycia Victora i przy użyciu Victora są zbieżne.

Przy wykonywaniu pomiarów z użyciem sondy w której płytka symulująca jest oddalona od diafragmy wartości te różnią się w sposób znaczny.

Przypuszczalnie ma tutaj wpływ różnica w powierzchni diafragmy sond /około 100 razy większa w sondzie pokazanej na rys.2/.

Wyniki badań wskazują, że sonda o małej powierzchni diafragmy, mniej narażona na wpływy zewnętrzne, może być wykorzystana do pomiarów potencjałów bez składowej IR w rejonach oddziaływania prądów ochrony stacji katodowych.

Gdy nie ma oddziaływania takich prądów, do pomiaru wystarcza przenośna względnie zakopana na stałe elektroda odniesienia $Cu/CuSO_4$.

W rejonach oddziaływania prądów błądzących potencjał elektrody symulującej z upływem czasu przesuwa się w stronę dodatnią. Przypuszcza się, że jest to spowodowane wyciekiem elektrolitu pośredniego oraz korozję elektrody w ziemi. Korozja płytki symulującej potwierdzona była w badaniach laboratoryjnych.

Płytka stalowa sondy koroduje w wilgotnym gruncie zarówno wtedy, gdy znajduje się w bezpośrednim sąsiedztwie diafragmy i narażona jest na działanie siarczanów przesączających się z elektrolitu pośredniego do gruntu, jak też wtedy gdy jest oddalona od diafragmy /jak w rozwiązaniu na rys.2/. Może też korodować choć nieco wolniej w przypadku niedostatecznej polaryzacji katodowej, jeśli sonda zainstalowana jest w ziemi do kontroli układów ochrony katodowej.
We wszystkich tych przypadkach proces korozji płytki będzie wpływał na przesunięcie jej potencjału w kierunku dodatnim. Tak zmieniona wartość potencjału płytki nie będzie odzwierciedlała warunków rzeczywistych na długiej, metalowej konstrukcji podziemnej.

Wydaje się więc, że zakopywanie sondy na stałe w ziemi będzie miało ograniczone zastosowanie, tylko do przypadków gdzie jest dostateczna polaryzacja katodowa, zapobiegająca korozji płytki.

Zaletą sond pomiarowych stosowanych w rejonach oddziaływania prądów błądzących jest to, że na płytce symulującej mierzy się średnią wartość potencjału.

W wybranym do badań obszarze nie zanotowano jednak dużych wahań prądu błądzącego. W badanym przypadku rejestrowane potencjały płytki symulującej i kabla były zawsze mniej lub bardziej ujemne. Nigdy nie osiągały wartości dodatnich. Interesujące byłoby więc przebadanie sondy w obszarach o dużych wahaniach prądów błądzących i porównanie średniej wartości zmierzonej za pomocą sondy i wyliczonej metodami tradycyjnymi z sumy i czasu trwania dodatnich i ujemnych polaryzacji metalowej konstrukcji podziemnej.

5. Wnioski.

5.1. W warunkach prowadzonych prób sondy pomiarowe nadawały się do określania rzeczywistych potencjałów polaryzacji kabli dosiemnych w osłonach jutowo-papierowych i to zarówno w obszarze oddziaływania prądów błądzących o niewielkich natężeniach jak też w obszarach oddziaływania prądów ochrony katodowej

5.2. W badanym modelu sondy elektrody symulującej nie trzeba na czas pomiaru wyłączać z układu polaryzowanego.

5.3. Diafragmę sondy należy zabezpieczyć przed wyciekiem elektrolitu pośredniego, który może przyśpieszać korozję elektrody symulującej sondy, a tym samym zmieniać jej potencjał z upływem czasu.

5.4. W trakcie badań nie stwierdzono aby powierzchnia płytki symulującej miała istotny wpływ przy pomiarach na kablach pozbawionych izolujących pokryć.

5.5. Stwierdzono natomiast, że do układu bimetalicznego jakim jest kabel obołowiony z opancerzeniem stalowym, można stosować płytki stalowe, co było między innymi celem niniejszej pracy.

5.6. Do pomiarów można stosować woltomierze dostępne na rynku krajowym /np V-640/.

5.7. Nie zostało jeszcze dostatecznie wyjaśnione zagadnienie w jakich warunkach można zakopywać sondy na stałe przy badanej konstrukcji. Dokumenty normalizacyjne zagraniczne np GOST /13/ nie precyzują tego zagadnienia w sposób jednoznaczny niezbędne są więc dalsze badania w tym zakresie

W najbliższych latach przewiduje się badanie sond pomiarowych w odniesieniu do kabli w termoplastycznych osłonach ochronnych.

L i t e r a t u r a

1. Baeckmann W., Schwenk W.: Handbuch des Kathodischen Korrosionsschutzes. Weinheim, 1980, s.16, Verlag Chemie.

2. Mudd O.C.: Control of pipe-line corrosion. Corrosion 1, 1945, 4, s.192-218.

3. Mc Raven C.M.: Cathodic protection. Corrosion 2, 1946, 6 s.320-329.

4. Pearson J.M.: "Null" Methods applied to corrosion measurements. Metal Finishing 40, 1942, s.300.

5. Schwenk W.: Die Bestimmung des Potentials stromdurchflossener Elektroden mit besonderer Berücksichtigung der Anwendung beim kathodischen Korrosionsschutz. Werkstoffe u. Korrosion 1962, 4, s.212-218.

6. Baeckmann W., Heim G.: Kriterien für den kathodischen Schutz. Gas u. Wasserfach 1960, 101, s.942-986.

7. Bralewski J.: Pomiary korozyjne na metalowych konstrukcjach podziemnych. Warszawa, 1968, s.75-83, WNT.

8. Baeckmann W., Funk D.: Verfahren und Geräte zum Messen des IR-Freien Potentials bei streustrombeein-flussten Stahlrohrleitungen. 3R-International 1982, 7, s.375-380.

9. Elsner B., Bohn H.: Werkstoffe und Korrosion 1982/4 s.207-212.

10. Juchniewicz R., Sokólski W.: Pomiar współczynnika asymetrii zmian potencjału konstrukcji w polu oddziaływania prądów błądzących. W : Materiały III Sesji Naukowej Podproblemu C-2 "Ochrona elektrochemiczna" Politechnika Gdańska, Kołobrzeg 1985.

11. Muller A. Je: Nasz mietod kontrola kaczestwa zaśćity sooruźenij ot korrozji. Wiestnik Swiazi, 1979, 4, s.25-26.

12. Kuniow O.A., Miszczenko W.J.: Opriedielenije potencjała obołoczek bronirowanych kabielej swiazi pri ich katodnej polarizacji. Sbornik naucznych trudow CNIIS. Kanały i aparatura dla pieriedaczi informacji. Moskwa 1981, s.52-58.

13. GOST, 9.015-74 Jedinaja sistiema zaszczity ot korrozji i starenija. Podziemnyje sooruženija. Obszczije techniczeskije trebowanija. /znowelizowane w 1984r/.

14. TGL 190-353/07/1976/. Gasfortleitung und Verteilungsanlagen Kathodischer Korrosionsschutz. IR-freie Potential messung.

15. Komei Kasahara i inni: An improved method for measuring pipe to soil potential and current density at cathodically protected pipelines, Mat. Perform. 1979, 3, s.21-25.

16. Komei Kasahara i inni: Results of polarization potential and current density surveys on existing buried pipelines. Mat Perform. 1980, 9, s.45-51.

17. Polak J.: The use of multipurpose measuring probes to assess the adequacy of cathodic protection of buried pipelines Mat. Perform 1983, 8, s.45-51.

18. Polak J.: Pomiary elektryczne na rurociągach podziemnych z użyciem wielofunkcyjnej sondy pomiarowej. Ochrona przed Korozją 1980, 1, s.1-6.

19. Mićko F., Wawřina J. i inni: Niektóre zagadnienia związane z określeniem poziomu potencjału polaryzacyjnego rurociągu ziemia w warunkach eksploatacji. W materiałach IV Międzynarodowej Naukowo-Technicznej Konferencji [illegible] - Opracowanie środków ochrony metali przed korozją. Warna 1985, cz.4, s.245-248.

20. Srebrakowski S.: Wibracyjny miernik potencjału Victor-1 jako przykład urządzenia realizującego pomiar potencjału metalowych konstrukcji podziemnych z wyłączeniem składowej omowej. Ochrona przed korozją 1983, 6, s.141-145.

21. Srebrakowski S.: Zgłoszenie patent. nr.P-236333 z dn5.05.82.

22. RD pat. Nr.2707265, 1978r, Ruhr [illegible]s-Essen. Messanordnung zur Ermittlung des Metall-Boden Potentials kathodisch gesch[illegible]er Metallkörper.

23. Baeckmann W. i inni: Messtechnik beim kathodischen Korrosionsschutz. Grafenau 1982, s.39-45. Ex-pert Verlag.

24. Baeckmann W.: Neue Gesichtspunkte beim kathodischen Korrosionsschutz. Gwf-gas/erdgas. 1982, 10/11, s.530-536.

25. Baeckmann W.: Potentialmessung beim kathod[illegible]en Korrosionsschutz. 3R-International 1978, 8/9, s.545-548.

26. Baeckmann W. i inni: Verfahren und Gerate zum Messen des IR-freien Potentials bei Streustrombeeinflussten Stahlrohrleitungen. 3R-International 1982, 7, s.375-380.

27. Šach V.: Měreni plastovych potencialu sdelovacich kabelu. Sbornik praci Vyskumnecho Ustavu Spoju, 1983, 61, s.125-148.

28. Bralewski J., Teska-Swiderek K.: Badania w zakresie elektrod odniesienia przystosowanych do pomiaru potencjału bez składowej IR. Praca IŁ nr.3/14-02, W-wa, 1982r.

Tablica 1. Średni prąd płynący między modelem konstrukcji i ziemią w pobliżu miejsca usytuowania płytki symulującej sondy pomiarowej

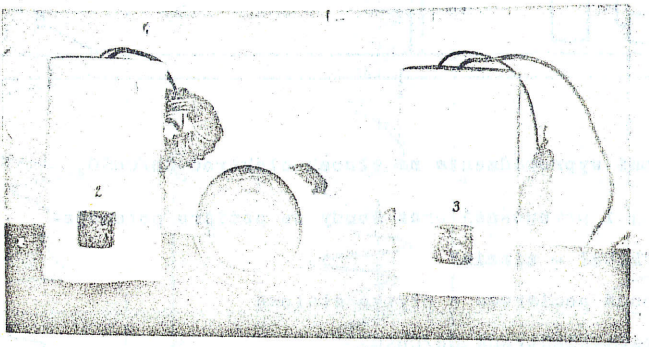
Układ	Elektrolit w miejscu usytuowania sondy pomiarowej	Natężenie prądu anodowego w miejscu usytuowania sondy pomiarowej /I, mA/	Natężenie prądu katodowego w miejscu dopływu do konstrukcji po przeciwnej stronie usytuowania sondy pomiarowej /I, mA/
1	piasek + 20% torfu	+ 0,4	- 0,1
2	piasek + 20% torfu	+ 0,6	- 0,1
3	bentonit	+ 0,5	- 0,4

Tablica 2. Pomiary porównawcze potencjałów w rejonach oddziaływania prądów błądzących wykonane metodą wyłączeniową /Victor/ i bez wyłączania elektrody symulującej sond pokazanych na rys.1 i 2

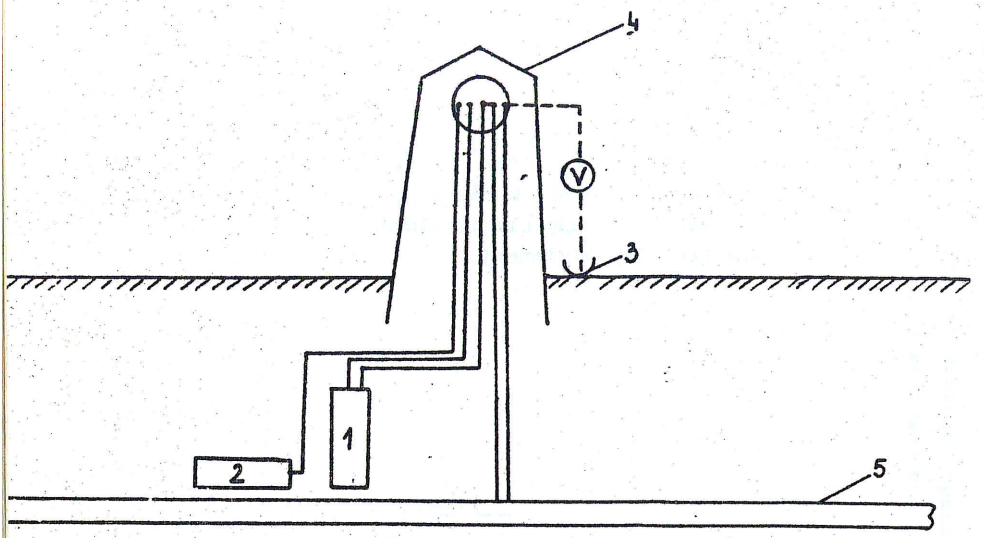
Miejsce pomiaru	Sonda	Potencjał kabel-ziemia, V	
		metoda wyłączeniowa	bez wyłączania
Ł 110	a	- 0,48	- 0,46
	b	- 0,28 - - 0,37	- 0,54 - - 0,68
Ł 317	a	- 0,56	- 0,58
	b	- 0,39 - - 0,42	- 0,60 - - 0,72

a - sonda pokazana na rys.1
b - sonda pokazana na rys.2

Rys.1. Sonda pomiarowa, przeznaczona do zakopania na stałe w ziemi do pomiarów terenowych potencjału metalowej konstrukcji podziemnej



Rys.2. Sonda pomiarowa przeznaczona do pomiarów laboratoryjnych.



Rys. 3. Schemat wyprowadzenia na słupek elektrod $Cu/CuSO_4$ stałej i przenośnej oraz sondy do pomiaru potencjałów "kabel - ziemia"

1 - sonda pomiarowa z płytką stalową

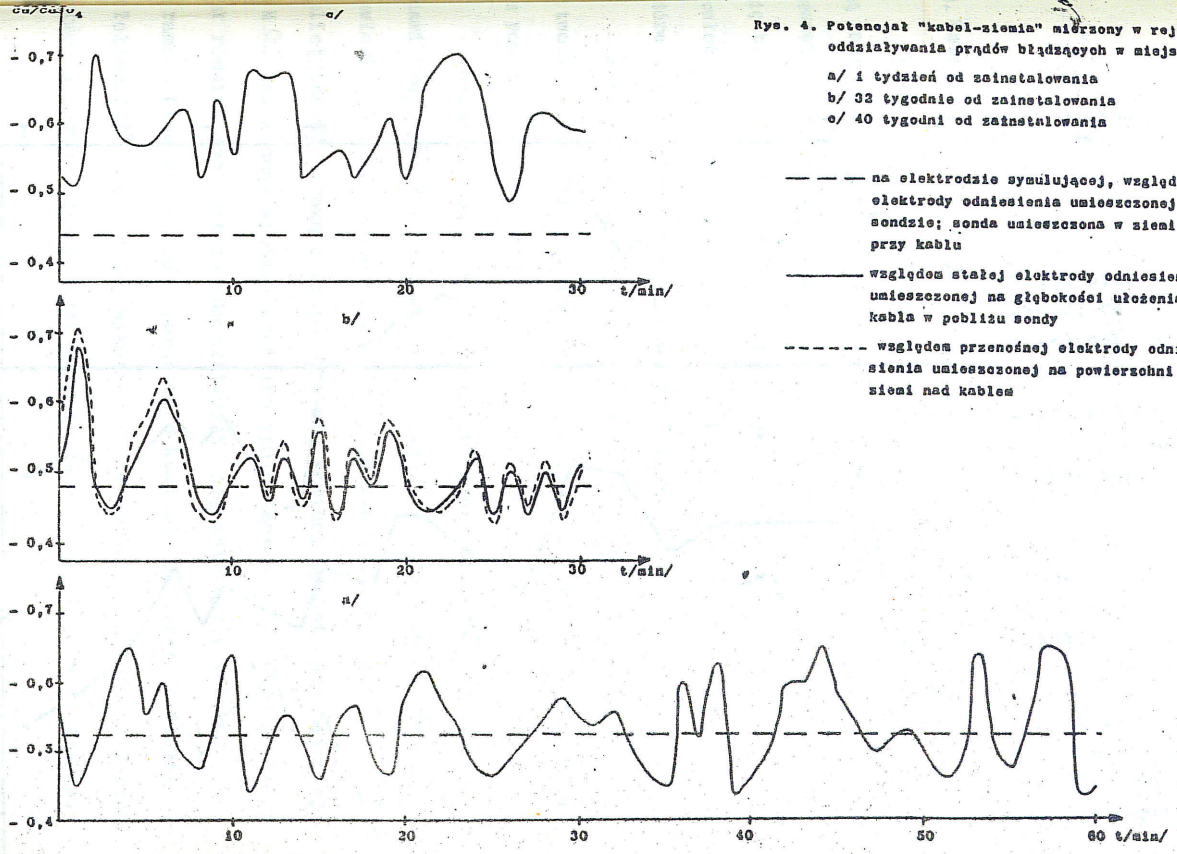
2 - stała elektroda $Cu/CuSO_4$

3 - przenośna elektroda $Cu/CuSO_4$

4 - słupek oznaczeniowo-pomiarowy z gniazdem pomiarowym

5 - kabel

Rys. 4. Potencjał "kabel-ziemia" mierzony w rejonie



Rys. 4. Potencjał "kabel-ziemia" mierzony w rejonie oddziaływania prądów błądzących w miejscowości Ś

a/ 1 tydzień od zainstalowania
b/ 32 tygodnie od zainstalowania
c/ 40 tygodni od zainstalowania

— — — — na elektrodzie symulującej, względem elektrody odniesienia umieszczonej w sondzie; sonda umieszczona w ziemi przy kablu

——— względem stałej elektrody odniesienia umieszczonej na głębokości ułożenia kabla w pobliżu sondy

------- względem przenośnej elektrody odniesienia umieszczonej na powierzchni ziemi nad kablem

Rys. 5. Potencjał kabel-ziemia mierzony w rejonie oddziaływania ochrony katodowej w miejscowości D, przy ł 190

— — — na elektrodzie symulującej, względem elektrody odniesienia umieszczonej w sondzie; sonda umieszczona w ziemi przy kablu

——— względem stałej elektrody odniesienia umieszczonej na głębokości ułożenia kabla w pobliżu sondy

- - - - - względem przenośnej elektrody odniesienia umieszczonej na powierzchni ziemi nad kablem

Janina Pałczyńska, Instytut Łączności, Warszawa
Edward Dmowski, Zakład Doświadczalny Budownictwa Łączności, Warszawa

LOKALIZACJA USZKODZEŃ OSŁON OCHRONNYCH KABLI TELEKOMUNIKACYJNYCH

1. Wstęp

Telekomunikacyjne kable układane bezpośrednio w gruncie, są zabezpieczone najczęściej dwiema metalowymi wartwami : wewnętrzną - powłoką i zewnętrzną - pancerzem. Niekiedy układa się bezpośrednio w gruncie kable z jedną warstwą metalową - powłoką. Warstwy te chroni się przed korozją za pomocą osłon, które powinny izolować metal od środowiska.

Kable aktualnie produkowane w kraju posiadają osłony z tworzyw termoplastycznych, najczęściej z polietylenu, wytłaczane na powłoce i na pancerzu.

Osłony polietylenowe powinny być szczelne. Zgodnie z wymaganiami krajowymi /1/, rezystancja izolacji w stosunku do ziemi, powłoki kabli nieopancerzonych lub pancerza - chronionych polietylenową osłoną o grubości 2 mm, powinny wynosić przynajmniej 1 MΩ. km. Jednak wyniki badań Instytutu Łączności / IŁ / /2,3/ jak również doniesienia administracji zagranicznych, zebrane w ramach Międzynarodowego Doradczego Komitetu do Spraw Telefonii i Telegrafii / CCITT/ /4/ wykazały, że w warunkach eksploatacyjnych termoplastyczne osłony ochronne nie zawsze spełniają te wymagania.

Według wyników badań IŁ około 70 % badanych odcinków instalacyjnych, tj. ułożonych w ziemi niepołączonych, kabli dalekosiężnych w osłonach termoplastycznych, charakteryzowała wartość rezystancji izolacji pancerza w stosunku do ziemi, w granicach $10^2 - 10^3 \Omega$.km.

Niezadawalająca szczelność osłon kablowych może być spowodowana następującymi czynnikami :

- wadami produkcyjnymi,
- uszkodzeniami osłon w czasie składania i transportu kabli,
- uszkodzeniami osłon w trakcie układania kabli w gruncie.

Wady produkcyjne powinny być wykryte za pomocą testera i usunięte w fabryce, natomiast uszkodzenia osłon można wykryć dopiero po ułożeniu kabli w gruncie, na etapie budowy linii kablowej.

Osobny problem stanowi kontrola szczelności osłon ochronnych i izolacji złączy, w przypadku eksploatowanej linii kablowej. Kontrola taka jest konieczna z uwagi na naturalne procesy starzenia tworzywa termoplastycznego, a także ze względu na możliwości mechanicznego uszkodzenia osłony kablowej, np podczas robót budowlanych.

O stanie izolacji linii kablowej decyduje także szczelność warstw izolacyjnych złącza. Wartość rezystancji izolacji złącza w stosunku do ziemi powinna być conajmniej tego samego rzędu co wartość rezystancji izolacji pancerza / powłoki/ kabla, tak aby zmontowane odcinki wzmacniakowe lub regeneratorowe linii kablowej miały rezystancję izolacji wzgl. ziemi co najmniej

1 MΩ.km /5/.

Zagadnienie kontroli szczelności osłon ochronnych kabli i warstw izolacyjnych złącza, podczas budowy i eksploatacji linii kablowych było w ostatnich latach przedmiotem prac w ramach RWPG w temacie IV /6/.

Prawidłowo wykonane, nieuszkodzone osłony termoplastyczne kabli i prawidłowo izolowane złącza kablowe zapewniają wymaganą wartość rezystancji izolacji linii kablowej względem ziemi i skutecznie zabezpieczają linię przed korozją. W takim przypadku nie jest konieczne stosowanie ochrony katodowej /7/. Natomiast eksploatacja linii kablowej o nieszczelnych osłonach i źle izolowanych złączach jest nieekonomiczna i podważa sens stosowania kosztownych osłon termoplastycznych.

W Instytucie Łączności, w ostatnich latach, w ramach problemu węzłowego prowadzono badania nad zagadnieniem kontroli szczelności osłon ochronnych linii kablowych /x/. Badania zakończono opracowaniem Wytycznych / 8/.

2. Kontrola szczelności osłon ochronnych linii kablowej.

Z analizy układu "metal-osłona-ziemia" wynika, że wartość rezystancji izolacji linii kablowej w stosunku do ziemi będzie sumą równolegle połączonych: rezystancji uszkodzeń osłon ochronnych linii i rezystancji izolacji osłon nieuszkodzonych /16/, w przypadku dużych powierzchni uszkodzeń o wartość rezystancji izolacji linii decydować będzie wartość rezystancji uszkodzeń; w krańcowym przypadku - braku osłon, będzie to rezystancja uziemienia długiego uziomu poziomego, jakim stanie się, w tym przypadku, linia kablowa.

/x/ Pojęciem "osłony ochronne linii kablowych " w dalszym ciągu niniejszego referatu określa się: osłony kabli i warstwy izolujące złącza kablowe.

Wartość rezystancji izolacji może więc stanowić kryterium oceny szczelności ochronnych osłon linii kablowej, a więc kryterium obecności uszkodzeń osłon, a nawet wielkości powierzchni oraz konieczności lokalizacji i naprawy uszkodzeń.

Zgodnie z przyjętą graniczną wartością kryterium lokalizuje się uszkodzenie osłon ochronnych linii kablowej w przypadku, gdy wartość rezystancji izolacji zewnętrznej warstwy metalowej względem ziemi jest mniejsza niż 1 M . km, nie zależnie od rodzaju gruntu /8/. Taka wartość rezystancji izolacji powinna charakteryzować linię kablową w ciągu 3 lat eksploatacji / 7/.

Badania rezystancji izolacji rurociągów metalowych w stosunku do ziemi wykazały zależność wartości rezystancji od rezystywności gruntu /9/. W przypadku kabli, w dotychczasowych badaniach tej zależności nie zauważono. Badania były jednak zbyt krótkotrwałe i będą kontynuowane.

W praktyce pomiar rezystancji izolacji instalacyjnych odcinków kabli i odcinków linii kablowej długości kilku km, nie nastręcza trudności o ile badane odcinki linii są odizolowane od całości za pomocą złączy izolacyjnych. Bark jest jednak metody pomiaru rezystancji izolacji odcinków linii kablowej dowolnej długości szczególnie w przypadku dużej liczby uszkodzeń osłon, gdy praktycznie mierzy się rezystancję uziemienia linii.
Metody pomiaru rezystancji uziemienia linii kablowej zalecane przez Nikolskiego i Cikiermana /10/ w praktyce ograniczają się do do odcinków długości 10 km i są zbyt skomplikowane aby polecać je do stałej praktyki służbom eksploatacyjnym.

Zgodnie z Wytycznymi /8/ do pomiaru rezystancji izolacji kabli telekomunikacyjnych, należy wykorzystać mierniki rezystancji o napięciu pomiarowym 100 do 1000 V i zakresie pomiarowym od 1 kΩ do setek MΩ - ponieważ takie wartości rezystancji mierzy się w praktyce, w zależności od długości badanego odcinka i jakości osłon ochronnych.

3. Metody lokalizacji uszkodzeń osłon ochronnych linii kablowych .

Znane metody określania miejsc uszkodzeń żył kabli, mostkowe czy odbiciowe, są mało przydatne przy lokalizacji uszkodzeń osłon kablowych.

Warunkiem dobrych rezultatów przy metodach mostkowych jest mała rezystancja w miejscu uszkodzenia, co nie zawsze będzie możliwe w przypadku osłon kablowych. Ponadto wystąpienie więcej niż jednego uszkodzenia daje fałszywe wyniki.

Przy metodach odbiciowych warunkiem miarodajnych wyników jest jednorodność i dostatecznie mała tłumienność ośrodka, w jakim rozchodzi się sondujący impuls prądowy.

Własności układu kabel - ziemia są niekorzystne dla uzyskania jednocześnie: wystarczająco dużego zasięgu sondowania i dostatecznej rozdzielności obrazu impulsów odbitych. Ponadto wykrywanie metodą odbiciową małych uszkodzeń jest trudne lub niemożliwe, ze względu na wywoływane przez nie małe zakłócenia jednorodności toru pomiarowego. Z tych powodów odbiciowe mogą być ewentualnie przydatne do wstępnego, orientacyjnego lokalizowania dużych uszkodzeń.

Robiono też próby wykorzystania metody ciśnieniowej, wtłaczając do kabla gaz radioaktywny - Krypton 85 i lokalizując wyciek za pomocą licznika Geigera-Millera /11/.

Za granicą w praktyce lokalizacji uszkodzeń stosuje się powszechnie metodę Pearson'a /12 -15/.

W praktyce krajowej brak było dotychczas doświadczeń w zakresie lokalizacji uszkodzeń osłon kablowych dlatego, korzystając z doświadczeń zagranicznych, IŁ podjął w ostatnich latach prace nad wykorzystaniem metod Pearsona. Metoda ta polega na spowodowaniu przepływu prądu ze źródła zewnętrznego, wzdłuż odizolowanej od ziemi konstrukcji metalowej i pomiarze sygnału, to jest zmian wartości napięcia lub zmian pola elektromagnetycznego, występujących na powierzchni ziemi w sąsiedztwie miejsca uszkodzenia pokrycia. Znane są trzy warianty tej metody :

1. z wykorzystaniem sond stykowych i źródła prądu stałego, najczęściej wyposażonego w układ wyzwalający regularne impulsy prądowe,
2. z wykorzystaniem sond stykowych i źródła prądu zmiennego, o częstotliwości kilku Hz,
3. z wykorzystaniem sond stykowych, indukcyjnych lub pojemnościowych i źródła prądu o częstotliwości akustycznej / od setek Hz do 10 kHz/.

Warianty 1 i 2 zapewniają: mniejszą wrażliwość sygnału na zakłócenia w polach oddziaływań prądów ze źródeł zewnętrznych

oraz stosunkowo duży zasięg pomiaru.

Wariant 3 pozwala na lokalizację uszkodzeń osłon kabli ułożonych pod twardą nawierzchnią przy użyciu sond indukcyjnych lub pojemnościowych. W tym przypadku jednak sygnał może być zakłócony, szczególnie przez prądy o częstotliwości przemysłowej. Konieczne jest tu wyposażenie odbiornika w skuteczne układy filtrujące - przeciwzakóceniowe.

Zasady lokalizacji i zmiany sygnału nad uszkodzeniem, pokazano na rysunkach:
1.w przypadku wariantu 1 oraz 2. - w przypadku wariantów 2 i 3.

4. Doświadczenia z krajowymi przyrządami pomiarowymi.

Wstępne pomiary prowadzono w IŁ wykorzystując, do lokalizacji uszkodzeń osłon kablowych, aparaturę PLH-03 przeznaczoną do badań geofizycznych. Źródłem impulsu prądowego był tu generator prądu c częstotliwości 2,5Hz i maksymalnej mocy 16 W /17,18/. Jako odbiornik zastosowano miliwoltomierz o zakresie pomiarowym od 1 mV do 10 V.

Za pomocą tej aparatury wykryto nawet punktowe uszkodzenia osłony ochronnej. Dokładność lokalizacji wynosiła ± 10 cm. Wartość napięcia sygnału mierzona nad osłoną nieuszkodzoną, wahała się w granicach 10 - 30 V i wzrastała do wartości od kilku mV do kilku V nad uszkodzeniem osłony. Wartość mierzonego sygnału była na ogół wprost proporcjonalna do wielkości powierzchni uszkodzenia osłony. Zmiany sygnału, w przypadku uszkodzeń średniej wielkości, obserwowano w odległości ok 20 m od miejsca uszkodzenia. Zasięg sygnału sprawdzono do 2 km.

Podczas badań eksploatowanej linii kablowej wykrywano tylko źle izolowane złącza kablowe. Mimo wykorzystania maxymalnej mocy generatora nie udało się zlokalizować uszkodzeń osłon kablowych mimo, że wcześniejsze badania rezystancji izolacji wykazały na obecność takich uszkodzeń.

Wykorzystując powyższe doświadczenia Zakład Doświadczalny Budownictwa Łączności zaprojektował aparaturę przeznaczoną do lokalizacji uszkodzeń termoplastycznych osłon ochronnych telekomunikacyjnych linii kablowych.

Doświadczalna aparatura, o nazwie: Lokalizator Uszkodzeń Kabli / LUK - 01 /, została wykonana w Przedsiębiorstwie Badań Geofizycznych w Warszawie. Składa się na nią nadajnik, odbiornik oraz rama z sondami pomiarowymi. Dodatkowe wyposażenie stanowią dwa pręty metalowe, przeznaczone na uziomy pomiarowe oraz izolowane przewody, w tym jeden o długości 50 m.

Nadajnik / o masie ok. 4 kg, zasilany z zewnętrznego akumulatora 12 V/ jest źródłem impulsów prądowych o częstotliwości 12,5 Hz i o nastawianej, stabilizowanej wielkości wybieranej w zakresie od 01 do 100 mA. Ponadto w nadajniku znajduje się miernik rezystancji o napięciu pomiarowym ok. 100 V i zakresie od ok. 0,5 kΩ do 10 MΩ.

Odbiornik / o masie ok. 1,5 kg, zasilany z wewnętrznych baterii 3 x 9V/ jest wysoko selektywnym woltomierzem napięć o częstotliwości 12,5 Hz i o siedmiu zakresach pomiarowych : od 0,1 mV do 100 V.

Sztywna rama, o masie 4 kg, jest wyposażona w dwie metalowe sondy w postaci stożkowych ostrzy rozstawionych w stałej odległości 1 m, a także w uchwyt służący do przymocowania odbiornika.

Zestaw przyrządów LUK-01 umożliwia wykonanie :

- lokalizacji uszkodzenia osłony izolacyjnej kabla ułożonego w ziemi,
- pomiaru rezystancji izolacji pancerza lub powłoki kabla względem ziemi,
- pomiaru rezystywności gruntu na trasie kabla.

Do pomiarów lokalizacyjnych nadajnik LUK-01 przyłącza się do chronionego osłoną, metalowego elementu kabla / pancerz lub powłoka/ bezpośrednio - jeżeli jest dostępny koniec kabla lub za pośrednictwem przewodów wyprowadzonych np. ze złącza izolacyjnego / rys. 3a /, w którym zostaje przerwana ciągłość galwaniczna pancerza /i/ lub powłoki/ kabla. Uziom nadajnika stanowi pręt metalowy wbity w grunt na głębokość 40 do 70 cm, w odległości od 10 do 50 m od trasy kabla. Nastawienia natężenia prądu płynącego z nadajnika dokonuje się w zależności od aktualnej wartości rezystancji izolacji kabla względem ziemi, zależnej od długości badanego odcinka, liczby i rodzaju uszkodzeń osłony oraz rezystywności gruntu na trasie kabla. Nastwaioną wartość dobiera się tak, by leżała w zakresie stabilizacji prądu nadajnika. Idąc z ramą pomiarową wzdłuż trasy kabla / rys.3 - b/ co parę kroków wbija się sondy w grunt i odczytuje wartość istniejącego między nimi napięcia, na wskaźniku umocowanego na ramieniu odbiornika.Stosując zasadę lokalizacji uszkodzenia wg rys. 2 zwraca się uwagę na każdy sygnał

wyróżniający się z " tła", obserwuje się jego narastanie i ustala miejsca wystąpienia najsilniejszego sygnału.

Do pomiaru rezystancji izolacji pancerza / lub powłoki/ kabla względem ziemi wykorzystuje się sam nadajnik, włączony jak na rys. 3-a, ale przełączony na układ omomierza. Trzy zakresy pomiarowe umożliwiają ocenę stanu izolacji zarówno dobrych, jak i uszkodzonych odcinków kabla.

Do pomiaru rezystywności gruntu wykorzystuje się jednocześnie nadajnik i odbiornik w układzie jak na rys.3-c. Odległość sond pomiarowych / uziomów/ i nastawiania nadajnika są tak dobrane, że liczbowa wartość rezystywności gruntu jest równa wartości odczytanego napięcia, z uwzględnieniem tylko mnożnika dziesiętnego.

Zestaw przyrządów LUK-01 wykorzystano doświadczalnie[1] m.in. do badania linii kablowej złożonej z pięciu odcinków wzmacniakowych o długości po ok. 4 km każdy, przy czym na trzech odcinkach kabel był ułożony częściowo w kanalizacji kablowej. Przy nieobsługiwanych stacjach wzmacniakowych, na kablu były wykonane złącza izolacyjne z przewodami wyprowadzonymi od pancerza i od ołowianej powłoki kabla. Od czasu ułożenia kabla upłynęły około 2 lata. Grunt na trasie kabla był przeważnie piaszczysto gliniasty, lekko wilgotny, ale miejscami wilgotny a nawet bagnisty.

Na rys.4 przedstawiono przykładowy diagram lokalizacji uszkodzeń na 4-kilometrowym odcinku kabla ziemnego. Można zauważyć, że pomimo istnienia uszkodzeń dużych / sygnał 5 do 50 m V / a nawet

bardzo dużych / sygnał 800 i 4000 mV/ wykrycie uszkodzeń małych /sygnał poniżej 1 mV/ było również możliwe w czasie jednego przejścia trasy kabla. Z doświadczeń wiadomo, że małe uszkodzenia mogą pozostać nie zauważone " w cieniu" dużego uszkodzenia. Na omawianym odcinku sygnał największego uszkodzenia był obserwowany już z odległości ok. 50 m. W takich przypadkach pożądane jest ponowne sprawdzenie odcinka trasy znajdującego się w strefie oddziaływania dużego uszkodzenia, po jego naprawieniu.

Sygnał bardzo małego uszkodzenia. np. rzędu 0,2 mV , jest dostrzegalny z odległości 1 do 2 m, dlatego sondowanie trasy powinno być dokonywane skokami nie większymi niż 3 do 4 m. Podane wartości liczbowe są tylko orientacyjnie, ponieważ zależą one każdorazowo od prądu wyjściowego nadajnika, od warunków glebowych, a ewentualnie również od obecności zakłóceń sygnału.

Pewne trudności i niejednoznaczności wystąpiły podczas prób lokalizacji uszkodzeń bardzo blisko miejsca włączenia nadajnika. W takim przypadku wątpliwości można rozstrzygnąć włączając nadajnik w innym miejscu, np. na drugim /odległym/ końcu badanego odcinka kabla lub linii kablowej.

Inną trudność może stanowić zatarty ślad trasy kabla, ponieważ małe uszkodzenia można wykryć przesuwając się z sondami w pasie o szerokości $\pm$ 0,5 m od osi kabla. Dlatego w przypadku braku wyraźnych śladów trasy kabla trzeba korzystać z dokładnej dokumentacji, ewentualnie wyznaczyć trasę za pomocą szukacza kabla. Jest to jeden z powodów skłaniających do lokalizowania uszkodzeń w niezbyt długim okresie po ułożeniu kabla.

Podczas badań na 17-kilometrowej trasie kabla ziemnego wykryto ogółem 42 uszkodzenia, z których 29 zlokalizowano na złączach kablowych, a 13 na odcinkach kabla. Spośród 24 zbadanych i naprawionych uszkodzeń stwierdzono 11 uszkodzeń z powodu wadliwego zaizolowania ołowianych osłon złączowych / niewłaściwe materiały i wady wykonania/, 9 z powodu skaleczenia szpadlem polietylenowej osłony kabla blisko złącza, a tylko 4 uszkodzenia zewnętrznej osłony na odcinkach kabla daleko od złączy. Wskazuje to na pilną potrzebę uświadomienia i nadzorowania wykonawców robót montażowych.

Wymieniony zakres prac lokalizacyjnych i naprawczych wykonała jedna grupa robocza licząca 5 - 7 osób, w czasie 25 dni roboczych. Wskazuje to z jednej strony na to, że zaniedbania w zakresie organizacji i jakości pracy mogą pociągać za sobą znaczne koszty dodatkowe i opóźnienia terminów zakończenia robót montażowych, zaś z drugiej strony na to, że sam proces lokalizacji uszkodzeń przyrządami typu LUK-01 przebiega stosunkowo sprawnie i przy umiarkowanej nieuchronnej liczbie uszkodzeń nie powinien stanowić odczuwalnego obciążenia zespołów montażowych.

Badania dotyczące lokalizacji uszkodzeń osłon ochronnych linii kablowej, w tym przydatności użytkowej przyrządów LUK-01, nie zostały jeszcze zakończone. Sprawdzono np. całkowitą odporność przyrządów na obecność czynnych linii wysokiego napięcia do 220 kV, ale nie zbadano wpływu zakłóceń powodowanych trakcją elektryczną. Po zakończeniu doświadczeń terenowych przewiduje się zorganizowanie wykonania serii tego typu przyrządów, z uwzględnieniem wyników doświadczeń.

S p i s l i t e r a t u r y

1. PN-75/E-90163. Osłony ochronne i pancerze kabli elektrycznych.
2. Skiba-Rogalska O., Pałczyńska J.: Badania w warunkach eksploatacyjnych środków ochrony dla kabli w powłokach aluminiowych i stalowych. Praca IŁ nr 111.02.A.03, W-wa 1981.
3. Skiba-RogalskaO, Pałczyńska J.: Ocena jakości osłon ochronnych kabli o powłokach aluminiowych na aktualnie budowanych i eksploatowanych liniach telekomunikacyjnych. Praca IŁ nr C-2.1.5.1, W-wa 1982.
4. CCITT Doc Com VI No29 1981-84. Preliminary reply to question 1/VI nad proposals for amendments to recomendation L4.
5. Bralewski J.: Wstępne zasady instalowania kabli w nowoczesnych osłonach ochronnych. Praca IŁ nr 111.02.D.05/734/68, W-wa 1979.
6. Protokół z konferencji naukowo-koordynacyjnej RWPG w temacie IV " Elektrochemiczna ochrona metalowych konstrukcji i aparatów " Sopot, 1985 r.
7. Skiba- Rogalska O.: Wytyczne stosowania skojarzonej ochrony nowoczesnych linii kablowych w wytłaczanych termoplastycznych osłonach ochronnych, przed wyładowaniami atmosferycznymi oddziały waniami elektromagnetycznymi i korozją. Praca IŁ nr C-2.1.8, W-wa1985r
8. Pałczyńska J. Wytyczne badania rezystancji oraz lokalizacji uszkodzeń osłon termoplastyoznych kabli w warunkach eksploatacyjnych. Praca IŁ nr C-2.1.6.4, W-wa 1985 r.
9. Jefimowa A.M.: Prognozirowanie zaszczitnych swojstw izolacionnych pokrytij i parametrow kompleksnoj zaszczity. Materiały konferencji naukowo-koordynacyjnej RWPG w temacie IV " Elektrochemiczna ochrona metalowych konstrukcji i aparatów" Sopot 1985 .
10. Rukawodstwo po projektowaniju i zaszczitie ot korrozii podziemnych metaliczeskich sooruženij swiazi. Ministerstwo Swiazi SSSR, Swiaź Moskwa, 1978

11. Kutze A.: Uber Kabelprufverfahren mit Isotopen.
Informations heft des Instituts fur Post - und Fernmeldewesen
No 240. 1976.

12. Katalog Cable fault location with compact unites on the module system SEBA - DYNATRONIC GMBH. West Germany.

13. Głazow N.P, Striżewskij J.W., Kałasznikow A.L.: Metody kontroli i izmierenij pri zaszczite podziemnych soorużenij ot korrozii. Niedra, Moskwa, 1978.

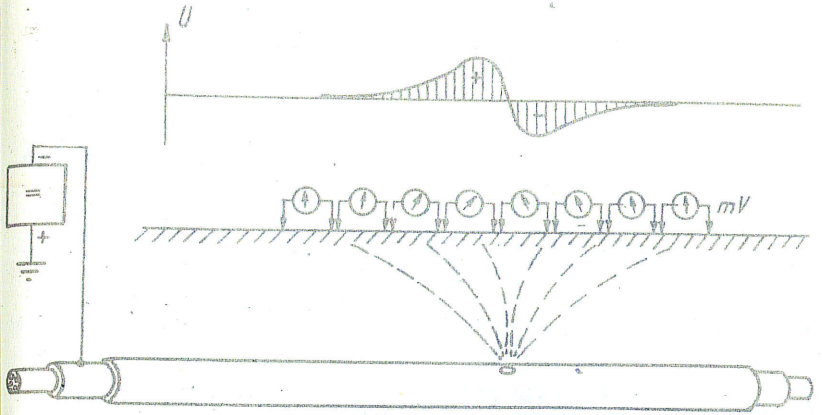
14. Katalog. Aktivni ochrana potrubi. 2. Vydani, Praha, 1981 .

15. Katalog MP54-1976 Messeinrichtungen Simens.

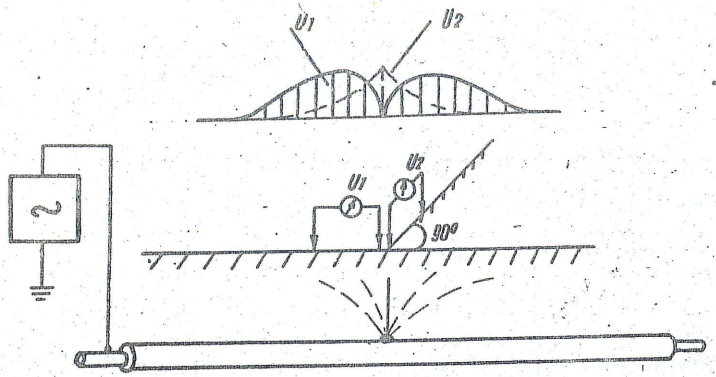
16. Baeckmann v W, Schwenk W.: Katodowa ochrona metali. WNT W-wa 1976.

17. Pałczyńska J.: Opracowanie metody badań rezystancji oraz lokalizacji uszkodzeń termoplastycznych osłon kabli w warunkach eksploatacyjnych. Sprawdzające pomiary terenowe na wybranych odcinkach kabli przy wykorzystaniu dostępnych w kraju urządzeń pomiarowych. Praca IŁ nr. C-2.1.6.2, W-wa 1984

18. Pałczyńska J. : Opracowanie metody badań zerystancji oraz lokalizacja uszkodzeń termoplastycznych osłon kabli w warunkach eksploatacyjnych. Wybór metody optymalnej i opracowanie aparatury pomiarowej. Praca IŁ nr C-2-1-6.3. W-wa 1984 .



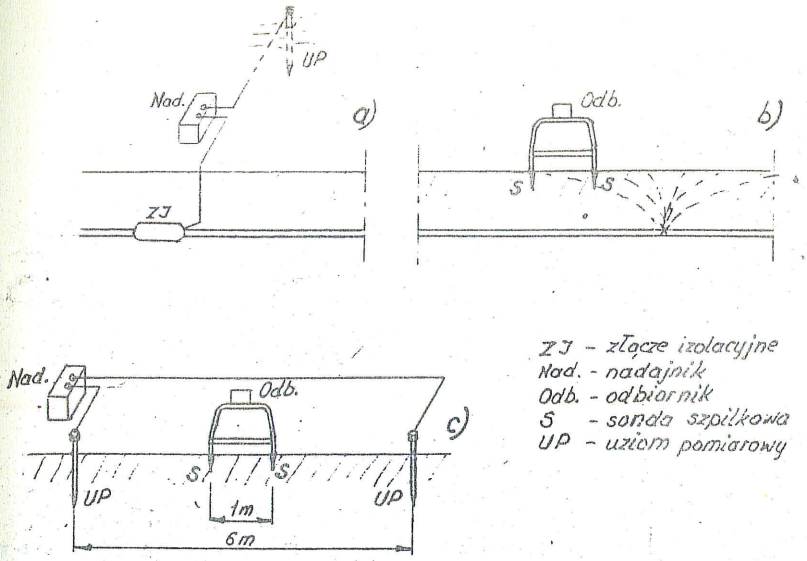
Rys.1Zasada lokalizacji uszkodzenia osłony ochronnej kabla metodą prądu stałego



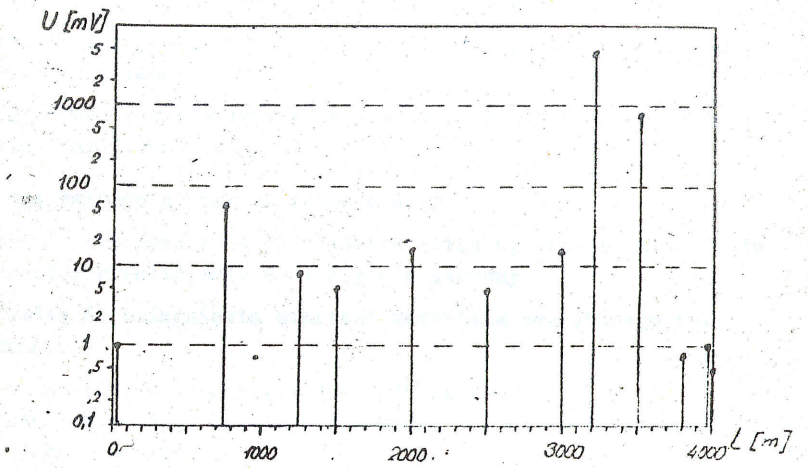
Rys. 2. Zasada lokalizacji uszkodzenia osłony ochronnej kabla metodą prądu przemiennego.

U_1 - różnica potencjałów na sondach umieszczonych równolegle do kabla

U_2 - różnica potencjałów na sondach umieszczonych prostopadle do kabla.



Rys. 3 Przykłady wykorzystania zestawu ŁUK-01 do pomiarów:
a/ rezystancji izolacji kabla względem ziemi
a+b/ lokalizacji uszkodzeń osłony izolacyjnej kabla
c/ rezystywności gruntu



Rys. 4 Przykład rozmieszczenia uszkodzeń wykrytych wzdłuż badanego odcinka linii kablowej o długości 4 km i maksymalne wielkości sygnałów odebranych w miejscach uszkodzeń. Prąd nadajnika 50 mA.

PASIVE POLARYZACJI KATODOWEJ PRZY STOSOWANIU UZIOMÓW GŁĘBOKICH

Jerzy Sibila
Politechnika Poznańska

1. Wprowadzenie

W ostatnich kilkunastu latach coraz szerzej stosowane są w ochronie katodowej uziomy głębokie, w których anody umieszczone są pionowo, jedna nad drugą, na głębokościach 15-200 m.

Jako główne zalety uziomów głębokich w porównaniu z tradycyjnymi anodami płytkimi wymienia się [1]:

- zmniejszenie oddziaływania ochrony katodowej na sąsiednie, niechronione konstrukcje podziemne,
- zapewnienie lepszego rozkładu prądu ochronnego i to o większym natężeniu niż przy anodach podpowierzchniowych,
- mniejsze zapotrzebowanie terenu, co umożliwia ich stosowanie w miastach,
- możliwość ich stosowania na obszarach o nawet bardzo wysokiej rezystywności gruntu.

Do wad uziomów głębokich zalicza się:

- wyższy niż przy anodach płytkich koszt wykonania uziomu i to nawet w przeliczeniu na 1 A prądu ochrony,
- trudną do osiągnięcia zwartość materiału zasypkowego wokół anod,
- trudne odprowadzanie gazów z łoża anodowego,
- trudną renowację uziomu w przypadku uszkodzenia któregoś z jego elementów.

2. Rodzaje uziomów głębokich

Istnieje wiele rozwiązań konstrukcyjnych stosowanych aktualnie uziomów głębokich, jednak ze względu na technologię ich wykonania a zwłaszcza materiał wypełniający przestrzeń wokół anod można wyróżnić trzy rodzaje tych uziomów.

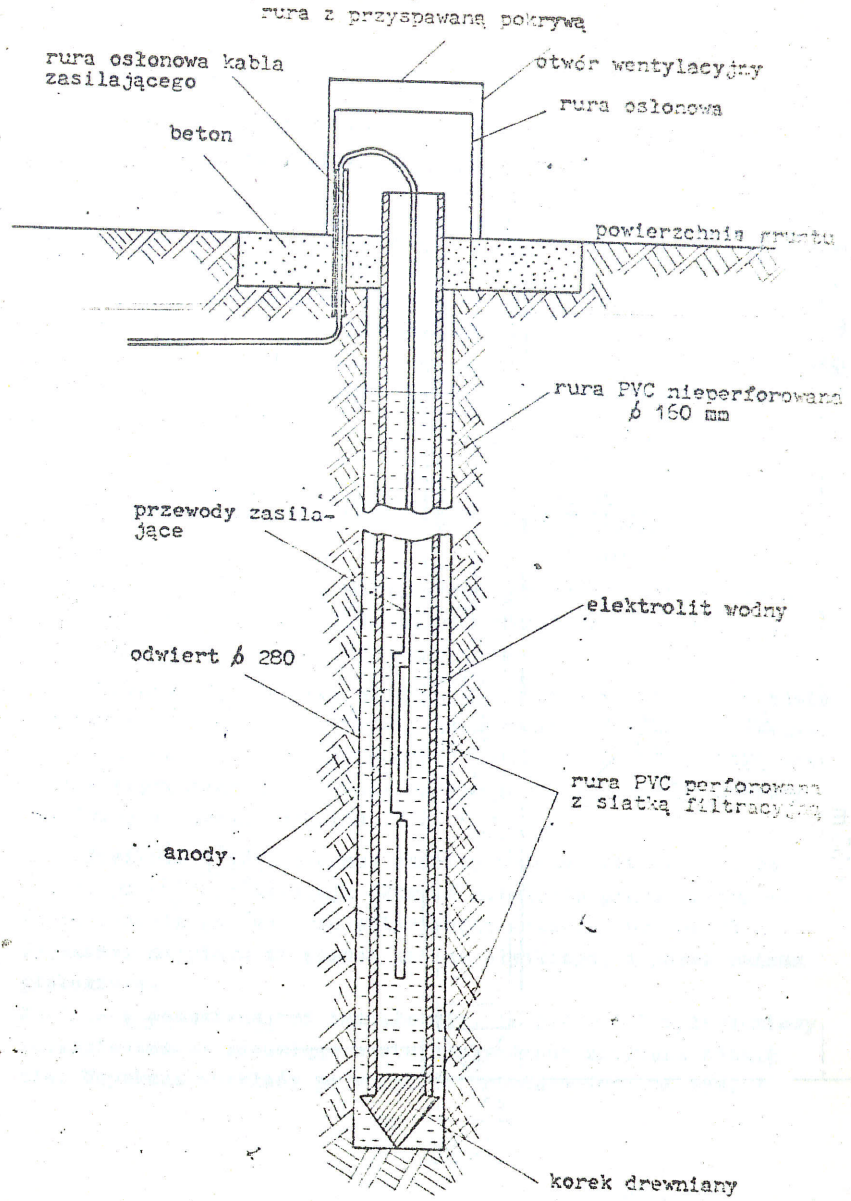
2.1. Anodowy uziom głęboki typu otwartego

Zasadniczy element tego uziomu stanowi perforowana rura z polichlorku winylu, której zadaniem jest zabezpieczenie odwiertu przed zasypaniem. Perforacja powierzchni bocznej rury umożliwia swobodny dopływ wody gruntowej do uziomu i wypływ prądu z anod do odpowiednich warstw gruntu. W celu zapobieżenia przemieszczaniu przez perforację cząstek gruntu do wnętrza rury owija się ją siatką filtracyjną. Wewnątrz orurowania umieszcza się w łatwy sposób w wodnym elektrolicie, na dowolnej głębokości anody. Rezystywność elektrolitu można korzystnie zmniejszać przez dodanie odpowiednich soli. Konstrukcję opracowanego w Politechnice Poznańskiej /patent nr P 240862/ uziomu głębokiego typu otwartego przedstawiono na rys. 1.

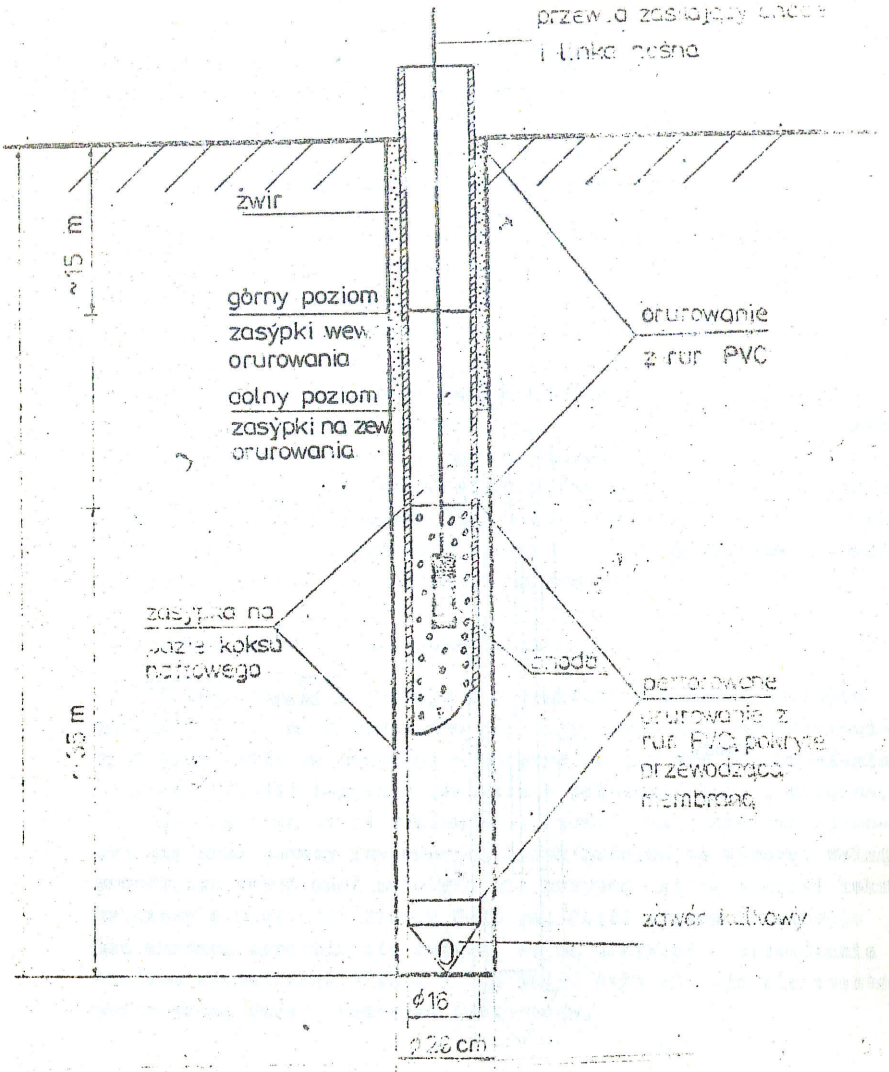
2.2. Uziom głęboki z aktywatorem koksowym

W uziomach tych stosuje się orurowanie stalowe odwiertu na długości 10 m. W przypadku gdy cały otwór musi być orurowany i orurowanie ma pozostać w otworze, łączy się je równolegle do anod [2]. Aby zapewnić centryczne położenie anod w otworze, stosuje się urządzenie centrujące, które wraz z anodami opuszcza się przy pomocy izolowanych linek nośnych do otworu. Wolną przestrzeń wokół anod zapełnia się zasypką, którą stanowi koks kutnieszy o wielkości ziaren 2-15 mm. Część otworu uziomowego nad anodami zapełnia się żwirem, co ma ułatwiać odprowadzanie anodowo wytwarzanego tlenu. W tym samym celu stosuje się często perforowaną rurę z tworzywa sztucznego.

Rys.1



Rys.1. Anodowy uziom głęboki typu otwartego


przewód zasilający anodę
i linka pośna
żwir
~15 m
górny poziom
zasypki wew.
orurowania
dolny poziom
zasypki na zew.
orurowania
orurowanie
z rur PVC
zasypka na
bazie koksu
naftowego
~15 m
anoda
perforowane
orurowanie z
rur PVC pokryte
przewodzącą
membraną
zawór kulkowy
ϕ16
ϕ28 cm

2. [illegible] anodowy [illegible]

2.3. Uziom głębokie z fluidyzowanym aktywatorem koksowym

W uziomie głębokim typu otwartego, na skutek umieszczenia anod w elektrolicie wodnym zachodzi przyspieszone zużycie materiału anod. Natomiast w uziomie z zasypką z koksu lutniowego wymiana anod np. w przypadku ich uszkodzenia, jest praktycznie niemożliwa.

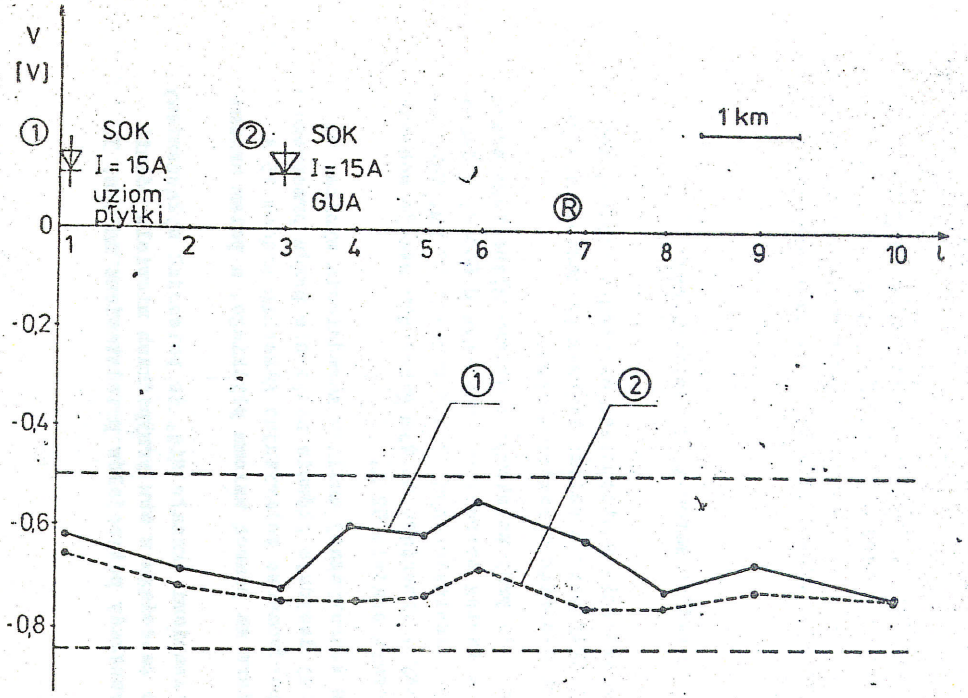
Dopiero zastosowanie dającej się upłynniać zasypki koksowej umożliwia wymianę nieprawidłowo działających anod, oraz zapewnia niską rezystancję uziomu i mało zużycie materiału anod. Konstrukcję tego typu uziomu wymienialnego przedstawiono na rys. 2.

3. Ochrona katodowa rurociągów magistralnych

W celu stwierdzenia skuteczności działania ochrony katodowej wykonanej przy użyciu uziomu głębokiego zastosowano ją do ochrony dwóch gazociągów magistralnych.

Okazało się, że przy uzyskanym z uziomu głębokiego prądzie o natężeniu 40 A zasięg ochrony na gazociągu Ø 600 m, o izolacji bitumicznej, eksploatowanym 17 lat wynosił 32 km. Taki sam zasięg zapewniały 4 pracujące na tym gazociągu stacje ochrony katodowej o łącznym prądzie 52 A.

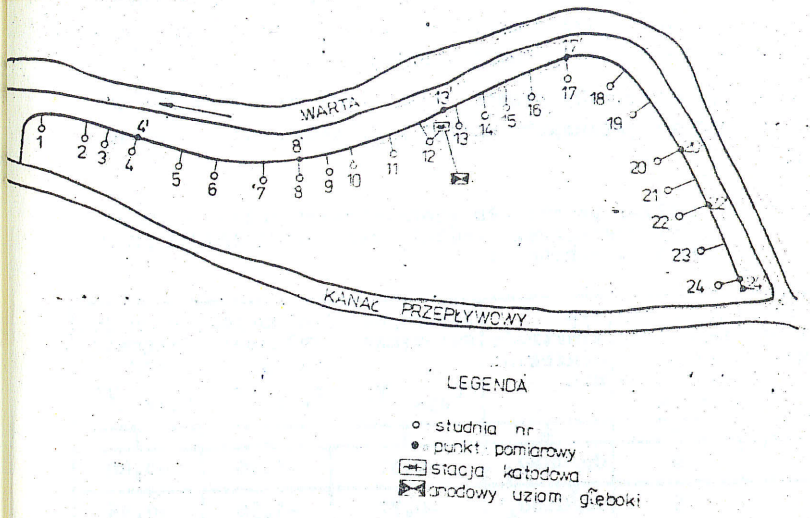
Ponieważ z teoretycznej analizy zagadnienia wynika, że o zasięgu ochrony decyduje głównie natężenie prądu przeprowadzone badania porównawcze polaryzując gazociąg prądem 15 A uzyskanym najpierw za pomocą uziomu płytkiego, a potem uziomu głębokiego.
Zgodnie z oczekiwaniami okazało się, że potencjał wyłączeniowy zabezpieczanego gazociągu w obu przypadkach niewiele różnił się. Uzyskane rozkłady potencjałów przedstawiono na rys. 3.



Rys.3. Potencjał wyłączeniowy wzdłuż wyprostowanej trasy gazociągu w przypadku działania istniejącej ochrony katodowej (1) oraz doświadczalnej ochrony z głębokim uziomem anodowym (2)

4. Ochrona katodowa studni głębinowych

Kolejny uniem głęboki zastosowano do wspólnej ochrony katodowej 24 studni głębinowych i rurociągu zbiorczego wody surowej na ujęciu wody dla m.Poznania. Plan sytuacyjny rurociągu i studni przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4 Plan sytuacyjny ochrony katodowej studni

Próbna ochrona katodowa wykonana na pomocą anod podpowierzchniowych nie dała pozytywnego rezultatu, gdyż prąd ochrony /14 A/ wpływał tylko do 4-5 najbliższych studni a przesunięcie potencjału

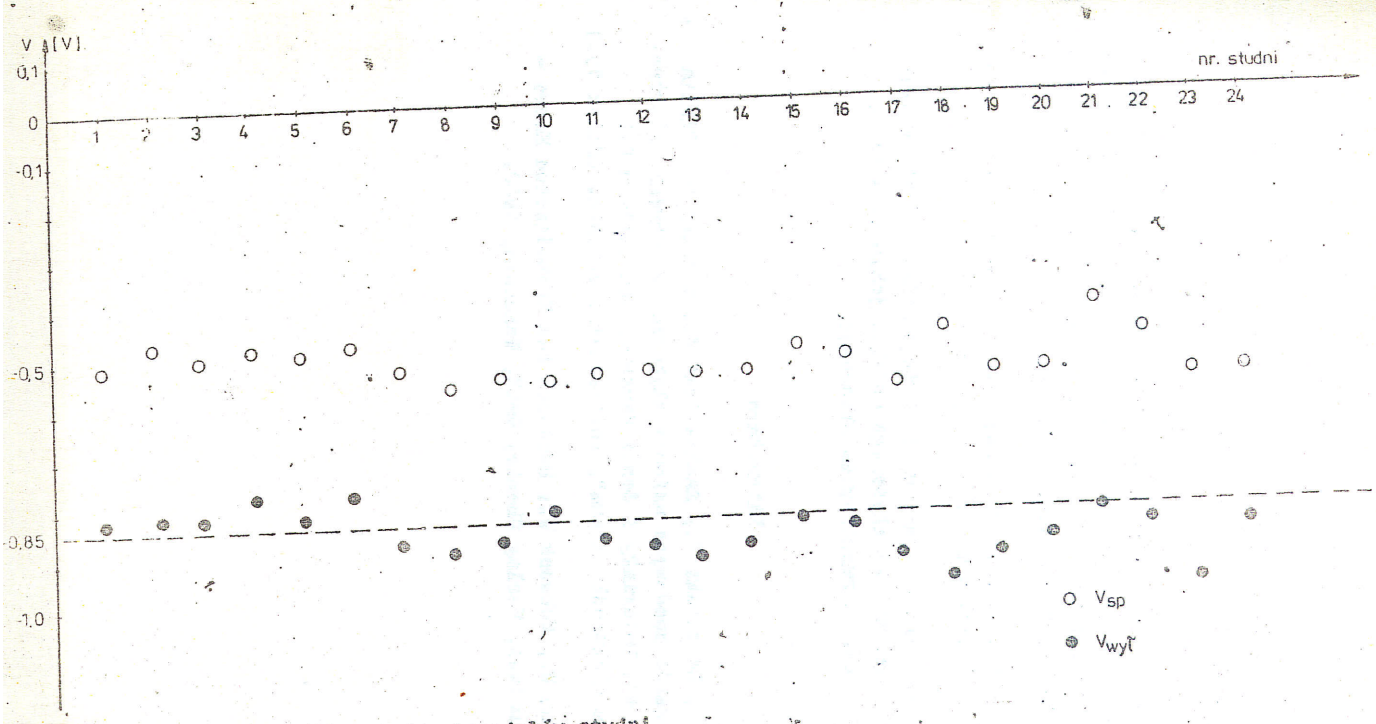
wynosiło zaledwie 20-25 mV.

W układzie głębokim umieszczono 14 anod z żeliwa wysokokrzemowo-chromowego i uzyskano prąd ochrony 51 A. W celu określenia skuteczności działania tego układu przeprowadzono pomiary potencjału elektrochemicznego rurociągu tłocznego i rur nadfiltrowych studni przy powierzchni ziemi. Dla zmierzenia rozkładu potencjału wzdłuż rury nadfiltrowej studni, umieszczono dla wybranej studni, na kilku różnych głębokościach elektrody odniesienia. Okazało się, że wraz ze wzrostem głębokości potencjał rury nadfiltrowej jest coraz bardziej ujemny. Można zatem sądzić, że jeżeli osiągnięty zostaż potencjał ochronny obudowy studni przy powierzchni ziemi, to zostaż osiągnięty potencjał ochronny na całej powierzchni studni.

Uzyskane potencjały studni głębinowych przedstawiono na rys. 5, a rozkład potencjału wzdłuż rury nadfiltrowej podano w tabeli 1.

TABELA 1 Rozkład potencjału spoczynkowego, załączeniowego i wyłączeniowego wzdłuż rury nadfiltrowej przy prądzie ochrony I = 51 A

l.p.	Nr studni	Głębokość zakopania elektrod odniesienia [m]	Typ elektrody odniesienia	Potencjał spoczynkowy V_{spo} [V]	Potencjał załączeniowy $V_{zał}$ [V]	Potencjał wyłączeniowy $V_{wył}$ [V]
1	2	3	4	5	6	7
1.		0	$Cu/CuSO_4$	-0,57	-1,90	-0,88
2.		5	$Cu/CuSO_4$	-0,77	-1,58	-0,96
3.	24	13	$Cu/CuSO_4$	-0,93	-1,16	-1,12
4.		13	Zn	+0,10	-0,70	-0,08
5.		23	Zn	-0,04	-0,58	-0,48



Rys. 5. Rozkład potencjałów studni

W n i o s k i

1. Z uziomu głębokiego można otrzymać znacznie większe prądy anodowe z anod powierzchniowych, co zapewnia większy zasięg ochrony i umożliwia ochronę katodową konstrukcji wymagających dużych gęstości prądu ochrony.

2. Ochrona katodowa z uziomem głębokim daje bardzo równomierny rozkład potencjału na chronionej konstrukcji.

3. Dzięki zastosowaniu uziomu głębokiego możliwa jest wspólna ochrona katodowa tak złożonego obiektu jakim są studnie głębinowe wraz z rurociągiem zbiorczym.

Literatura

1. Horst W., Kenżowski J., Machczyński W., Massiel C., Sibila J.: Zastosowanie anodowych uziomów głębokich w ochronie elektrochemicznej. Materiały I Sesji Naukowej podproblemu C.2 "Ochrona elektrochemiczna", Politechnika Gdańska, Gdańsk 1983

2. Baeckmann W., Schwenk W.: Handbuch des Kathodischen Korrosionsschutzes, Verlag Chemie, GmbH, Weinheim, 1980.