



PRZEGLĄD SPECJALNYCH METOD POMIAROWYCH
SELECTION OF SPECIAL MEASURING METHODES

Hans-Günter Naumann*, Gerd Zimmermann**

*Wintershall AG

Friedrich-Ebert-Str. 160, 34119 Kassel, Germany

**SSS Korrosionsschutztechnik GmbH & Co. KG

Münchener Str. 69, 45145 Essen, Germany

Słowa kluczowe: rezystywność gruntu, prądy błądzące, interferencje
Key words: soil resistivity, stray currents, interferences

Streszczenie

W ochronie antykorozyjnej, oprócz pomiarów rutynowych, istnieje cały szereg specjalnych pomiarów które są korzystne, a czasem nawet niezbędne podczas planowania instalacji oraz w czasie eksploatacji systemów antykorozyjnych.

W pracy przedstawiono, między innymi, następujące problemy związane z ochroną aktywną rurociągów: pomiary rezystywności gruntu na dużych głębokości z wykorzystaniem metod komputerowych, interferencje prądu stałego, interferencje prądów błądzących, lokalizacja defektów spowodowanych przewiertami kierowanymi, wyznaczanie gęstości prądu ochronnego na odseparowanych i nieodseparowanych odcinkach rurociągu oraz w studzienkach.

Summary

In addition to the routine measurements at cathodic corrosion protection systems, a number of special measurements are useful and sometimes urgently necessary when planning, constructing and operating cathodic protection systems.

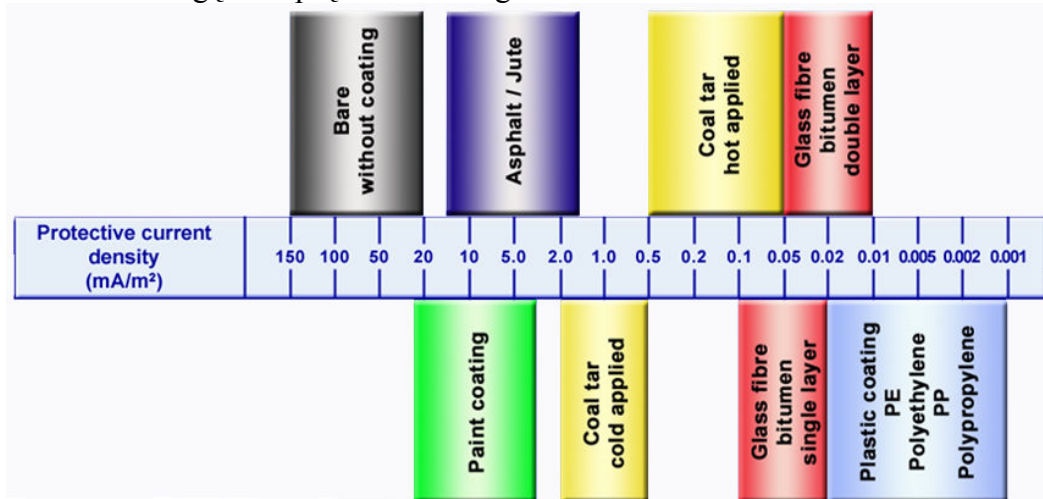
In this paper the following problems connected in active protection of pipeline are considered; measurement of deep soil resistivity with computerized instrument, DC interference, stray current interference, AC interference, pipe currents, fault location, location of coating defects caused by horizontal drilling, determination of current densities on electrically isolated pipes and electrically not isolated pipes, current requirement determination of well casings.

1. Pomiary przedprojektowe

Dla potrzeb projektowania ochrony katodowej najważniejszymi parametrami są: gęstość prądu ochrony katodowej oraz specyficzna rezystywność gruntu w miejscu przewidywanej instalacji uziomu anodowego.

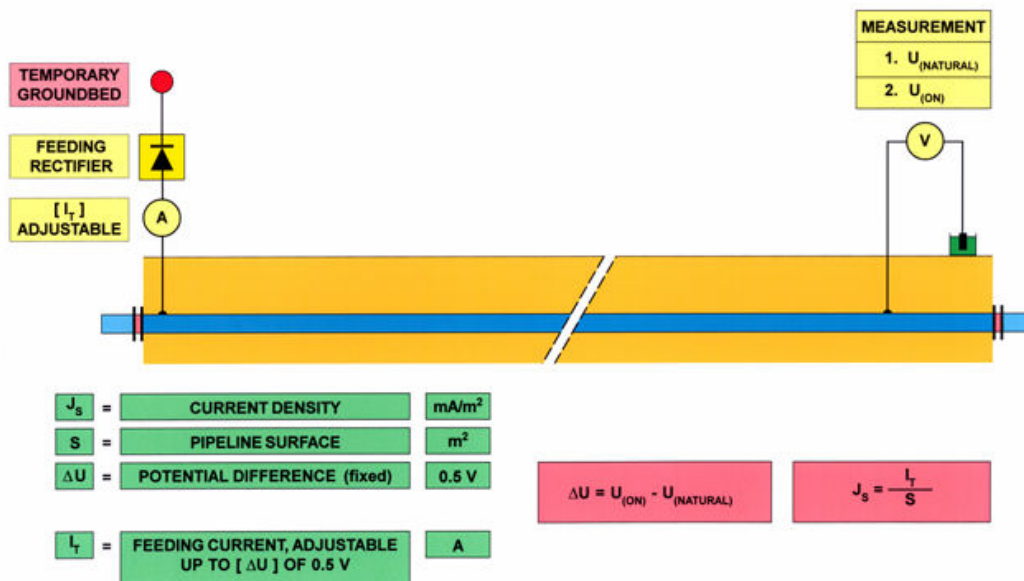
1.1 Gęstość prądu ochrony katodowej

Dla nowo budowanych rurociągów, w zależności od zastosowanej powłoki izolacyjnej, można na podstawie wartości doświadczalnych, jak na rys.1, wystarczająco dokładnie oszacować gęstość prądu ochronnego.



Rys.1 Szacowanie gęstości prądu ochronnego

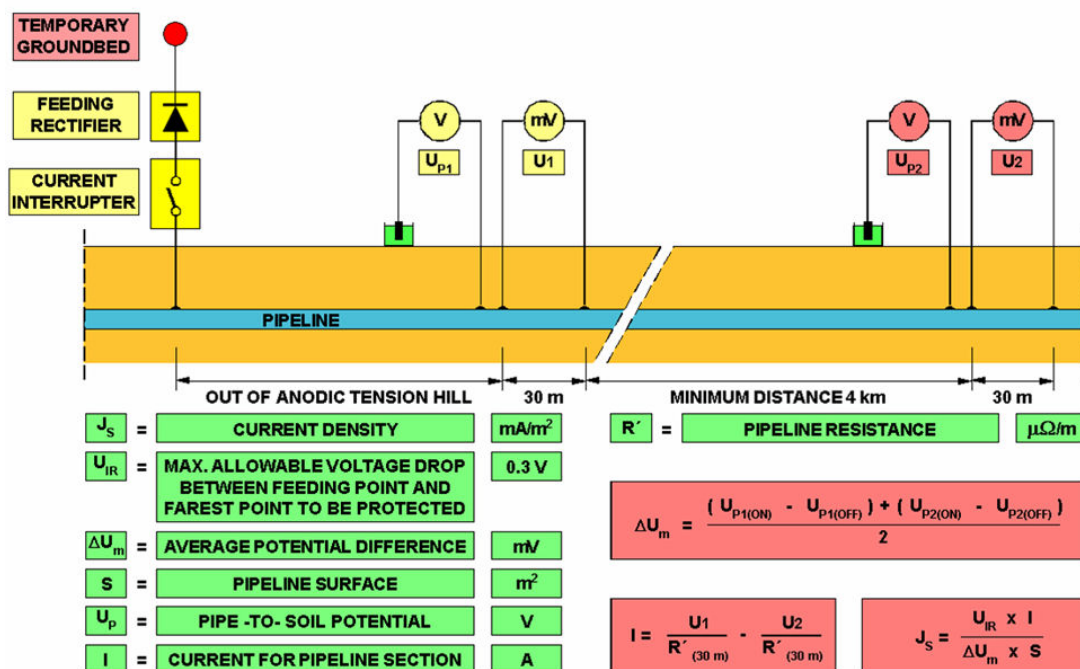
Dla istniejących rurociągów, które są za pomocą monobloków elektrycznie odseparowane i nie wykazują żadnego połączenia z niski omowymi uziemieniami, można wyznaczyć gęstość prądu poprzez pomiar przy zasilaniu rurociągu prądem zasilania, jak na rys.2.



Rys. 2 Wyznaczanie gęstości prądu dla odseparowanych odcinków rurociągu

Dla istniejących rurociągów, które nie są elektrycznie odseparowane monoblokami, można wyznaczyć gęstość prądu ochronnego poprzez pomiar przy zasilaniu odcinka prądem zasilania, jak na rys.3. Trzeba przy tym zauważyć, że odcinek pomiarowy, reprezentatywny pod względem do jakości izolacji dla całego rurociągu, powinien mieć długość przynajmniej 4 km.

Oprócz tego na tym odcinku nie powinny znajdować się żadne zawory ani inne urządzenia.



Rys. 3 Wyznaczanie gęstości prądu dla nieodseparowanych odcinków rurociągu

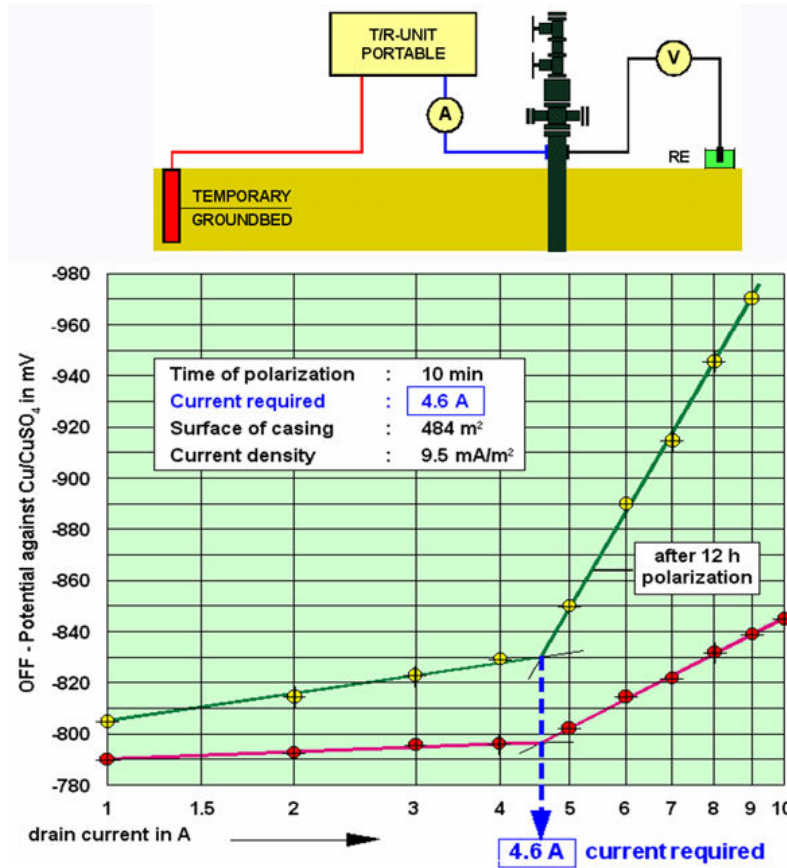
Gęstość prądu dla osłoniętych studni może być określony metodą E-log-I test. Zgodnie z zaleceniami NASA nagłe zagięcie (zmiana krzywizny) na krzywej potencjału w funkcji logarytmu prądu dla pojedynczej studni może dostarczyć informacji o średnim zapotrzebowaniu prądu ochronnego. Osłonięta studnia jest polaryzowana w stałym interwale czasu 10 minut ze zwiększaniem jego poziomu.

Na rys. 4 pokazano przykładowy schemat ideowy pomiaru.

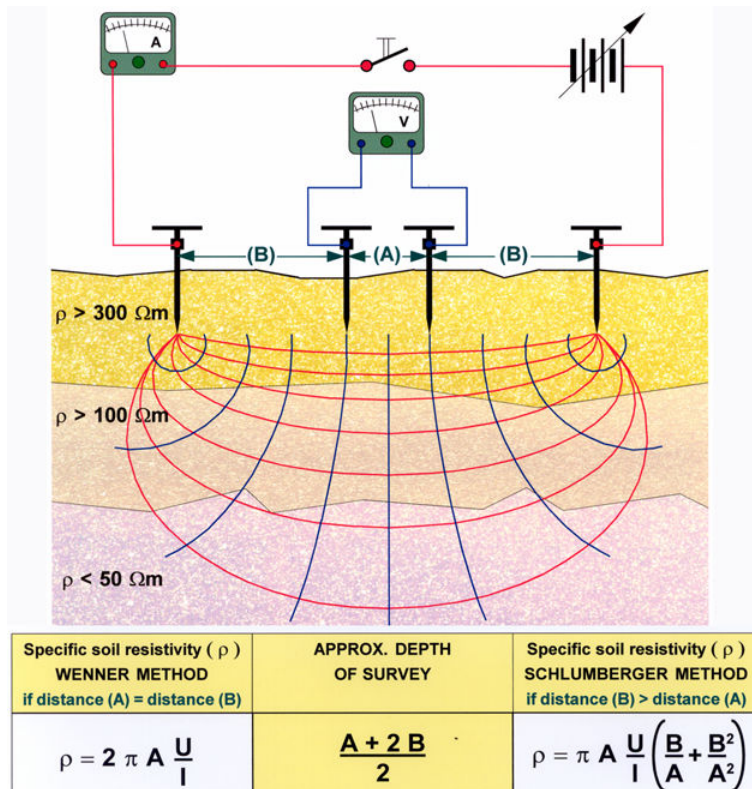
1.2 Rezystywność gruntu

Duże znaczenie dla obliczenia ilości anod i rozmieszczenia urządzeń prądu ochronnego ma rezystywność gruntu. Dla instalacji anod powierzchniowych można za pomocą dostępnych w handlu urządzeń mierników rezystancji uziemień wyznaczyć rezystywność gruntu metoda „Wennera“.

Są to mierniki prądu przemiennego o częstotliwości 128Hz. Pozwalają one na wystarczająco dokładne pomiary jedynie do głębokości ok. 15 m

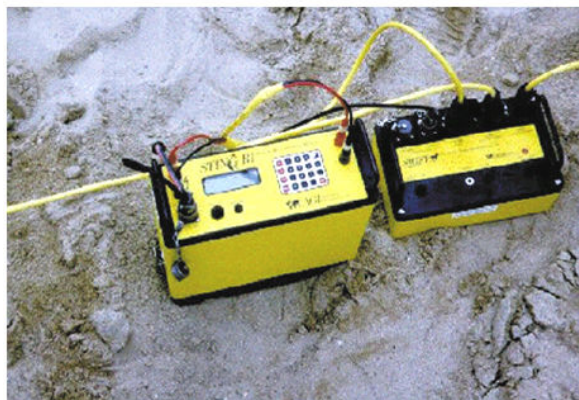


Rys. 4 E-log-I test

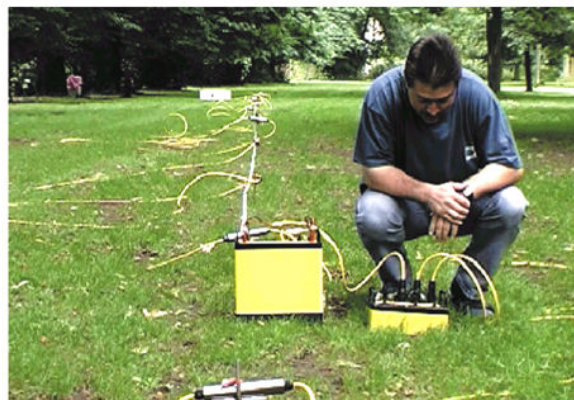


Rys. 5 Pomiar rezystywności gruntu

Przy głębokościach większych polecana jest metoda "Schlumbergera". Wymaga ona jednak specjalnych urządzeń pomiarowych, w których jest stosowane napięcie prądu stałego. Jedno z takich urządzeń przedstawia rys. 6.



SWIFT CONTROL UNIT WITH CENTRAL ELECTRONIC AND POWER UNIT INTERFACED TO RESISTIVITY METER AS OPTION TO A STANDARD PC

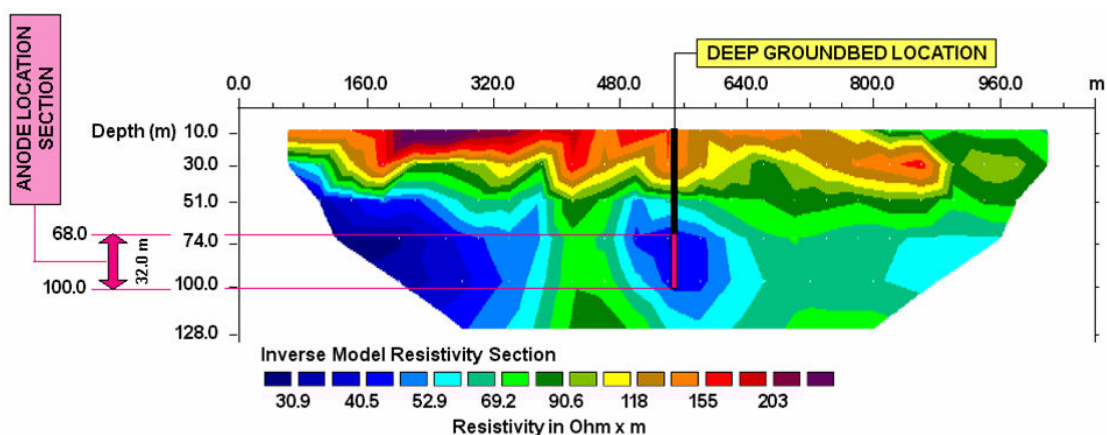


SWIFT CONTROL UNIT, CABLES AND ELECTRODE SYSTEM WHICH ENABLES AUTOMATIC MEASUREMENTS TO BE MADE FOR 2D AND 3D SURVEYS

Rys. 6 Urządzenie do pomiaru rezystywności gruntu na większych głębokościach

Urządzenie to ma tę zaletę, że wszystkie elektrody, w zależności od wymaganej głębokości pomiaru, są jednorazowo rozmieszczone, podczas gdy klasyczna metoda "Schlumbergera" wymaga ciągłej zmiany rozstawienia elektrod. Oprócz oszczędności czasu, pozwala to też na dokładniejszą ocenę wyników pomiarowych.

Na rys. 7 pokazano wyniki pomiaru zobrazowane na ekranie monitora. Różne wartości rezystywności gruntu mogą być ujęte i przedstawione w kolorach.



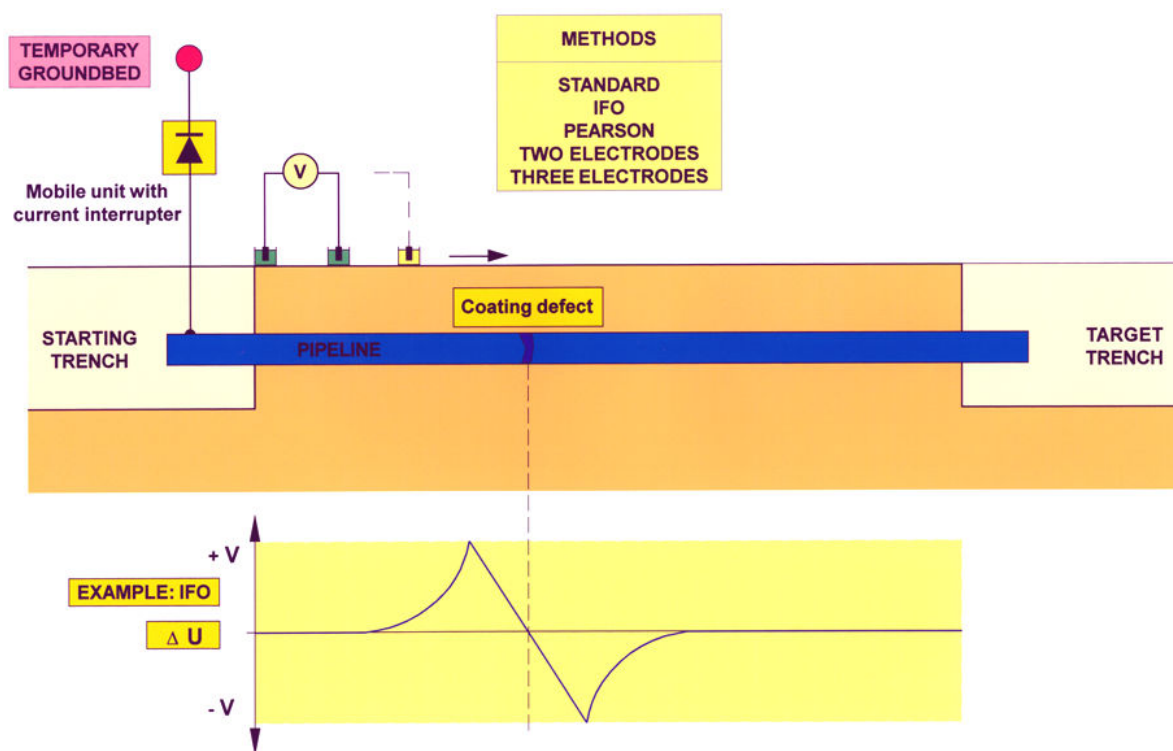
Rys. 7 Widok na ekranie monitora urządzenia do pomiaru rezystywności gruntu na dużych głębokościach

Głębokość pomiaru wynika z długości poziomego odcinka pomiarowego a dokładność pomiaru jest zależna od ilości zastosowanych elektrod, tzn. od odległości względem siebie.

2. Pomiary wykonywane podczas budowy i eksploatacji

2.1 Określanie defektów powłoki powstałych podczas wykonywania przewiertu kierowanego

Przy skrzyżowaniach nowych rurociągów z ulicami, drogami kolejowymi, rzekami itp. stosuje się coraz częściej tak zwane przewiertu kierowane. Zgodnie z poleceniem niemieckiego AfK, na każdym odcinku rurociągu wykonywanym przewiertem kierowanym wyznacza się gęstość prądu ochronnego poprzez pomiar przy zasilaniu odcinka jak na rys.8.



Rys. 8 Pomiar gęstości prądu

W tabelach 1 i 2 tabele są zestawione wyniki pomiarów i obliczeń dla danego odcinka rurociągu wykonanego przewiertem kierowanym. Najpierw wprowadzane są dane techniczne rurociągu. Następnie mierzy się potencjały korozyjne na obu końcach odcinka, rezystancje przejścia do ziemi i rezystywność gruntu. Maksymalna dopuszczalna gęstość prądu ochronnego dla danego odcinka rurociągu zostaje wybrana z tabeli 1, a gęstość prądu dla gołej powierzchni rury w zależności od specyficznej rezystancji gruntu.

Tabela 1

DRAIN TEST ON PIPELINES INSTALLED BY HORIZONTAL DRILLING	
Pipeline	:
Name of pipeline	: MIDAL
Location of drilling	: Emsdüker
Type of coating	: PE 3.3 mm
Type of welding-recoating	: Epicote
Nominal dimension	: l = 900 m
Wall thickness	: d = 0.012 m Outer diameter : D = 0.932 m
Total length of drilled pipe	: 1025.00 m
Length of pipe in contact with soil	: L = 1003.00 m
Surface area of pipe in soil	: A = 2936.75 m ²
Condition of pipe coating at the end point of drilling	: without coating holidays
Type of soil	: Clay
Natural potential at starting point Uo	: -0.580 V / Cu / CuSO ₄
Natural potential at end point Uo	: -0.610 V / Cu / CuSO ₄
Earthing resistance A.C. Ra	: 1.7 Ohm
Spec. soil resistivity at pipe depth Rho	: 25 Ohm m
Frequency	: 100 Hz
CALCULATION OF MAX. ALLOWABLE CURRENT DENSITY UNDER CONSIDERATION OF ACTUAL LENGTH OF THE DRILLED PIPE AND THE SPECIFIC SOIL RESISTIVITY FOR ONE COATING DAMAGE ONLY	
Expected ON-Potential Uon	: -1.5 V / Cu / CuSO ₄
Current density (*) Js	: 100 mA / m ²
Diameter of coating damage Df	: 0.662 m
Surface area of coating damage Af	: 0.344 m ²
Max. drain current Jmax	: 34.43 mA
Max. current density Jsmax	: 0.01172 mA / m ²
(*)values of CURRENT DENSITIES to be taken depending on specific soil resistivities	
Ohm m	=<10 10-20 20-30 30-50 50-100 >100
mA/m ²	200 150 100 75 50 30
Drilling with Bentonite 70 mA/m ² has to be taken!	

Tabela 2

DRAIN TEST ON PIPELINES INSTALLED BY HORIZONTAL DRILLING

Drain test according to AfK No. 1			Switch-off time < 5 s				
Time min.	Potential U _{on} V / Cu/CuSO ₄	Potential U _{off} V / Cu/CuSO ₄	Diff. U _{on} /U _{off} V	Drain current J mA	Resistance R Ohm	Current density J _s mA/m ²	Coating resistance R _u Ohm m ²
3	-1.50	-0.68	0.82	515.00	1.60	0.175364	4.676
6	-1.50	-0.72	0.78	510.00	1.50	0.173661	4.491
9	-1.50	-0.76	0.74	498.00	1.50	0.169575	4.364
12	-1.50	-0.79	0.71	493.00	1.40	0.167873	4.229
**15	-1.50	-0.83	0.76	485.00	1.40	0.165149	4.057
30	-2.00						
60	-2.00						

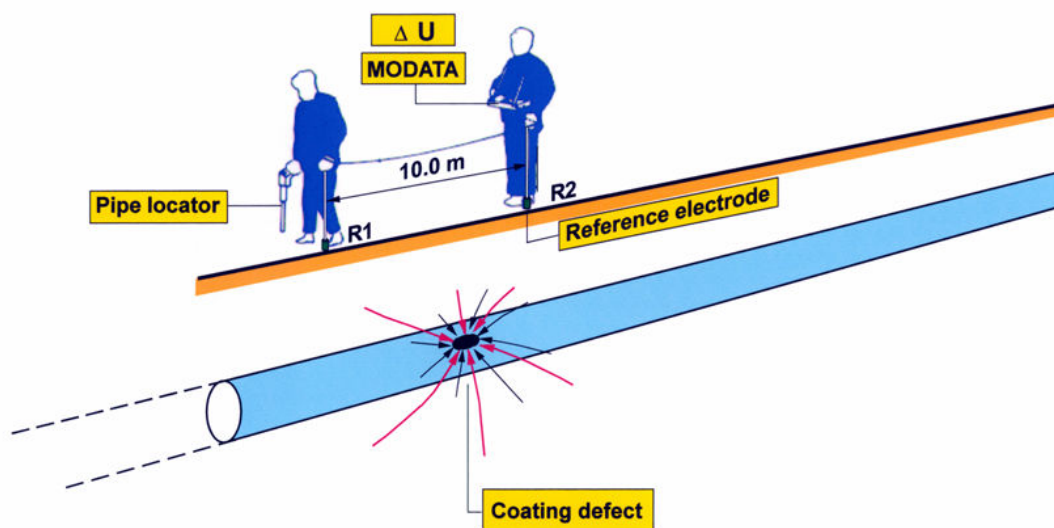
** Basic data for the following calculations

Actual current density : 0.16514865 mA / m²

Actual surface area of coating damage : 4.85 m²

Protection criteria can be reached - with ON Potential -1.5 V / Cu/CuSO₄ NO

W tym przykładzie, dla rezystywności gruntu o 25 Ωm, gęstość prądu wynosi 100 mA/m². W tabeli 2 zestawiono wyniki pomiarów próbnej polaryzacji odcinka rurociągu realizowanej z krokiem pomiarowym 3 minuty przy potencjale załączeniowym -1,50 V mierzonym względem elektrody Cu/CuSO₄.



**MEASURING ARRANGEMENT TO LOCATE SMALL COATING DEFECTS FOR PIPELINES WITH A GOOD COATING QUALITY.
INCREASED POTENTIAL DURING MEASUREMENTS TO ≈ 4.0 V / Cu/CuSO₄**

Rys. 9 Lokalizacja małych defektów rurociągów z powłoka dobrej jakości

W poszczególnych krokach pomiarowych mierzy się prąd zasilania, potencjały załączeniowy i wyłączeniowy, oraz oblicza się różnice pomiędzy potencjałem załączeniowym i wyłączeniowym, a także obliczana zostaje gęstość prądu ochronnego i rezystancja powłoki. Podstawa ostatecznego obliczania są wzięte z wiersza 5 rubryki tabeli 2 a więc po czasie 15 minutowej polaryzacji. Wynikiem tego obliczenia jest rzeczywista gęstość prądu ochronnego, wielkość defektu, przy założeniu tylko jednego miejsca defektu i ocena, czy kryterium ochrony katodowej w danym miejscu defektu może zostać spełnione.

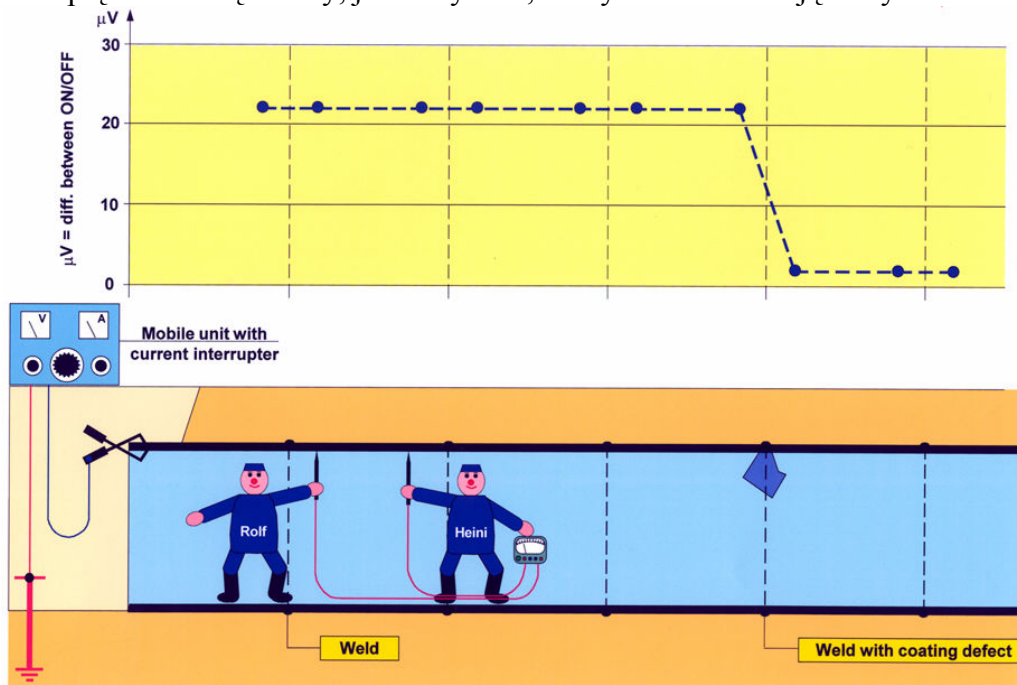
Ocena wymaga porównania między max. dozwoloną gęstością prądu ochronnego ze wstępnego obliczenia a rzeczywistą gęstością prądu ochronnego.

Jeżeli gęstość rzeczywista jest większa od dopuszczalnej, to:

- Klient i właściwa służba nadzorcza winni sprawdzić, czy istnieje możliwość zwiększenia potencjału załączeniowego w miejscu defektu (jest to między innymi zależne od odległości do najbliższej ochrony katodowej).
- Jeżeli zwiększenie potencjału załączeniowego jest możliwe, to należy dla nowej wartości potencjału powtórnie wykonać obliczenia.
 - Jeżeli rzeczywista gęstość prądu jest nadal większa od dopuszczalnej, to wówczas istnieją następujące możliwości.

Ponieważ mamy obliczoną powierzchnię jednego umownego defektu i nie wiemy czy mamy do czynienia z jednym czy kilkoma defektami, możemy wykorzystać następujące metody pomiarowe:

- Jeżeli powierzchnia nad przewiertem jest dostępna, można zlokalizować miejsce defektu metoda pomiarów intensywnych.
- Jeżeli powierzchnia nad przewiertem jest niedostępna, ale średnica rurociągu jest wystarczająco duża (przynajmniej 600 mm) to można z pomiarów spadku napięcia wewnątrz rury, jak na rys. 10, otrzymać zadowalające wyniki.



Rys.10 Pomiar spadku napięcia wewnątrz rury

Otrzymane przy użyciu każdej z metod wartości spadków napięcia muszą zostać przedstawione w relacji do wielkości danego defektu. Dla największego defektu, (zaznaczonego na czerwono w tabeli 3 przedstawia rys. 13, należy wykonać nowe

obliczenia. Gdyby wszystkie zalecane działania nie dały pozytywnych wyników, to należy skontaktować się z właścicielem rurociągu i przedyskutować możliwości rozwiązania tego problemu.

Tabela 3

MEASURING EVALUATION		
Fault No.	Voltage drop measured (Ud) (3 m) μV	$\frac{100 \% \times \text{Ud}}{150 \mu\text{V}}$
1	4.5	3 %
2	3.0	2 %
3	6.0	4 %
4	6.0	4 %
5	9.0	6 %
6	16.5	11 %
7	10.5	7 %
8	10.5	7 %
9	24.0	16 %
10	16.5	11 %
11	19.5	13 %
12	13.5	9 %
13	10.5	7 %
Total:	150 μV	100 %

Biggest single coating defect : No. 9
Percentage in relation to total coating defect : 16 %
Biggest surface area of single coating defect :
$A_B = \frac{4.85 \text{ m}^2 \times 16 \%}{100 \%} = 0.78 \text{ m}^2$
Max. diameter of coating defect
$D_B = \sqrt{\frac{A_B \times 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{0.78 \text{ m}^2 \times 4}{\pi}} = 1.0 \text{ m}^2$

Required ON Potential U_{ON}
$U_{ON} = U_{PROT} + \frac{J_s \times D_B \times \pi \times Rho}{8}$
$U_{ON} = -0.85 \text{ V} + \frac{0.1 \times 1.0 \times \pi \times 25}{8}$
$U_{ON} = 1.831 \text{ V}$

$U_{PROT} = -0.85 \text{ V} / \text{Cu} / \text{Cu SO}_4$

$J_s = 100 \text{ mA} / \text{m}$

$Rho = 25 \text{ Ohm m}$

$D_B = 1.0 \text{ m}$

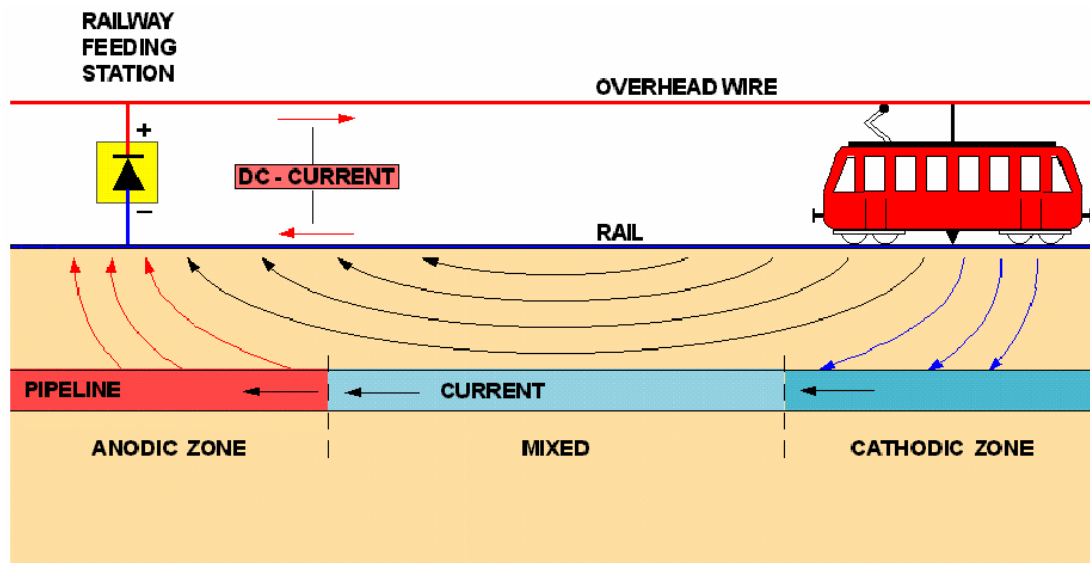
Rozwiązaniem mogło by być np. zainstalowanie monobloków na obu końcach odcinka wykonanego przewiertem i uruchomienie niezależnej ochrony katodowej.

2.2 Pomiary prądów błądzących

Główną przyczyną powstawania prądów błądzących jest trakcja elektryczna prądu stałego i urządzenia antykorozyjne ochrony katodowej.

Powstawanie prądów błądzących jest zobrazowane na rys.11 na przykładzie tramwaju zasilanego prądem stałym. Prąd płynie od podstacji zasilającej przez przewód jezdny do silnika wagonu i z powrotem przez szyny do podstacji zasilającej.

Cześć ciągu prądu powrotnego może w postaci prądów błądzących wyjść z szyny i popłynąć przez ziemię z powrotem do prostownika. W przypadku gdy w danym obszarze przepływu prądów błądzących znajduje się rurociąg, może on przejąć część prądów błądzących i skierować je z powrotem w stronę prostownika zasilającego sieć tramwajową. Przy przejściu z przepływu elektronowego prądu w metalu na przepływ jonowy w gruncie następują elektrochemiczne reakcje. Podczas upływu prądu z szyny do ziemi następuje anodowy rozkład metalu, podobnie jak podczas wpływu prądu z rurociągu do ziemi.



Rys. 11 Ilustracja przepływu prądów błądzących wskutek trakcji elektrycznej

Przy planowaniu środków zapobiegawczych przeciw prądom błądzącym nie można pominąć wcześniejszych, celowych pomiarów na częściach obiektu będącego pod wpływem prądów błądzących.

W pierwszym kroku poleca się skontaktowanie z użytkownikiem instalacji dotkniętej wpływem prądów błądzących. W większości przypadków można już za pomocą i na podstawie analizy danych i map planów z góry przewidzieć, w jakim obszarze należy spodziewać się prądów błądzących i w których miejscach należy wykonać pomiary.

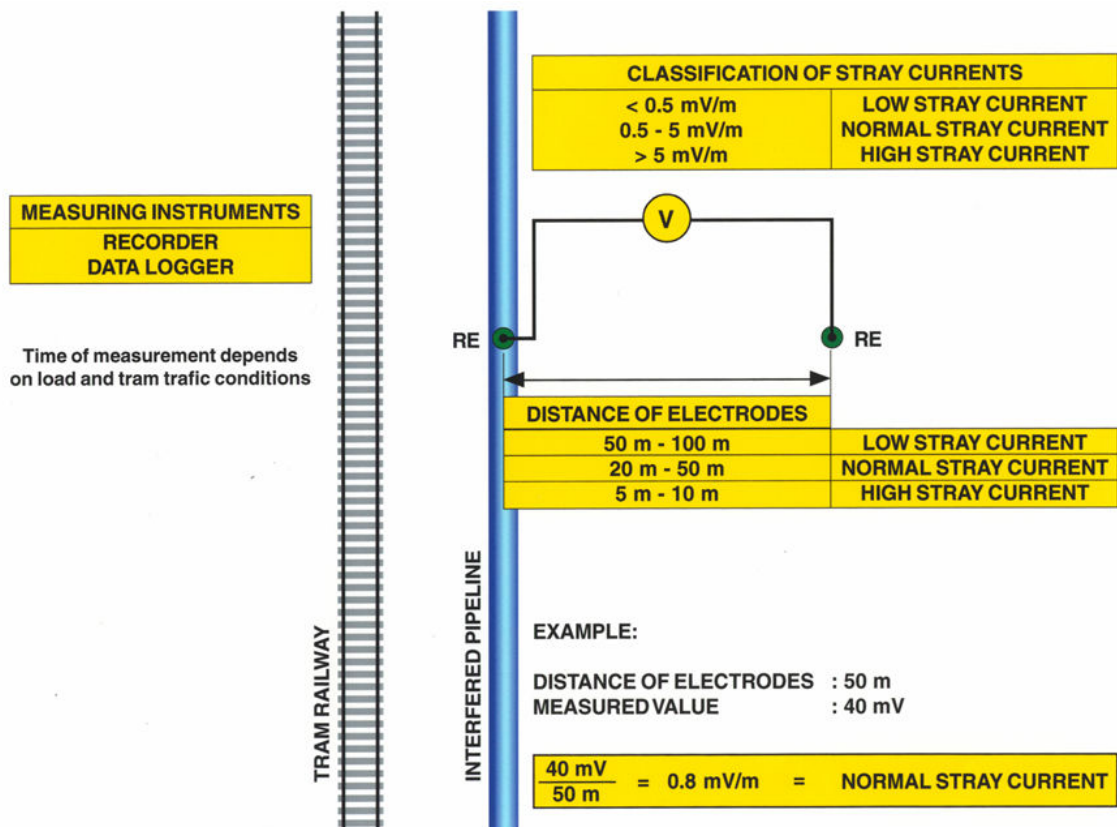
Pomiary potencjałów rurociągu pozwalają wyznaczyć miejsca wypływu prądów błądzących z rurociągu. W miejscu wejścia prądy błądzące powodują przesunięcie potencjałów w kierunku wartości ujemnych, natomiast w miejscu wyjścia przesunięcie potencjałów w kierunku wartości dodatnich. Wyjście prądów błądzących do ziemi ma miejsce, jeżeli potencjał rura - ziemia jest bardziej dodatni niż $-0,5 \text{ V/Cu/CuSO}_4$.

Należy przy tym zaznaczyć, że wartość przesunięcia potencjału nie jest miarodajnym wyznacznikiem zagrożenia korozyjnego. Wartość przesunięcia potencjału zależy od gęstości prądów błądzących, od rezystywności gruntu i stanu powłoki ochronnej rury.

Pomiar spadku napięcia w ziemi pozwala ocenić zagrożenie korozyjne dla rurociągów, które mają dopiero zostać ułożone na obszarze znajdującym się pod wpływem prądów błądzących. W przypadku gdy w danym obszarze nie ma rurociągów na których można by było przeprowadzić pomiary potencjałów, można wykorzystać wyniki pomiarów wartości spadku napięcia potencjału ziemi i w ten sposób wyznaczyć zagrożony prądami błądzącymi obszar.

Takie pomiary przeprowadza się za pomocą 2 lub więcej elektrod referencyjnych. Średnią gęstość prądu można obliczyć na podstawie rezystywności, różnicy napięć i odległości między elektrodami. W pierwszym przybliżeniu przez pomiar spadku napięcia można wyznaczyć rozkład gęstości prądów błądzących w ziemi poprzez pomiary spadków napięcia.

Sporządzony na podstawie praktycznych doświadczeń schemat na rys. 12, przedstawia informacje o rodzajach prądów błądzących. Przy porównaniu spadków napięcia w ziemi bierze się pod uwagę jednakową długość odcinka, z reguły 1 metra, nawet jeśli spadek napięcia jest mierzony na większych odległościach.



Rys. 12 Schemat informacji o prądach błądzących

Jeśli spadek napięcia jest mniejszy niż 0,5 V/m można wyjść z założenia, że między różnymi warstwami ziemi płyną prądy telluryczne, albo mają miejsce procesy elektrochemiczne.

Prądy błądzące wywołane przez tramwaje, w porównaniu z innymi prądami błądzącymi charakteryzują się szybką zmiennością. Spadki napięcia większe niż 5 mV/m występują bardzo często w bezpośrednim sąsiedztwie tramwaju. W takich miejscach szkody spowodowane prądem błądzącym są znacznie większe niż zwykła korozja ziemia.

Minimalny odstęp między elektrodami powinien zostać tak wybrany, aby błąd pomiaru był mniejszy niż rzeczywista różnica potencjałów ziemi. Maksymalny odstęp pomiędzy elektrodami jest ograniczony przez możliwość zmiany spadków napięcia, przez długość kabli pomiarowych i przez same ukształtowanie terenu. Jeśli przyjmujemy maksymalne tolerancje błędów elektrod 1 - 2 mV , to możemy wówczas odpowiednio dobrać odstęp między elektrodami.

Prądy błądzące należy mierzyć w różnych miejscach jednocześnie. Ponieważ takie pomiary są bardzo czasochłonne, powinno się najpierw przeprowadzić pomiary orientacyjne w różnych miejscach. Wyniki tych orientacyjnych pomiarów pozwalają następnie wybrać miejsca długotrwałych pomiarów.

Prądy błądzące ulegają często wahaniom; pomiar wartości w danym momencie nie daje jednoznacznej informacji o ich miejscu powstawania jak i o wartościach średnich i największych. Zalecane jest prowadzenie pomiarów przez pewien okres czasu, np. przez 2-3 przejazdy tramwaju, a także w charakterystycznym czasie (np. rejestracja podczas największego natężenia ruchu) - dla wyznaczenia średnich wartości dziennych. Pomiary wykonywane w czasie przerwy w ruchu (np. w porze nocnej) mogą także być źródłem informacji o innych prądach błądzących.