



**PROBLEMY Z WYZNACZANIEM POTENCJAŁU POLARYZACJI
W NIESZCZELNOŚCIACH POWŁOKI PODZIEMNEGO RUROCIĄGU**
**DIFFICULTIES OF TRUE POTENTIAL DETERMINATION OF PIPELINES
AT THE POINTS OF COATING LEAKINESS**

Marek Fiedorowicz, Michał Jagiełło

PGNiG SA w Warszawie
Regionalny Oddział Przesyłu w Gdańsku

Słowa kluczowe: ochrona katodowa, rurociagi, kryterium potencjałowe, błąd pomiaru, metoda ekstrapolacyjna

Keywords: cathodic protection, pipelines, protection criterion, error of measurement, extrapolation method

Streszczenie

Dokonując oceny skuteczności ochrony katodowej podziemnego rurociągu za pomocą kryterium potencjałowego, szczególnie gdy stosuje się metodę ekstrapolacyjną wg DIN 50925, należy zawsze oszacować błąd, z jakim wyznacza się potencjał rurociągu w miejscu nieszczelności w powłoce. Błąd pomiaru gradientu potencjału na skutek powstawania potencjału dyfuzyjnego na granicy elektrolitu elektrody odniesienia i elektrolitu glebowego może być większy niż 20 mV. W pracy przeprowadzono analizę wpływu błędu pomiaru gradientu potencjału na błąd z jakim wyznaczany jest potencjał metodą ekstrapolacyjną wg DIN 50925 oraz przedstawiono wyniki badań terenowych elektrod odniesienia.

Summary

When efficiency of cathodic protection of underground pipeline is tested under potential criterion, the error of pipeline potential measurement at the point of coating leakiness should be always evaluated; especially when extrapolation method according to DIN 50925 is used. Owing to formation of diffusion potential at the bounding between the electrolyte of reference electrode and the one of soil, error of potential gradient measurement may be above 20 mV. We studied influence of error of gradient potential measurement on the incorrect determination of potential when it is calculated by extrapolation method acc. DIN 50925. Results of field measurements of reference electrodes are presented as well.

Wstęp

Ocenę skuteczności ochrony katodowej podziemnych rurociągów przeprowadza się, zgodnie z zapisami norm i przepisów technicznych [1-3] w oparciu o kryterium potencjałowe. Kryterium to należy interpretować następująco: jeśli w miejscu nieszczelności powłoki izolacyjnej rurociągu potencjał stalowej ścianki rurociągu stykającej się z elektrolitem glebowym jest równy lub bardziej elektroujemny od potencjału ochrony, wówczas szybkość korozji stali w tym miejscu jest nieistotna z technicznego punktu widzenia, tzn. jest mniejsza niż 0,01 mm/rok. [3,4]. Gwarancję pełnej skuteczności ochrony katodowej podziemnego rurociągu uzyskamy zatem wówczas, jeśli we wszystkich miejscach nieszczelności powłoki spełnione będzie kryterium potencjałowe. Metodyka badania skuteczności ochrony katodowej podziemnego rurociągu sprowadza się więc powinna do:

- a) lokalizowania miejsc nieszczelności (defektów) powłoki rurociągu,
- b) określania potencjału rurociągu w tych miejscach.

(W przypadku nowo budowanych rurociągów można zastosować trochę inne podejście do problemu określania skuteczności ochrony katodowej. Stosując odpowiednie kryteria odbiorowe izolacji rurociągów można nie dopuścić, by powłoka izolacyjna rurociągu posiadała nieszczelności, w których może nie być spełnione potencjałowe kryterium ochrony przy stosowanym w eksploatacji potencjale załączeniowym. Podejście takie z powodzeniem stosowane jest na terenie ROP Gdańsk [5])

Lokalizacja miejsc nieszczelności powłoki

Lokalizację miejsc nieszczelności powłoki podziemnego rurociągu przeprowadza się zwykle przy pomocy pomiarów spadków napięcia na powierzchni ziemi wywołanych przepływem wymuszonego zewnętrznego prądu pomiędzy ziemią i rurociągiem. W metodach pomiarowych stosowany może być prąd przemienny (metoda Pearsona) lub prąd stały (pomiar intensywny, metoda DCVG, metoda IFO). W badaniach skuteczności ochrony katodowej nie ma konieczności lokalizowania wszystkich nieszczelności powłoki. Wystarczające jest dokładne ustalenie miejsc tylko tych defektów, w których może nie być spełnione potencjałowe kryterium ochrony. Stąd lokalizację defektów przeprowadza się z pewną założoną „czułością” - np. w pomiarach intensywnych „czułość” wyznaczania defektów można regulować poprzez dobór długości kroku pomiarowego. Wskazana jest tu jednak daleko idąca ostrożność. Dopiero bowiem znajomość szeregu innych danych takich jak: parametry ochrony katodowej, głębokość ułożenia rurociągu, rezystywność gruntu w miejscu nieszczelności, upływność prądu ochrony katodowej na odcinku zawierającym zlokalizowany defekt pozwala na wyłączenie z badań skuteczności części niedużych nieszczelności, które są sygnalizowane niewielkimi spadkami napięć na powierzchni ziemi. Należy też pamiętać, że są sytuacje, w których wykrycie nieszczelności powłoki może być bardzo problematyczne lub wręcz niemożliwe. Generalnie jednak, w szczególności jeśli chodzi o rurociągi biegnące poza obszarem zabudowanym, ustalenie miejsc istotnych nieszczelności powłoki nie jest podstawowym problemem przy określaniu skuteczności ochrony katodowej.

Określanie potencjału gazociągu w miejscach nieszczelności powłoki

Do oceny skuteczności ochrony katodowej nie jest konieczne ustalanie dokładnej wartości potencjału w miejscach poszczególnych nieszczelności powłoki rurociągu. Zgodnie z kryterium ochrony wystarczająca jest informacja, czy potencjał w miejscu nieszczelności powłoki jest bardziej elektroujemny od potencjału ochrony. Najczęściej jednak prosty pomiar potencjału przy pomocy elektrody odniesienia ustawionej na powierzchni ziemi jest zbyt mało dokładny, by móc w sposób pewny orzekać o skuteczności ochrony katodowej. Konieczne jest więc stosowanie bardziej złożonych metod pomiarowych.

Pomiar potencjału załączeniowego $E_{zał}$

Wykonując pomiar potencjału szczelności powłoki na polaryzowanym gazociągu przy pomocy elektrody odniesienia ustawianej na powierzchni ziemi mierzymy, obok interesującego nas potencjału polaryzacji defektu E_p , również spadek napięcia w ziemi wywołany przepływem prądu polaryzacji wpływającego do defektu IR_{pol} . Spadek ten jest tym mniejszy, im bliżej defektu ustawimy elektrodę odniesienia. Jednak nawet wówczas, gdy elektrodę odniesienia ustawimy dokładnie nad defektem, mierzona wartość potencjału $E_{zał}$ może się różnić od potencjału polaryzacji E_p o kilkaset miliwoltów.

Metoda wyłączeniowa (pomiar potencjału wyłączeniowego E_{wyl})

W celu wyeliminowania składowej omowej pochodzącej od prądu polaryzacji wykonuje się pomiar potencjału przy pomocy metody wyłączeniowej - bezpośrednio po wyłączeniu źródeł polaryzujących rurociąg. W tym przypadku wartość potencjału polaryzacji badanego defektu zafałszowana jest spadkiem napięcia w ziemi IR_w , wywołanym przepływem prądów wyrównawczych, jakie płyną, po przerwaniu prądu polaryzacji, pomiędzy badanym defektem i innymi defektami o potencjałach polaryzacji bardziej elektroujemnych lub (i) bardziej elektrododatnich niż potencjał badanego defektu. Potencjał E_{wyl} może być również zniekształcony przez spadki napięć w gruncie wywołane przez prądy z obcych źródeł. W rezultacie potencjał wyłączeniowy E_{wyl} , może się również różnić o kilkaset miliwoltów od potencjału polaryzacji defektu E_p . Potencjał wyłączeniowy E_{wyl} jest jednak z reguły bliższy potencjałowi polaryzacji defektu E_p , niż potencjał załączeniowy $E_{zał}$.

Metoda ekstrapolacyjna (trzyelektrodowa)

Metoda ekstrapolacyjna zapisana jest w normie DIN 50925. Została ona opracowana i sprawdzona w praktyce w Niemczech w latach osiemdziesiątych. W metodzie tej obok pomiarów potencjałów załączeniowego $E_{zał}$ i wyłączeniowego E_{wyl} wykonuje się po obu stronach rurociągu pomiary gradientów potencjału załączeniowych $\Delta E_{zał}$ i wyłączeniowych ΔE_{wyl} . Potencjał defektu wyznacza się ze wzoru:

$$E_o = E_{wyl} + \frac{E_{wyl} - E_{zał}}{\frac{\Delta E_{zał}}{\Delta E_{wyl}} - 1} \quad (1)$$

gdzie $\Delta E_{zał}$ i ΔE_{wyl} są średnimi wartościami gradientów mierzonymi po obu stronach rurociągu.

Wzór (1) można również przedstawić w innej postaci:

$$E_o = E_{wyl} + \frac{E_{wyl} - E_{zał}}{\Delta E_{zał} - \Delta E_{wyl}} \cdot \Delta E_{wyl} \quad (1')$$

Tak wyznaczony potencjał nie zawiera składowej omowej pochodzącej od prądów wyrównawczych. Dzięki temu, że we wzorze (1) operuje się średnią wartością z obu gradientów, eliminuje się także wpływ spadków napięcia pochodzących z obcych źródeł, jeśli źródła te są wystarczająco odległe od miejsca pomiaru.

(Przy pomiarze potencjałów $E_{zał}$ i E_{wyl} zwykle niemożliwe jest ustalenie w jak dużym stopniu pomiar potencjału może być zakłócony przez spadki napięcia pochodzące z obcych źródeł.)

Metoda ekstrapolacyjna ma jednak także swoje ograniczenia. M.in. nie może być stosowana w obszarach występowania szybkozmiennych, dynamicznych prądów błądzących oraz

w sąsiedztwie połączonych z rurociągiem konstrukcji o niskich rezystancjach przejścia, takich jak uziomy, zbrojenia fundamentów. Błędne wyniki można również uzyskać gdy rurociąg ułożony jest na dużej głębokości lub jeśli rezystywność gruntu jest bardzo niska. W największym jednak stopniu stosowanie metody ekstrapolacyjnej ograniczone jest przez możliwość popełnienia znaczącego błędu na skutek błędów wnoszonych przez elektrody odniesienia. Autorzy normy DIN 50925 zwrócili na to uwagę jeszcze w momencie wykonywania testowych pomiarów w warunkach laboratoryjnych, co znalazło wyraz w komentarzu do tej normy [6].

Jak wynika z danych literaturowych przy pomiarach potencjału podziemnych konstrukcji przy pomocy elektrod odniesienia II rodzaju można się liczyć z błędem elektrod wynoszącym do ok. 30 mV [4]. Błąd o takiej wielkości można zaniedbać, jeśli wykonuje się pomiar potencjału załączeniowego lub wyłączeniowego, natomiast przy wyznaczaniu potencjału nieszczelności metodą ekstrapolacyjną uzyskać można błędne, wręcz zupełnie nierealne wyniki.

Przyczyną błędu elektrod odniesienia jest tzw. potencjał dyfuzyjny, który powstaje na granicy elektrolitu elektrody i elektrolitu glebowego, na skutek, mówiąc najprościej, różnej szybkości dyfuzji pomiędzy elektrolitami jonów o różnoimiennych ładunkach.

W [6] autorzy przyjęli, że błąd elektrod odniesienia, z jakim należy się liczyć przy wykonywaniu pomiarów metodą ekstrapolacyjną może spowodować zafałszowanie wartości gradientu ΔE_{wyl} o 20 mV i zaproponowali warunki stosowania metody ekstrapolacyjnej, które przedstawiono w tabeli nr 1.

Lp.	ΔE_{wyl} [mV]	$\Delta E_{zal} - \Delta E_{wyl}$ [mV]	Uwagi do możliwości stosowania metody ekstrapolacyjnej wg DIN 50925
2	< 20	dowolny	Nie
3	> 20	≤ 20	Nie
4	20 ÷ 30	20 ÷ 50	Raczej nie
5	30 ÷ 50	50 ÷ 100	Tak, możliwość popełnienia błędu w granicach ok. 200 mV
6	50 ÷ 100	100 ÷ 150	Tak, możliwość popełnienia błędu w granicach ok. 100 mV
7	> 100	> 150	Tak, możliwość popełnienia błędu w granicach ok. 50 mV

Tab. 1 Możliwości stosowania metody ekstrapolacyjnej wg DIN 50925 do wyznaczania potencjału nieszczelności powłoki podziemnego rurociągu wg [6]

Jak wynika z powyższej tabeli, bez obawy popełnienia znaczącego błędu, metoda ekstrapolacyjna może być stosowana jedynie do oceny skuteczności ochrony katodowej takich nieszczelności, które wywołują bardzo duże spadki napięcia na powierzchni ziemi (!).

Terenowe badania elektrod odniesienia

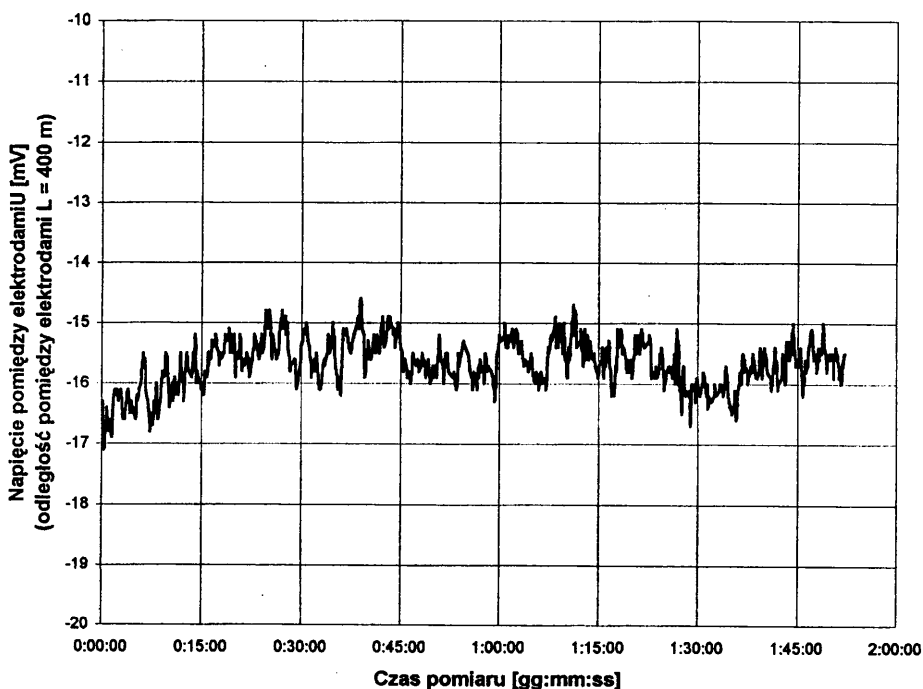
Na podstawie własnej praktyki z wykonywania pomiarów intensywnych i pomiarów metodą IFO na podziemnych gazociągach możemy stwierdzić, że na odcinkach rurociągów w izolacji PE, na których nie wykrywa się nieszczelności powłoki, napięcie pomiędzy elektrodami, przy pomocy których wykonuje się pomiar gradientów potencjału, stosunkowo rzadko jest równe 0 mV, nawet po uwzględnieniu różnic w potencjałach własnych elektrod. Zdarzają się natomiast przypadki, kiedy rejestruje się napięcia rzędu kilkudziesięciu i więcej miliwoltów. Napięcia te mogą być wywołane przez obce pola elektryczne takie jak np.: wolnozmienne prądy błądzące, prądy telluryczne, prąd ochrony katodowej obcych

podziemnych konstrukcji, prądy lokalnych makroogniw korozyjnych obcych konstrukcji, mogą one również wynikać z błędów elektrod odniesienia. Napięcia pomiędzy elektrodami o wartościach nawet kilkudziesięciu miliwoltów, mierzone w miejscach, w których izolacja chronionego katodowo rurociągu jest bezdefektowa, nie są istotne z punktu widzenia zagrożenia korozyjnego i zwykle nie podejmuje się próby ustalenia ich przyczyny. Eksperyment jaki przeprowadziliśmy miał na celu praktyczne zbadanie, w jakim stopniu za mierzone na powierzchni ziemi spadki napięcia podczas wykonywania pomiarów intensywnych, mogą być odpowiedzialne błędy elektrod odniesienia.

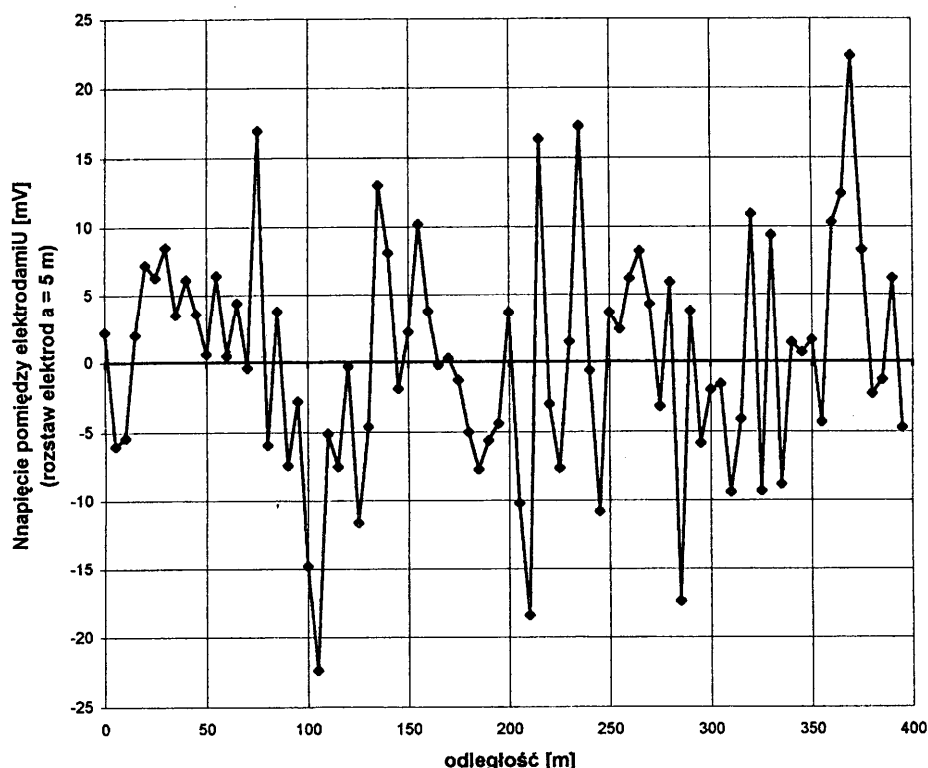
Badania przeprowadziliśmy w terenie oddalonym o co najmniej kilka kilometrów od wszelkich potencjalnych źródeł prądów błądzących. Na odcinku długości ok. 400 m wykonywaliśmy pomiary napięć pomiędzy elektrodami oddalonymi od siebie o 10 m, ustawionymi jedna za drugą w osi badanego odcinka, przemieszczając je przy kolejnym pomiarze o ok. 5 m. W celu wykluczenia wpływu ewentualnych prądów błądzących, każdy pomiar rejestrowany był przez 5 sekund, jednocześnie przeprowadzano ciągłą rejestrację napięcia pomiędzy dwiema dodatkowymi elektrodami umieszczonymi na początku i na końcu odcinka, na którym wykonywano pomiary.

W badaniach posłużyliśmy elektrodami Cu/CuSO₄nas., które powszechnie stosuje się do pomiarów potencjałów konstrukcji podziemnych.

Wyniki pomiarów przedstawiono na rys. nr 1 i rys. nr 2.



Rys. 1. Wyniki rejestracji napięcia pomiędzy elektrodami ustawionymi na początku i na końcu odcinka (długości 400 m), w czasie wykonywania pomiarów spadków napięcia pomiędzy elektrodami przemieszczanymi wzdłuż tego odcinka..



Rys. 2. Wyniki pomiarów napięcia pomiędzy elektrodami odniesienia Cu/CuSO_4 oddalonymi od siebie o 10 m i przemieszczanymi co 5 m wzdłuż osi odcinka o długości 400 m.

Omówienie wyników pomiarów

1. Rejestracja napięcia w ziemi na długości ok. 400 m wykazała niewielką aktywność prądów błędzących, pomimo, że obszar na którym wykonywano badania był znacznie oddalony od potencjalnych źródeł prądów błędzących.
W krótkich przedziałach czasu maksymalna zmierzona zmiana napięcia była mniejsza niż 1 mV, prądy błędzące nie miały więc żadnego wpływu na wyniki pomiarów napięć pomiędzy elektrodami oddalonymi o 10 m.
Można zatem przyjąć, że napięcia mierzone pomiędzy elektrodami oddalonymi o 10 m spowodowane były błędami (potencjałami dyfuzyjnymi) elektrod.
2. Maksymalna bezwzględna wartość napięcia zmierzona pomiędzy elektrodami oddalonymi o 10 m była równa 22 mV, wartość średnia z wszystkich pomiarów wyniosła 6,4 mV.
3. Choć wyniki uzyskanych pomiarów nie mogą być traktowane jako reprezentatywne, pokazują jednak, że przy wykonywaniu pomiarów gradientów potencjału praktycznie stale należy się liczyć z błędem pomiaru, spowodowanym błędami elektrod.
Błąd ten może przekraczać 20 mV.

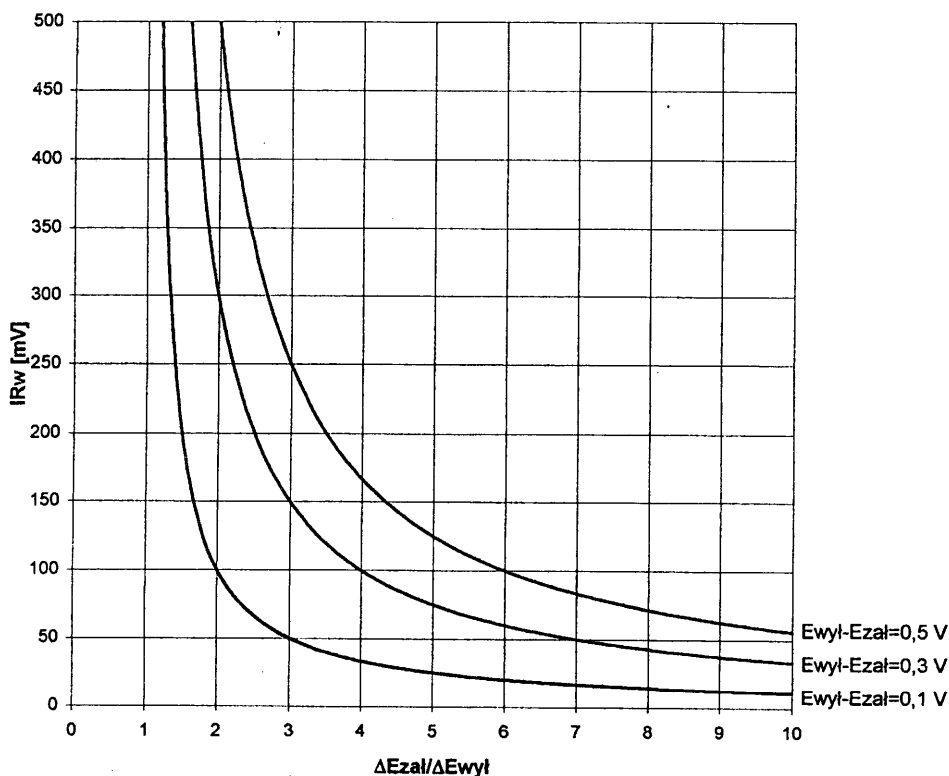
Zakres użyteczności metody ekstrapolacyjnej

Jeśli po wyłączeniu prądu polaryzacji, do nieszczelności powłoki rurociągu nie wpływają prądy wyrównawcze, wówczas potencjał wyłączeniowy mierzony nad defektem jest równy potencjałowi polaryzacji defektu $E_{wyl} = E_p$. W metodzie ekstrapolacyjnej wyrazem braku przepływu prądów wyrównawczych jest $\Delta E_{wyl} = 0 \text{ mV}$. Potencjał obliczony wg wzoru (1) jest wtedy równy $E_o = E_{wyl}$. Jeśli $\Delta E_{wyl} \neq 0 \text{ mV}$, to $E_o \neq E_{wyl}$.

Wzór (1) można przedstawić w postaci sumy dwóch składników:

$$E_o = E_{wyl} + IR_w \quad (2)$$

Jeśli pomiaru nie zakłócają spadki napięcia od obcych źródeł składnik IR_w jest równy składowej omowej potencjału wyłączeniowego. Drugi składnik sumy we wzorach (1) i (2) można więc traktować jako poprawkę do potencjału E_{wyl} , eliminującą wpływ spadków napięcia w ziemi przy pomiarze potencjału metodą wyłączeniową. Jak wynika ze wzorów (1) i (1') wartość IR_w (czyli różnica pomiędzy potencjałem wyznaczonym przy pomocy metody ekstrapolacyjnej E_o i potencjałem wyłączeniowym E_{wyl}) zależy od wartości gradientów ΔE_{zal} i ΔE_{wyl} oraz różnicy potencjałów $E_{wyl} - E_{zal}$. Na rys. 3 przedstawiono zależność IR_w od stosunku gradientów potencjału $\Delta E_{zal}/\Delta E_{wyl}$



Rys. 3. Różnica pomiędzy potencjałem nieszczelności powłoki wyznaczonym przy pomocy metody ekstrapolacyjnej E_o i potencjałem wyłączeniowym E_{wyl} w zależności od stosunku gradientów potencjału $\Delta E_{zal}/\Delta E_{wyl}$ dla różnych wartości $E_{wyl} - E_{zal}$

Z przebiegu zależności IR_w od $\Delta E_{zal}/\Delta E_{wyl}$ przedstawionej na rys. 3 wynika, że jeśli prąd ochrony katodowej wpływający do defektu powłoki jest dużo większy od prądu wyrównawczego ($\Delta E_{zal}/\Delta E_{wyl} > \text{ok.} 6$), wówczas poprawka IR_w jest niewielka i potencjał E_o wyznaczanego metodą ekstrapolacyjną wg DIN 50925 jest bliski potencjałowi E_{wyl} . Dla $\Delta E_{zal}/\Delta E_{wyl} < \text{ok.} 3$ niewielka zmiana wartości $\Delta E_{zal}/\Delta E_{wyl}$ powoduje znaczącą zmianę potencjału E_o . W tym przypadku, ze względu na możliwość popełnienia błędu w pomiarze gradientu potencjału, potencjał E_o wyznaczać można z rozsądną dokładnością wg wzoru (1) tylko dla dużych wartości gradientów.

Analiza błędu przy wyznaczaniu potencjału nieszczelności metodą ekstrapolacyjną wynikającego z błędu elektrod odniesienia

Jeśli przyjmiemy, że potencjały własne elektrod nie zmieniają podczas wykonywania pomiarów metodą ekstrapolacyjną, wówczas wartości E_{wyl} - E_{zal} oraz ΔE_{zal} - ΔE_{wyl} nie zależą od błędów elektrod odniesienia. Błędy elektrod mają wpływ jedynie na wartość gradientu wyłączeniowego ΔE_{wyl} . Różniczkując równanie (1) względem ΔE_{wyl} otrzymamy zależność (3) na błąd wyznaczania potencjału E_o wynikający z błędów elektrod odniesienia.

$$\Delta EB = \frac{E_{wyl} - E_{zal}}{\Delta E_{zal} - \Delta E_{wyl}} \cdot \Delta B \quad (3)$$

gdzie:

ΔEB - błąd przy wyznaczaniu potencjału metodą ekstrapolacyjną wg wzoru (1)

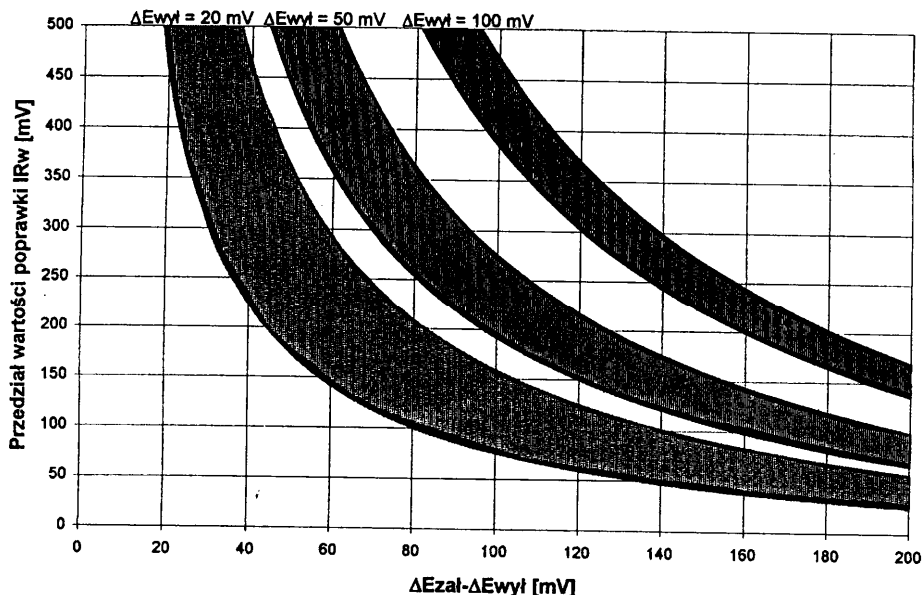
ΔB - błąd przy pomiarze gradientu wyłączeniowego ΔE_{wyl}

Aby przedstawić graficznie wpływ błędu ΔB na błąd przy wyznaczaniu potencjału wg wzoru (1) przyjęto pewne uogólniające założenia:

- składowa omowa potencjału załączeniowego rurociągu wzgl. ziemi odniesienia wynosi $|E_{zal_{ODN}} - E_{wyl_{ODN}}| = 0,5 \text{ V}$
- pomiar wykonywany jest nad pojedynczą nieszczelnością powłoki rurociągu,
- rozkład spadków napięć nad defektem na powierzchni ziemi na skutek przepływu prądu polaryzacji oraz prądów wyrównawczych jest taki jak dla defektu kołowego,
- nieszczelność znajduje się na głębokości 1 m,
- pomiar gradientów potencjałów wykonywany jest na dług. 10 m,
- błąd pomiaru gradientu potencjału ΔE_{wyl} mieści się w granicach od 0 do -20 mV.

Zależność wyprowadzoną przy uwzględnieniu powyższych założeń przedstawiono na rys. 4. Jak wynika z wykresu, przedział wartości jakie może przyjmować poprawka IR_w jest tym większy im mniejszą wartość osiąga gradient wyłączeniowy ΔE_{wyl} i im mniejszy jest gradient różnicowy $\Delta E_{zal} - \Delta E_{wyl}$. Dla dużych wartości ΔE_{wyl} i $\Delta E_{zal} - \Delta E_{wyl}$ problem błędów elektrod odniesienia nie odgrywa praktycznie istotnej roli.

Z zależności (3) wynika zasadniczy problem związany z określaniem skuteczności ochrony katodowej podziemnych rurociągów: w przypadku części istotnych nieszczelności powłoki, sygnalizowanych na powierzchni ziemi gradientami różnicowymi rzędu kilkudziesięciu miliwoltów można popełnić bardzo znaczący błąd przy określaniu ich potencjałów polaryzacji.



Rys. 4. Zakresy wartości poprawki IR_w (różnicy pomiędzy potencjałem wyłączeniowym E_{wyl} i potencjałem E_o obliczonym metodą ekstrapolacyjną) w zależności od gradientu różnicowego $\Delta E_{zal} - \Delta E_{wyl}$ przy błędzie pomiaru gradientu wyłączeniowego $\Delta B = 0 \div -20$ mV.

Przykłady:

I. Dla danych pomiarowych (które wg tabeli nr 1 nie upoważniają do określania potencjału na podstawie wzoru (1)): gradient różnicowy $\Delta E_{zal} - \Delta E_{wyl} = 50$ mV, gradient wyłączeniowy $\Delta E_{wyl} = 20$ mV, „składowa omowa” wzgl. ziemi dalekiej $|E_{zal_{ODN}} - E_{wyl_{ODN}}| = 0,5$ V, uzyskamy wyniki:

- przy błędzie pomiaru gradientu wyłączeniowego $\Delta B = 0$ mV rzeczywisty potencjał nieszczelności jest bardziej elektrododatni od potencjału wyłączeniowego o 178 mV,
- przy błędzie pomiaru gradientu wyłączeniowego $\Delta B = -20$ mV (czyli po uwzględnieniu błędu w rzeczywistości $\Delta E_{wyl} = 40$ mV) rzeczywisty potencjał nieszczelności jest bardziej elektrododatni od potencjału wyłączeniowego o 356 mV.

Jeśli więc np. w omawianym przypadku $E_{wyl} = -0,95$ V, to rzeczywiste potencjały nieszczelności wynoszą odpowiednio: a) $E_o = -0,77$ V i b) $E_o = -0,59$ V (!).

II. Do nieszczelności powłoki podziemnego rurociągu, która znajduje się w gruncie o rezystywności $\rho = 100 \Omega m$ na głębokości $t = 1$ m i ma kształt koła o średnicy $D = 30$ cm, wpływa prąd o gęstości $j = 50$ mA/m², który polaryzuje ją do potencjału $E_p = -0,70$ V. Wartość potencjału załączeniowego rurociągu wzgl. ziemi dalekiej powinna wówczas wynosić $E_{zal_{ODN}} = -1,29$ V.

Przyjmując, że potencjał wyłączeniowy rurociągu wzgl. ziemi dalekiej jest równy $E_{wyl_{ODN}} = -0,95$ V, powinniśmy uzyskać następujące wyniki pomiarów wykonanych metodą ekstrapolacyjną:

$E_{zal} = -1,24$ V, $E_{wyl} = -0,93$ V,

$\Delta E_{wyl} = 21,5$ mV, $\Delta E_{zal} - \Delta E_{wyl} = 30,1$ mV.

Jeśli na skutek błędu elektrod równego $\Delta B = -20$ mV zmierzmy wartość gradientu $\Delta E_{wyl} = 1,5$ mV, to nie przeprowadzając analizy błędu uznamy, że potencjał polaryzacji nieszczelności jest bliski potencjałowi wyłączeniowemu ($E_p \approx E_{wyl} = -0,93$ V) i spełnione jest potencjałowe kryterium ochrony. W rzeczywistości potencjał nieszczelności ($E_p = -0,70$ V) jest o 150 mV bardziej elektrododatni od potencjału ochrony ($E = -0,85$ V). Gdy błąd elektrody wynosi $\Delta B = +20$ mV, wówczas dla zmierzonego gradientu $\Delta E_{wyl} = 41,5$ mV potencjał obliczony wg wzoru (1) wynosi $E_o = -0,50$ V.

Podsumowanie

1. Przy wyznaczaniu potencjału metodą ekstrapolacyjną wg DIN 50925 należy w każdym przypadku przeprowadzić analizę błędu wg zależności (3).
2. W zasadzie, jeśli nie mamy pewności co do wartości błędu pomiaru potencjału wyłączeniowego, wówczas zgodnie z [6] oraz przedstawionymi w niniejszej pracy wynikami z terenowych badań elektrod odniesienia należy przyjąć wartość $\Delta B = 20$ mV.
3. W przypadku części istotnych nieszczelności powłoki, sygnalizowanych na powierzchni ziemi gradientami różnicowymi rzędu kilkudziesięciu miliwoltów można popełnić bardzo znaczący błąd przy określaniu ich potencjałów polaryzacji.

Literatura:

1. PN-90/E-05030.00. Ochrona przed korozją. Elektrochemiczna ochrona katodowa. Wymagania i badania.
2. DIN 30676. Planung und Anwendung des kathodischen Korrosionsschutzes für den Außenschutz, 1985
3. prEN 12954. Cathodic protection of buried or immersed metallic structures - General principles
4. v Baeckmann W., Schwenk W., Prinz W.: Handbuch des kathodischen Korrosionsschutzes, Verlag Chemie, Weinheim 1989
5. Fiedorowicz M., Jagiełło M.: Badania i kryteria odbiorowe powłok izolacyjnych nowo budowanych podziemnych rurociągów stalowych, praca niepublikowana, POZG Gdańsk 1999
6. Fischer W., Hildebrand H., Prinz W., Schwenk W.: Probleme der IR-freien Potentialmessung in Gegenwart von Ausgleichsströmen, Werkstoffe und Korrosion 39, 1988