



---

**ROZTERKI PODCZAS POMIARÓW PRĄDÓW BŁĄDZĄCYCH**  
**IRRESOLUTION WHEN MEASURING STRAY CURRENTS**

Marian Hanasz

L. INSTRUMENTS, Warszawa

Słowa kluczowe: Pomiary, korozja, ochrona elektrochemiczna  
Keywords: Measurements, corrosion, electrochemical protection

**Streszczenie**

Wymieniono problemy ogólne, z którymi spotykają się wykonujący pomiary: terminologię i oznaczenia, metody pomiarowe oraz niektóre konsekwencje ich stosowania, kryteria oceny stanu zagrożenia konstrukcji, kwestię "szybkiej" i "powolnej" polaryzacji, sprawy interpretacji wyników pomiarów i potrzebę normalizacji, a także problemy szczegółowe: dokładny pomiar prądu w konstrukcjach długich, sytuowanie elektrod odniesienia, wykonanie przyłączy pomiarowych do konstrukcji, potrzebę jednolitego opracowania punktów pomiarowych.

**Summary**

General problems of practical measurements are listed: terminology, measuring methods and some consequences of their application, evaluation criteria of imminent destruction, "fast" and "slow" polarisation, interpretation of measurement results and the need of standardisation. Specification of problems includes also some detailed questions such as piping current precise measuring, situating of reference electrodes, installation of permanent leads, standardisation of test points.

Pragnę się podzielić uwagami kogoś stojącego nieco opodal problemów, z którymi na co dzień zmagają się korozjoniści, zajmujący się ochroną elektrochemiczną. Jest to pozycja outsidera, który do tego szanownego grona wdarł się za pomocą wytrycha w postaci mikroprocesorowego rejestratora SCM firmy L.INSTRUMENTS. Wierzę, że wychodząc naprzeciw potrzebom przyrząd ten ułatwił pomiary prądów błędzących i prezentację wyników. Udoskonalany prawie co rok, jest sprawnym i dogodnym narzędziem w rękach pomiarowców.

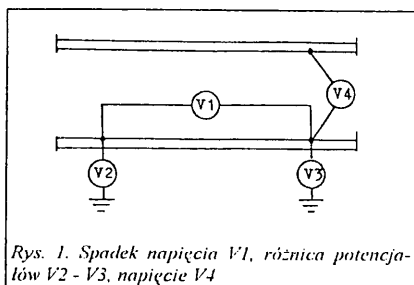
Prowadząc prace rozwojowe natrafiamy jednak na przeszkody, które zapewne utrudniają życie nie tylko konstruktorom. Prawdopodobnie dręczą one większość osób ze środowiska Polskiego Komitetu Elektrochemicznej Ochrony przed Korozją. To przeświadczenie skłania, by je tu wymienić jako listę zagadnień do przedyskutowania. Byłoby jeszcze lepiej, gdyby można było wspólnie się nimi zająć. Opracowanie wyczerpującej specyfikacji przekracza ramy referatu na konferencję i możliwości autora, który jednak sądzi, że warto pokusić się o naszkicowanie niektórych problemów, wierząc że w przyszłości zostaną opracowane bardziej kompletnie i systematycznie.

Zacznę od potrzeby pewnej zgodności znaczeń słownych z semantyczną wartością pojęć. Na przykład, czy mierzymy prąd błędzący - jeden, zmieniający się w czasie i w przestrzeni, czy też wielość prądów błędzących, różnych w każdym miejscu i każdej chwili. Norma [1] używa obu form. A jak być powinno?

Jednym z uznanych kryteriów oceny zagrożenia konstrukcji jest potencjał konstrukcji. Oczywiście nie chwilowy, ustawicznie się zmieniający, lecz taki, który coś mówi o polaryzacji konstrukcji. Nie jest to potencjał spoczynkowy, tego nie trzeba wyznaczać, jest to wartość stała, charakteryzująca dany metal. Proponowano potencjał statyczny, Sokólski używa pojęcia potencjał stacjonarny[2][3][4], norma [1] podaje dwa równorzędnie: potencjał polaryzacji elektrochemicznej; potencjał bez omowego spadku napięcia omowej, oba przydługie i nieprecyzyjne. Sądzę, że bardziej w istotę rzeczy trafia potencjał rzeczywisty, przez analogię z angielskim "true potential" i niemieckim: "wahres Potential".

Jeszcze o terminologii związanej z potencjałem. Norma [1] mówi o potencjale ochrony, ale właściwszy byłby potencjał ochronny jako przypisywany chronionej konstrukcji; utworzenie go przez jakieś urządzenie ochrony jest mniej ważne.

Należałoby wyjaśnić, może w teże normie [1], fizyczną odmiennosc pojęć: różnicy potencjałów, napięcia i spadku napięcia (rys.1). Byłoby dobrze żebyśmy używając tych pojęć się rozumieli.



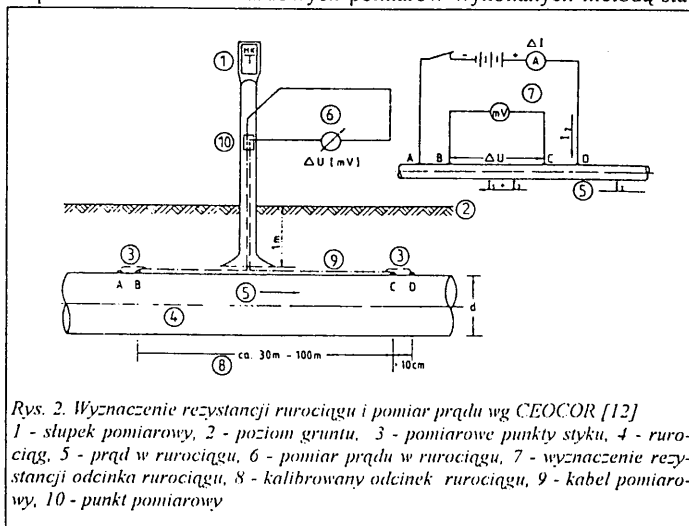
Rys. 1. Spadek napięcia  $V1$ , różnica potencjałów  $V2 - V3$ , napięcie  $V4$

byłoby poprzec to przekonanie pracami porównującymi obie metody (dokładność, nakład pracy pomiarowej, koszt oprzyrządowania). A może nie stosujemy metody wymuszonych wyłączeń z braku odpowiednich rejestratorów, przyrządów taktujących, styczników o odpo-

A teraz o metodach pomiarowych. Potencjał rzeczywisty (tak go tu będę nazywał) wyznaczamy statystycznie w sposób wskazany przez Juchniewicza i Sokólskiego [5]. Na tej zasadzie oparty jest pomiar przy użyciu rejestratora SCM. Jak wiadomo jednak, potencjał rzeczywisty można również określić wymuszając przerwę w przepływie prądu polaryzującego [6]. Metoda ta, o ile autorowi wiadomo, nie jest stosowana w Polsce. Należałoby się zastanowić, czemu tak jest. Czy wynika to z przekonania o zaletach metody statystycznej? Jeżeli tak, to warto

wiedniej zdolności łączeniowej prądu stałego, synchronizatorów łączeń? Jeśli tak, to powiedzmy to sobie. Są to sprawy do załatwienia. A może do naszych warunków metoda wymuszanych wyłączeń nie nadaje się z innych względów? A jeżeli, jak sądzi autor, stosowanie metody statystycznej jest tańsze i prostsze, a ona sama dokładniejsza, to czemu, mimo że znana [7] [8], nie jest poza Polską szeroko stosowana?

Jeszcze o dokładności metody statystycznej. Nie można pominąć sprawy reprezentatywności zbioru danych, służącego do oceny zagrożenia korozyjnego. Norma [9] mówi o próbkowaniu co 10 sekund przez 20 minut w okresie największego nasilenia prądów błędzących. Wymagania te ani nie odpowiadają współczesnemu stanowi techniki, ani nie zapewniają reprezentatywności zbioru danych, ani nie są zakresowo ostre. Za pomocą rejestratora SCM tworzymy dziś zbiory z częstotliwością próbkowania 2 Hz. Ale może ta częstotliwość powinna być większa lub dużo mniejsza? W jakich warunkach jakie próbkowanie jest właściwe? Równie wątpliwa jest sprawa czasu trwania pomiaru i wyboru okresu największego nasilenia. Wydaje się, że w rejestratorze SCM słusznie został przyjęty nieco dłuższy czas pomiarów (30 minut) jako podstawa do obliczania wartości średnich, ale jak wybrać miarodajny okres pomiarów w polu oddziaływania prądów błędzących pochodzących od trakcji kolejowej? Wiadomo, że obciążenie linii, a zatem i natężenie prądów błędzących, zmienia się z godziny na godzinę i z dnia na dzień, zwłaszcza przy przewadze ruchu towarowego. Może należy prowadzić rejestrację wielogodzinną? Długotrwałe (dobowe) pomiary przedstawione przez Sokólskiego i Żakowskiego [4] ilustrują zmienność w czasie potencjału rzeczywistego konstrukcji ( $E_s$ ). Widać stąd, jakie pomyłki można popełnić wykonując pomiar w niewłaściwej porze. A pomiary te dotyczą stosunkowo regularnej trakcji tramwajowej! Autorzy wyciągają ze swej pracy interesujący - ale czy słuszny? - wniosek, że możliwe jest prognozowanie całodobowego zagrożenia konstrukcji na podstawie kilku standardowych pomiarów wykonanych metodą statystyczną przy różnych



Rys. 2. Wyznaczenie rezystancji rurociągu i pomiar prądu wg CEECOR [12]  
 1 - słupek pomiarowy, 2 - poziom gruntu, 3 - pomiarowe punkty styku, 4 - rurociąg, 5 - prąd w rurociągu, 6 - pomiar prądu w rurociągu, 7 - wyznaczenie rezystancji odcinka rurociągu, 8 - kalibrowany odcinek rurociągu, 9 - kabel pomiarowy, 10 - punkt pomiarowy

obciążeniach sieci powrotnej trakcji elektrycznej. Przecież jednak zbiór danych zależy też od wyboru na pomiary dnia w tygodniu, w każdym razie w trakcji kolejowej. Czyżby należało prowadzić rejestrację wielodniową? Wątpliwości można ciągnąć dalej.

Ważną sprawą jest ocena upływności izolacji. W oparciu o pomiar gęstości prądu ochrony od-

niesionej do powierzchni konstrukcji, stan izolacji można ocenić ogólnie [10] w rejonie zasilania stacji ochrony, w której mierzymy ten prąd. Natomiast metoda statystyczna umożliwia

kontrolę izolacji [11] w rejonie każdego punktu pomiarowego, a więc bardziej precyzyjnie. Ta istotna właściwość nie wzbudziła jednak, jak dotąd, specjalnego zainteresowania.

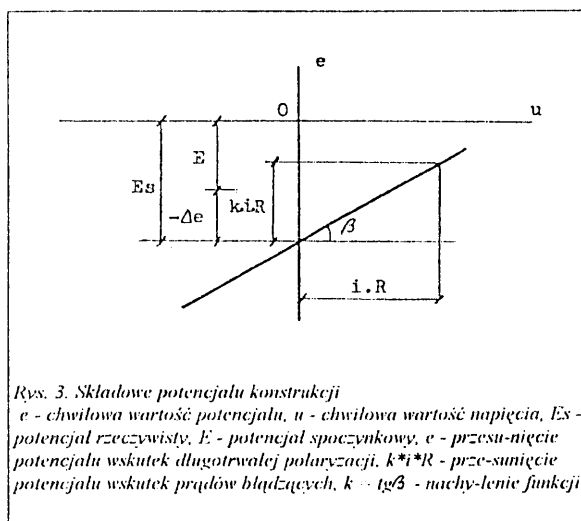
Pomiar prądu (rys.2) w konstrukcjach podziemnych, zwłaszcza w rurociągach, jest trudny do wykonania z powodu małej rezystancji. Stosowanie w tym celu bocznika na izolacji wzdłużnej rurociągu jest kosztowne i nie zawsze pewne. Pomiar w oparciu o obliczoną rezystancję rurociągu jest z reguły wątpliwy. Dokładnie można zmierzyć rezystancję wg CEOCOR, który zaleca [12] kalibrowanie odcinka rurociągu. Polega to na obliczeniu wg prawa Ohma rezystancji wybranego (kalibrowanego) odcinka. Należy zmierzyć prąd płynący pod wpływem napięcia przyłożonego do zacisków na końcach tego odcinka. Znakując dokładną wartość rezystancji wybranego odcinka można go używać jako bocznika pomiarowego. Chyba warto wprowadzić ten sposób jako regułę przy budowie nowych instalacji.

Problemem bywa usytuowanie elektrody odniesienia. Gdy elektroda została na stałe umieszczona w punkcie pomiarowym, nie zawsze można być pewnym, czy zainstalowano ją prawidłowo i czy jeszcze nadaje się do użytku. Odkopanie rury, np. w celu ulokowania elektrody, może zmienić gradient potencjału. Stosując elektrodę przenośną miewamy wątpliwości co do umieszczenia jej we właściwym miejscu. W sprawie stosowania elektrod przydałyby się ja-kieś konkretne wytyczne.

Innym problemem jest sprawa nieosłabiania izolacji w miejscach przyłączenia przewodów pomiarowych - a także prądowych w stacjach ochrony - do konstrukcji podziemnej. Nie myślę tu o stosowaniu w celach pomiarowych tzw. sond, które przebijają izolację, ani o obdzieraniu powłoki izolacyjnej z kabli w miejscach pomiaru. Mam nadzieję, że tego się nie robi. Wyrowadzenie przewodów w sposób bezpieczny jest jednak trudną sztuką. Prawdopodobnie przydają się tu doświadczenia z budowy elektroenergetycznych linii kablowych.

Sytuacyjnie sprawa ta wiąże się z wykonywaniem trwałych metalicznych niskooporowych połączeń przewodów z konstrukcją podziemną, takich, które nie niszczą struktury konstrukcji.

Warto uporządkować kwestię oznaczeń. Pamiętajmy, że wartości chwilowe oznacza się małymi literami, a średnie i skuteczne - dużymi, ale może należałoby się umówić co do stosowania stałych oznaczeń literowych przynajmniej tych wielkości, z którymi najczęściej się stykamy.



Rys. 3. Składowe potencjału konstrukcji  
*e* - chwilowa wartość potencjału, *u* - chwilowa wartość napięcia, *Es* - potencjał rzeczywisty, *E* - potencjał spoczynkowy, *e* - przesunięcie potencjału wskutek długotrwałej polaryzacji, *k\*i\*R* - przesunięcie potencjału wskutek prądów błądzących, *k = tg beta* - nachylenie funkcji

W swoim czasie proponowałem [13] przyjęcie następujących kryteriów oceny stanu zagrożenia konstrukcji: 1- obecność prądów błądzących 2 - stan polaryzacji 3 - ubytek metalu 4 - izolacja

Trafność wyboru tych kryteriów nie była dotychczas tematem dyskusji, ale czasami wyrażany jest pogląd [3], że można sobie wyobrazić jeden syntetyczny współczynnik, który mógłby wystarczyć do oceny sytuacji. Proponowane kryteria wynikają z przekonania, że celem rutynowych pomiarów jest nie tylko ocena aktualnego stanu konstru-

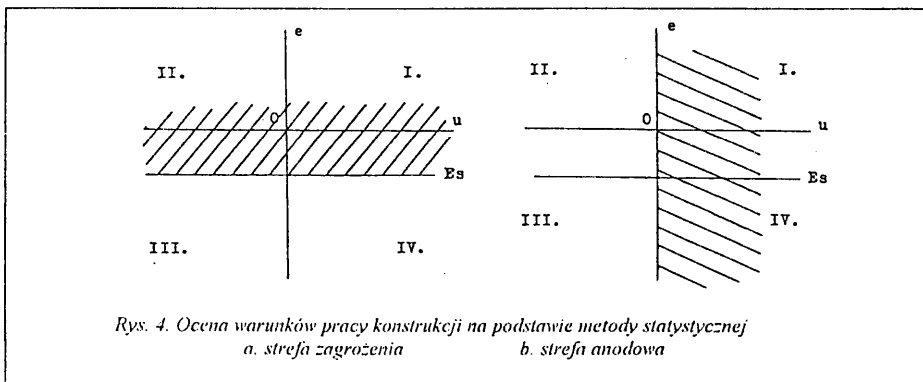
kcji, ale również ocena jej potencjalnego zagrożenia.

Obserwuje się bardzo szybkie zmiany potencjału konstrukcji w wyniku szybkich zmian polaryzacji, co wykorzystuje się w metodzie wyłączeniowej. Natomiast długotrwała polaryzacja powoduje przesunięcie potencjału utrzymujące się dłużej. Oba te rodzaje polaryzacji trzeba wyraźnie rozróżnić.

Pomiary wykonane metodą statystyczną potwierdzają dość oczywiste wnioski, że płasko "leżące" widmo świadczy o dobrej izolacji konstrukcji i że zatem skuteczną ochronę na dużą odległość przy dobrej izolacji można uzyskać stosując prostą stację ochrony katodowej z regulacją ręczną. Natomiast przy kiepskiej izolacji najwyższukaną stacją z regulacją samoczynną nie jest w stanie zapewnić skutecznej ochrony.

Mimo dobrej, czy nawet bardzo dobrej izolacji gazociągów i wysokiej jakości powłok kablowych, stosuje się w tych obiektach również ochronę czynną. Podobnie należałoby stosować ochronę czynną ciepłociągów preizolowanych, mimo że cieszą się opinią dobrej izolacji. Wydaje się, że powinny być przedmiotem rutynowych pomiarów, niezależnie od stosowania żył sygnalizujących pogorszenie izolacji.

Analiza widma  $e = f(u)$  (rys.4) otrzymywanego w metodzie statystycznej potwierdza oczywisty wniosek [13], że konstrukcja jest zagrożona, gdy widmo znajduje się w strefie potencjału wyższego od rzeczywistego. Gdy napięcie konstrukcji w stosunku do źródła jest dodatnie, to konstrukcja znajduje się w strefie anodowej. Konstrukcja może być zagrożona, mimo że widmo leży poza strefą anodową. Może też nie być zagrożona mimo, że widmo znajduje się w strefie anodowej.



Oddzielnym problemem są punkty (słupki) pomiarowe, które służą do przyłączania przyrządów pomiarowych do badanej konstrukcji. Ich usytuowanie powinno uwzględniać przebieg trasy - widoczność (ale czy na pewno należy je sytuować na osi trasy?), skrzyżowania z innymi obiektami, prawa własności terenu i odległość (nie za dużą, ale i nie za małą, a więc jaką?) od sąsiednich punktów. W zależności od sytuacji, różne wykonania punktów pomiarowych powinny uwzględniać rodzaj przewidywanych pomiarów, a już na pewno oddzielne przewody prądowe i napięciowe. Firma Weilekes Elektronik (Niemcy) specyfikuje [14] aż 27 różnych rodzajów punktów pomiarowych.

Nasza norma dotycząca gazociągów [15] z roku 1974 jest przestarzała, nie uwzględnia współczesnych potrzeb techniki pomiarowej ani możliwości materiałowych. Potrzebne są nowe opracowania, być może powinny to być słupki z tworzyw sztucznych, a już na pewno należy

przewidywać wszelkie połączenia niezbędne podczas pomiarów. Słupki powinny umożliwiać np. schowanie rejestratora pomiarowego w wewnętrznej kieszeni, być odporne na wpływy atmosferyczne, dewastację i próby kradzieży.

Wymienione - i wszystkie inne - problemy, których nie da się rozstrzygnąć w dyskusji, należałoby potraktować jako tematy opracowań projektowych lub prac badawczych. Wymieniłbym tu przede wszystkim kwestię czasu trwania miarodajnego pomiaru, częstotliwości próbkowania, polaryzacji "szybkiej" i "powolnej", zmian potencjału rzeczywistego w czasie. Na etapie projektowania należy uwzględnić metodę wykonywania pomiarów i organizację rutynowych pomiarów, w kosztorysach ujmować nakłady na zakup wyposażenia pomiarowego, planować organizację wyszkolonych ekip pomiarowych.

Oddzielną sprawą są normy. Polskie Normy opracowywane są bardzo wolno i nie nadążają za postępem wiedzy, ani za rozwojem współczesnej techniki. Jednak wyraźnie widać potrzebę używania wspólnego języka, wymiany doświadczeń, porównywania wyników, wspólnego korzystania z danych statystycznych, a także formułowania wymagań, np. przy podejmowaniu inwestycji lub dokonywaniu zakupów eksploatacyjnych. Normy mogłyby zastąpić zalecenia Komitetu, do wykorzystania przez jednostki inwestujące jako specyfikacje określające warunki techniczne. Sprawdzone praktycznie mogłyby być w przyszłości przydatne do opracowania norm.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] PN-90/E-05030/10. Ochrona przed korozją. Elektrochemiczna ochrona katodowa i anodowa. Nazwy i określenia.
- [2] W. Sokółski, R. Juchniewicz. Komputerowa analiza prądów błądzących w podziemnych rurociągach. Materiały II Krajowej Konferencji korozyjnej KOROZJA '87. Kraków, 1987.
- [3] W. Sokółski. Ocena zagrożenia korozyjnego konstrukcji podziemnych wywołanego przez prądy błądzące. Ochrona przed Korozją. Nr 7, 1992.
- [4] W. Sokółski, K. Zakowski. Dobowa charakterystyka oddziaływania prądów błądzących na konstrukcje metalowe. XXI Konwersatorium Korozji Morskiej. Jurata 1995.
- [5] R. Juchniewicz, W. Sokółski, W. Bohdanowicz: Prądy błądzące jako bipolarne prądy nałożone. Ochrona przed Korozją. Nr 9, 1984.
- [6] Baekmann W. i in. Messtechnik beim kathodischen Korrosionsschutz. Expert Verlag, Ehningen bei Boblingen, 1989.
- [7] NACE Standard Recommended Practice. RP-01-69. Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems. Appendix 4.
- [8] G. Corbellini, S. Quiaia, F. Tosato. Il problema delle correnti disperse di origine continua. L'Energia Elettrica. N. 7-8, 1992.
- [9] PN-90/E-05030/01. Ochrona przed korozją. Elektrochemiczna ochrona katodowa. Metalowe konstrukcje podziemne. Wymagania i badania.
- [10] J.M. Leeds. Cathodic Protection Troubleshooting. Corrosion of Underground Structures '95. Proceedings of the 9th International Conference. Kosice, Slovakia.
- [11] Marian Hanasz. Uplywność izolacji jako czynnik oceny zagrożenia konstrukcji podziemnych przez prądy błądzące. Ochrona przed Korozją. Nr 2, 1994.
- [12] Ceocor. Studienkomitee fuer Korrosion und Korrosionsschutz von Rohrleitungen. Leitfaden der Messtechnik fuer den kathodischen Korrosionsschutz. Oesterreichische Vereinigung fuer das Gas- und Wasserfach. Wien, 1994.
- [13] M. Hanasz. Potencjal konstrukcji podziemnej jako funkcja napięcia zakłócającego. (niepubl.)
- [14] Weilckes Elektronik GmbH. MoData Mobile Messdatenerfassung. Intensivmessung und Ueberwachungsmessung.
- [15] BN-74/8976-02. Punkty pomiarów elektrycznych gazociągów ułożonych w ziemi.