



**WYKORZYSTANIE METODY POMIARÓW INTENSYWNYCH
DO WYZNACZANIA POTENCJAŁU ZESPOŁU RUROCIĄGÓW**

**THE APPLICATION
OF THE CLOSE INTERVAL POTENTIAL SURVEY TECHNIQUE
FOR THE DETERMINATION OF THE POTENTIAL OF A SYSTEM OF PIPELINES**

Jacek Rozwadowski, Wojciech Sokółski

Politechnika Gdańska
Katedra Technologii Zabezpieczeń Przeciwkorozyjnych

Słowa kluczowe: ochrona katodowa, pomiar potencjału, technika pomiarów intensywnych
Keywords: cathodic protection, potential measurement, close interval potential surveys

Streszczenie

Przedstawiono wyniki badań skuteczności ochrony katodowej zespołu rurociągów z izolacją bitumiczno-szklaną, z wykorzystaniem techniki pomiarów intensywnych. Porównano rozkład potencjału wyłączeniowego oraz obliczonego przy zastosowaniu metody 2- i 3-elektrodowej. Wskazano na korzyści wynikające z zastosowania techniki pomiarów intensywnych oraz na trudności w prowadzeniu badań na tego typu konstrukcjach.

Summary

Results have been presented of investigations of effectiveness of cathodic protection of a system of pipelines with bituminous-glass insulation with the use of the close interval potential survey method. The distribution has been compared of the switch-off potential and the calculated potential using the 2- and 3-electrode method. Benefits have been shown resulting from the application of close interval potential measurements, as well as difficulties in carrying out investigations on this type of structures.

Wprowadzenie

Po wyłączeniu prądu ochrony, na skutek wyrównywania potencjałów pomiędzy różnie spolaryzowanymi obszarami rurociągu, zaczynają płynąć prądy wyrównawcze, które podobnie jak prąd ochrony, wywołują spadki napięcia w glebie. Mierzone na powierzchni ziemi wartości potencjałów wyłączeniowych E_{wyl} są więc - w zależności od kierunku przepływu prądu - mniejsze lub większe od rzeczywistych. W obszarach gorzej spolaryzowanych, do których prąd wyrównawczy wpływa, są one bardziej elektroujemne niż w rzeczywistości, a w obszarach lepiej spolaryzowanych, z których prąd wypływa - bardziej elektrododatnie [1].

Jeśli pomiędzy fragmentami rurociągu występują duże różnice potencjałów, wówczas błąd spowodowany nie uwzględnieniem spadku napięcia wywołanego prądami wyrównawczymi może być znaczny [2]. W konsekwencji miejsca, w których kryterium potencjałowe nie jest spełnione, mogą zostać nie rozpoznane.

Spadki napięcia powodowane przez prądy wyrównawcze mogą zostać wykryte i oszacowane poprzez pomiar gradientów potencjałów włączeniowego $U_{zał}$ i wyłączeniowego U_{wyl} pomiędzy dwiema elektrodami. Jedną z nich (e_1) umieszcza się nad badanym rurociągiem, drugą (e_2) - prostopadle do rurociągu w odległości ok. 10 m od pierwszej. $U_{zał}$ odpowiada składowej poziomej spadku napięcia powodowanego przez prąd ochrony, U_{wyl} odpowiada składowej poziomej spadku napięcia powodowanego przez prąd wyrównawczy. Potencjał rzeczywisty E_p spolaryzowanego rurociągu wyznacza się z zależności [3]:

$$E_p = E_{wyl} - \frac{U_{wyl}}{U_{zał} - U_{wyl}}(E_{zał} - E_{wyl})$$

lub po przekształceniu [4]

$$E_p = E_{wyl} + \frac{E_{wyl} - E_{zał}}{\frac{U_{zał}}{U_{wyl}} - 1}$$

gdzie:

- E_p - potencjał wolny od składowej omowej,
- $E_{zał}$, E_{wyl} - potencjały zmierzone elektrodą umieszczoną nad rurociągiem przy załączonym i wyłączonym prądzie ochrony,
- $U_{zał}$, U_{wyl} - napięcie (gradient potencjału) między elektrodami e_1 i e_2 przy załączonym i wyłączonym prądzie ochrony.

Wartości potencjałów obliczone według opisanych równań mogą być obarczone błędem. Z tego powodu zaleca się ich stosowanie w przypadku, gdy $U_{zał} > 20$ mV. W przeciwnym przypadku należy przyjąć $E_p = E_{wyl}$.

Najczęstszymi przyczynami błędów mogą być [20]:

- niestabilność potencjału elektrod,
- wybitnie niska rezystywność pozorna gleby,
- duża (ok. 5 m) głębokość zakopania rurociągu,
- niepełny kontakt elektrody odniesienia z podłożem.

W wielu przypadkach, gdzie występują prądy błądzące i galwaniczne nie stanowiące istotnego zagrożenia dla konstrukcji, do wyznaczenia rzeczywistego potencjału stosuje się trzejelektrodową technikę pomiaru gradientów potencjału, tzw. metodę ekstrapolacyjną.

Tylko część z płynących w ziemi obcych prądów trafia poprzez ubytki w powłoce ochronnej do znajdującego się w obszarze ich oddziaływania rurociągu. I tylko ta część musi zostać uwzględniona przy określaniu jego potencjału wolnego od składowej omowej. Pomiar przeprowadzony przy pomocy metody ekstrapolacyjnej umożliwia wyeliminowanie spadków napięcia spowodowanych prądami, które nie wnikają do chronionej konstrukcji [5]. Przy pomocy elektrod odniesienia e_1 , e_2 i e_3 rozstawionych na powierzchni ziemi i leżących na prostej prostopadłej do rurociągu wykonuje się pomiary potencjału E i gradientów potencjału U_{1-2} i U_{1-3} przy załączonym i przy wyłączonym prądzie ochrony. Wartość potencjału wolnego od składowej omowej oblicza się z zależności analogicznej do metody wyłączeniowej. W miejsce składowej poziomej spadku potencjału podstawią się średnią arytmetyczną gradientów potencjału $U_{zał}$ i $U_{wył}$ [6].

Wraz z poprawą jakości i trwałości współcześnie stosowanych powłok izolacyjnych na rurociągach podziemnych, a także rozwojem nowych technik pomiarowych, odczuwa się zmianę podejścia do kryterium ochrony katodowej. Większą uwagę poświęca się wykryciu i zabezpieczeniu miejsc o szczególnym zagrożeniu korozyjnym (hot spot), np. uszkodzeń izolacji, a nie uzyskaniu określonych założonych parametrów na całym obiekcie. W miejscach tych, niezależnie od wykonanego zabezpieczenia, stosuje się zazwyczaj stałe elektrody pomiarowe, elektrody symulujące oraz inne techniki monitorowania zagrożenia korozyjnego i skuteczności ochrony katodowej.

Nowa technika, której opracowano już szereg odmian, nazywana "close interval potential surveys" lub "intensivmesstechnik" [2,4,6,7], umożliwia prowadzenie pomiarów potencjału wzdłuż rurociągu w niewielkich odstępach i rejestrowanie wyników w pamięci mikrokomputera. Celem jej jest wyznaczenie miejsc o zwiększonym zagrożeniu korozyjnym lub zmniejszonej skuteczności ochrony katodowej.

Polega ona na wykonaniu wzdłuż trasy rurociągu, w niewielkich odstępach np. co 5 m pomiarów analogicznych jak w technice ekstrapolacyjnej i rejestracji wartości potencjałów $E_{zał}$, $E_{wył}$ oraz gradientów U_{1-2} , U_{1-3} , $U_{zał}$, $U_{wył}$. Maksima $U_{zał}$ wskazują miejsca defektów powłoki. Dokładność lokalizacji większych ubytków, a także możliwość wyszukania ubytków niewielkich zależy od odległości pomiędzy punktami pomiarowymi. W przypadkach, gdy jest to konieczne, pomiary wykonuje się w mniejszych odstępach, np. co 0,5m [8].

Metodyka badawcza

Badania przeprowadzono na chronionym katodowo zespole czterech rurociągów wodnych o średnicy 1000 mm z izolacją bitumiczno-szklaną zakopanych na głębokości około 3 m w odległości osiowej 2-3 m. Zastosowano technikę pomiarów intensywnych z wykorzystaniem trzech przenośnych elektrod odniesienia $Cu/CuSO_4$. Jedną z nich umieszczono nad osią zespołu rurociągów, pozostałe dwie (lewą L i prawą P) umieszczono prostopadłe po obu stronach tej osi w odległości 10 m. Kontakt z rurociągami uzyskiwano przez podłączenie przewodu nawiniętego na bęben do zacisku w punkcie pomiarowym. Mierzono potencjał $E_{zał}$ i $E_{wył}$ rurociągów względem elektrody środkowej oraz gradienty potencjałów: lewy (UL) i prawy (UP), przy załączonych i wyłączonych synchronicznie

stacjach ochrony katodowej. Odległość pomiędzy punktami pomiarowymi wynosiła 5, 10 i 20 m, w zależności od sytuacji terenowej i uzyskiwanych odczytów.

Podczas prowadzenia badań natrafiono na trudności:

- w dokładnym wyznaczeniu przebiegu trasy poszczególnych rurociągów (przy użyciu szukacza trasy możliwe było wyznaczenie tylko całego pasa zajmowanego przez zespół rurociągów),
- w wykonaniu pomiarów na obszarach niedostępnych (bagna, przeszkody wodne itp.),
- w rozstawieniu elektrod bocznych ze względu na przeszkody terenowe.

Omówienie wyników

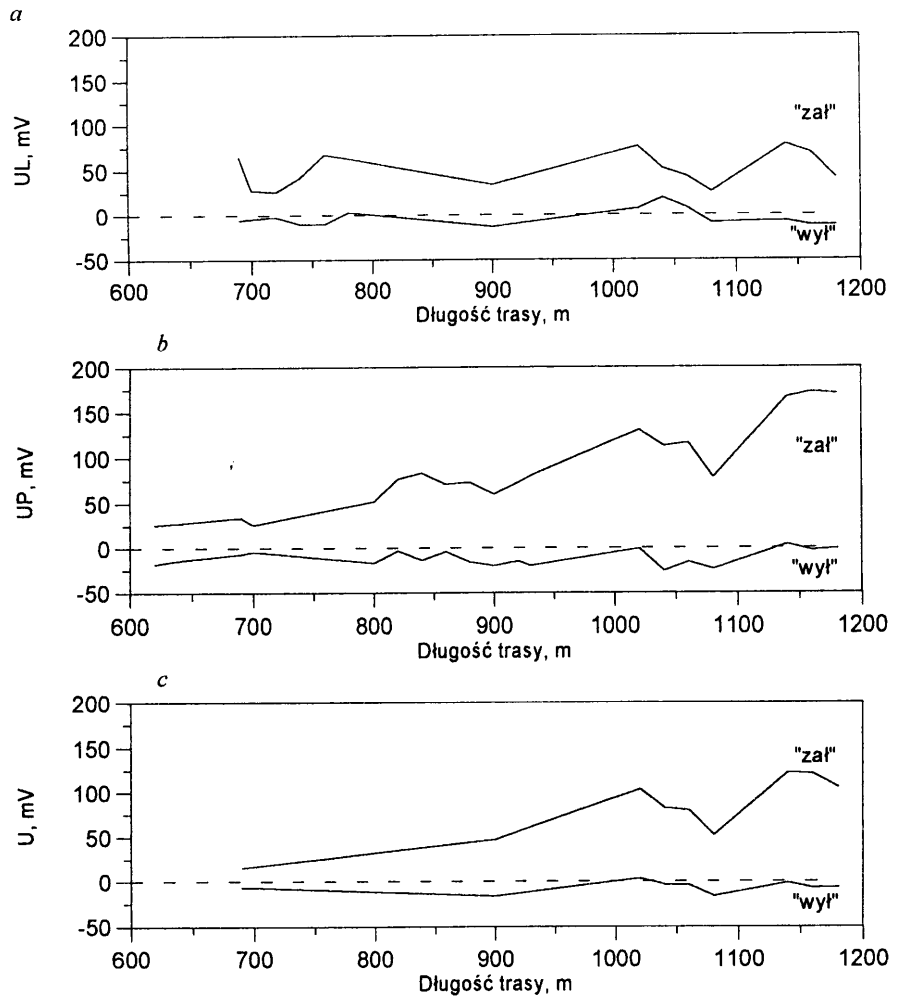
Przy opracowywaniu wyników wystąpiły kolejne ograniczenia redukujące liczbę wyników nadających się do obliczeń potencjału wolnego od składowej omowej. Około 30% ogólnej liczby pomiarów gradientu załączeniowego $U_{Pz\alpha}$, i $U_{Lz\alpha}$ oraz średniej arytmetycznej $U_{z\alpha}$ uzyskało wartości poniżej 20 mV. W takim przypadku przyjmowano $E_p = E_{wył}$. Z pozostałej części wyników stosunek niektórych wartości $U_{z\alpha}$ i $U_{wył}$ (szczególnie średnich arytmetycznych) był bliski jedności, co oczywiście powodowało korektę potencjału wyłączeniowego o kilkaset miliwoltów (w skrajnym przypadku o 3V). Takie przypadki również eliminowano. Najmniej odrzuconych wyników wystąpiło w rejonach o wyraźnie sprecyzowanym statusie (okolice podłączeń drenażowych czy stałowych komór na rurociągach).

Na rys. 1. przedstawiono wykresy gradientów załączeniowych i wyłączeniowych strony lewej (UL - rys. a), prawej (UP - rys. b) oraz ich średnich arytmetycznych (U - rys. c) w rejonie jednego z punktów drenażu. Po stronie prawej obserwuje się wyższe wartości gradientu załączeniowego oraz zdecydowanie ujemne wartości gradientu wyłączeniowego. Świadczyć to może o lepszej polaryzacji tej strony zespołu rurociągów. Potwierdzeniem tego może być fakt obecności właśnie po tej stronie układu anodowego. Nie wykluczone jest też, że przyczyną mogą być płynące w ziemi prądy pochodzące z innych źródeł.

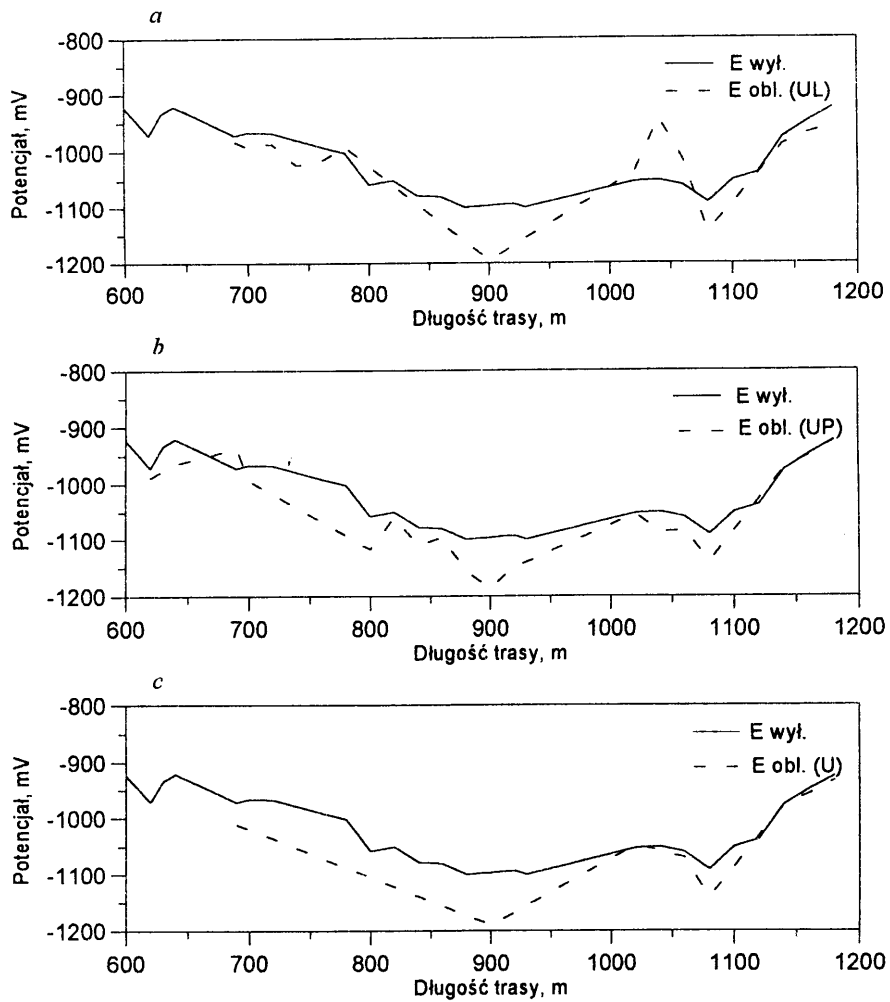
Mierzone gradienty potencjału $U_{wył}$ wskazują na występowanie kilkusetmetrowego, silnie spolaryzowanego, fragmentu zespołu rurociągów, który po wyłączeniu stacji ochrony katodowej jest źródłem prądu polaryzującego sąsiednie odcinki. Może mieć więc taki sam wpływ na pomiary jak nie wyłączona jedna ze stacji.

Na rys. 2. przedstawiono porównanie potencjału wyłączeniowego z wynikami obliczeń potencjału wolnego od składowej omowej na podstawie gradientów strony lewej (a), strony prawej (b) oraz średniej arytmetycznej (c). Mimo, że otrzymane wykresy nieco różnią się między sobą to wniosek najważniejszy wypływa ze wszystkich jednakowo: obliczony potencjał konstrukcji polaryzowanej w rejonie punktu drenażu jest o ok. 100 mV bardziej ujemny od potencjału wyłączeniowego. Ponieważ parametry prądowe stacji ochrony katodowej ustawiane były według potencjału wyłączeniowego należy się liczyć z koniecznością ich ograniczenia aby nie powodować na rurociągu niekorzystnych zjawisk polaryzacji katodowej.

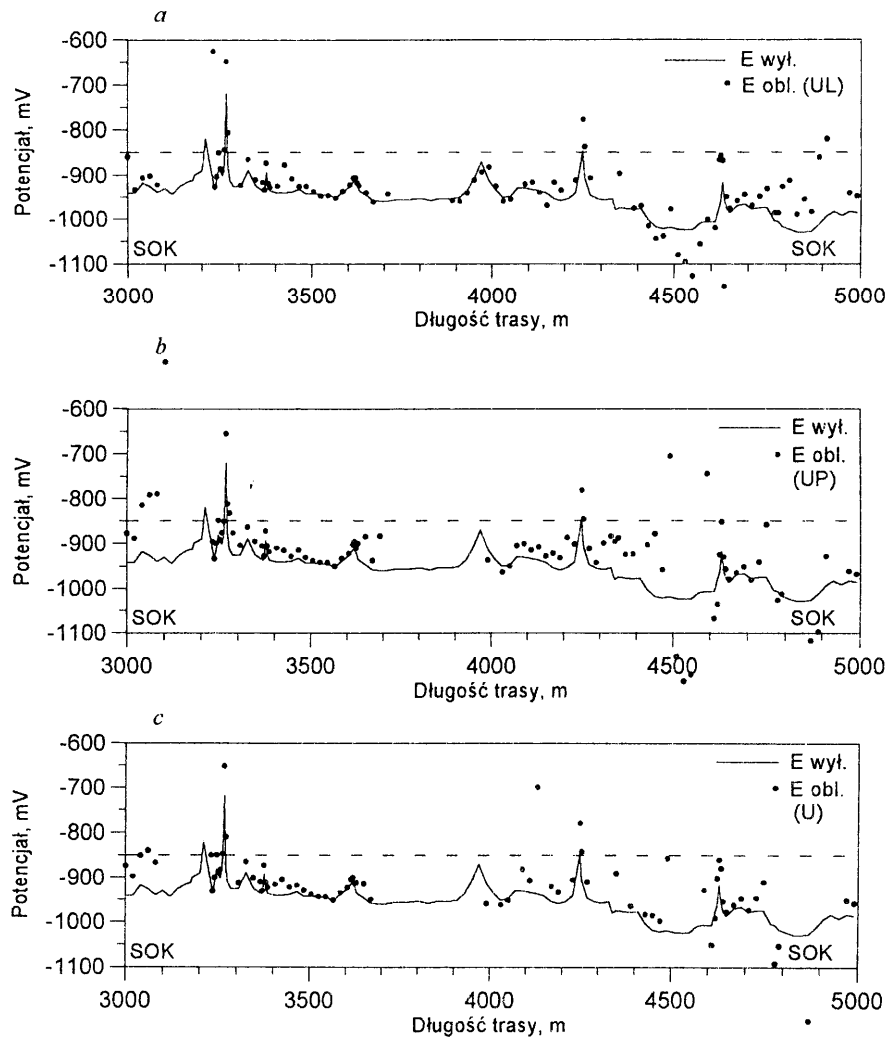
Na rys. 3. przedstawiono wykresy potencjału wyłączeniowego z naniesionymi wartościami potencjału obliczonego z gradientu lewego (a), prawego (b) i ze średniej obu wartości (c) dla fragmentu trasy rurociągów pomiędzy sąsiednimi stacjami. Część wartości potencjału obliczonego pokrywa się z wartościami potencjału wyłączeniowego, część jest taka sama niezależnie od tego z której strony był mierzony gradient, obecne są też wartości budzące jeszcze wiele wątpliwości.



Rys. 1. Wykresy gradientów załączeniowych i wyłączeniowych w rejonie punktu drenażu
 a) UL - gradient strony lewej,
 b) UP - gradient strony prawej,
 c) U - średnia arytmetyczna obu powyższych wartości.



Rys. 2. Wykresy potencjału obliczonego i potencjału wyłączeniowego w rejonie punktu drenażu
 a) z gradientu lewego - UL,
 b) z gradientu prawego - UP,
 c) ze średniej arytmetycznej obu powyższych wartości -U.



Rys. 3. Wykresy potencjału wyłączeniowego fragmentu zespołu rurociągów pomiędzy sąsiednimi stacjami ochrony katodowej z naniesionymi wartościami potencjału obliczonego:
 a) z gradientu lewego - UL,
 b) z gradientu prawego - UP,
 c) ze średniej arytmetycznej obu powyższych wartości -U.

Podsumowanie

Technika pomiarów intensywnych znalazła szerokie zastosowanie przede wszystkim do badania skuteczności ochrony katodowej gazociągów oraz do lokalizacji, z reguły rzadkich, miejsc uszkodzeń coraz lepszej jakości izolacji. Bardzo dobrych wyników można spodziewać się badając pojedyncze rurociągi o dobrej izolacji, ułożonych płytko w terenie otwartym. W wielu wypadkach mamy do czynienia z zespołem równolegle ułożonych rurociągów wodnych lub paliwowych o izolacji bitumiczno-szklanej.

Podjęta próba wykorzystania techniki pomiarów intensywnych do oceny skuteczności ochrony katodowej takiego zespołu rurociągów dała szereg istotnych informacji, które niemożliwe byłyby do uzyskania przy pomocy metod tradycyjnych, a mianowicie:

- lokalizacja miejsc o obniżonej skuteczności ochrony,
- potwierdzenie niekorzystnego wpływu na efekt ochronny stalowych, gorzej izolowanych konstrukcji występujących na rurociągach,
- lokalizacja miejsc o zbyt ujemnych wartościach potencjału.

Natrafiono również na trudności zarówno w prowadzeniu pomiarów jak też w obliczaniu potencjału wolnego od składowej IR. Spowodowało to redukcję liczby punktów z możliwą do obliczenia wartością potencjału i konieczność przyjęcia na znacznym odcinku trasy warunku $E_p = E_{wył}$. Z obliczonych wartości potencjału część budzi wiele wątpliwości.

Najbardziej wiarygodne wyniki uzyskano w rejonach o wyraźnie sprecyzowanym statusie i znacznej powierzchni, jak np. okolice podłączeń drenażowych i okolice stalowych komór na rurociągach.

Dla zespołu rurociągów z izolacją bitumiczno-szklaną lokalizacja miejsc o obniżonej skuteczności ochrony katodowej jest możliwa w przypadku ich znacznego rozmiaru. Mniejsze uszkodzenia, ze względu na możliwość przepływu prądów wyrównawczych pomiędzy sąsiednimi rurociągami, praktycznie mogą zostać nie zauważone.

Praca wykonana została w ramach działalności statutowej Politechniki Gdańskiej.

Literatura

1. Fischer W., Hildebrand H., Prinz W., Schwenk W.: Werkstoffe und Korrosion, **39**, 1988, 18.
2. Fleig W.: Experiences with Intensive Measurements of Coating Defects on Cathodic Protected Piped, 18th World Gas Conference Berlin 91.
3. v Baeckmann W., Hildebrand H., Prinz W., Schwenk W.: Werkstoffe und Korrosion, **34**, 1983, 230.
4. DIN 50925. Korrosion der Metalle. Nachweis der Wirksamkeit des kathodischen Korrosionsschutzes erdverlegten Anlagen. 10. 1992.
5. v Baeckmann W. und 7 Mitautoren: Messtechnik beim kathodischen Korrosionsschutz, Ehningen bei Böblingen 1992, Expert Verlag, s. 23-48.
6. Schwenk W.: gwf-gas/erdgas, 103, 1978, 546.
7. Prinz W.: A Method of IR-Drop Free Potential Prediction in Close Interval Cathodic Protection Surveys of 10,000 km of Gas Transmission Pipelines Results and Conclusions, 18th World Gas Conference Berlin 91.
8. v Baeckmann W., Prinz W., Intensivmessungen bei kathodisch geschützten Rohrleitungen, gwf-gas/erdgas, 126, 1985, 618.