



**KRYTERIA ZAGROŻENIA KOROZYJNEGO PODZIEMNYCH  
KONSTRUKCJI METALOWYCH WSKUTEK ODDZIAŁYWANIA  
PRĄDÓW BŁĄDZĄCYCH, WEDŁUG EN 50162**

**CRITERIA FOR STRAY CURRENT INTERFERENCE  
IN UNDERGROUND METALLIC STRUCTURES ACCORDING  
TO EN 50162**

Władysław Dziuba

Instytut Elektrotechniki, Zakład Trakcji Elektrycznej

Słowa kluczowe: normalizacja, prądy błędzące, badania korozyjne  
Keywords: standardisation, stray current, corrosion research

**Streszczenie**

Przeanalizowano krytycznie kryteria oceny zagrożenia podziemnych konstrukcji metalowych przez prądy błędzące podane w kilku europejskich normach. Przedstawiono także i przedyskutowano w skrócie często stosowaną w Polsce korelacyjną metodę badania prądów błędzących i wynikające stąd kryterium oceny. Opisano kryteria podane w ostatecznym projekcie normy europejskiej prEN 50162, a w szczególności stosowanie sond prądowych w celu oceny oddziaływania prądów błędzących na konstrukcje chronione katodowo. Przedstawiono krytyczne uwagi dotyczące ustalania przesunięcia potencjału konstrukcji  $\Delta U$  spowodowanego przez prądy błędzące o zmiennym kierunku.

**Summary**

Criteria for stray current interference in underground metallic structures presented in some former European standards were critically analysed. Also the correlation method of measurement of stray current interference used frequently in the Poland has been shortly presented and discussed. Then the criteria showed in final draft of prEN 50162 European Standard were described, particularly the use of current probes to evaluate fluctuating stray current interference on cathodically protected structures. Some critical remarks regarding methods of evaluation the structure potential shift  $\Delta U$  due to fluctuating stray current were presented.

## Wstęp

Obecność prądów błędzących, zwłaszcza gdy ich źródłem są tory trakcji elektrycznej prądu stałego, znacznie utrudnia ocenę istnienia lub braku zagrożenia korozyjnego podziemnych konstrukcji metalowych (PKM), a także ocenę skuteczności zastosowanej ochrony katodowej tych konstrukcji. Wynika to z nieustannych zmian zarówno kierunku jak i wartości prądów błędzących wskutek przejazdów pociągów elektrycznych, co powoduje także zmiany potencjałów i prądów PKM.

Od ok.100 lat podejmowano próby określenia kryteriów zagrożenia korozyjnego powodowanego przez prądy błędzące. Tylko w ciągu ostatnich 30 lat znalazło to swój wyraz w różnych przepisach i normach, np. [1, 2, 3, 4, 5, 6], było przedmiotem porównań [7], licznych publikacji i ocen, jak np. [8, 9, 10, 11, 12]. Analiza tylko przywołanych tu publikacji wykazuje uparte dążenie specjalistów do ustalenia kryteriów możliwie konkretnych, wiarygodnych i prostych w stosowaniu. Jednak dotychczasowe propozycje nie spełniają jeszcze wszystkich tych wymagań. Często są mało konkretne [4, 5], albo budzą wątpliwości merytoryczne [1, 2, 3, 6, 9].

Projekt końcowy nowej normy prEN 50162. „Ochrona przed korozją powodowaną przez prądy błędzące z układów prądu stałego” (Final Draft z sierpnia 2003), w znaczącym stopniu usuwa lub zmniejsza te zastrzeżenia.

### 1. Stosowane dotychczas kryteria zagrożenia

Podano niżej kilka przykładów rozmaitych kryteriów zagrożenia oraz uwagi jakie może nasuwać ich stosowanie:

- Norma brytyjska [4] przyjmuje, że dodatnie przesunięcie potencjału PKM spowodowane działaniem prądu z obcego źródła nie powinno przekraczać  $\Delta U = 20$  mV (bez składowej  $IR$ ), ale jednocześnie podaje, że w przypadku gdy źródłem prądów błędzących jest trakcja prądu stałego, można zaakceptować większe dodatnie przesunięcia. Jest to sformułowanie bardzo nieprecyzyjne.
- W normie rosyjskiej [2] z 1974 roku dopuszczalne przesunięcie potencjału PKM wzrastało wraz z rezystywnością gruntu, w czym jest pewne podobieństwo z kryteriami w prEN 50162, ale wartości  $\Delta U$  były inne, zwykle mniejsze, np. w dla rurociągów stalowych wymagano  $\Delta U = 0$  [8], bez względu na wartość rezystywności elektrolitu, co jest wyjątkowo ostrym wymaganiem, nie znajdującym odpowiednika w innych przepisach.
- Nowa norma polska [6] dopuszcza dla żeliwnych tuneli metra przyrost  $\Delta U \leq 100$  mV między wartością średnią potencjału mierzoną w czasie nocnej przerwy w ruchu i w czasie ruchu szczytowego pociągów. Nie ma jednak wskazówek, jak obliczać  $\Delta U$  w przypadkach, kiedy okresowo przyrost potencjału zmienia polaryzację.
- Problem oceny zagrożenia korozyjnego w przypadku zmian polaryzacji przyrostu  $\Delta U$  potencjału konstrukcji wskutek działania prądów błędzących starano się uwzględnić w normie [3] byłej NRD, wprowadzając pojęcie częstotliwości  $f$  zmian znaku  $\Delta U$  i pojęcie anodowego udziału wymiany prądu, określanego na podstawie rejestracji potencjału jako:

$$\psi = \frac{\Sigma A_{(+)}}{\Sigma A_{(+)} + \Sigma A_{(-)}} \quad (1)$$

gdzie:  $\psi$ -anodowy udział wymiany prądu,  $\Sigma A$  i  $\Sigma A$  odpowiednio sumy dodatnich i ujemnych powierzchni między przebiegiem potencjału rejestrowanego i poziomem potencjału spoczynkowego. W przepisach brakowało jednak ustaleń sposobu interpretacji wyników obliczenia  $\psi$  i  $f$ . Nie było jednoznacznie wiadomo przy jakich wartościach  $\psi$  i  $f$  badana konstrukcja jest lub nie jest zagrożona.

- W ciągu ostatnich ponad 10 lat stosuje się szeroko w Polsce kryterium wyłansowane przez Politechnikę Gdańską, nieco podobne do omówionego wyżej, ale prostsze i konkretne, omówione w wielu publikacjach, m. in. w [9, 10]. Kryterium tym jest współczynnik asymetrii zmian potencjału konstrukcji  $\gamma$  obliczany w oparciu o metodę korelacyjną badania prądów błędzących i zdefiniowany wzorem:

$$\gamma = \frac{T_a}{T} \quad (2)$$

gdzie  $T_a$  jest to sumaryczny czas polaryzacji anodowej,  $T$  zaś jest całkowitym czasem pomiaru. Wg autorów, przy  $\gamma < 30\%$  praktycznie nie ma zagrożenia, dla  $30\% < \gamma < 50\%$  zagrożenie jest średnie lub duże, a dla  $\gamma > 50\%$  - bardzo duże. Ponieważ dość często obrazy korelacji  $e = f(u)$  znacznie odbiegają od typowych, a także otrzymuje się różne wartości  $\gamma$  dla tej samej konstrukcji w różnych okresach dnia [12], i ponieważ nie opublikowano opisu i wyników badań laboratoryjnych, uzasadniających kryterium oparte na zależności (2) – ten prosty sposób oceny zagrożenia może budzić wątpliwości. Prawdopodobnie dlatego też sposób ten nie znalazł zastosowania w przepisach i normach, mimo intensywnego rozpowszechniania jego opisu w publikacjach i konferencjach w kraju i zagranicą.

## 2. Kryteria zagrożenia wg prEN 50162

Norma EN 50162 poświęca wiele miejsca kryteriom szkodliwości oddziaływania prądów błędzących na PUM. W przypadku, kiedy nie ma wahań (fluktuacji) prądów błędzących, ocena ich szkodliwości jest dokonywana na podstawie porównania potencjałów PKM przy włączonym i wyłączonym źródle prądów błędzących.

Jeżeli mierzone potencjały lub spadki napięć ulegają wahaniom, np. gdy ich źródłem są tory trakcji elektrycznej, to rejestruje się potencjały PKM w ciągu całej doby, ustala okres najsilniejszych oddziaływań prądów błędzących i okres, kiedy oddziaływania te nie występują. Jest ciekawe, że norma zaleca także jednoczesną rejestrację parametru charakteryzującego źródło prądów błędzących (potencjał szyn, spadek napięcia w szynach, napięcie między szynami i PKM), co wskazuje na celowość wykonywania korelacji między źródłem i PKM. Wartości potencjałów podziemnego rurociągu zarejestrowane w okresie przerwy w działaniu źródła prądów błędzących przyjmuje się jako normalne i nie zakłócone, natomiast przesunięcie potencjału w kierunku dodatnim oznacza oddziaływanie anodowe. Przy ocenie tego oddziaływania norma rozróżnia konstrukcje z ochroną katodową i bez tej ochrony.

Oddziaływania anodowe na konstrukcję bez ochrony katodowej można zaakceptować wówczas, gdy dodatnie przesunięcie jej potencjału  $\Delta U$  jest poniżej kryteriów przedstawionych w tabelicy 1.

Z tabelicy widać, że maksymalne wartości dodatnich przesunięć  $\Delta U$  łącznie ze spadkiem  $IR$ , które można dopuścić, zależą od rezystywności elektrolitu  $\rho$ , ponieważ  $IR$  zwiększa się wraz ze wzrostem  $\rho$ .

Przesunięcia potencjału w tabelicy 1 obliczono z następującej zależności:

$$\Delta U = c \rho \quad (3)$$

gdzie:

$\Delta U$  – jest możliwym do zaakceptowania przesunięciem potencjału w mV,

$\rho$  – jest rezystywnością elektrolitu w  $\Omega\text{m}$ ,

$c = 1.5 \text{ mV}/\Omega\text{m}$  dla stali i żeliwa, oraz  $c = 1 \text{ mV}/\Omega\text{m}$  dla ołowiu.

W uwadze do powyższego wzoru podano w normie, że został on ustalony w wyniku kompromisu, opartego na różnych doświadczeniach praktycznych z kilku krajów.

Tabl. 1. Możliwe do zaakceptowania dodatnie przesunięcia potencjału  $\Delta U$  dla podziemnych lub podwodnych konstrukcji metalowych, które nie są chronione katodowo

Metal konstrukcji	Rezystywność elektrolitu $\rho$ ( $\Omega\text{m}$ )	Największe dodatnie przesunięcie potencjału (ze spadkiem $IR$ ) $\Delta U$ (mV)	Największe dodatnie przesunięcie potencjału (bez spadku $IR$ ) $\Delta U$ (mV)
Stal, żeliwo	> 200	300	20
	15 do 200	$1.5 \times \rho^*$	20
	< 15	20	20
Ołów		$1 \times \rho^*$	
Stal w podziemnych konstrukcjach betonowych		200	
* $\rho$ w $\Omega\text{m}$			

Jeżeli potencjały PKM ulegają gwałtownym wahaniom, to trudno jest oszacować, czy oddziaływanie anodowe prądów błądzących na PKM spełnia podane w tabl. 1 kryteria akceptacji. Wówczas ocenę należy formułować na podstawie czasu trwania i wielkości odchyłeń przekraczających kryterium, ustalając czy te odchylenia są czy też nie są możliwe do akceptacji. Taka ocena może opierać się na czasie trwania i częstotliwości odchyłeń, albo na średnim przesunięciu potencjału.

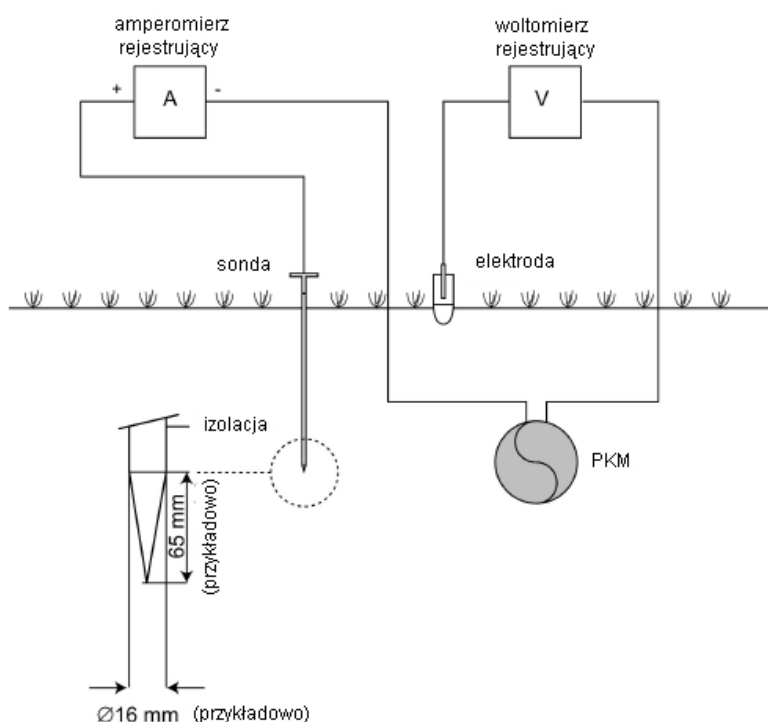
Jest oczywiste, że powyższe sformułowanie sposobu oceny jest mało konkretne: nie podano wartości granicznych czasu trwania dużych impulsów dodatnich i ujemnych oraz częstotliwości wahań potencjału, a także sposobu obliczania wartości średniej  $\Delta U$  w przypadku impulsów różnej biegunowości. Toteż w normie powiedziano, że w przypadkach wątpliwych należy wykonać pomiary potencjału  $E_{IR \text{ free}}$  bez składowej  $IR$  i zastosować kryterium zgodne z kolumną 4 tabelicy 1.

W przypadku konstrukcji zabezpieczonych przed korozją za pomocą ochrony katodowej norma wymaga się, aby potencjał PKM poddanej oddziaływaniu prądów błądzących był zgodny z normą [13]. Według pkt. 4.2 tej normy podstawowe kryterium ochrony katodowej, jest spełnione, jeżeli potencjał polaryzacji podziemnej konstrukcji stalowej mierzony względem siarczano- miedziowej elektrody wynosi:

$$E_p \leq -850 \text{ mV}$$

Norma EN 50162 przewiduje jednak możliwość pojawienia się problemów z oszacowaniem, czy potencjał PKM spełnia powyższe wymaganie. Problemy takie mogą powstać np. w przypadku gwałtownych i różnokierunkowych zmian potencjału. Dlatego norma zaleca rozważenie instalowania sond pomiarowych i próbek, a w przypadku silnych fluktuacji sugeruje zastosowanie sond prądowych, których opis i sposób użycia podano w zał. D do tekstu normy.

Jest to interesujący sposób oceny zagrożeń PUM przez prądy błądzące, który przedstawiono na rys. 1. Pręt stalowy (sonda) w osłonie izolującej, ale z częścią powierzchni odkrytą, zostaje zagłębiony w gruncie do głębokości zakopania rurociągu. Po elektrycznym połączeniu sondy z rurociągiem, pozbawiona izolacji część pręta działa jak powierzchnia stalowa symulująca defekt powłoki rurociągu. Amperomierz rejestrujący służy do określenia kierunku i do pomiaru wartości prądu płynącego w połączeniu między sondą i rurociągiem. Jednocześnie jest rejestrowany potencjał rurociągu względem przenośnej elektrody odniesienia.

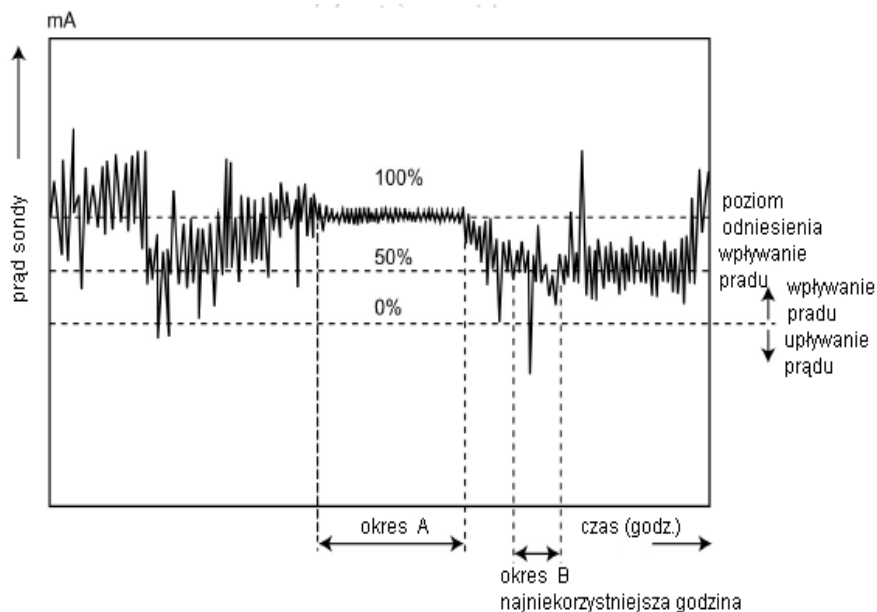


Rys. 1. Sposób pomiaru z zastosowaniem sondy prądowej do oceny oddziaływania prądów błądzących o zmiennym kierunku i wartości na chronioną katodowo konstrukcję podziemną

Typowy pomiar trwa 24 godziny. Istotna jest procedura prowadzenia pomiaru. Najpierw, w czasie gdy na rurociąg nie działają prądy błądzące o zmiennym kierunku i wartości, tj. np. w czasie nocnej przerwy w ruchu trakcji elektrycznej, rejestruje się prąd sondy, wynikający z warunków pracy ochrony katodowej rurociągu zgodnie z wymaganiami normy (13).

Ten prąd sondy przyjmuje się jako poziom odniesienia, równy 100%, co pokazano na rys. 2 (okres „A”). Następnie, przez pełne 24 godziny, rejestruje się nadal prąd sondy, który jest sumą prądu ochrony katodowej i prądów błądzących.

Aby dokonać oceny niebezpieczeństwa korozji, z zarejestrowanego przebiegu prądu wyszukuje się taką godzinę pomiaru, w której wystąpiły najsilniejsze obniżenia prądu sondy, tj. np. godzinę z największymi dodatnimi przesunięciami potencjału rurociągu; jest to okres oznaczony przez „B” na rys. 2.



Rys. 2. Przykładowe wyniki pomiaru prądu sondy („A” jest to okres rejestracji poziomu odniesienia; „B” jest to godzina rejestracji z największym obniżeniem prądu w stosunku do poziomu odniesienia)

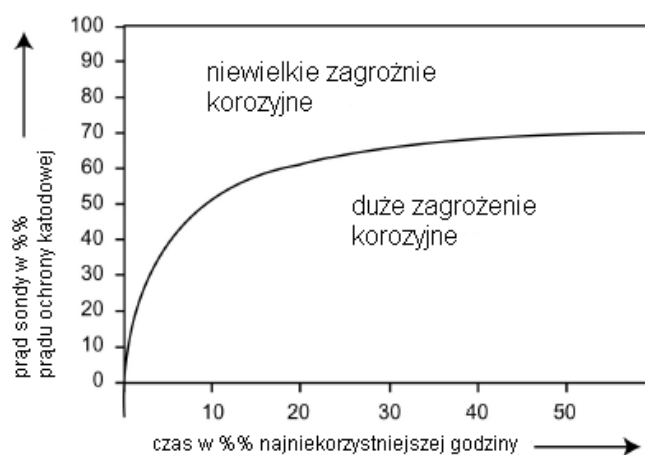
Do oceny zagrożenia korozyjnego służy tablica 2. Podane w niej wartości prądów sondy i czasów ich występowania, wyrażone odpowiednio w %% wartości prądu odniesienia i w %% najbardziej niekorzystnej godziny (lub w sekundach) służą do ustalenia, czy występuje niebezpieczeństwo korozji konstrukcji chronionej katodowo. Otrzymane z rejestracji prądy mniejsze niż dowolna wartość prądu z kolumny 1 tabl. 2 oznaczają wysokie niebezpieczeństwo korozji, jeżeli ich sumaryczny czas trwania przekracza odpowiednie wartości podane w kolumnie 3 tabl. 2. Rys.3 przedstawia interpretację graficzną kryteriów według tabl. 2.

Tabl. 2. Kryteria prądowe w przypadku oddziaływania trakcji elektrycznej prądu stałego

Prąd sondy w %% wartości prądu odniesienia	Maksymalny możliwy do zaakceptowania okres występowania	
	w %% najniekorzystniejszej godziny	w sekundach
> 70	bez ograniczenia	
< 70	40	1440
< 60	20	720
< 50	10	360
< 40	5	180
< 30	2	72
< 20	1	36
< 10	0.5	18
< 0	0.1	3.6

UWAGA 1: Wartości w tablicy są oparte na doświadczeniach z 10-letniej praktyki.

UWAGA 2: Ocena na podstawie tablicy może w rezultacie przeszacować zagrożenie korozyjne w przypadkach, kiedy potencjał  $E$ , mierzony bez składowej  $IR$  (np. mierzony na wstępie badań) jest znacząco (np. 250 mV) bardziej ujemny niż potencjał ochrony zgodny z normą EN 12954.



Rys. 3. Interpretacja graficzna tablicy 2

Uwaga 2 podana w tabl. 2 budzi wątpliwości. Po pierwsze, zgodnie z dość powszechnie znaną pracą (14), potencjał mierzony bez składowej  $IR$  czyli  $E_{IR\ free}$ , nie może być bardziej ujemny niż  $-1.22\text{ V}$ . Zmierzone wartości bardziej ujemne oznaczają, że składowa  $IR$  jednak występuje w wyniku pomiaru. Po drugie, jeżeli potencjał rurociągu rejestruje się względem elektrody ustawionej na powierzchni ziemi, jak to pokazano na rys.1, to zmierzona wartość potencjału zawiera na pewno składową omową, zwłaszcza gdy pomiar wykonuje się w pobliżu źródła prądów błądzących, np. toru trakcji elektrycznej.

Norma EN 50162 ustosunkowuje się również do katodowego oddziaływania prądów błędzących. Oddziaływanie katodowe powinno być uznane za niedopuszczalnie duże, jeżeli skutek niego zmierzony potencjał  $E_{IR\ free}$  konstrukcji jest bardziej ujemny niż graniczna wartość  $E_{IR\ free}$  podana w normie [13]. W normie tej, w punkcie 4.2 omawiającym kryteria ochrony, zamieszczono uwagę dotyczącą zbyt ujemnych potencjałów ochrony. W uwadze tej podano:

*„W przypadku cienkich powłok ochronnych bez uszkodzeń o rezystywności powłoki  $r_{co}$  niższej niż  $10^8\ \Omega m^2$ , potencjały bardziej ujemne niż potencjał krytyczny mogą mieć szkodliwy wpływ na powłoki, np. może dojść do pęcherzenia powłoki. Aby zminimalizować ten wpływ, potencjały nie powinny być bardziej ujemne niż potencjał krytyczny  $E_I = -1.1\ V$  mierzony względem  $Cu/CuSO_4$ , chyba że producent powłoki poda inną należycie udokumentowaną wartość. Bardzo ujemne potencjały mogą powodować także stopniowe odwarstwianie katodowe w defektach zarówno cienkiej, jak i grubej powłoki.”*

### **Uwagi końcowe**

Ostateczna wersja projektu normy EN 50162 poświęca dużo miejsca sprawie kryteriów oceny niebezpieczeństwa korozyjnego oddziaływania prądów błędzących. Jest to wyraźny postęp w porównaniu z krótkimi i często lakonicznymi stwierdzeniami dotyczącymi tego problemu w innych dotychczasowych normach i przepisach. Przykładem takiego nowego podejścia jest propozycja oceny istnienia lub braku zagrożenia korozją na podstawie dobowej rejestracji z zastosowaniem sondy prądowej, opisana w załączniku D do normy.

Ale nadal w nowej normie są sprawy, których przedstawienie nie jest jasne w sposób jednoznaczny, a przez to może budzić wątpliwości. Chodzi przede wszystkim o sposób obliczania różnicy  $\Delta U$  między potencjałem konstrukcji w czasie braku prądów błędzących (np. podczas nocnej przerwy w ruchu pociągów), a potencjałem rejestrowanym w ciągu dnia, kiedy okresowo zmienia się kierunek wymiany prądu między konstrukcją i elektrolitem. Może to utrudniać ocenę niebezpieczeństwa korozji w oparciu o tabl.1. Mimo, że problem określania zagrożeń korozyjnych w przypadkach zmian kierunku przepływu prądów błędzących na granicy faz metal – elektrolit był wysuwany już przed wielu laty [7], że został on dostrzeżony w nieaktualnej już normie [3] oraz badany obszernie w Politechnice Gdańskiej [9,10] i wprowadzony do praktyki pomiarowej w Polsce – dotychczas nie znalazł on jednoznacznego odzwierciedlenia w normie o charakterze międzynarodowym.

### **Literatura**

- [1] PN-77/E-05030. Arkusz 00. *Ochrona przed korozją. Ochrona katodowa. Wspólne wymagania i badania.* 31.3.1977.
- [2] ГОСТ 9.015 – 74. *Единая система защиты от коррозии и старения. Подземные сооружения. Общие технические требования.* 1974.
- [3] TGL 18790. Gruppe 921040. *Korrosionsschutz. Schutz metallener Objekte vor Streustromkorrosion durch Gleichspannungsanlagen.* DDR-Standard. April 1979.



- [4] BS 7361: Part 1: 1991. *Cathodic protection. Part1. Code of practice for land and marine applications.* (formerly CP 1021).
- [5] NACE Standard RP0169-96. *Standard Recommended Practice. Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems.* 1996-Sept-13.
- [6] PN-EN 50122-2. *Zastosowania kolejowe – Urządzenia stacjonarne – Część 2: Środki ochrony przed oddziaływaniem prądów błędzących wywołanych przez trakcję elektryczną prądu stałego.* PKN, luty 2002.
- [7] Dziuba W.: *Ocena niebezpieczeństwa korozji metalowej konstrukcji podziemnej w strefie oddziaływania prądów błędzących.* Ochrona przed Korozją, 1978, nr 5.
- [8] Котельников А. В.: *Блуждающие токи электрифицированного транспорта.* Москва, „ТРАНСПОРТ”, 1986.
- [9] Sokólski W., Żakowski K.: *Ocena zagrożenia korozyjnego i metody zabezpieczenia przed prądami błędzącym metalowych konstrukcji podziemnych.* Materiały Konferencyjne na temat „Zabezpieczenia przeciwkorozyjne w przemyśle”, Grudziądz, 23.05.1989, NOT, Komitet Miejski w Grudziądzu.
- [10] Sokólski W.: *Metoda korelacyjna badania prądów błędzących. Piętnaście lat doświadczeń.* IV Krajowa Konferencja „Pomiary korozyjne w ochronie elektrochemicznej”, Jurata, 12-14.06.1996.
- [11] Dziuba W.: *Sieć powrotna i prądy błędzące.* Wydawnictwa Książkowe Instytutu Elektrotechniki, Warszawa, 1995.
- [12] Dąbrowski J., Dziuba W.: *Problemy z oceną zagrożenia korozyjnego rurociągów przy stosowaniu metody korelacyjnej.* II Krajowa Konferencja Techniczna „Zarządzania Ryzykiem w Eksploatacji Rurociągów. Metody badań i kontroli rurociągów przesyłowych i technologicznych.” Płock, 25-26 maja, 2000.
- [13] PN-EN 12954. *Ochrona katodowa konstrukcji metalowych w gruncie i w wodzie. Zasady ogólne i zastosowania dla rurociągów.* luty 2002.
- [14] Husock B., Wilson R.: *Potential and hydrogen evolution on coated pipe.* Materials Performance, 1984, 9, 26-30.