

**METODA KORELACYJNA BADANA PRĄDÓW BŁĄDZĄCYCH
- TECHNIKA CIĄGLE NIEZNORMALIZOWANA**

**THE CORRELATION METHOD FOR INVESTIGATING STRAY CURRENTS
- THE STILL NON-STANDARD TECHNIQUE**

Wojciech Sokółski
SPZP CORRPOL Gdańsk

Słowa kluczowe: prądy błędzące, badania, interferencje, korelacja, normalizacja
Keywords: stray currents, tests, interferences, correlation, standardisation

Streszczenie

Od lat osiemdziesiątych ubiegłego wieku w technice pomiarowej związanej z technologią ochrony przeciwkorozyjnej konstrukcji metalowych w miastach rozpoczęto w Polsce stosowanie tzw. techniki korelacyjnej. Polega ona na badaniu jednoczesne dwóch wzajemnie oddziaływujących sygnałów odwzorowujących przyczynę i skutek zagrożenia korozyjnego konstrukcji podziemnych. Przedstawienie tej zależności w postaci widma korelacyjnego okazała się niezwykle wygodnym narzędziem do szybkiej i jednoznacznej interpretacji wyników zarówno przy ocenie zagrożeń, jak również i skuteczności działania środków zaradczych. Znalazła ona zastosowanie przede wszystkim do analizy oddziaływania prądów błędzących, głównie w aglomeracjach miejskich. Niestety, pomimo bardzo szerokiego i długiego już okresu stosowania tej techniki – nie jest ona w żaden sposób znormalizowana. W artykule przypomniano zasady techniki korelacyjnej i reguły jej stosowania, będące wynikiem wieloletnich doświadczeń, które kwalifikują się do znormalizowania.

Abstract

The so called correlation technique is being applied in Poland from the eighties of the last century. It is connected with anticorrosion protection technology of metal structures in municipal areas. It is based on simultaneously investigating two mutually interacting signals representing the cause and effect of a corrosion hazard to underground structures. Representation of this dependency in the form of a correlation spectrum has been found to be an extremely convenient tool for rapid and unequivocal interpretation of results during assessment of hazards, as well as the effectiveness of remedial measures. Primarily it found application for analysis of stray current interaction, mainly in municipal agglomerations. Unfortunately, in spite of a wide and already long application period of this technique – it has not been standardised in any way. In the article correlation technique principles and application rules have been reminded, being the result of many years experience, qualifying the method for standardisation.

Wprowadzenie

Pod koniec lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku, z wykorzystaniem dostępnego w tamtych czasach sprzętu, podjęto pierwsze próby rejestracji i wykorzystania w badaniach terenowych prądów błędzących techniki bezpośredniego zapisu korelacji pomiędzy dwoma napięciami. Chodziło o ocenę zagrożenia korozyjnego, jakie w miastach wywołują prądy błędzące, a technika korelacyjna miała ujawnić w prosty i bezdyskusyjny sposób jak wpływa napięcie pomiędzy szynami trakcji elektrycznej a badaną metalową konstrukcją podziemną na zmianę potencjału tej konstrukcji mierzoną względem niepolaryzującej się elektrody odniesienia [1]. Badanie prądów błędzących jest czynnością dość trudną, ponieważ wszelkie dające się zmierzyć sygnały odwzorowujące ich działanie posiadają charakter stochastyczny. Stąd też interpretacja losowych zmian w funkcji czasu pojedynczych zmierzonych wielkości, np. potencjału konstrukcji, zarejestrowanych na taśmach z rejestratorów papierowych była niezwykle skomplikowana i obciążona zawsze dużym błędem.

Powiązanie przyczyny wywołującej zagrożenie korozyjne – wielkości proporcjonalnej do przepływu prądu pomiędzy szynami a konstrukcją, ze skutkiem tego przepływu – polaryzacją elektrochemiczną zagrożonej konstrukcji, wydawała się być kluczem do realizacji szybkich i jednoznacznych w interpretacji pomiarów terenowych. Przedstawienie tej zależności w postaci widma korelacyjnego okazała się niezwykle wygodnym narzędziem do szybkiej i stosunkowo prostej interpretacji wyników zarówno przy ocenie zagrożeń, jak również i skuteczności działania środków zaradczych [2-4].

Przydatność tej nowej techniki została natychmiast potwierdzona w praktyce i w stosunkowo krótkim czasie została upowszechniona [5]. Okazało się przede wszystkim, że technika ta ma również inny niedoceniony wcześniej walor – wynik badań znajduje się na jednej kartce papieru i nie wymaga, jak to wcześniej bywało, analizy wielometrowych zapisów na taśmach rejestratorów zależności czasowych poszczególnych sygnałów. Jeden rzut oka na widmo korelacyjne wykonane w znany eksperymentatorowi sposób umożliwia po osiągnięciu pewnej wprawy niemal natychmiastową interpretację zachodzących interferencji pomiędzy źródłem prądu błędzącego a zagrożoną korozyjnie konstrukcją. Można oszacować wielkość zagrożenia korozyjnego, jak również rodzaj i stopień ochrony przeciwkorozyjnej, jeśli została zastosowana.

Współczesne uzupełnienie techniki korelacyjnej o stronę obliczeniową pozwala na dalszy, bardziej złożony opis charakteru oddziaływania prądów błędzących. W wyniku takiego podejścia wykorzystuje się do tego w najprostszym przypadku współczynnik asymetrii zmian potencjału, jako miary szkodliwego zagrożenia prądami błędzącymi [6]. Metoda ta, nazwana w sposób naturalny „metodą korelacyjną badania prądów błędzących”, stała się w Polsce nieodzownym narzędziem wszelkich prac wykonywanych w związku z tym zagrożeniem korozyjnym metalowych konstrukcji podziemnych i dotyczy zarówno oceny zagrożeń jak i stopnia skuteczności działań przeciwdziałających, w terenie otwartym i w aglomeracjach miejskich [np. 6-8].

Niestety, pomimo bardzo szerokiego i długiego już okresu stosowania tej techniki – nie jest ona w żaden sposób znormalizowana. W naszym kraju produkuje się do realizacji tej metody rejestratory cyfrowe oraz odpowiednie oprogramowanie, a technika pomiaru stosowana jest we wszystkich ośrodkach zajmujących się eksploatacją metalowych konstrukcji podziemnych, zarówno w miastach (wodociągi, ciepłociągi) jak również i w terenie (gazociągi magistralne).

Poniżej przypomniano zasady techniki korelacyjnej badania prądów błędzących, historię rozwoju i podstawowe reguły jej stosowania, będące wynikiem wieloletnich doświadczeń, które obecnie kwalifikują się już do znormalizowania.

Technika korelacyjna badania prądów błądzących

a) Rejestracja widma korelacyjnego

Badanie maksymalnej interferencji ochrony katodowej (szkodliwego oddziaływania) przy wykorzystaniu szeregu pomiarów napięcia pomiędzy oddziaływującymi konstrukcjami oraz potencjałem jednej z nich w różnych lokalizacjach (zwykle trakcji elektrycznej i rurociągu) opisane zostało już przez A. W. Peabody'ego w I wydaniu jego książki w roku 1967[9] - technika ta otrzymała nazwę wyznaczania „krzywej Beta” lub „profilu Beta”. Jest również zdawkowo opisana w głównej normie NACE dot. ochrony katodowej [10], gdzie zdefiniowana jest w sposób następujący:

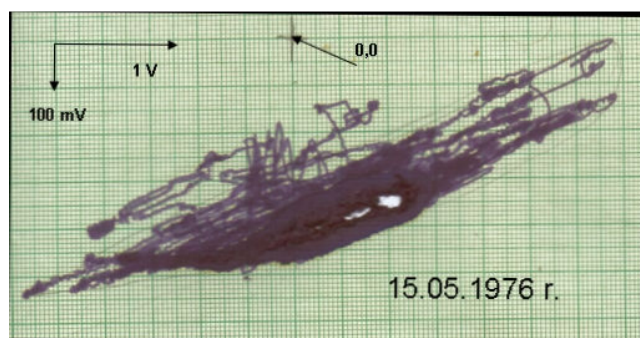
Beta Curve: A plot of dynamic (fluctuating) interference current or related proportional voltage (ordinate) versus the corresponding structure-to-electrolyte potentials at a selected location on the affected structure (abscissa).

Próby wprowadzenia pojęcia „korelacji” podczas prac nad nowelizacją wyżej wspomnianej normy w roku 2009 nie powiodły się do dnia dzisiejszego, chociaż definicja ta wydawała się oczywista – prace nad nowelizacją normy zostały wstrzymane ze względu na szeroką dyskusję nad kryteriami ochrony katodowej i konieczności uzgodnienia stanowisk pomiędzy NACE a Międzynarodowym Komitetem Normalizacyjnym (ISO). Brzmi tak:

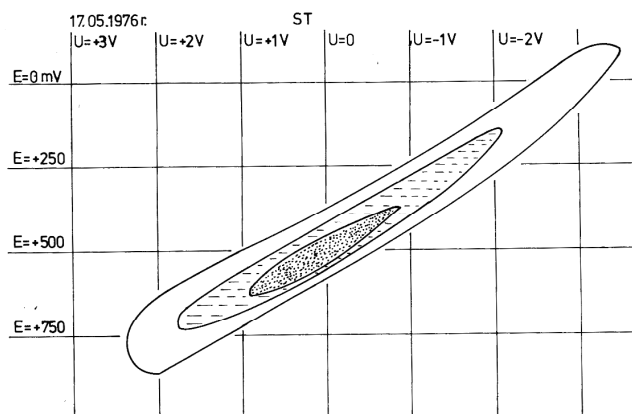
Correlation: Simultaneous measurement of two dynamic (time-varying) parameters, e.g., voltage and/or current, presented in an X-Y plot to determine the relative relationship between the two parameters and whether the fluctuations over time are caused by one or more sources of stray current.

Przytoczenie ww. definicji amerykańskich ma na celu pokazanie, że metoda wyznaczania największego oddziaływania prądów błądzących z wykorzystaniem krzywych Beta ma niewiele wspólnego z omawianą w tej pracy metodą korelacyjną badania prądów błądzących (poza faktem, że w obu z nich wykorzystuje się pary jednocześnie zarejestrowanych dwóch wielkości). A to, że obecnie są trudności z wprowadzeniem definicji wykonywania pomiarów korelacyjnych pomimo tego, że rejestracja wzajemnych zależności jest stosowana powszechnie na całym świecie, świadczy o tym, że technika pomiarowa taka, jaką obecnie stosuje się w Polsce, nie jest w USA stosowana.

Sens badania zależności korelacyjnych sygnałów będących wynikiem działania prądów błądzących, a więc losowo-zmiennych, mógł się zrodzić dopiero wtedy, gdy powstały do tego odpowiednie narzędzia pomiarowe, np. rejestrator X-Y, urządzenie umożliwiające wzajemną rejestrację dwóch sygnałów napięciowych, co miało miejsce dopiero na początku lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku. Inspiracją do podjęcia prób z badaniem korelacji z zastosowaniem rejestratora X-Y była publikacja, w której wzmiankowano o próbach zastosowania takiego rejestratora do oceny oddziaływań linii energetycznych HVDC.

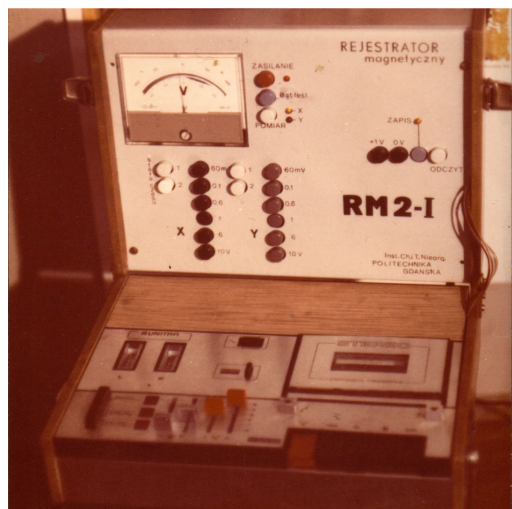


Rys. 1. Pierwsze widmo korelacyjne zarejestrowane przez autora na sieci ciepłowniczej w Szczecinie; rejestrator analogowy XY typu TRP firmy SEFRAM



Rys. 2. Widmo korelacyjne uzyskane za pomocą rejestratora XY po wstępnej interpretacji (obrys zapisu na papierze; uwzględniono wielkość zaczerwienia papieru przez pisak rejestratora). Uwaga: znaki na osiach mierzonych wielkości oznaczone są przeciwnie niż w opisie dalszych wyników pomiarów korelacyjnych.

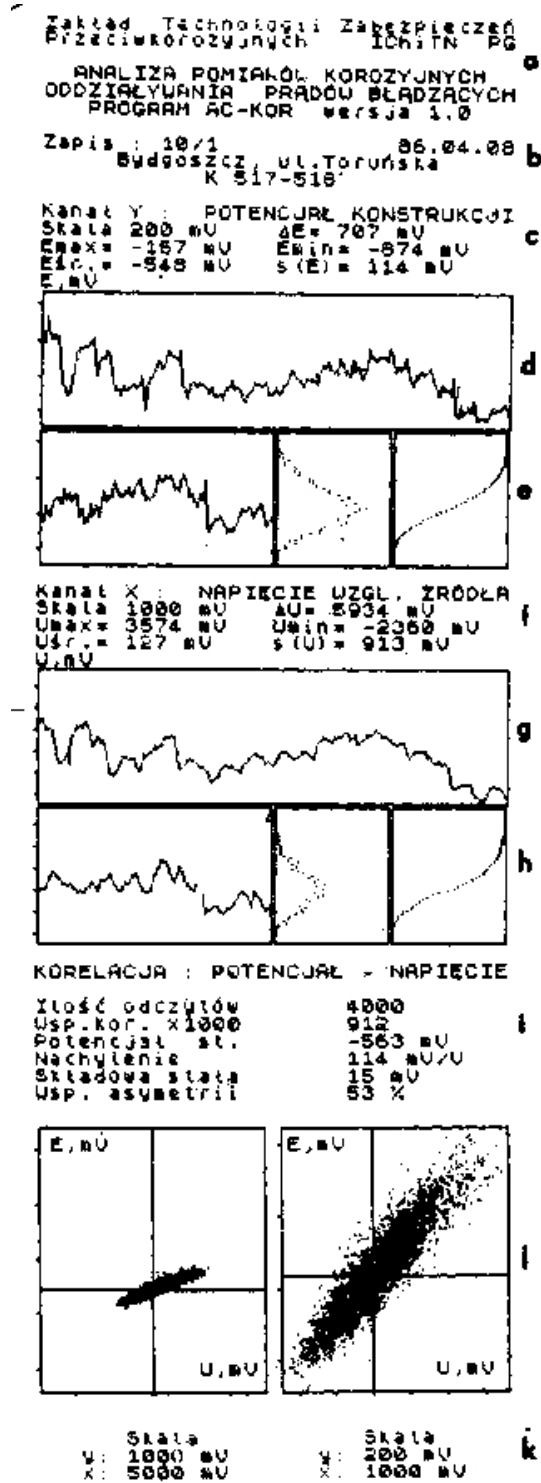
Rejestracja widma korelacji bezpośrednio na papierze z zastosowaniem rejestratora XY nie była z wielu powodów prosta, jednak uzyskany efekt był bardzo zadawalający. Na rys. 1. i rys. 2. przedstawione są rezultaty pierwszych eksperymentów z zastosowaniem techniki korelacyjnej przy terenowych pomiarach oddziaływania prądów błędzących. Zasadniczą wadą rejestratora było jego zasilanie z sieci napięcia 220 V/50 Hz, co w zasadniczy sposób ograniczało możliwości jego wykorzystania w pomiarach terenowych. Przeszkodę tę pominięto w taki sposób, że do pomiarów w terenie wykorzystano przenośny dwukanałowy rejestrator magnetyczny wykonany na bazie stereofonicznego magnetofonu kasetowego (Magnetofon kasetowy M532SD), zaś nagrane rezultaty odtwarzano w warunkach laboratoryjnych na rejestratorach XY.



Fot 1. i Fot. 2. Pierwszy rejestrator magnetyczny RM2-I[11] i jego następcą RM3-2 podczas prac w terenie.

Sygnały napięciowe doprowadzane do rejestratora zamieniane były na falę impulsów o szerokości proporcjonalnej do mierzonych wartości i w takiej postaci utrwalane na taśmie magnetofonowej. Możliwy był także zapis mowy, co pozwalało na utrwalanie bieżących komentarzy, np. związanych z ruchem elektrowozów. Olbrzymią zaletą tej techniki utrwalania parametrów związanych z prądami błędzącymi była możliwość ich dowolnego wielokrotnego odtwarzania, co wykorzystano także w pracach laboratoryjnych do sterowania aparaturą elektrochemiczną (potencjostatem), przy pomocy której w warunkach laboratoryjnych odtwarzano rzeczywiste oddziaływanie prądów błędzących na elektrodach stalowych. Badania te posłużyły do określenia sposobu oceny szkodliwego oddziaływania prądów błędzących na metalowe konstrukcje podziemne [6-8].

Jak tylko pojawiły się pierwsze komputery osobiste i możliwe stało się numeryczne obrabianie wyników pomiarów korelacyjnych, nastąpił nowy okres rozwoju tej techniki. Najpierw zaopatrzone sprzyt mikrokomputerowy (Sinclair Spectrum) w przetworniki analogowo-cyfrowe i za ich pomocą zaczęto wczytywać dane zarejestrowane przez rejestrator magnetyczny. Opracowano program obliczeniowy (w języku programowania BASIC), który obsługiwał proces wczytywania danych i dokonywał obliczeń wszystkich charakterystycznych wielkości dla badanych procesów stochastycznych, a ukoronowaniem

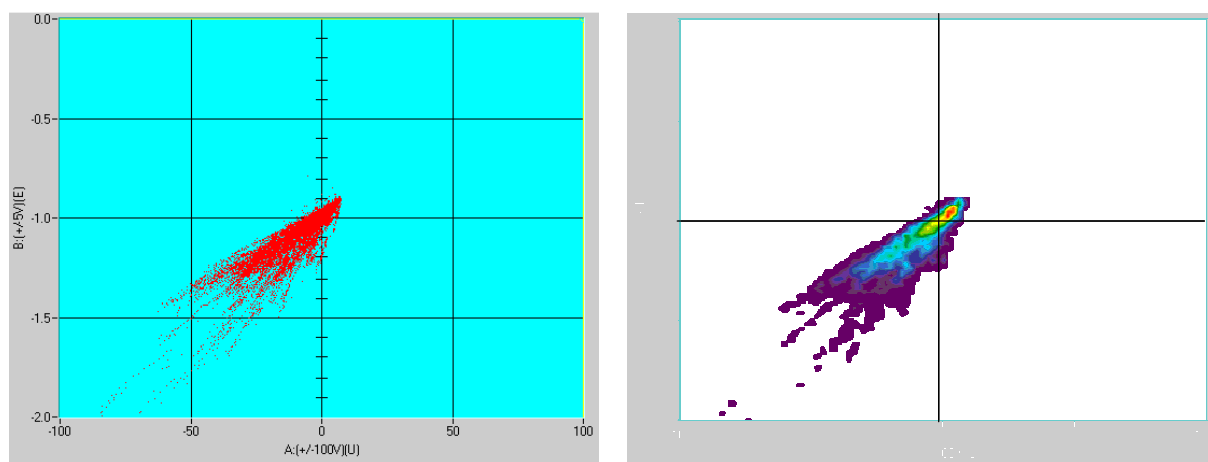


tych działań było opracowanie sposobu prezentacji wyników w postaci raportu (wydruku z drukarki graficznej). Na rys. 3. przedstawiono postać takiego wydruku, zawiera on: a) nagłówek, b) lokalizację pomiarów, c) wyniki obliczeń dla zarejestrowanego potencjału, d) postać graficzną fragmentu lub całej rejestracji zmian potencjału w funkcji czasu, e) rzeczywisty rozkład prawdopodobieństwa i empiryczna dystrybuanta dla zmian potencjału, f) wyniki obliczeń dla zarejestrowanego napięcia konstrukcja-źródło prądów błędzących, g) wyniki obliczeń dla zarejestrowanego napięcia, h) rzeczywisty rozkład prawdopodobieństwa i empiryczna dystrybuanta dla zmian napięcia, i) wyniki specjalistycznych obliczeń korelacji potencjał – napięcie służących do oceny stopnia zagrożenia korozyjnego wywoływanego przez prądy kładące w miejscu pomiaru, j) widma korelacyjne w postaci wydrukowanych pikseli w stałej (dla wszystkich wykresów skali (potencjał 0 ÷ -1 V, napięcie ± 5V) oraz w maksymalnej skali zależnej od zmierzonych wielkości ekstremalnych. Widma prezentowane są w układzie współrzędnych, w których oś odciętych (napięcia) przechodzi przez punkt, w którym dla zerowego napięcia wartość potencjału osiąga największe prawdopodobieństwo. W takim układzie można widmo korelacji podzielić na część anodową (górną) i katodową (dolną). Jest to jedna z najważniejszych operacji na danych, która pozwala na interpretację wyników poprzez pryzmat polaryzacji elektrochemicznej badanego obiektu przez prądy błędzące.

Rys. 3. Jeden z pierwszych wydruków raportu z pomiarów korelacyjnych prądów błędzących do oceny zagrożenia korozyjnego wywoływanego przez prądy błędzące (program AC-KOR).

Kolejnym krokiem w rozwoju metody korelacyjnej badania prądów błędzących było zastosowanie rejestratorów cyfrowych oraz bardziej zaawansowanej komputerowej obróbki wyników, łącznie z wyeliminowaniem niedogodności prezentacji graficznej widm w postaci jednobarwnych pikseli i zastąpienie jej reprezentacją zależną od prawdopodobieństwa – za pomocą odcieni szarości lub w kolorach. Opracowano w różnych ośrodkach kilka wersji rejestratorów cyfrowych (NPK-120, L'Instruments – SCM i mRA, RP97[12], Gamma 1024[13], ATEKO Ostrava) z wyraźnym przeznaczeniem do wykonywania badań korelacyjnych prądów błędzących wraz z odpowiednim oprogramowaniem do odczytywania i analizowania wyników, np. program KORELACJA w języku PASCAL[13].

Zastosowanie do prezentacji widm jednocześnie trzeciego wymiaru (prawdopodobieństwa) umożliwia ocenę zachodzących zjawisk w badanym układzie bardziej wnikliwą i niemal natychmiastową. Na rys. 4. porównano te same widma zaprezentowane w postaci dwuwymiarowej (wartości powtarzające się odwzorowywane są na płaszczyźnie przez jeden piksel, wszystkie piksele posiadają jedną barwę) i z kodowaniem trzeciego wymiaru za pomocą zmiany koloru pikseli.



Rys. 4. Przykładowe porównanie na rzeczywistych wynikach informacji zawartych w widmie jednobarwnym i widmie odwzorowującym barwami prawdopodobieństwo..

Z położenia obu widm na powyższym przykładzie wyraźnie widać, że w układzie współrzędnych po lewej stronie mierzone parametry skupiają się w III ćwiartce (katodowej), podczas gdy z rozkładu prawdopodobieństwa wynika, że w I-szej (anodowej) – żółty i czerwony kolor pikseli określają najwyższe prawdopodobieństwo. Odzworowanie wielkości prawdopodobieństwa zarówno w obrazie widma, jak również w obliczeniach dla poszczególnych ćwiartek układu współrzędnych wnosi bardzo cenne informacje dotyczące przede wszystkim stopnia zagrożenia korozyjnego.

Przykład ten wybrany został nieprzypadkowo. Ilustruje on przypadek zastosowania ochrony katodowej do podziemnego obiektu metalowego (rurociągu) eksploatowanego w pobliżu linii kolejowej, na którym odnotowuje się znaczące oddziaływania prądów błędzących – napięcia pomiędzy rurociągiem a szynami trakcji przekraczają nawet 50 V. Potencjał rurociągu wynosi około – 1 V (wzgl. elektrody Cu/nas. CuSO_4). Wydaje się, że ten rezultat spowodowany jest katodowym oddziaływaniem prądów błędzących, jednak wysokie prawdopodobieństwo parametrów w badanym układzie w ćwiartce I-szej temu zaprzecza – polaryzację katodową musi wywoływać obce źródło – instalacja ochrony katodowej.

Współcześnie pozyskiwanie danych i ich interpretację widm korelacyjnych wykonuje się wyłącznie w technice cyfrowej, jednak do ich analizy nadal potrzebny jest specjalista.

b) Analiza widm korelacyjnych

Pomiary korelacyjne prądów błędzących polegają na jednoczesnym wykonaniu szeregu pomiarów w jednakowych odstępach czasu dowolnej wielkości elektrycznej proporcjonalnej w danym miejscu do wpływającego i/lub wypływającego z konstrukcji podziemnej prądu błędzącego (rzeczywistego czy tylko stwarzającego potencjalnie takie oddziaływanie), charakteryzującego się jednoznacznością wartości „0” – jako zmiennej niezależnej X, oraz potencjału tej konstrukcji względem niepolaryzującej się elektrody odniesienia umieszczonej w jej pobliżu, zgodnie z zasadami pomiaru potencjału tego typu obiektów podziemnych – jako zmiennej zależnej Y. Zależności pomiędzy sygnałami są oczywiste – skutkiem przepływu prądu jest polaryzacja elektrochemiczna i ta właśnie jest przedmiotem badań, nawet jeśli bezpośrednią przyczyną nie jest prąd przepływający przez granicę faz metal-elektrolit (ważna jest natomiast wprost proporcjonalna zależność mierzonego sygnału do tego prądu). Sygnałem rejestrowanym, jako zmienna X, oprócz napięcia pomiędzy badanym obiektem podziemnym a źródłem prądów błędzących (szynami, przyłączem kabla powrotnego, biegunem zasilania w podstacji), może także być spadek napięcia w ziemi (gradient) mierzony przy powierzchni badanej konstrukcji podziemnej, jak również natężenie prądu pomiędzy obiektem a elektrodą symulującą umieszczoną przy powierzchni tego obiektu (potencjał obiektu jest wtedy tzw. potencjałem mieszanym, obejmującym zarówno elementy metalowe obiektu, jak i elektrody symulującej, kontaktujących się z ziemią). Oba sygnały muszą być ze sobą powiązane – sygnał X musi bezpośrednio oddziaływać na konstrukcję; pomiary innych wielkości pochodnych od prądów błędzących mogą prowadzić do mylnych wniosków.

Czas wykonywania pomiarów oraz odstępy czasu pomiędzy kolejnymi pomiarami są uzależnione od charakteru mierzonych sygnałów – są to procesy stochastyczne, traktowane jako ergodyczne i stacjonarne, i dlatego trzeba stosować się do zasad opracowanych dla takich wielkości losowo-zmiennych. Czas wykonywania ciągu pomiarów nie powinien być krótszy niż co najmniej jeden okres najwolniejszego możliwego przebiegu zmian wpływających na mierzony sygnał – w przypadku trakcji elektrycznej to czas przejazdu elektrowozu przez odcinek zasilany przez najbliższą podstację (z doświadczenia - ok. 20 minut dla trakcji tramwajowej, ok. 30 minut dla trakcji kolejowej). Informacja w ten sposób pozyskana będzie reprezentatywna dla tego okresu pomiaru, i dlatego jeśli wymagana jest ocena zjawisk tzw. średnio-dobowa, konieczne jest wykonanie takich rejestracji przez okres 24 godzin.

Odstęp pomiędzy poszczególnymi pomiarami uzależniony jest od największej częstotliwości, która w warunkach pomiaru terenowego może oddziaływać na badane zjawisko – ponieważ jest nim polaryzacja elektrochemiczna, przyjęto, że na zagrożenie korozyjne nie będą wpływać zmiany o czasie krótszym od sekundy, stąd przyjęta została częstotliwość pomiarów 2 Hz.

W rezultacie wykonanych w powyższy sposób pomiarów uzyskuje się dwa szeregi czasowe zmiennych, które bezpośrednio lub pośrednio przenosi się do komputera celem dokonania ich analizy mającej na celu ustalenie stopnia zagrożenia korozyjnego metalowej konstrukcji podziemnej oddziaływaniem zewnętrznego pola elektrycznego wywołanego przez wpływające z trakcji elektrycznej prądy błędzące. Analizę zapisów rozpoczyna się od oceny zmian zmierzonych wielkości w dziedzinie czasu. Jeśli zmierzone zmiany nie mają charakteru losowego, sygnały są zdeterminowane (np. zsynchronizowane z przejeżdżającym od czasu do czasu pociągiem) lub jednokierunkowe (tylko w kierunku dodatnim lub tylko w kierunku ujemnym), to analiza ich z wykorzystaniem oprogramowania do analizy sygnałów stochastycznych, a w szczególności ich obróbka matematyczna nie ma sensu. Ocena zagrożenia korozyjnego jest w takich przypadkach prosta i jednoznaczna.

Opisywana metodyka oceny zagrożenia wywoływanego przez prądy błędzące została opracowana dla przypadków bardziej złożonych - znakoprzemiennych sygnałów losowych, a więc przypadków, kiedy polaryzacja elektrochemiczna zagrożonej konstrukcji podziemnej zmienia się co do wartości i kierunku w sposób losowy. Szeregi czasowe, tj. ciąg po sobie zarejestrowanych liczb, odwzorowujących mierzone napięcia, poddawane są w powszechnie znany sposób obróbce matematycznej, której celem jest określenie parametrów statystycznych w dziedzinie wartości – wyliczane są zazwyczaj: wartości średnie, mediana, odchylenia standardowe i wyższe momenty (współczynniki skośności, spłaszczenia itp.), empiryczny rozkład prawdopodobieństwa i dystrybuanta. Wskazane jest, aby wyliczone parametry były zaprezentowane graficznie w połączeniu z prezentacją zmian zmierzonych wielkości w funkcji czasu.

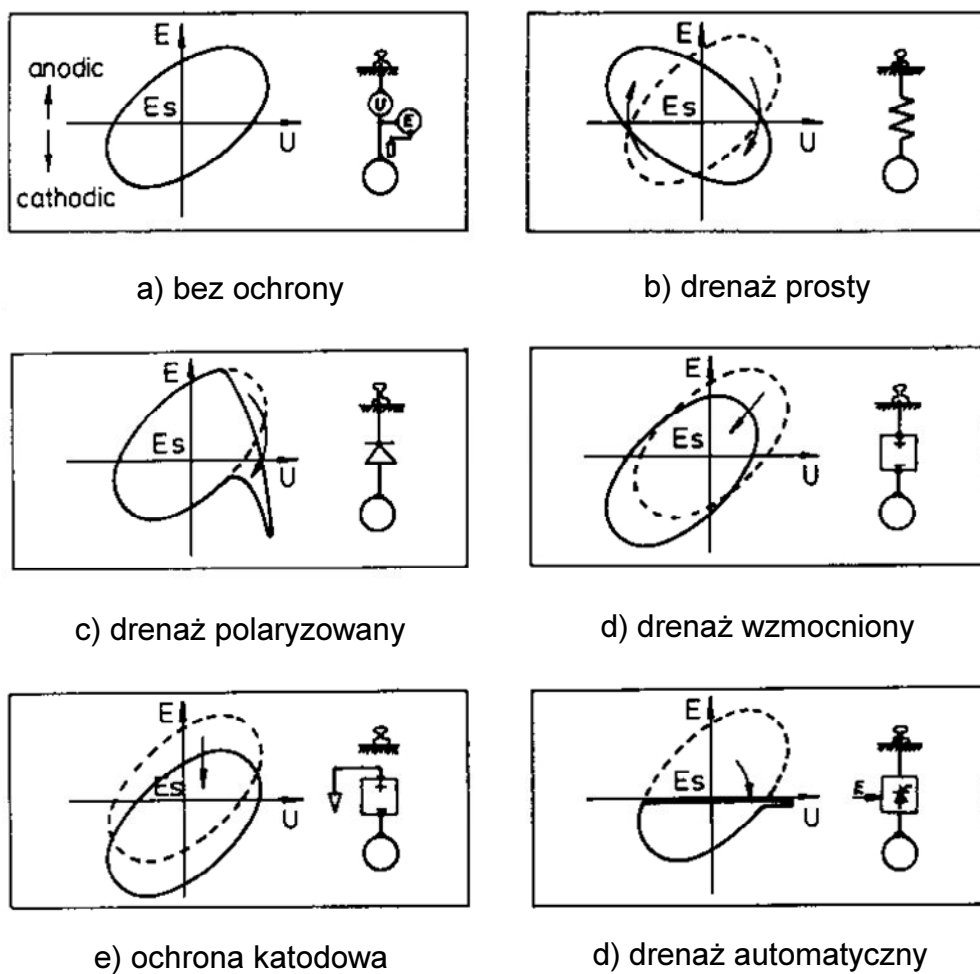
Kolejną fazą jest przeprowadzenie obliczeń korelacji obu zmiennych: prostych regresji (wyrazu wolnego i nachylenia), współczynników korelacji, a także szeregu innych wielkości, zależnych od autorskich programów komputerowych, które określane są na podstawie wyznaczonych z korelacji parametrów, np. współczynników asymetrii, które, jak wykazały liczne badania [1-3, 12, 13], służące wprost do oceny stopnia zagrożenia korozyjnego badanej konstrukcji metalowej. Badane były różne aspekty analizy korelacji: wykorzystanie współczynnika nachylenia krzywej regresji do oceny upływności powłoki izolacyjnej [14], znaczenie częstości próbkowania sygnałów, ocena efektów nieliniowych, porównanie współczynników asymetrii zmian potencjału [15], czy wykorzystanie do obliczeń charakterystyk drenażu [16]. Zasadniczą trudność, niełatwą do pokonania podczas pomiarów w strefach oddziaływania prądów błędzących, stanowi omowy spadek napięcia IR zafałszowujący najważniejszą zmienną – potencjał badanej konstrukcji. Jest on zazwyczaj tak duży, że dominuje charakter liniowy widma korelacyjnego, podczas gdy polaryzacja elektrochemiczna jest zjawiskiem nieliniowym i w oczywisty sposób zależnym od prądu polaryzującego, co przejawia się histerezą i kształtem widma bardziej eliptycznym.

Korelację prezentuje się w układzie kartezjańskim posługując się techniką komputerową w różny sposób, wcześniej już opisany. Wskazane jest do celów porównawczych zawsze wykres ten prezentować w jednakowej skali. Dla ułatwienia oceny wizualnej widma korelacji często prezentowane są w ekstremalnych przedziałach zarejestrowanych wielkości. Dla wartości zmiennej $X=0$ wyznacza się najbardziej prawdopodobną wartość zmiennej Y , tj. potencjału, przy którym oddziaływanie prądów błędzących jest zerowe (najczęściej oznaczana jako E_s). Wartość ta ma w analizie korelacyjnej bardzo ważne znaczenie:

- poprowadzona przez tę wartość oś X tworzy nowy układ współrzędnych umożliwiając interpretację kierunku polaryzacji,
- jest to wartość potencjału nie obciążona błędem omowego spadku napięcia IR (jeśli nie ma innego pola elektrycznego wywołującego polaryzację badanej konstrukcji, np. z instalacji ochrony katodowej).

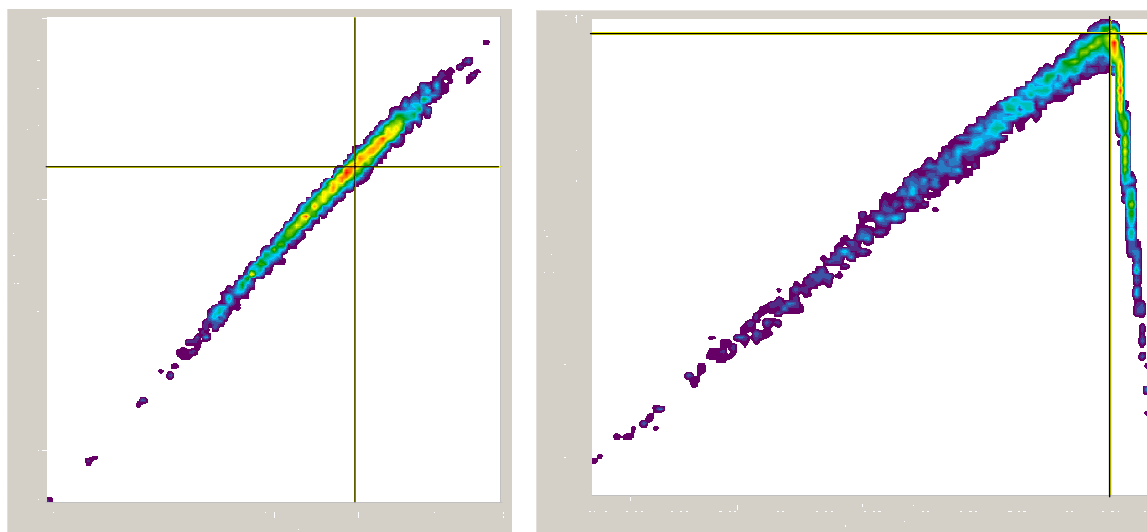
Z powyższego względu graficzna postać korelacji powinna być zawsze zaopatrzona w oś odciętych poprowadzoną na poziomie wartości E_s . W niektórych programach zaznaczony jest bądź obszar skutecznej ochrony katodowej, bądź również obszar potencjałów charakterystycznych dla korozji stali w ziemi (bardziej dodatni od $-0,55V$ wzgl. $Cu/nas. CuSO_4$). Celem dokonania łatwiejszej oceny orientacji widma korelacji za celowe należy uznać poprowadzenie linii (osi) przez wartości zmiennych odpowiadające wartościom średnim – jest to zazwyczaj punkt o najwyższym prawdopodobieństwie w analizowanym widmie.

Zastosowanie metody korelacyjnej do oceny skuteczności działania środków zaradczych, ograniczających lub eliminujących szkodliwe oddziaływanie prądów błędzących, zawsze wymaga wykonania pomiarów z wyłączonym i włączonym urządzeniem zabezpieczającym. Zmiany w wyniku tych działań kształtu widma korelacji ilustruje rys. 5.



Rys. 5. Zmiana kształtu widma korelacyjnego (obrót, przesunięcia) po zastosowaniu różnych metod ochrony przed prądami błędzącymi [4].

Przykład rzeczywistych widm korelacyjnych przed i po zastosowaniu drenażu polaryzowanego sterowanego nowej generacji zilustrowano na rys. 6.



Rys. 6. Widma korelacyjne przed i po zastosowaniu drenażu sterowanego.

Propozycja normalizacji metody korelacyjnej

Zgromadzona wiedza i doświadczenie w stosowaniu omówionej wyżej techniki korelacyjnej badania prądów błędzących powinny zostać spożytkowane na utworzenie wymagań normowych, pozwalających na szersze i porównywalne posługiwanie się tą techniką pomiarową, a w szczególności sformułowanie:

- zakresu zastosowania tej techniki pomiarowej w badaniach korozyjnych,
- prawidłowych zasad wykonywania pomiarów w warunkach terenowych: dobór aparatury pomiarowej, wyboru lokalizacji miejsca pomiaru, podłączeń przewodów i elektrody odniesienia, doboru czasu pomiaru i częstości odczytów, a także w przypadku stosowanych zabezpieczeń przed prądami błędzącymi – również zasad wykonywania takich pomiarów podczas pracy urządzeń zabezpieczających,
- sposobu interpretacji uzyskanych rejestracji i wytycznych do obliczenia podstawowych wielkości opisujących korelacje (listy wyznaczanych charakterystycznych dla badanego zjawiska wielkości),
- zasad interpretacji obliczonych wielkości, tj. określania na ich podstawie: stopnia zagrożenia korozyjnego konstrukcji prądami błędzącymi, prognozowanie skuteczności zastosowanych środków ochronnych, a w przypadku działających systemów ochrony przed prądami błędzącymi – określenie ich rzeczywistego działania: stopnia zahamowania procesów korozyjnych na zabezpieczanym obiekcie.

Podsumowanie

Technika badania wszelkich aspektów związanych z dynamicznie zmieniającymi się prądami błędzącymi, a w szczególności ocena szkodliwości ich oddziaływania na podziemne konstrukcje metalowe przy zastosowaniu opisanej wyżej techniki korelacyjnej, z dużym powodzeniem od lat wykorzystywana jest w Polsce w działalności służb ochrony katodowej. Aktualna norma europejska PN-EN 50162 [17] w pkt. 5.2.3. zaledwie informuje, że: „Tam gdzie mierzone potencjały lub spadki napięć ulegają wahaniom, np. w rezultacie oddziaływań systemu trakcji elektrycznej prądu stałego, należy wykonać pomiary przy użyciu rejestratorów analogowych lub cyfrowych” i „Wskazane jest jednoczesne rejestrowanie wielkości dotyczących zagrożonej konstrukcji oraz parametru pracy źródła prądów błędzących, aby ustalić wyraźny związek prądów błędzących z tym źródłem”. Wydaje się, że taka informacja w normie stoi w jaskrawej sprzeczności z nagromadzonym już olbrzymim bagażem doświadczeń technicznych, które powinny znaleźć już swoje odzwierciedlenie w wymaganiach normowych. Metoda korelacyjna jest powszechnie obecnie stosowanym narzędziem i zasady jej stosowania oraz interpretacja wyników powinny być więc jednolite.

Określenie zasad posługiwania się techniką korelacyjną, w szczególności do oceny skuteczności działania urządzeń przeznaczonych do eliminowania szkodliwych oddziaływań prądów błędzących, np. powszechnie stosowanych drenaży elektrycznych, które zgodnie z cytowaną normą powinny być wykorzystywane z dużą ostrożnością i przy minimalnym obciążeniu prądowym, jest w tej sytuacji nieodzowne. Normalizacja ta nie tylko pozwoli na obiektywną ocenę pracy tego rodzaju urządzeń, ale pozwoli także na ich automatyzację i to w kierunku spełniania w maksymalnym stopniu zaleceń norm europejskich. Prace nad konstrukcją automatycznego drenażu elektrycznego, który samodzielnie będzie zdolny do wykonania odpowiednich pomiarów i po ich analizie optymalizować zgodnie z opisanymi wyżej zasadami swoje parametry wyjściowe, są obecnie prowadzone w SPZP CORRPOL przy wykorzystaniu środków z Unii Europejskiej - Program Innowacyjna Gospodarka POIG.01.04-22-004/11) [18].

Literatura

1. W. Sokółski: Elektrochemiczne metody wykrywania i eliminowania anodowych stref korozyjnych na podziemnych konstrukcjach metalowych w miastach. Politechnika Gdańska 1980 (praca doktorska).
2. R. Juchniewicz, W. Sokółski: Evaluation of Stray Current Corrosion Activity on Metallic Structures, Proc. 8th International Congress on Metallic Corrosion, Mainz, Fed. Rep. Germany, 6-11 Sept. 1981.
3. R. Juchniewicz, W. Sokółski: Field Evaluation of a New Method to Determine Stray Current Corrosion Activity. NACE Mater. Performance 1985 Vol. 24 Nr 7 s. 26-28.
4. R. Juchniewicz, W. Sokółski: Computers in Stray Current Corrosion Control, Corrosion '86: March 17-21, NACE 1986.
5. W. Sokółski W.: Metoda korelacyjna badania prądów błądzących. Piętnaście lat doświadczeń, IV Krajowa Konferencja Pomiary Korozyjne w Ochronie Elektrochemicznej, 12-14.06.1996, Jurata; Ochr. Przed Koroz., 5/1997 str. 126.
6. R. Juchniewicz, W. Sokółski: Asimetrija izomenenija potenciala kak mera opasnosti elektrokorozi i teplotrubioprovodov. Cetvertaja Mezunarodnaja naucno-techničeskaja Konferencija po Probleme SEV "Razrabotka mer zascity metallov ot korrozii". 27-31 maj 1985, Varna, 1985 s. 245.
7. W. Sokółski, K. Żakowski: Experience in stray currents investigation in urban areas. Proceedings of the 10th International Conference on Corrosion of Underground Structures '97. 17.-18.6.1997, Kosice, Slovakia.
8. W. Sokółski: Investigations of Correlation Dependencies of Stray Currents in Municipal Agglomeration. EUROCORR 2000. 10th - 14th September 2000, London.
9. A. W. Peabody: Control of Pipeline Corrosion, 1967/2001, 2nd Edition, NACE.
10. SP0169-2007 Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems, NACE.
11. M. Waclawski: Wybrane zagadnienia ochrony konstrukcji metalowych przed prądami błądzącymi: budowa, uruchomienie i testowanie przenośnego, dwukanałowego rejestratora magnetycznego prądów błądzących, Praca dyplomowa, Gdańsk 1982 r.
12. Praca KBN: 8T10C 01314 Badania zależności korelacyjnych prądów błądzących w aglomeracjach miejskich, Politechnika Gdańska, Politechnika Poznańska, 2000.
13. Praca KBN: 8T10C03519/K/02 Badania nad metodą pomiarową oceny zagrożenia korozyjnego powodowanego przez prądy błądzące w aglomeracjach miejskich, Politechnika Gdańska, Politechnika Poznańska, 2002.
14. M. Hanasz: Ochr. Przed Koroz. 37,2,1994 s,25-27.
15. K. Żakowski, W. Sokółski: Ochr. Przed Koroz. 40,6,1997 s. 174-177;; Ochr. Przed Koroz. 40,7,1997 s. 211-213; Ochr. Przed Koroz. 40,9,1997 s. 262-264.
16. W. Sokółski: Charakterystyki drenaży elektrycznych. VI Krajowa Konferencja "Pomiary korozyjne w ochronie elektrochemicznej, SEP, 14-16. 06. 2000 Jurata.
17. EN-EN 50162 Ochrona przed korozją powodowaną przez prądy błądzące z układów prądu stałego.
18. W. Sokółski, P. Sokółski: Inteligentnie sterowany drenaż elektryczny, Materiały konferencji "Pomiary korozyjne w ochronie elektrochemicznej", 19-21.09.2012 Jurata, s. 155.

**Praca zrealizowana została w ramach Programu Innowacyjna Gospodarka
POIG.01.04- 22-004/11 „Opracowanie nowych rozwiązań z zakresu
aktywnych zabezpieczeń przeciwkorozyjnych z wykorzystaniem ochrony katodowej”
dofinansowanego przez Unię Europejską.**