

Rezystancja przejścia, gęstość prądu ochrony, potencjał załączeniowy

Maciej Markiewicz

PKEOpK

Warszawa. 26.02.2016

Rezystancja przejścia konstrukcji

- Parametrem charakteryzującym szczelność powłoki izolacyjnej jest rezystancja przejścia konstrukcji (rurociągu) R_{co} czyli opór elektryczny pomiędzy izolowaną konstrukcją a ziemią [Ω]
- Wartość jednostkowej rezystancji przejścia r_{co} jest parametrem projektowym dla danego projektowanego rurociągu, wyrażonym w Ωm^2 . Jest to rezystancja przejścia 1 m² powierzchni rurociągu pokrytego daną powłoką izolacyjną

$$r_{co} = \rho * l / S$$

gdzie:

ρ – rezystywność materiału powłoki, Ωm

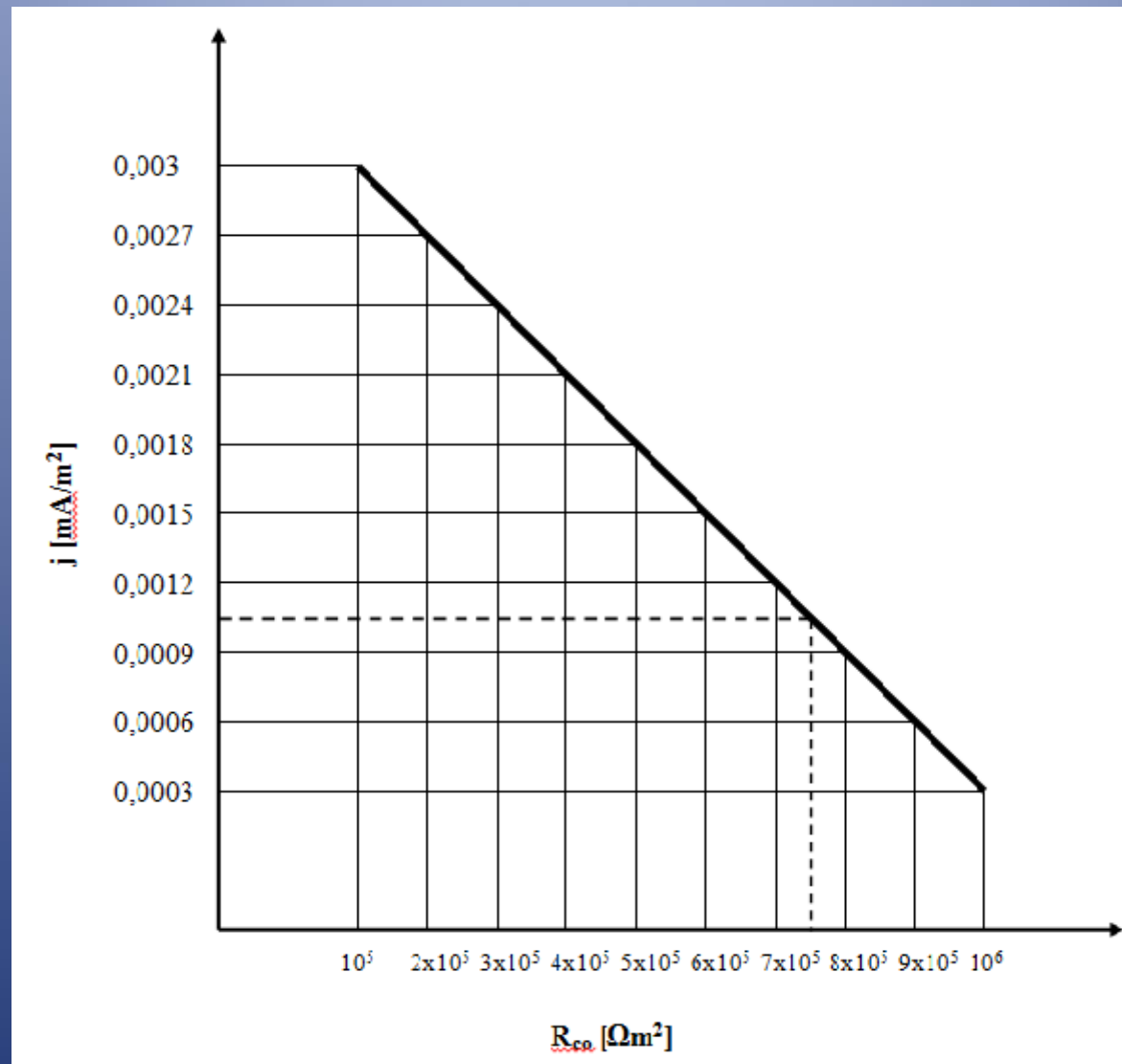
l – grubość powłoki, m

S – powierzchnia powłoki w $m^2 = 1$

Rezystancja przejścia i średnia gęstość prądu ochrony katodowej

- Średniej jednostkowej rezystancji przejścia r_{co} [Ωm^2] odpowiada średnia gęstość potrzebnego prądu ochrony katodowej j_{sr} [mA/m^2]. Jest ona , podobnie jak jednostkowa rezystancja przejścia powłoki izolacyjnej parametrem wskaźnikowym stosowanym w obliczeniach ochrony katodowej projektowanych rurociągów. Obliczenia przeprowadza się zwykle dla $r_{co} = 10^6 \Omega m^2$ i odpowiadającej jej średniej gęstości prądu ochrony katodowej $0,0003 mA/m^2$
- Określając wartość r_{co} decydujemy o zbiorczej powierzchni defektów powłoki izolacyjnej i równocześnie określamy **wskaźnikowo** wartość natężenia prądu ochrony katodowej ($I_{ok} = j_{sr} \times S$) potrzebną do spolaryzowania katodowego tej powierzchni
- Średnia gęstość wymaganego prądu ochrony katodowej j_{sr} [mA/m^2] jest odwrotnie proporcjonalna do średniej jednostkowej

Zależność średniej gęstości prądu ochrony katodowej od średniej jednostkowej rezystancji przejścia



Rezystancja przejścia konstrukcji c.d.

- W warunkach eksploatacyjnych jednostkową rezystancję przejścia powłoki izolacyjnej wyznacza się dla celów kontrolnych. Obniżenie rezystancji przejścia odcinka rurociągu jest wynikiem pojawienia się defektów powłoki izolacyjnej lub doziemienia rurociągu. Zjawiska te można dostrzec na rurociągu o bardzo dobrej powłoce izolacyjnej, natomiast pozostaną one niezauważone na rurociągu o starej bitumicznej powłoce izolacyjnej o jednostkowej rezystancji przejścia r_{co} rzędu 10^4 lub $10^3 \Omega m^2$.
- Na podstawie wartości r_{co} lub j_{sr} nie można sądzić o skuteczności ochrony katodowej rurociągu. Skuteczność ochrony odnosi się do poszczególnych defektów powłoki. Wartość rezystancji przejścia może być zgodna z wymaganiem, a równocześnie w konkretnych miejscach defektów powłoki może być nie spełnione kryterium ochrony katodowej.

Ochrona rurociągu przed korozją za pomocą powłoki izolacyjnej i ochrony katodowej

- Przykład: rurociąg DN500, L = 10 km, powierzchnia zewnętrzna dla Dz = 508 mm S = 15960 m²
- powłoka izolacyjna 3LPE
- r_{co} powłoki pozbawionej defektów = 10⁸ Ωm²
(taką jednostkową rezystancję przejścia ma powłoka 3LPE po 100 dniach przebywania w roztworze NaCl)
- Gdyby powłoka izolacyjna rurociągu była bezdefektowa. to:
$$R_{c_{obd}} = 10^8 / 15960 = 6266 \Omega$$
- Założmy, że wymagamy aby średnia jednostkowa rezystancja przejścia powłoki r_{co} wynosiła 10⁶ Ωm²

Ochrona przed korozją rurociągu za pomocą powłoki izolacyjnej i ochrony katodowej c.d.

- Co oznacza to wymaganie?

$$R_{co} = 10^6 / 15960 = 62,66 \Omega$$

$$R_{co} = R_{cobd} * R_{def} / (R_{cobd} + R_{def})$$

stąd:

$$R_{def} = 6266 * 62,66 / (6266 - 62,66) = 63,29 \Omega$$

zakładamy, że:

- powłoka „defektowa” R_{def} jest sprowadzona do jednego defektu oraz, że jest to defekt kołowy, a rezystancja elektrolitu w defekcie jest do pominięcia

Ochrona przed korozją rurociągu za pomocą powłoki izolacyjnej i ochrony katodowej c.d.

- Wówczas:

$$R_{\text{def}} = \frac{\rho}{2D}$$

stąd dla $R_{\text{def}} = 63,29 \Omega$ i ρ np. $100 \Omega\text{m}$:

$$D = 0,79 \text{ m} = 79 \text{ cm}$$

$$S_{\text{def}} = 4902 \text{ cm}^2$$

Powyższy sposób wyznaczenia wartości R_{def} jest prawidłowy, ale gdyby pominąć równoległe połączenie rezystancji przejścia bezdefektowej i rezystancji przejścia defektu, to skutkowałoby to tylko niewielkim błędem prowadzącym do obliczenia większej o 2 % powierzchni defektu:

- gdyby przyjąć, że $R_{\text{def}} = R_{\text{co}} = 62,66 \Omega$, to:

$$D = 0,798 \text{ m} = 79,8 \text{ cm}$$

$$S_{\text{def}} = 5001 \text{ cm}^2$$

Ochrona przed korozją rurociągu za pomocą powłoki izolacyjnej i ochrony katodowej c.d.

- Rezystancja przejścia defektu z uwzględnieniem rezystancji elektrolitu w defekcie wynosi:

$$R_{\text{def}} = \frac{\rho}{2D} + \frac{4\rho t}{\pi D^2}$$

gdzie t – grubość powłoki = 0,006 m

$$\pi R_{\text{def}} D^2 - \pi \rho D / 2 - 4\rho t = 0$$

- Z rozwiązania powyższego równania kwadratowego względem D dla $R_{\text{def}} = 62,66 \Omega$ otrzymuje się $D = 81,2 \text{ cm}$ i $S_{\text{def}} = 5181 \text{ cm}^2$

Powierzchnia zbiorczego defektu jest więc większa o 3,6% od powierzchni wyliczonej z pominięciem rezystancji elektrolitu w defekcie

- Dla małych defektów rezystancja elektrolitu w defekcie staje się znacząca. Np. dla defektu o powierzchni 10 cm^2 stanowi ona 30 % wypadkowej rezystancji przejścia defektu, a w przypadku bardzo małego defektu 1 cm^2 jest o 35 % większa od rezystancji uziemienia defektu

Ochrona przed korozją rurociągu za pomocą powłoki izolacyjnej i ochrony katodowej c.d.

- Dla $r_{co} 10^6 \Omega m^2$ i $j_{sr} = 0,0003 \text{ mA/m}^2$
szacunkowa wartość natężenia potrzebnego prądu ochrony katodowej:

$$I = 0,0003 * 15960 = 4,79 \text{ mA}$$

- Gęstość prądu ochrony katodowej na powierzchni jednego dużego zbiorczego defektu:

$$j_d = 4,79 * 10^{-3} / (5001 * 10^{-4}) = 9,58 * 10^{-3} = 0,00958 \text{ A/m}^2$$

Ochrona przed korozją rurociągu za pomocą powłoki izolacyjnej i ochrony katodowej c.d.

- Załóżmy, że na zbiorczy defekt o powierzchni 5001 cm^2 i rezystancji przejścia $R_{co} = 62,66 \Omega$ składa się 100 jednakowych defektów o $R_{def100} = 6266 \Omega$ każdy
- Powierzchnie defektów będą małe, należy więc uwzględnić rezystancje elektrolitów w defektach

$$R_{def} = \frac{\rho}{2D} + \frac{4\rho t}{\pi D^2}$$

z rozwiązania powyższego równania względem D , dla $\rho = 100 \Omega\text{m}$, $t = 0,006 \text{ m}$, otrzymuje się:

$$D_{def100} = 1,57 \text{ cm}$$

$$S_{def100} = 1,94 \text{ cm}^2$$

$$j_{def100} = 4,79 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-2} / (1,94 \cdot 10^{-4}) = 0,247 \text{ A/m}^2$$

Jaki Eon na powierzchni defektu ?

Na powierzchni każdego ze 100 defektów w powłoce izolacyjnej rurociągu potencjał ochrony E_p wiarygodnie zmierzony ma wynosić $-0,95$ V względem elektrody Cu/nas. $CuSO_4$ (przyjmujemy najbardziej ujemną wartość potencjału ochrony jaką wymienia norma PN-EN 12954).

Jaki ma być potencjał załączeniowy E_{on} na powierzchni każdego ze 100 defektów?

$$I_{def100} = 0,247 * 1,94 * 10^{-4} = 4,8 * 10^{-5} \text{ A} = 48 \text{ } \mu\text{A}$$

$$E_{on} = -I_{def100} * R_{def100} + E_p$$

$$E_{on} = - 4,8 * 10^{-5} * 6266 - 0,95 = -1,25 \text{ V}$$

Jaki Eon na powierzchni defektu ?

- Ten sam przykład: rurociąg DN500, $L = 10 \text{ km}$, $S = 15960 \text{ m}^2$
ale: $r_{\text{co}} = 3 \cdot 10^5 \Omega\text{m}^2$ (niewygórowane wymaganie), $\rho = 50 \Omega\text{m}$

$$R_{\text{co}} = 3 \cdot 10^5 / 15960 = 18,8 \Omega$$

- 100 defektów; $R_{\text{def100}} = 1880 \Omega$ każdy
- Szacunkowa wartość natężenia potrzebnego prądu ochrony katodowej dla $r_{\text{co}} 3 \cdot 10^5 \Omega\text{m}^2$, $j_{\text{sr}} = 0,0027\text{mA/m}^2$

$$I = 0,0027 \cdot 15960 = 43,1 \text{ mA}$$

$$R_{\text{def}} = \frac{\rho}{2D} + \frac{4\rho t}{\pi D^2}$$

z rozwiązania powyższego równania względem D ,
dla $\rho = 50 \Omega\text{m}$, $t = 0,006 \text{ m}$, otrzymuje się:

$$D_{\text{def100}} = 2,24 \text{ cm}$$

$$S_{\text{def100}} = 3,93 \text{ cm}^2$$

Jaki Eon na powierzchni defektu ?

$$j_{\text{def100}} = 43,1 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-2} / (3,93 \cdot 10^{-4}) = 1,1 \text{ A/m}^2$$

$$I_{\text{def100}} = 1,1 \cdot 3,93 \cdot 10^{-4} = 4,32 \cdot 10^{-4} \text{ A} = 432 \text{ } \mu\text{A}$$

$$E_{\text{on}} = -I_{\text{def100}} \cdot R_{\text{def100}} + E_p$$

$$E_{\text{on}} = -4,32 \cdot 10^{-4} \cdot 1880 - 0,95 = -0,81 - 0,95 = -1,76 \text{ V}$$

- gdyby rurociąg był ułożony w gruncie o $\rho = 100 \text{ } \Omega\text{m}$:

$$D_{\text{def100}} = 3,74 \text{ cm}$$

$$S_{\text{def100}} = 11 \text{ cm}^2$$

$$j_{\text{def100}} = 43,1 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-2} / (11 \cdot 10^{-4}) = 0,39 \text{ A/m}^2$$

$$I_{\text{def100}} = 0,39 \cdot 11 \cdot 10^{-4} = 4,29 \cdot 10^{-4} \text{ A} = 429 \text{ } \mu\text{A}$$

Jak widać, takim samym prądem są chronione większe defekty, co oznacza, że gęstości prądu na powierzchni tych defektów są odpowiednio mniejsze, a potencjały załączeniowe Eon są praktycznie jednakowe

Jaka musi być wartość rezystancji przejścia dla z góry narzuconych E_{on} i I_{OK} ?

- Ten sam przykład: rurociąg DN500, $L = 10$ km, $S = 15960$ m²
- Zakładamy polaryzację defektów powłoki do potencjałów załączeniowych E_{on} nie bardziej ujemnych niż $-1,3$ V, prądem polaryzacji nie większym niż $0,5$ mA

$$E_{on} = -I * R_{co} + E_p$$

stąd:

$$R_{co} = (1,3 - 0,95)/(0,5 * 10^{-3}) = 700 \Omega$$

$$r_{co} = 700 * 15960 = 1,12 * 10^7 \Omega m^2$$

Rezystancja przejścia konstrukcji c.d.

- Ten sam przykład: rurociąg DN500, $L = 10$ km, $S = 15960$ m²
 $r_{co} = 10^5 \Omega m^2$
- Wymagając średniej jednostkowej rezystancji przejścia rurociągu $r_{co} = 10^5 \Omega m^2$, akceptujemy defekty o łącznej powierzchni 50 m², stanowiącej około $0,3$ % powierzchni rurociągu.
- Nawet jeden defekt o średnicy 1 mm, powierzchni $0,785$ mm² i rezystancji przejścia $44,3$ k Ω wpływa na jednostkową rezystancję przejścia rurociągu r_{co} , która wyniesie $8,75 \cdot 10^7 \Omega m^2$. Rezystancji tej, bliskiej rezystancji powłoki bezdefektowej, odpowiada $j_{sr} = 0,000003$ mA/m² = $0,003$ μ A/m²
- Natężenie prądu ochrony katodowej rurociągu wyniesie:

$$I = 0,000003 * 15960 = 0,048 \text{ mA}$$

stąd gęstość prądu na powierzchni defektu $0,785$ mm² :

$$j_d = 0,047 * 10^{-3} / (0,785 * 10^{-6}) = 61 \text{ A/m}^2$$

Zagrożenie korozyjne prądem błędzącym lub przemiennym na powierzchni małych defektów powłoki

- Paradoksalnie, zagrożenie rurociągu korozją powodowaną przez prąd błędzący lub prąd przemienny może być większe w przypadku szczelnej powłoki polimerowej o niewielkiej liczbie defektów niż w przypadku porowatej powłoki bitumicznej o równomiernie rozmieszczonych defektach. Gęstości prądu wypływającego z rurociągu poprzez małe defekty powłoki będą znaczne, co może prowadzić do uszkodzeń korozyjnych. Jeżeli prąd ochrony katodowej jest w stanie skompensować prądy błędzące, to problem zagrożenia nie istnieje. Jeżeli ochrona katodowa nie neutralizuje działania prądów błędzących, to rozwiązaniem może być odprowadzenie prądu błędzącego do sieci powrotnej trakcji elektrycznej lub naprawa defektów powłoki.

Dziękuję za uwagę