

# Ochrona rurociągów ciepłowniczych przed korozją elektrolityczną powodowaną oddziaływaniem prądów błądzących

The protection of the heating pipelines against electrolytic corrosion caused by the current wandering

MAREK ŻEBROWSKI, JÓZEF DĄBROWSKI

Sieć ciepłownicza biegnąca w kanałach ciepłowniczych (tradycyjna) jest często narażona na korozję elektrolityczną w miejscach bezpośredniego styku metalu rurociągu z elektrolitem czyli gruntem (m. in. w miejscu styku rurociągu z podporą stałą, ślizgową, czy też bezpośredniego styku z ziemią). W ziemi przepływają naturalne prądy ziemne, wynikające z samorzutnej elektrochemicznej aktywności gleby czyli makroogniw elektrochemicznych będących efektem różnych warstw geologicznych ziemi lub z różnic zawilgocenia gruntu. Ogniwami te charakteryzują się stosunkowo wolnymi zmianami wielkości przepływu prądu w czasie oraz stałą polaryzacją. Okazuje się, że również zmiany aktywności słonecznej wywołują zmiany pola magnetycznego, indukujące w warstwach przewodzących ziemi siły elektromotoryczne, które w rezystancji gleby wywołują prądy ziemne. Szybkość zmian i wielkość tych prądów oraz ich polaryzacja uwarunkowana jest plamami na słońcu i usytuowaniem danego obszaru ziemi względem słońca. Oprócz tych naturalnych ziemnych prądów w glebie przepływają prądy generowane urządzeniami i systemami elektrycznymi wytworzonymi przez człowieka. Systemy i urządzenia prądu stałego mogą być źródłami prądów błądzących.

Prądami błądzącymi nazywamy prądy przenikające do ziemi z niedostatecznie od tej ziemi izolowanego przewodu (np. torowiska) lub urządzenia (np. wanny elektrolitycznej). Ziemia oraz znajdujące się w niej konstrukcje podziemne szczególnie metalowe (rurociągi ciepłownicze) stanowią równoległą drogę przepływu prądu najczęściej do przewodu powrotnego.

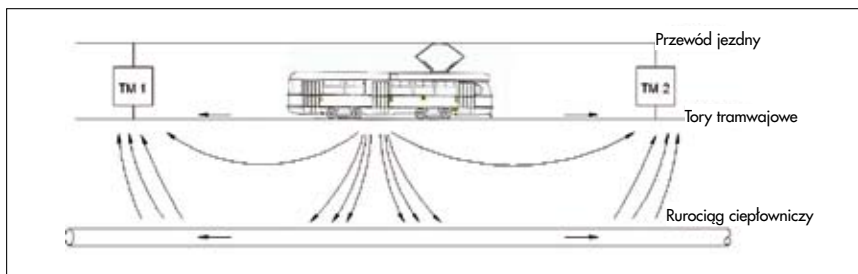
Źródłem prądów błądzących są najczęściej:

- trasy tramwajowe, metro, koleje zasilane prądem stałym,
- przewody prądu stałego ( np. agregaty spawalnicze),
- prądy interferencyjne z urządzeń aktywnej ochrony katodowej,

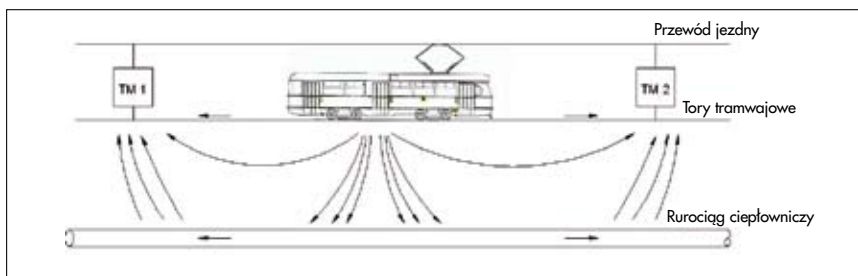
Poniżej na przykładzie trasy tramwajowej został opisany mechanizm powstawania prądów błądzących będących przyczyną korozji elektrolitycznej w metalowych konstrukcjach podziemnych (sieci ciepłowniczej).

Jeden biegun napięcia trakcyjnego (+;-) przeprowadzony jest od przewodu jezdnego (zasilającego), drugi zaś do szyny (przewodu powrotnego). Źródło zasilania prądu stałego zamyka się przez przewód jezdny, pojazd szynowy (tramwaj, lokomotywę) i za pośrednictwem torów, po których przemieszczają się te pojazdy wraca do podстанции trakcyjnej. O izolację przewodu zasilającego będzie

dbał każdy operator sieci trakcyjnej, ponieważ jej uszkodzenie stanowi zagrożenie porażeniowe dla ludzi i zwierząt oraz ogranicza możliwość dostawy energii do pojazdu. Izolacja szyn od ziemi jest niedoskonała i jej stan nie jest dla operatora sieci trakcyjnej tak kłopotliwy jak stan izolacji przewodu jezdnego. Klasyczne torowisko zelektryfikowanego transportu szynowego, to dwie szyny stanowiące jeden tor, ułożone na podkładach dawniej drewnianych obecnie strunobetonowych i zagłębione w podłożu tłuczniowym (odpowiedniej granulacji żwir). Elektryczną izolację zapewniają przekładki tłumiące drgania pomiędzy stopką szyny a podkładem oraz odpowiednio skonstruowane sprężyny dociskające. Pomimo tych zabiegów do ziemi wnika część trakcyjnego prądu powrotnego. Wartość tego prądu w dużej mierze zależy od warunków atmosferycznych



Rys. 1. Schemat obwodu prądu stałego oraz powstawania strefy anodowej blisko podстанции tramwajowej TM1 i TM2: sieć trakcyjna (+), torowisko (-)



Rys. 2. Schemat obwodu prądu stałego oraz powstawania strefy anodowej na całej długości konstrukcji podziemnej: sieć trakcyjna (-), torowisko (+)

mgr inż. Marek Żebrowski – Pracownia Sieci Ciepłych OBRC SPEC S.A.

mgr inż. Józef Dąbrowski – Zakład Trakcji Elektrycznej, Instytut Elektrotechniki

oraz od czystości podłoża i odległości podsypki od stopki szyny. Zgodnie z prawem Kirchhoffa suma prądów odpływająca od węzła (podstacji) równa się sumie prądów wypływających z tego węzła (podstacji). W każdej pętli zamkniętej (oczku) suma napięć równa się zeru.

Kiedy w ziemi ułożone są metalowe obiekty przewodzące prąd (sieci ciepłownicze), mogą one ze względu na swoją dobrą przewodność sprowadzać prądy błądzące i odprowadzać je do odległych miejsc – np. podstacji tramwajowej, chociaż nie są metalicznie połączone z szynami trakcyjnymi tramwajowej. Prąd trakcyjny po wykonaniu pracy i wracający z pojazdu do podstacji tramwajowej powinien płynąć szynami. Z powodu dopuszczalnej określonej upływności prądu z szyn do ziemi (PN-EN 50122-2) przepływający prąd trakcyjny wywołuje w otaczającej ziemi oraz znajdujących się w niej metalowych konstrukcjach podziemnych wielką liczbę stref katodowych i anodowych. O ile w strefach katodowych następuje wpływanie prądu z elektrolitu do konstrukcji, to w strefie anodowej prąd wypływa z konstrukcji do ziemi i to zjawisko jest przyczyną korozji elektrolitycznej.

Schemat ideowy powstawania prądów błądzących wywołanych trakcją tramwajową przedstawiono na rysunkach 1 i 2.

Na rysunkach 1 i 2 pokazano dwa spotykane w miastach rozwiązania zasilania sieci tramwajowej i wynikające z tego określone skutki. W Warszawie sieć jezdna znajduje się na dodatnim biegunie prostownika, a np. w łodzi ujemny biegun przyłączony został do sieci górnej (przewodu jezdnego). Prądy błądzące będą występowały niezależnie od polaryzacji elementów sieci trakcyjnej oraz zastosowania rozwiązania z dwustronnym lub jednostronnym zasilaniem. Na rysunku 1 strefy anodowe są blisko podstacji tramwajowej (TM1 i TM2), co powoduje wypływ prądów błądzących z podziemnych konstrukcji, a to ze względu na ochronę konstrukcji podziemnych przed oddziaływaniem prądów błądzących jest nieco łatwiejsze niż w przypadku jak na rys.2, gdzie powstawanie stref anodowych występuje na całej długości konstrukcji podziemnej ułożonej wzdłuż takiego torowiska. Strefa ta przemieszcza się wraz z ruchem pojazdu napędzanego – tramwaju.

### Skutki oddziaływania prądów błądzących

Prąd przepływający przez granicę faz, metal-elektrolit powoduje powstawanie

**Tabela 1. Strata ilościowa materiału w procesie korozji, powodowana oddziaływaniem prądów błądzących**

materiał	stal	aluminium	miedź	ołów	cynk
$K \cdot \left[ \frac{\text{kg}}{\text{A} \cdot \text{rok}} \right]$	9,12	2,93	10,4	33,8	10,7

zjawiska charakterystycznego dla procesu elektrolizy powodując wypłukiwanie cząstek metalicznych.

Strata ilościowa materiału w procesie korozji, powodowana oddziaływaniem prądów błądzących jest określona przez prawo Faradaya'a.

$$\Delta m = k \cdot I \cdot t$$

gdzie:

$\Delta m$  – strata masy metalu wskutek elektrolizy [kg]

$I$  – prąd wypływający z rury [A]

$t$  – czas przepływu prądu [rok]

$k$  – równoważnik elektrolityczny  $\left[ \frac{\text{kg}}{\text{A} \cdot \text{rok}} \right]$

Oznacza to, że prąd o natężeniu 1A w ciągu roku powoduje przeniesienie do elektrolitu 9,1 kg stali, 2,9 kg aluminium itd.

Przyczyn oraz miejsc powstawania tego typu zjawiska przy, tak rozległej sieci ciepłowniczej, jaką jest Warszawska Sieć Ciepłownicza (ok. 1700 km) oraz sieci tramwajowej jaką są torowiska Tramwajów Warszawskich (ok. 250 km pojedynczego toru) nie da się uniknąć. Natomiast konsekwencje akceptacji, tego stanu rzeczy zależne są od miejsca występowania tego typu zjawisk.

Oddziaływanie prądów błądzących zawsze przyczynia się do zmniejszenia żywotności metalowych konstrukcji podziemnych a w tym rurociągów ciepłowniczych. W przypadku sieci ciepłowniczych, gdzie płynące w rurociągu medium (woda) może być przewodzące ze względu na rozpuszczone w niej jony soli, prądy błądzące oprócz wżerów na powierzchniach zewnętrznych przyczyniają się również do wżerów na powierzchniach wewnętrznych rurociągów ciepłow-

niczych. Na rysunku 3 przedstawiono wycinek rurociągu ciepłowniczego z miejsca uszkodzenia spowodowanego oddziaływaniem prądów błądzących.

Negatywne tego skutki na sieci ciepłowniczej eliminuje się przez zastosowanie aktywnej ochrony elektrochemicznej w miejscach szczególnie narażonych. Do takich miejsc zaliczyć można bezpośrednio sąsiedztwo trakcji kolejowej lub tramwajowej. Bardzo istotnym elementem wpływającym na zmniejszenie zagrożenia wynikającego z oddziaływania prądów błądzących jest wymiana sieci kanałowych na sieci preizolowane w miejscach skrzyżowań trakcji tramwajowej z siecią ciepłowniczą. Rozwiązanie to jest przykładem zastosowania biernej ochrony przed prądami błądzącymi w postaci powłok izolacyjnych – pianki poliuretanowej. Wymiana takiego odcinka sieci ciepłowniczej minimalizuje zjawisko przedostawania się prądów błądzących na tym odcinku rurociągów a zarazem wpływa na zwiększenie żywotności sieci ciepłowniczej, jeżeli zapewniona będzie odpowiednia dejonizacja medium w sieci.

### Aktywna ochrona katodowa

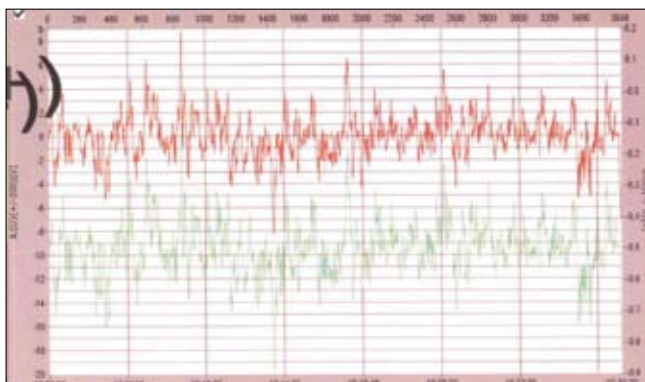
W celu ograniczenia szkodliwego wpływu prądów błądzących na żywotność rurociągów ciepłowniczych, instaluje się obwody odprowadzające w sposób kontrolowany prądy błądzące (urządzenia drenażowe polaryzowane i wzmocnione). Na terenie Warszawskiej Sieci Ciepłowniczej obecnie zainstalowanych jest 14 urządzeń drenażowych.

Drenaż polaryzowany - polega na włączeniu diody mocy w bezpośrednim galwanicznym podłączeniu kablem miedzianym między źródłem prądów błądzących (torowisko), a zagrożoną konstrukcją ( rura ciepłownicza).

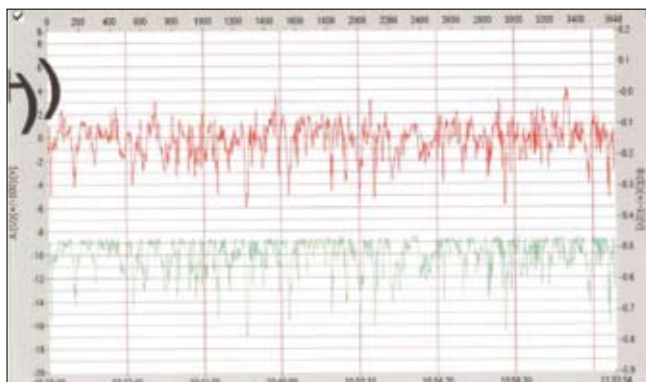
Celem tego zabiegu jest blokowanie przepływu prądu trakcyjnego z szyn do konstrukcji, a gdy napięcie między konstrukcją a źródłem zmieni znak (polaryzację), wówczas następuje anodowa



**Rys. 3.** Efekt wpływu prądów błądzących na ściankę rurociągu ciepłowniczego



**Rys. 4.** Wykres przedstawiający w funkcji czasu przebieg napięcia między rurą i szyną, oraz przebieg potencjału między rurą a siarczano-miedzianą elektrodą odniesienia. Pomiar wykonany z wyłączonym urządzeniem drenazowym.

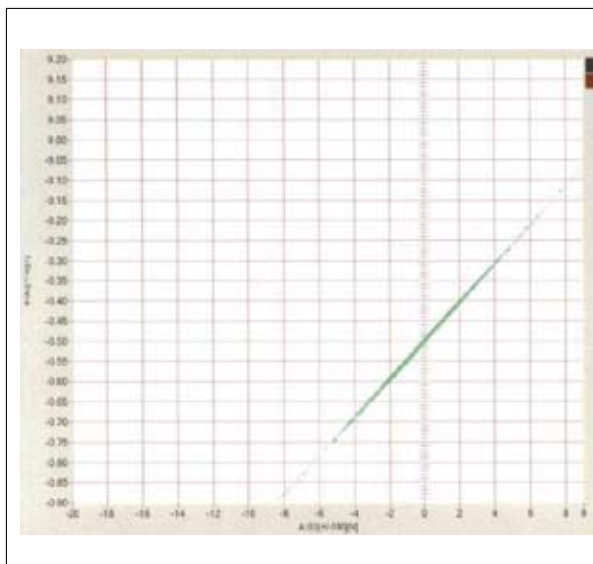


**Rys. 5.** Wykres przedstawiający w funkcji czasu przebieg napięcia między rurą i szyną, oraz przebieg potencjału między rurą a siarczano-miedzianą elektrodą odniesienia. Pomiar wykonany z załączoną ochroną katodową.

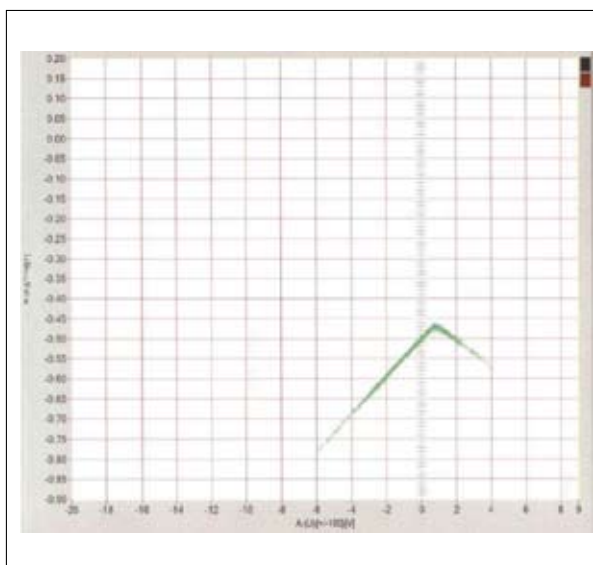
polaryzacja rurociągu, co jest przyczyną korozji elektrolitycznej, to metaliczne połączenie z diodą przewodzi prąd stanowiąc konkurencję do wymiany jonowej pomiędzy konstrukcją a szynami. Drenaż polaryzowany nie obniża poten-

cjału spoczynkowego konstrukcji  $E_s$ , natomiast obniżona zostaje wartość średnia dodatnia przesunięcia potencjału konstrukcji względem  $E_s$ , co w większości przypadków zastosowania drenażu polaryzowanego wystarcza.

Drenaż wzmocniony, regulacja samoczynna. Drenaż wzmocniony ma cechy drenażu polaryzowanego i stacji katodowej. W przeciwieństwie do drenażu spolaryzowanego wymaga dodatkowego źródła - zasilania prądem przemiennym. Znajduje zastosowanie, gdy potencjał podziemnej konstrukcji w całym zakresie zmian napięcia pomiędzy torowiskiem i konstrukcją jest zbyt elektrooddatni. Przy bardziej ujemnym potencjale ( $\leq -0,85$  [V]) konstrukcji - źródło, drenaż początkowo nie działa. Dopiero, gdy napięcie pomiędzy torowiskiem a konstrukcją zmieni się na tyle, że potencjał konstrukcji przekroczy tę nastawioną wartość, układ regulacyjny wymusza przepływ prądu pomiędzy konstrukcją i torowiskiem stabilizację potencjału na nastawionym poziomie, mimo dalszego wzrostu napięcia. Po przekroczeniu napięcia progowego diody drenaż zaczyna działać jak polaryzowany, przy czym prąd drenażu zależy od nastawionej wartości dodatkowej rezystancji. Ochrona tego rodzaju polega na wymuszeniu obniżenia potencjału konstrukcji  $E$  przez obce źródło prądu stałego o taką wartość, aby spełniony został warunek  $E=E_s \leq -0,85$  [V].



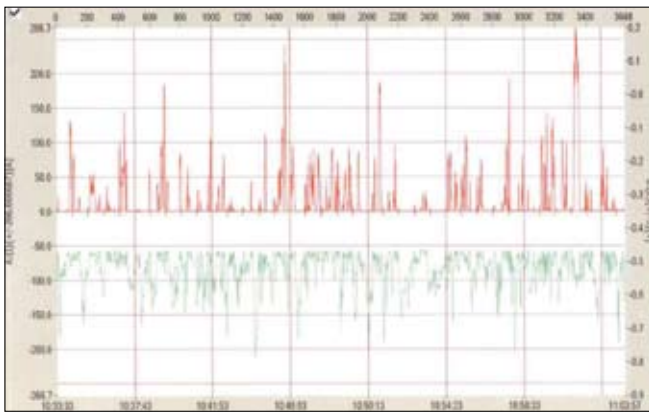
**Rys. 6.** Wykres przedstawia korelację  $E=f(U)$  potencjału z napięciem. Widać, że oś rzędnych przecinana jest przez bardzo cienką linię w punkcie zwanym potencjałem spoczynkowym (korozyjnym) i oznaczona jako  $E_s$ . Wartość  $E_s$  wyliczona jest po prawej stronie wykresu. Wg PN-EN 12954:2004 „Ochrona katodowa konstrukcji metalowych w gruntach lub wodach. Zasady ogólne i zastosowania dotyczące rurociągów” wartość potencjału ochrony wynosi  $E_p = -0,85V$  i jeżeli  $E_s > E_p$ , należy zastosować ochronę katodową. Pomiar wykonany z wyłączonym urządzeniem drenazowym



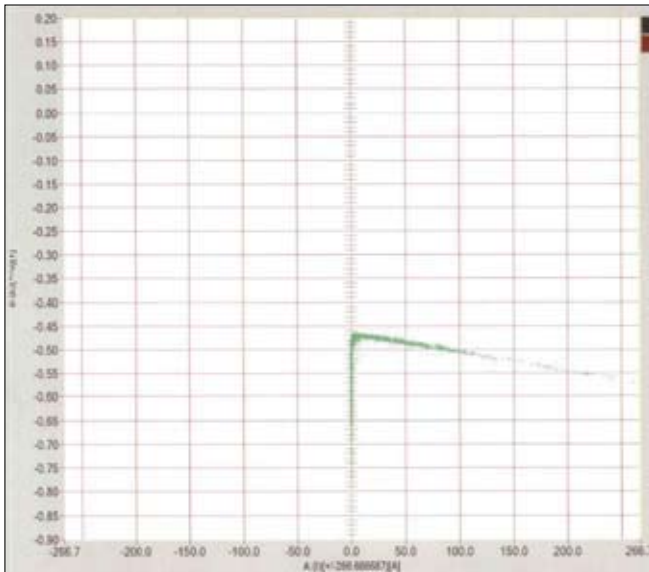
**Rys. 7.** Wykres przedstawia korelację  $E=f(U)$  potencjału z napięciem, ilustrując działanie diody. Potencjał odpowiadający dodatnim wartościom napięcia został obniżony w miejscu załamania funkcji w punkcie odpowiadającym napięciu progowemu diody. Pomiar wykonany z załączoną ochroną katodową.

### Wizualizacja zagrożenia od prądów błędzących i skuteczności działania ochrony

Dokonując jednoczesnej rejestracji dwóch charakterystycznych wielkości jakimi są potencjał konstrukcji oraz napięcie pomiędzy torowiskiem i konstrukcją można dokonać oceny zagrożenia korozyjnego tej konstrukcji od prądów błędzących upływających z torowiska w miejscu realizowania pomiaru. Przebiegi czasowe mierzonych wielkości są jak pokazano na wykresach trudne do szybkiego zinterpretowania stanu zagro-



**Rys. 8.** Wykres przedstawia przebieg potencjału E i rejestrację prądu I podczas tego pomiaru, który na skutek działania diody płynię w jedną stronę od rurociągu do szyny tramwajowej. Na wykresach wyraźnie widoczna jest częstotliwość kursowania tramwajów. Pomiar wykonany z załączoną ochroną katodową.



**Rys. 9.** Wykres przedstawia korelację potencjału rurociągu w zależności od płynącego w nim prądu. Na wykresie dobrze widoczne są granice zmian prądu, im wyższy prąd tym mniejsza liczba próbek, a wartości prądu zbliżające się do maksimum to tylko pojedyncze próbki.

zenia, ale zależność korelacyjna tych wielkości umożliwia szybką ocenę.

Przykładowe wyniki uzyskane z ciągłego 30 minutowego pomiaru z jednej ze skrzynek z zainstalowanym drenażem polaryzowanym na Warszawskiej Sieci Ciepłowniczej przedstawiono na rysunkach 4 do 9. Pomiary wykonano przenośnymi rejestratorami mRA firmy L. INSTRUMENTS

## Podsumowanie

1. Oddziaływanie prądów błędnych zawsze przyczynia się do zmniejszenia żywotności metalowych konstrukcji podziemnych a w tym rurociągów ciepłowniczych.
2. Negatywne skutki oddziaływania prądów błędnych eliminuje się bądź minimalizuje poprzez instalowanie drenażi polaryzowanych lub wzmocnionych w miejscach szczególnie narażonych (skrzyżowanie sieci ciepłowniczej z trakcją tramwajową).
3. Istotnym elementem wpływającym na zmniejszenie zagrożenia wynikającego z oddziaływania prądów błędnych

jest wymiana sieci ciepłowniczych kanałowych na sieci preizolowane w miejscach szczególnie narażonych.

4. Teren, przez który będzie przebiegać sieć ciepłownicza, bądź rurociągi stalowe innego przeznaczenia, powinien być zbadany pod względem występowania prądów błędnych

## Literatura

- [1] Ochrona katodowa przeciw skutkom prądów błędnych – materiały szkoleniowe ATEKO, s.r.o. opracował ing. Číp Jan, CSc. Ostrava 2007.
- [2] PN-EN 12954:2004 „Ochrona katodowa konstrukcji metalowych w gruntach lub wodach. Zasady ogólne i zastosowania dotyczące rurociągów”.
- [3] PN-EN 50122-2 „Zastosowania kolejowe – Urządzenia stacyjne – Część 2: Środki ochrony przed oddziaływaniem prądów błędnych wywołanych przez trakcję elektryczną prądu”.
- [4] Pomiary w ochronie katodowej przed korozją – poradnik. Przekład na podstawie 1. wydania z 1994 r. za zezwoleniem CEOCOR przełożył: Marian Hanasz, uwagami opatrzył i zredagował dr inż. Wojciech Sokółski, wydawca SEP PKEOpK.

**POLNA**<sup>®</sup>

AUTOMATYKA PRZEMYSŁOWA  
AUTOMATIC CONTROL ENGINEERING

AUTOMATYKA CIEPŁOWNICZA  
HEAT ENGINEERING

REGULATORY BEZPŘEDNIEGO DZIAŁANIA  
FILTRY SIATKOWE  
PRZEPUSTNICE  
ZAWORY REGULACYJNE  
I INNE...



POLSKI PRODUCENT  
NISKIE CENY  
SZYBKI SERWIS  
TANIE CZĘŚCI ZAMIENNE



**zawory**  
z charakterem

zapraszamy  
do współpracy



ma.com