



POMIARY INTENSYWNE A PRĄDY BŁĄDZĄCE

INTENSIVE MEASURING AND STRAY CURRENTS

Marek Fiedorowicz, Michał Jagiełło
PGNiG SA w Warszawie
Regionalny Oddział Przesyłu w Gdańsku

Słowa kluczowe: ochrona katodowa, pomiary intensywne, prądy błędzące
Keywords: cathodic protection, intensive measuring, stray currents

Streszczenie

W pracy autorzy krytycznie odnoszą się do zapisów DIN 50925, na podstawie których można dokonywać oceny skuteczności ochrony katodowej podziemnych konstrukcji poddanych zmiennym oddziaływaniom prądów błędzących na podstawie wyników uzyskanych techniką pomiarów intensywnych.

Summary

DIN 50925 recommends the way to evaluate cathodic protection efficiency of underground constructions, when they are influenced by stray currents. According to the DIN 50925, the evaluation can be performed using technique of intensive measurements. In the present publication the authors critically concern the adoption of intensive measurement in the subject of DIN 50925.

Wstęp

Zgodnie z określonym w normach potencjałowym kryterium ochrony, ochrona katodowa podziemnego rurociągu jest skuteczna, jeśli w nieciągłościach powłoki rurociągu potencjał polaryzacji katodowej stykającej się z elektrolitem metalowej powierzchni rurociągu jest równy lub bardziej elektroujemny od potencjału ochrony. W ramach badań skuteczności ochrony katodowej konieczne jest zatem lokalizowanie defektów oraz innych miejsc nieszczelności powłoki i ustalanie, czy spełnione jest w nich kryterium ochrony.

Jedyną znaną, opisaną w przepisach normatywnych metodą umożliwiającą określenie potencjału polaryzacji katodowej w rzeczywistych defektach powłoki jest metoda obliczeniowa wg DIN 50925 [1] stosowana w technice pomiarów intensywnych. W metodzie tej na podstawie wyników pomiarów potencjałów załączeniowych i wyłączeniowych rurociągu mierzonych wzgl. elektrody odniesienia ustawionej na powierzchni ziemi nad zlokalizowanym wcześniej defektem powłoki oraz spadków napięć w gruncie, wywołanych przez prąd polaryzujący rurociąg w defekcie (tzw. gradientów), mierzonych również na powierzchni ziemi - wyznacza się potencjał polaryzacji katodowej powierzchni metalowej w defekcie (bez składowej omowej).

Metodę tę, z uwagi na dużą „wrażliwość” uzyskiwanych wyników na błędy elektrod odniesienia, w zasadzie można stosować do wyznaczania potencjałów polaryzacji w defektach, z którymi związane są odpowiednio duże spadki napięcia na powierzchni ziemi, wywołane przez prądy przepływające pomiędzy defektami a ziemią [2]. Z tego względu metoda ta nie powinna być stosowana do wyznaczania potencjałów polaryzacji w defektach małych, a także w defektach usytuowanych na dużych głębokościach pod powierzchnią ziemi.

Norma DIN 50925 dopuszcza, wręcz wskazuje jako właściwą m.in. technikę pomiarów intensywnych, przy spełnieniu pewnych uwarunkowań, do określania potencjałów polaryzacji katodowej podziemnych konstrukcji w obszarach oddziaływań prądów błądzących.

Zdaniem autorów, klasyczna metoda pomiarów intensywnych z reguły nie jest metodą odpowiednią dla badania skuteczności ochrony katodowej w defektach powłoki rurociągu występujących w obszarach oddziaływań prądów błądzących. W klasycznej metodzie pomiarów intensywnych, w poszczególnych defektach powłoki rurociągu wyznacza się chwilowe potencjały polaryzacji katodowej, które w przypadku oddziaływań prądów błądzących zazwyczaj nie stanowią odpowiedniej bazy odniesienia w badaniach skuteczności ochrony. Konieczne jest wykonywanie pomiarów w odpowiednio długich przedziałach czasu.

Pomiary intensywne w polach oddziaływań prądów błądzących

Zgodnie z DIN 50925, technikę pomiarów intensywnych można stosować w badaniach skuteczności ochrony katodowej zarówno konstrukcji poddanych oddziaływaniu wyłącznie pola elektrycznego ochrony katodowej, jak również - przy spełnieniu pewnych uwarunkowań - konstrukcji dodatkowo poddanych oddziaływaniom obcych pól elektrycznych, m.in. prądów błądzących.

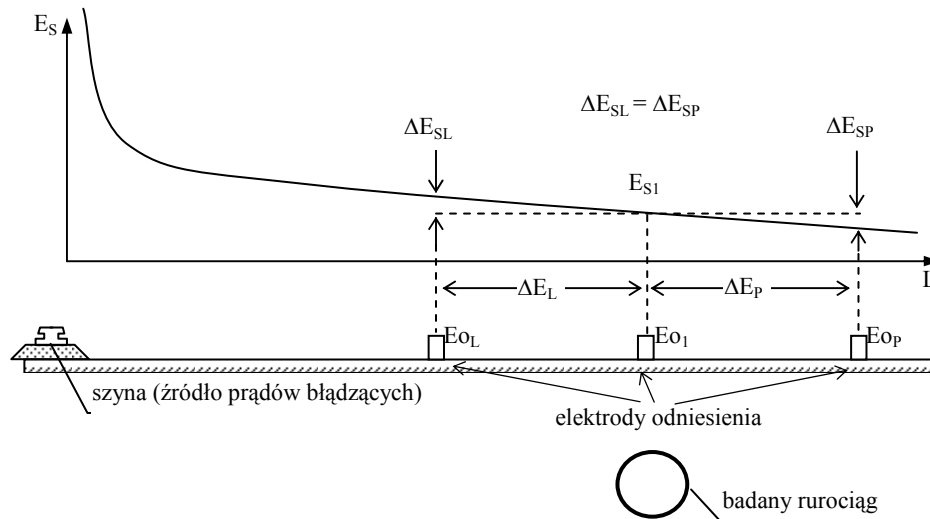
Wg tej normy, pomiary intensywne można stosować do wyznaczania potencjałów polaryzacji konstrukcji poddanych oddziaływaniom czasowo stałych, a także - zmieniających się prądów błądzących:

1. W polach oddziaływań prądów błądzących powinna być stosowana metoda trójelektrodowa (jeśli konstrukcja poddana jest oddziaływaniu wyłącznie pola elektrycznego

ochrony katodowej - wystarczająca jest metoda dwuelektrodowa, oczywiście poza obszarem działania stożków potencjałowych pochodzących od uziomów anodowych).

2. Pomiary intensywne stosować można w miejscach odpowiednio oddalonych od źródła prądów błędnych, w których stożek potencjałowy wytworzony przez źródło prądów błędnych ma w przybliżeniu przebieg liniowy; żadna z trzech użytych elektrod odniesienia nie powinna być ustawiona w obszarze nieliniowej części tego stożka. *Przykładowo, przyjmując, że nieliniowa część stożka może sięgać do ok. 3 m od torów trakcji elektrycznej[3,4], a najmniejsza odległość pomiędzy elektrodą skrajną i środkową w metodzie trójelektrodowej może wynosić ok. 3 m [3], ocenę skuteczności ochrony katodowej przy pomocy pomiarów intensywnych można wykonywać w miejscach konstrukcji oddalonych co najmniej o ok. 6 m od torowiska.*
3. Wymagane są synchroniczne pomiary mierzonych wielkości - jednoczesne pomiary wielkości załączeniowych, bezpośrednio przed momentem wymuszonego przerwania polaryzacji katodowej i jednoczesne pomiary wielkości wyłączeniowych, bezpośrednio po wymuszonym przerwaniu polaryzacji.

Jeśli elektrody odniesienia stosowane w metodzie trójelektrodowej zlokalizowane będą w obrębie części liniowej stożka potencjałowego wytworzonego przez źródło prądów błędnych, wówczas wpływ tego stożka na wartość wyznaczonego potencjału będzie wyeliminowany (rys. nr 1.).



Rys. nr 1. Metoda trójelektrodowa w polu oddziaływań prądów błędnych

Na wykresie nie zaznaczono składowej spadku napięcia pochodzącej od prądu płynącego pomiędzy rurociągiem i ziemią przez nieszczelności powłoki

Oznaczenia: E_s - potencjał ziemi wywołany przez źródło prądów błędnych, L - odległość od szyny, ΔE_L , ΔE_P - gradienty mierzone odpowiednio po lewej i po prawej stronie defektu

Potencjał polaryzacji defektu wyznacza się z zależności:

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

gdzie:

E_o - potencjał polaryzacji rurociągu w defekcie,

$E_{zał}$, E_{wyl} - potencjał rurociągu mierzony wzgl. elektrody odniesienia E_{o1} ustawionej nad defektem powłoki, odpowiednio załączeniowy i wyłączeniowy,

$\Delta E_{zał}$, ΔE_{wyl} - średnie arytmetyczne gradientów mierzonych po obu stronach defektu, odpowiednio załączeniowych i wyłączeniowych, $\Delta E = (\Delta E_L + \Delta E_P)/2$.

Należy podkreślić, że wyznaczany metodą trójelektrodową potencjał polaryzacji w defekcie powłoki, na podstawie pomiarów chwilowych wielkości, jest potencjałem wolnym od składowej omowej wywołanym przez wypadkowy prąd przepływający pomiędzy defektem a ziemią (sumę prądu ochrony katodowej i prądu błądzącego), ale jest to także potencjał chwilowy. (W klasycznej metodzie pomiarów intensywnych po wykonaniu synchronicznych pomiarów mierzonych wielkości w danym miejscu, przechodzi się do następnego miejsca.)

Potencjały polaryzacji konstrukcji znajdujących się w polu oddziaływań prądów błądzących zmieniają się w czasie wskutek zmian prądów błądzących. Ocenianie stanu ochrony takiej konstrukcji na podstawie wyznaczonej chwilowej wartości potencjału jest niewystarczające, wręcz błędne - konieczne jest badanie zmian potencjału w dłuższych przedziałach czasu.

Klasyczna metoda pomiarów intensywnych nie jest zatem metodą wystarczającą (właściwą) do rozpoznania stanu ochrony konstrukcji poddanych oddziaływaniom zmiennych pól prądów błądzących.

Zdaniem autorów, w celu rozpoznania stanu ochrony katodowej podziemnej konstrukcji poddanej oddziaływaniu prądów błądzących niezbędne jest określenie zmian potencjałów polaryzacji w poszczególnych, reprezentatywnych defektach powłoki w dłuższych przedziałach czasu - z uwagi na zmienny charakter oddziaływań prądów błądzących.

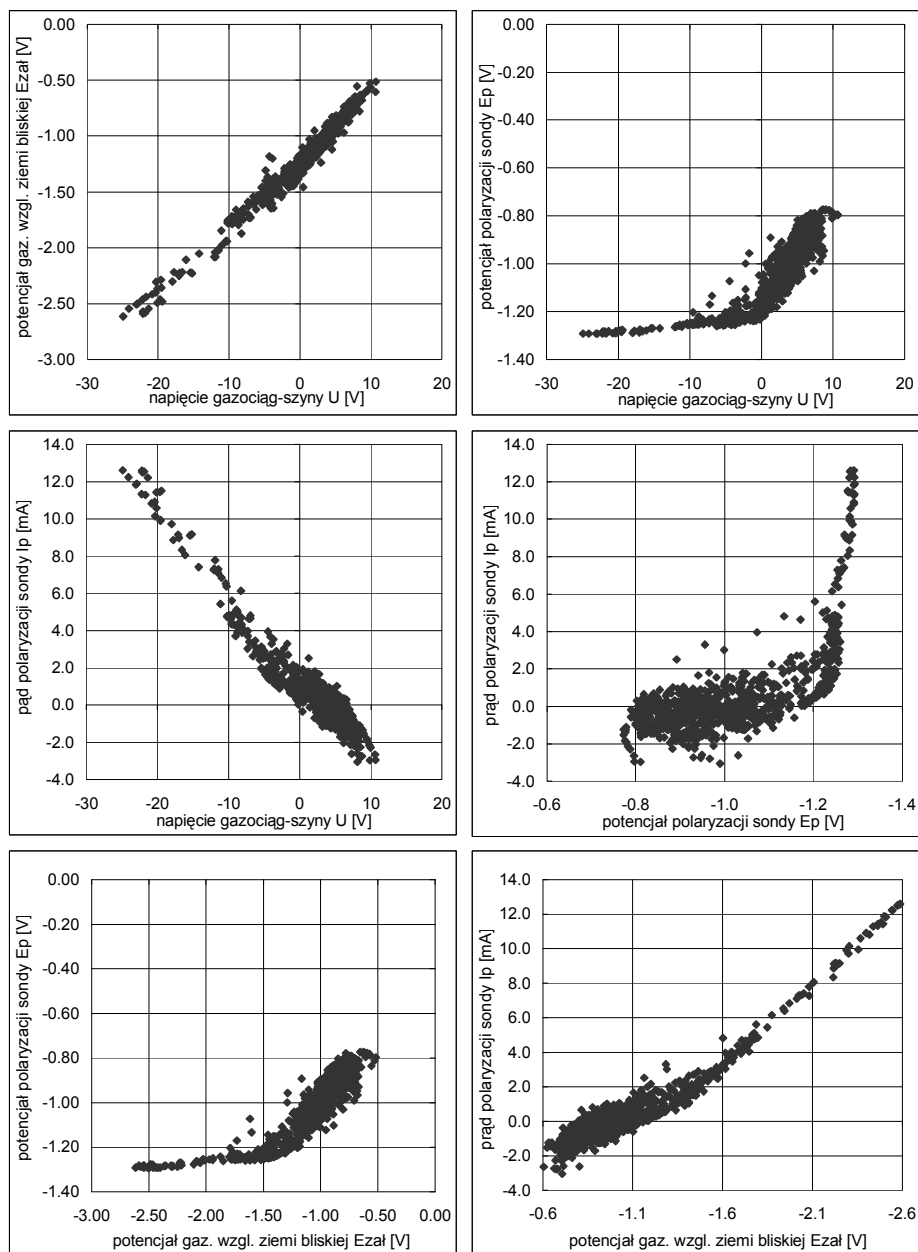
Zmienność potencjału polaryzacji konstrukcji w nieszczelnościach powłoki konstrukcji

W celu zobrazowania jak może się zmieniać potencjał polaryzacji w defekcie powłoki rurociągu zlokalizowanym w obszarze oddziaływań prądów błądzących pokazują pomiary przeprowadzone na sondzie symulującej, których wyniki przedstawiono poniżej.

Sonda pomiarowa z elektrodą symulującą defekt powłoki o powierzchni 30 cm² została zakopana w rejonie skrzyżowania gazociągu wys. ciśn. DN 200 z trakcją kolejową, w odległości 40 m od skrajnej szyny. Gazociąg wybudowany w 1983 roku, posiada izolację bitumiczną i jest zabezpieczony ochroną katodową przy pomocy kilku stacji katodowych, z których najbliższa usytuowana jest w odległości ok. 4 km od skrzyżowania. Pod nasypem kolejowym gazociąg ułożony jest w rurze ochronnej, z którą jest wewnętrznie metalicznie zwarty. W rejonie skrzyżowania rezystywność gruntu wynosi $\rho = 30 \Omega m$; gazociąg i zakopana obok niego sonda leżą poniżej poziomu wód gruntowych. Przy ocenie skuteczności ochrony katodowej na tym odcinku gazociągu stosowane jest kryterium ochrony $E_{och} \leq -0,95 V$ wzgl. el. Cu/CuSO₄.

W ostatnich latach zaobserwowano znaczne pogorszenie stanu trakcyjnych obwodów powrotnych, czego skutkiem był wzrost oddziaływań prądów błądzących na gazociąg.

Sonda pomiarowa została zakopana w celu rozpoznania skali zagrożenia korozyjnego gazociągu.



Rys. nr 3. Wykresy korelacyjne wielkości mierzonych na skrzyżowaniu gazociągu z elektryczną trakcją kolejową z zastosowaniem elektrody symulującej 30 cm²

Po upływie trzech miesięcy od zakopania sondy przeprowadzono pomiary:

- potencjału załączeniowego gazociągu względem elektrody ustawionej na powierzchni ziemi E_{za} ,
- potencjału polaryzacji elektrody symulującej E_p ,
- prądu przepływającego pomiędzy ziemią i elektrodą symulującą I_p ,
- napięcie pomiędzy gazociągiem a szynami U .

Jako potencjał polaryzacji przyjmowano potencjał elektrody symulującej mierzony po upływie 0,1 sek. od momentu odłączenia tej elektrody od gazociągu. Połączenie pomiędzy elektrodą a gazociągiem przerywano cyklicznie w rytmie: 2,8 sek. załączenie, 0,2 sek. odłączenie. Cykle przerywacza i rejestratora były zsynchronizowane. Rejestrację ww. parametrów prowadzono przez osiemnaście godzin.

Na rysunkach nr 2 i 3 przedstawiono wyniki pomiarów dla wybranego, reprezentatywnego przedziału czasu długości 50 min. Wartości potencjałów podano wzgl. el. Cu/CuSO₄nas. (W prezentacji wyników ograniczono się do wybranego przedziału pięćdziesięciominutowego w celu lepszego zobrazowania tendencji.)

W badanym miejscu występuje strefa silnych anodowych oddziaływań prądów błądzących. Przeważają okresy występowania dodatnich napięć pomiędzy gazociągiem i szynami (84% czasu). W omawianym pięćdziesięciominutowym przedziale czasu potencjał polaryzacji elektrody symulującej zmieniał w szerokich granicach: od $E_p = -0,77$ V do $E_p =$ ok. $-1,25$ V. Łącznie przez 19,5 min (39% czasu rejestracji) potencjał elektrody był bardziej elektrododatni od potencjału ochrony ($E_{och} = -0,95$ V). Średni potencjał polaryzacji elektrody dla całego okresu był równy $E_{pśr} = -1,02$ V.

W tym samym czasie natężenie prądu przepływającego pomiędzy sondą i ziemią wynosiło: $I_{max} = +12,6$ mA (gęstość prądu $j = 4,2$ A/m²), $I_{min} = -3,0$ mA ($j = -1$ A/m²). Łącznie przez 24 min (47% rozpatrywanego przedziału czasu) prąd wypływał z elektrody. Średnie natężenie prądu polaryzacji elektrody było równe $I_{śr} = 0,6$ mA ($j = 0,2$ A/m²).

Czasy trwania poszczególnych okresów, podczas których prąd nieprzerwanie wypływał z próbki, wynosiły od kilku sekund do kilku minut.

Zakładając, że zamiast sondy mielibyśmy do czynienia z rzeczywistym defektem powłoki i przeprowadzalibyśmy badania skuteczności ochrony katodowej przy pomocy klasycznej, opisanej w DIN 50925 metody pomiarów intensywnych, to w zależności od przypadkowego momentu pomiaru, ze stosunkowo krótkiego przedziału pięćdziesięciominutowego, moglibyśmy stwierdzić albo stan głębokiej polaryzacji, w zakresie wydzielania wodoru, czyli stan spełnienia kryterium ochrony albo - ochronę niedostateczną.

Skutki oddziaływań prądów błądzących w miejscu rzeczywistego defektu powłoki zależą od wielu czynników takich jak: wielkość i kształt defektu, właściwości gruntu w miejscu defektu, rodzaj i stan izolacji rurociągu, potencjał załączeniowy rurociągu wzgl. ziemi bliskiej, przebieg trasy rurociągu w stosunku do trasy trakcji, charakterystyka oddziaływań prądów błądzących i in. Zaprezentowane wyniki nie powinny więc być przyjmowane jako reprezentatywne dla przypadku podziemnej konstrukcji leżącej w obszarze oddziaływań prądów błądzących.

Bez względu na to, w każdym przypadku konieczne jest indywidualne podejście do każdego miejsca na konstrukcji poddanego oddziaływaniom prądów błądzących.

Niezwykle istotne jest zwłaszcza prawidłowe ustalenie charakterystyki oddziaływań prądów błądzących. W tym celu konieczne jest przeprowadzanie rejestracji mierzonych parametrów przez dostatecznie długi okres. Z doświadczenia autorów wynika, że w przy-

padku oddziaływań prądów błędnych pochodzących z elektrycznej trakcji kolejowej standardowo powinno się wykonywać rejestrację przez okres co najmniej jednej doby.

Na rys. nr 4 pokazano przykładowy dwudziestoczerogodzinny przebieg zmian napięcia gazociąg - szyny oraz potencjału załączeniowego gazociągu zarejestrowany na skrzyżowaniu z torami PKP gazociągu wysokiego ciśnienia w rejonie Lęborka.

Odpowiednie wskaźniki, pomocne przy analizie oddziaływań prądów błędnych wyliczone dla okresów sześciogodzinnych (!) zestawiono poniżej:

okres rejestracji	godz. 12 - 18	godz. 24 - 6
wsp. korelacji	0,99	0,99
średni potencjał załączeniowy przy braku oddziaływań prądów błędnych E_{50} (dla $U_{\text{gaz}} - \text{szyny} = -1 \text{ V}$)	-1,39 [V]	-1,34 [V]
potencjał maksymalny E_{max}	-1,05 [V]	+0,50 [V]
potencjał minimalny E_{min}	-2,72 [V]	-1,73 [V]
potencjał średni E_{sr}	-1,51 [V]	-0,97 [V]
wsp. asymetrii potencjału (stosunek sumarycznego czasu występowania potencjału $E_{\text{zał}} > E_{\text{s}}$ do całkowitego czasu rejestracji)	0,29	0,98

Mimo, że rozpatrywane sześciogodzinne przedziały czasu były stosunkowo długie, uzyskane wyniki dla poszczególnych przedziałów różnią się zdecydowanie. W omawianym przykładzie sześciogodzinny przedział czasowy badania oddziaływań prądów błędnych jest zbyt krótki.

Autorzy w swoich badaniach ochrony katodowej rurociągów poddanych oddziaływaniom prądów błędnych zauważają występowanie stosunkowo długich przedziałów czasowych nieprzerwanego wypływu prądu z defektu powłoki do elektrolitu, mimo że sumaryczny czas tego wypływu może stanowić niewielką część całego czasu obserwacji.

Spotykają się z przypadkami osiągania przez prądy wypływające dużych gęstości. Dotyczy to zwłaszcza defektów małych w gruntach niskooporowych, w których to potencjały polaryzacji osiągają okresowo wartości potencjałów wydzielania wodoru. Wówczas, gdy nastąpi podwyższenie potencjału ziemi wskutek oddziaływania pola elektrycznego wytworzonego przez tory kolejowe, ułatwione jest wypływanie prądu z takiego defektu.

Obserwując często długie przedziały czasowe naprzemiennych jednokierunkowych oddziaływań prądów błędnych (długi okres oddziaływań katodowych, a następnie - długi okres oddziaływań anodowych - i odwrotnie).

Zdaniem autorów, stosowanie tutaj w celu określenia zagrożenia klasycznej metody korelacyjnej i kryteriów opartych na czasowych, potencjałowych współczynnikach asymetrii [5] - jest niewystarczające.

Odczuwalny jest brak sprawdzonych kryteriów oceny skuteczności ochrony katodowej konstrukcji poddanych oddziaływaniom prądów błędnych. Znamienne jest brak takich kryteriów w EN 12 954 [6].

W literaturze niemieckiej można spotkać się z poglądem, że potencjały polaryzacji katodowej w defektach powłoki poddanych oddziaływaniom prądów błędnych nie zmieniają się w sposób istotny [7]. Z tego typu przypadkami autorzy również się zetknęli, jednak ich zdaniem, zjawisko takie może mieć miejsce w specyficznych sytuacjach, gdy potencjały polaryzacji katodowej w defektach powłoki są na poziomie potencjałów wydzielania wodoru - a więc w przypadku silnej polaryzacji katodowej. Ogólnie jednak, potencjały polaryzacji w defektach powłoki konstrukcji mogą wskutek oddziaływań prądów błędnych zmieniać się w szerokich granicach, zwłaszcza w naszym kraju, gdzie trakcja kolejowa jest

stałoprądowa, a stan trakcyjnych obwodów powrotnych jakże często jest niewłaściwy. Mechaniczne stosowanie techniki pomiarów intensywnych w badaniach skuteczności ochrony katodowej konstrukcji poddanych oddziaływaniom prądów błędzących jest, zdaniem autorów, nieodpowiednie. Niestety, wg wiedzy autorów, zarówno krajowi, jak i zagraniczni wykonawcy pomiarów intensywnych często bezkrytycznie tę technikę stosują.

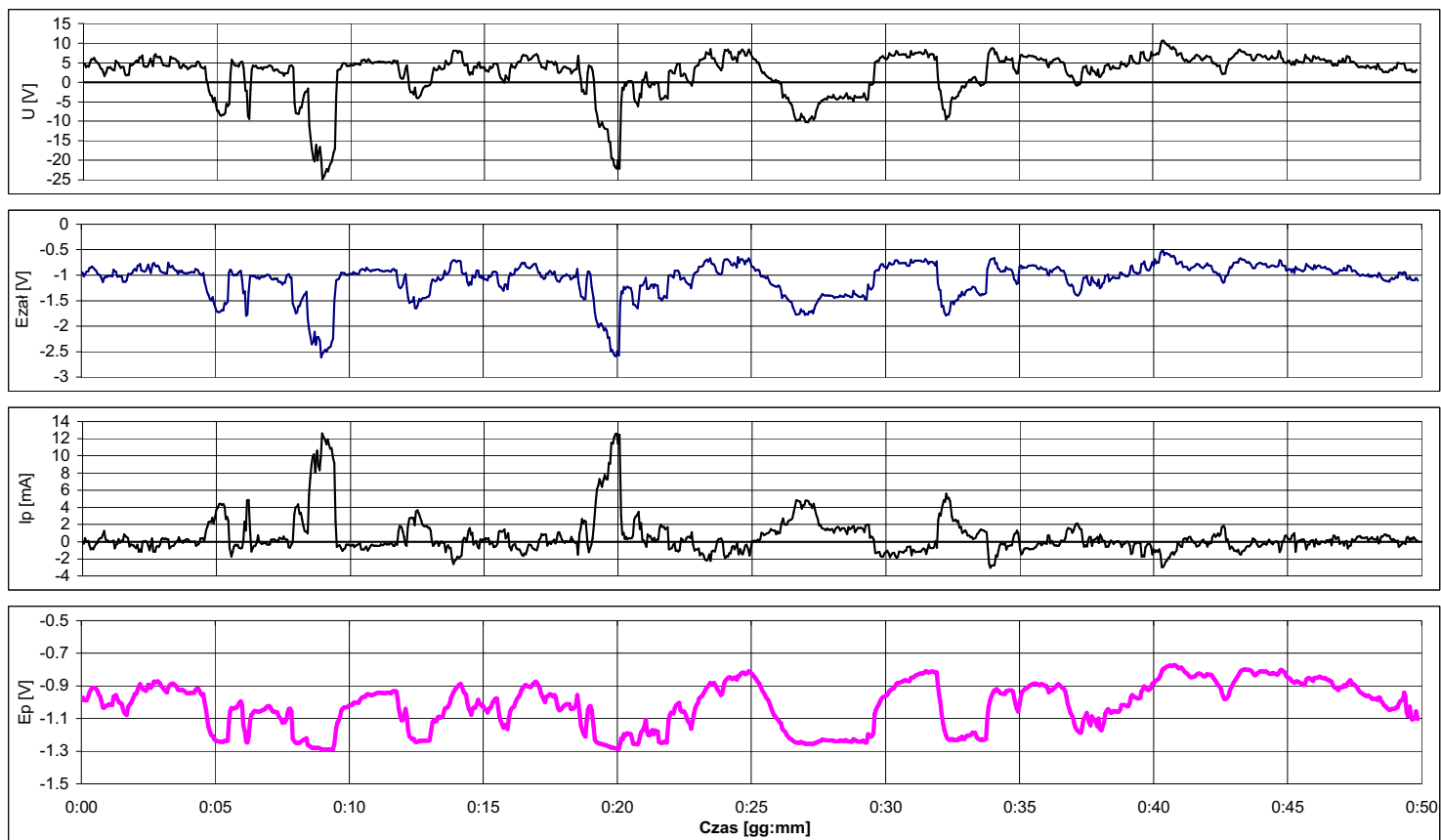
Autorzy aktualnie testują metodę, która w oparciu o teoretyczne założenia metody obliczeniowej stosowanej w pomiarach intensywnych umożliwia wyznaczenie potencjałów polaryzacji w rzeczywistych defektach powłoki konstrukcji podziemnych poddanych zmieniającym się oddziaływaniom prądów błędzących w dłuższych przedziałach czasu.

Wnioski:

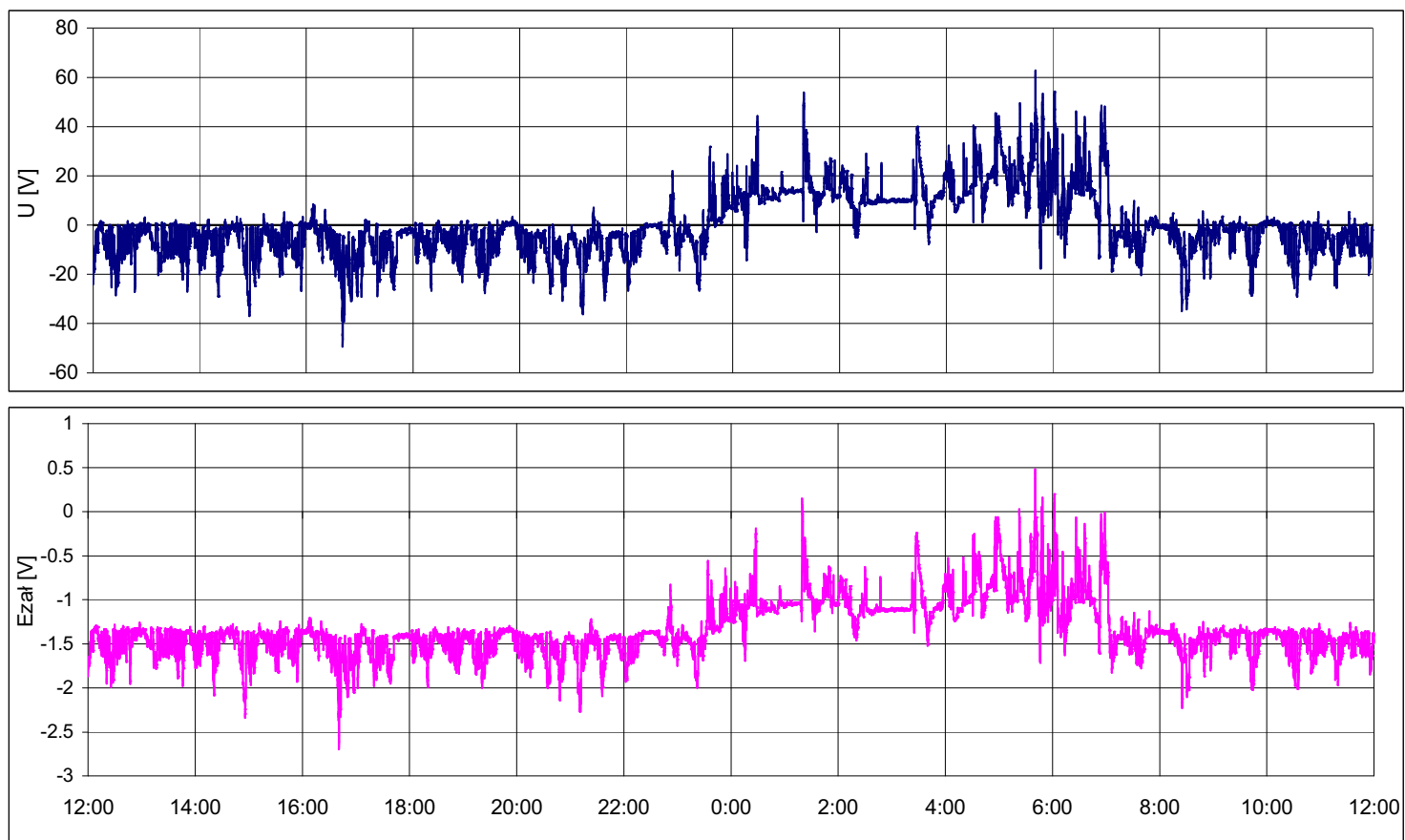
1. Klasyczna technika pomiarów intensywnych umożliwia wyznaczanie jedynie wartości chwilowych potencjałów polaryzacji w rzeczywistych defektach powłoki. W obszarach oddziaływań prądów błędzących technika ta jest niewystarczająca do ustalania stanu ochrony podziemnych rurociągów.
2. Potencjały polaryzacji w defektach powłoki zlokalizowanych w obszarach oddziaływań prądów błędzących mogą zmieniać się w bardzo szerokich granicach. W celu ustalenia skuteczności ochrony katodowej konieczne jest wykonywanie pomiarów w odpowiednio długich okresach.
3. Sprawą pilną jest opracowanie kryteriów skuteczności ochrony katodowej konstrukcji usytuowanych w strefach oddziaływań prądów błędzących.

Literatura:

1. DIN 50925 Korrosion der Metalle; Nachweis der Wirksamkeit des kathodischen Korrosionsschutzes erdverlegter Anlagen, 1992
2. Fiedorowicz M., Jagiełło M.: *Problemy z wyznaczaniem potencjału polaryzacji w nieszczelnościach powłoki podziemnego rurociągu*, mat. VI Krajowej Konferencji Pomiary Korozyjne w Ochronie Elektrochemicznej, Jurata 2000
3. Baeckmann W. i in.: *Messtechnik beim kathodischen Korrosionsschutz*, Expert Verlag, Ehningen bei Boblingen, 1989
4. Dziuba W.: *Sieć powrotna i prądy błędzące*, Dział Wydawnictw i Reprografii Instytutu Elektrotechniki, Warszawa, 1995
5. Sokółski W.: *Ocena zagrożenia korozyjnego konstrukcji podziemnych wywołanego przez prądy błędzące*, Ochrona przed korozją 35, 153 (1992)
6. EN 12954:2001 Cathodic protection of buried or immersed metallic structures - General principles and application for pipelines
7. v Baeckmann W., Schwenk W., Prinz W.: *Handbuch des kathodischen Korrosionsschutzes*, Verlag Chemie, Weinheim 1989



Rys. nr 2. Przebiegi zmian napięcia gaz – szyny U , potencjału gaz, wzgl. ziemi bliskiej $E_{zał}$, prądu polaryzacji elektrody symulującej I_p , potencjału polaryzacji elektrody E_p , zarejestrowane na skrzyżowaniu gazociągu z elektryczną trakcją kolejową; powierzchnia zastosowanej elektrody symulującej – 30 cm^2



Rys. nr 4. Przebiegi zmian napięcia gazociąg – szyny U i potencjału załączeniowego Ez chronionego katodowo gazociągu zarejestrowane na skrzyżowaniu gazociągu z elektryczną trakcją kolejową w okolicy Lęborka w dn 03/04.04.2002 r.