



**PROBLEMY Z ODDZIAŁYWANIEM LINII
ELEKTROENERGETYCZNYCH WYSOKIEGO NAPIĘCIA
NA GAZOCIĄGI W DOBREJ IZOLACJI**

**PROBLEMS WITH INTERACTION OF HV POWER LINES
ON GAS PIPELINES WITH GOOD INSULATION**

Roman Serwiński, Hanna Matus

Zakład Projektowo Produkcyjny VARIA Sp. z o.o.
Operator Gazociągów Przesyłowych GAZ-SYSTEM S.A.

Słowa kluczowe: korozja, prąd przemienny, układy uziemiające
Keywords: corrosion, alternate current, earthing systems

Streszczenie

W referacie przedstawione zostały problemy, z jakimi można się spotkać podczas projektowania i wykonawstwa zabezpieczeń rurociągów podziemnych przed skutkami oddziaływań indukcyjnych linii wysokiego napięcia. Pokazano sposób obliczania parametrów elektrycznych rurociągu w celu doboru właściwych rozwiązań układów uziemiających na przykładzie zrealizowanej inwestycji. Opisano metody zabezpieczenia rurociągu przed nadmiernym oddziaływaniem prądu przemiennego poprzez separację elektryczną i układy pośrednio uziemiające.

Summary

In the lecture problems have been presented which can be encountered during design and performing of underground pipeline protection against induction effects of high voltage lines. The method has been shown of calculating pipeline electric parameters to select proper earthing system solutions on an example of a performed investment. Pipeline protection methods have been described against excessive interaction of alternate currents by electric separation and indirect earthing systems.

1. Wprowadzenie

Na gazociągi o przebiegu równoległym i krzyżujące się pod kątem ostrym z liniami napowietrznymi wysokiego napięcia oddziałują zewnętrzne pola elektryczne i magnetyczne, powodujące przepływ prądu wzdłuż gazociągu. Rozpływ tego prądu jest uzależniony od parametrów elektrycznych rurociągu. Na wartości parametrów elektrycznych rurociągu podziemnego ma wpływ jego rezystancja wzdłużna, zależna od materiału rurociągu, średnicy i grubości ścianki oraz rezystancja przejścia, zależna od materiału pokrycia ochronnego, głębokość ułożenia, częstotliwość prądu, przenikalności magnetycznej materiału rurociągu, a przede wszystkim od rezystywności gruntu.[3]

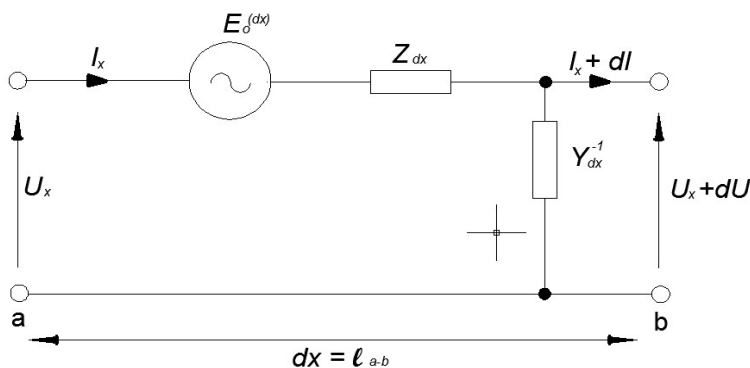
Długookresowe oddziaływanie prądu przemiennego może powodować korozję w miejscach nieszczelności powłoki izolacyjnej rurociągu, w wyniku przepływu prądu przemiennego pomiędzy stalową ścianką a elektrolitem glebowym. Korozją wywołaną przez prąd przemienny mogą być zagrożone rurociągi nie chronione, jak i chronione katodowo.[5]

2. Oddziaływania linii wysokiego napięcia na rurociąg podziemny

Oddziaływania linii WN podzielić możemy na trzy rodzaje:

- pojemnościowe – występować mogą w czasie układania rurociągów, gdy rury są składowane w pobliżu linii WN i odizolowane od ziemi;
- rezystancyjne – występują w stanach awaryjnych, przy zerwaniu przewodów linii i ich kontakcie z ziemią;
- indukcyjne – występują na skrzyżowaniach i zbliżeniach rurociągów do linii w/n w sposób ciągły i stwarzają poważne zagrożenie korozyjne dla rurociągów podziemnych.

Metalowy rurociąg podziemny pokryty powłoką ochronną jest obwodem ziemnowrotnym, stykającym się z ziemią przez defekty izolacji. Dla potrzeb analitycznych obwód taki można przedstawić za pomocą schematu zastępczego elektrycznej linii długiej. Schemat zastępczy odcinka rurociągu podziemnego o długości elementarnej dx , w którym wskutek oddziaływań indukcyjnych linii WN indukuje się siła elektromotoryczna $E(dx)$ przedstawia rys. 1.



Rys. 1. Schemat zastępczy odcinka rurociągu podziemnego o długości elementarnej dx

Poniżej przedstawiono zależności, jakie występują między parametrami elektrycznymi rurociągu w przypadku oddziaływania prądu przemiennego na odcinek rurociągu.

$$Z_{dx} = Z_w + Z_g = \frac{1}{D} \sqrt{\frac{\mu_o \mu_r f}{\pi \gamma_s} (1+j) + \frac{j \omega \mu_o}{2\pi} \ln \frac{1,85}{r_z \sqrt{k^2 + \alpha^2}}} \quad (1)$$

$$Z_w = R + j\omega L; \quad r_z = \sqrt{r^2 + 4d^2}; \quad k^2 = j\omega \mu_r \gamma_s; \quad \alpha = \sqrt{\underline{Z} * \underline{Y}} \quad (2)$$

gdzie:

Z_{dx} – jednostkowa impedancja wzdłużna odcinka, na którą składa się impedancja wewnętrzna rurociągu Z_w oraz impedancja związana z przepływem prądu w ziemi Z_g ,

γ_s – konduktywność stali, w obliczeniach przyjęto $7,76 \cdot 10^6$ [S/m]

r_z – promień zastępczy rurociągu podziemnego o promieniu r i głębokości ułożenia d ,

k^2 – stała rurociągu,

m_r – względna przenikalność magnetyczna stali rurociągu, do obliczeń przyjęto 200 [H/m]

m_o – przenikalność magnetyczna próżni $m_o = 4\pi \cdot 10^{-7}$ [H/m]

α – stała przenoszenia rurociągu

Y_{dx}^{-1} – jednostkowa admitancja poprzeczna, na którą składa się konduktancja związana z jakością powłoki izolacyjnej (G_i) oraz susceptancja pojemnościowa również zależna w dużym stopniu od powłoki

$$Y_{dx} = G_i + j\omega C_i = \frac{\pi D}{r_{co}} + j \frac{\omega \pi D \epsilon_o \epsilon_r}{t} \quad (3)$$

gdzie:

r_{co} – jednostkowa rezystancja przejścia powłoki rurociągu,

ϵ_o – przenikalność elektryczna próżni,

ϵ_r – względna przenikalność elektryczna materiału powłoki rurociąg, dla polietylenu $\epsilon_r = 2,25$,

t – grubość powłoki izolacyjnej.

Przykładowo wykonano obliczenia parametrów charakterystycznych dla gazociągu DN700 w bardzo dobrej izolacji, gdzie jednostką podstawową jest odcinek o długości 1 km. Dla rurociągów w bardzo dobrej powłoce izolacyjnej ($r_{co} > 10^7 \Omega m^2$) konduktancja izolacji G_i jest bardzo mała. Dla rurociągu o średnicy 700 mm wynosi:

$$G_i = \frac{\pi D}{r_{co}} = 2,22 \cdot 10^{-4} \text{ S / km} \quad (4)$$

Pojemność jednostkowa C_i :

$$C_i = \frac{\pi D \epsilon_o \epsilon_r}{t} = 1,77 \cdot 10^{-5} \text{ F / km} \quad (5)$$

Admitancja jednostkowa poprzeczna:

$$\underline{Y}_i = 2,22 \cdot 10^{-4} + j 1,11 \cdot 10^{-2} \text{ [S/km]}$$

Moduł admitancji poprzecznej:

$$|Y_i| = 1,11 \cdot 10^{-2} \text{ [S/km]}$$

Moduł impedancji jednostkowej wzdłużnej zawierający również impedancję związaną z przepływem prądu przez ziemię wynosi:

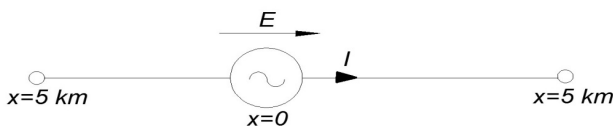
$$|Z_{dx}| \cong 0,46 \text{ } \Omega / \text{km} \quad (6)$$

Moduł stałej przenoszenia rurociągu: $|\alpha| = 2,13 \cdot 10^{-3}$

Impedancja falowa:

$$Z = \sqrt{\frac{Z}{Y}} = 6,07 \text{ } \Omega \quad (7)$$

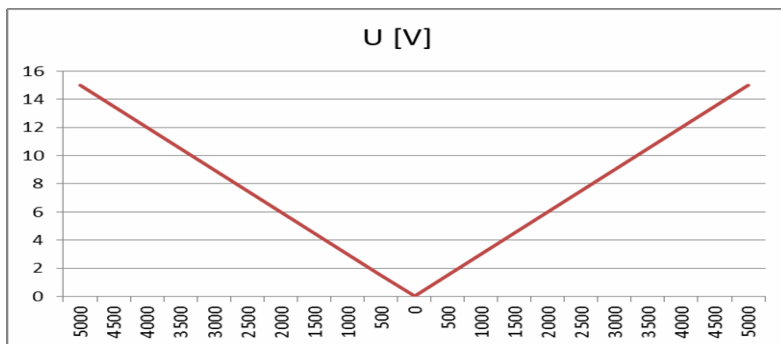
Załóżmy, że gazociąg przebiega równoległe do linii WN na długości 10 km i indukuje się w nim siła elektromotoryczna o wartości 30V, a dla uproszczenia rozważań źródło napięciowe jest skupione w środku odcinka.



Rozkład napięcia wzdłuż rurociągu opisuje wzór:

$$U(x) = \frac{E}{2} e^{-\alpha|x|} \quad (8)$$

Teoretyczny rozkład napięcia wzdłuż odcinka gazociągu przedstawia rys. 2.



Rys. 2. Teoretyczny rozkład napięcia wzdłuż odcinka gazociągu

Z uwagi na bardzo małą tłumienność rurociągów w bardzo dobrej izolacji, dla przykładowego gazociągu $|\alpha| = 2,13 \cdot 10^{-3}$, napięcie jakie pojawia się na końcach odcinka podlegającego oddziaływaniom może przenosić się na znaczne odległości.

Rurociągi układane są w gruntach o różnej rezystywności. W przypadku wystąpienia defektu powłoki rurociągu w gruncie o niskiej rezystywności, zagrożenie korozją spowodowaną oddziaływaniem prądu przemiennego może być znaczne. Aby temu zapobiec wykonuje się szereg pomiarów przedprojektowych, których celem jest oszacowanie zagrożenia korozją projektowanych rurociągów.

W wytypowanych strefach (przebiegi równoległe i skrzyżowania pod kątem ostrym z LWN) wykonuje się rejestracje 24-ro godzinne oddziaływań napowietrznych linii wysokiego napięcia na symulujący przewód gazowy (kabel elektryczny), rozciągnięty na powierzchni ziemi wzdłuż projektowanej trasy gazociągu. Jeśli występuje wiele oddziaływań, np. kilkukrotne skrzyżowania i zbliżenia do linii WN, to oddziaływania te się sumuje.

W tabeli 1. przedstawiono kryteria oceny zagrożenia podziemnych konstrukcji stalowych oddziaływaniem prądu przemiennego, zamieszczone w standardzie technicznym ST-IGG 0602:2013 na podstawie PKN-CEN/TS 15280:2008.

Tabela 1. Kryteria ochrony stalowych konstrukcji podziemnych przed oddziaływaniem prądu przemiennego

Czynnik uwzględniany przy ocenie prawdopodobieństwa korozji przeniennoprądowej	Limity	Uwagi
Napięcie a.c. pomiędzy konstrukcją a ziemią	Napięcie przemiennie pomiędzy rurociągiem a ziemią nie powinno przekraczać: - 10 V na całej długości rurociągu, - 4 V na odcinkach ułożonych w gruncie o rezystywności mniejszej niż 25 Ω m.	Wielkość napięcia a.c. rzutuje na gęstość prądu przemiennego przepływającego pomiędzy rurociągiem a ziemią. Redukcja napięcia a.c. ma podstawowy wpływ na zmniejszenie ryzyka korozji a.c. Podane wartości graniczne nie mają charakteru „absolutnego”, wynikają z wieloletnich praktycznych doświadczeń europejskich operatorów.
Potencjał E_{IRfree} rurociągu	Potencjały polaryzacji (potencjały odłączeniowe elektrod symulujących) powinny być bardziej ujemne niż potencjały ochrony $-0,85$ V lub $-0,95$ V, ale możliwie jak najbardziej bliskie tym potencjałom.	Zalecenie wynika z mechanizmu korozji przeniennoprądowej konstrukcji chronionej katodowo; tłumaczone jest próbą uniknięcia cyklicznych przejść ze stanu ochrony do stanu pasywnego.
Gęstość prądu a.c.	Dla gęstości prądu przemiennego mierzonego na elektrodzie symulującej o powierzchni 1 cm^2 prawdopodobieństwo korozji jest: $j_{ac} < 30 A/m^2$ – brak lub niewielkie, $30 A/m^2 < j_{ac} < 100 A/m^2$ – średnie, $j_{ac} > 100 A/m^2$ – bardzo duże.	Wyniki pomiarów mogą być wypaczone na skutek: - braku kontaktu części powierzchni elektrody symulującej z gruntem, - pokrycia części powierzchni elektrody przez osady katodowe. W efekcie – rzeczywista gęstość prądu na odsłoniętej powierzchni może być większa, niż zmierzona.
Potencjał załączeniowy E_{on} rurociągu	Potencjał załączeniowy rurociągu powinien być tak dobrany, by potencjały polaryzacji (potencjały odłączeniowe elektrod symulujących) były bardziej ujemne niż potencjały ochrony, ale możliwie jak najbardziej bliskie tym potencjałom.	Zalecenie ma na celu ograniczenie nadmiernej alkalizacji środowiska w defekcie powłoki, która może się przyczynić m.in. do obniżenia rezystancji przejścia defektu i w efekcie zwiększenia gęstości prądu przemiennego w defekcie.
Stosunek gęstości prądu a.c. (j_{ac}) do gęstości prądu polaryzacji katodowej (j_{dc})	Prawdopodobieństwo korozji przeniennoprądowej można oszacować na podstawie stosunku prądu przemiennego do prądu stałego, które płyną przez elektrodę symulującą.	Kryterium oceny wynika z doświadczeń praktycznych.

	<p>Jeśli:</p> <p>$j_{ac}/j_{dc} < 5$ – prawdopodobieństwo jest małe,</p> <p>$5 < j_{ac}/j_{dc} < 10$ – istnieje prawdopodobieństwo korozji, należy przeprowadzić inne badania,</p> <p>$j_{ac}/j_{dc} > 10$ prawdopodobieństwo jest duże.</p>	
Skład chemiczny gruntu	Nie określono	<p>W wyniku procesów elektrochemicznych związanych z polaryzacją katodową, zachodzących na odsłoniętej powierzchni metalu w defekcie powłoki, rezystancja defektu powłoki może z upływem czasu:</p> <ul style="list-style-type: none"> - wzrastać - jeśli w gruncie obecne są jony pierwiastków ziem alkalicznych Ca^{2+} i Mg^{2+}, na skutek wytwarzania osadów wapiennych, - maleć - jeśli w gruncie obecne są jony pierwiastków alkalicznych Na^+, K^+ i Li^+, w wyniku tworzenia dobrze rozpuszczalnych higroskopijnych zasad. <p>Z upływem czasu może więc odpowiednio zmniejszyć się lub zwiększyć gęstość prądu a.c. w defekcie.</p>
Korozja elektrod symulujących (kuponów)	Jeśli wydobyta próbka wykazuje oznaki korozji zależnej od prądu przemiennego, należy się liczyć z możliwością zagrożenia korozją prądu przemiennego, pod warunkiem, że inne czynniki (kryteria) wskazują na to samo.	

W standardzie technicznym ST-IGG 0602:2013 zaostrzono kryterium dopuszczalnej gęstości prądu przemiennego w defekcie powłoki do wartości 20 A/m^2 . Oparto się przy tym na doniesieniach literatury technicznej i krajowych doświadczeniach eksploatacyjnych, z których wynika, że korozja może wystąpić przy gęstości prądu przemiennego mniejszej od 30 A/m^2 .

Na etapie projektowania zabezpieczeń przed korozją spowodowaną prądem przemiennym celem projektanta jest takie ukształtowanie rozkładu gęstości prądu przemiennego w potencjalnym defekcie powłoki, aby jego gęstość nie przekroczyła wartości dopuszczalnego kryterium. Można to osiągnąć kilkoma metodami:

- przez obniżenie napięcia rurociąg – ziemia,
- przez zwiększenie rezystywności gruntu w miejscach zagrożeń,
- przez zastosowanie na zagrożonych odcinkach bezdefektowej powłoki ochronnej,
- przez zwiększenie prądu ochrony katodowej do takiej wartości, aby kompensował on anodową część prądu przemiennego.

Zmniejszenie napięcia przemiennego indukowanego w rurociągu można uzyskać np.:

- przez bezpośrednie lub pośrednie układy uziemienia rurociągu w odpowiednich miejscach; rozmieszczenie uziomów i ich rezystancje uziemień powinny być odpowiednio dobrane na podstawie obliczeń;
- przez zastosowanie urządzeń aktywnych – sterowanych zasilaczy kompensujących napięcie przemiennie pomiędzy rurociągiem a ziemią;

- przez odpowiednie sekcjonowanie elektryczne rurociągu (montaż monobloków izolujących).

W przypadku rurociągów w powłokach bardzo dobrej jakości najczęściej występują defekty o małych rozmiarach. Należy pamiętać, że kryterium dopuszczalnej gęstości prądu przemiennego 20 A/m^2 oznacza, że natężenie prądu przemiennego płynącego przez podłączoną do konstrukcji próbkę o powierzchni 1 cm^2 nie może być większe od 2 mA . Dlatego małe defekty są najbardziej narażone na korozję prądową.

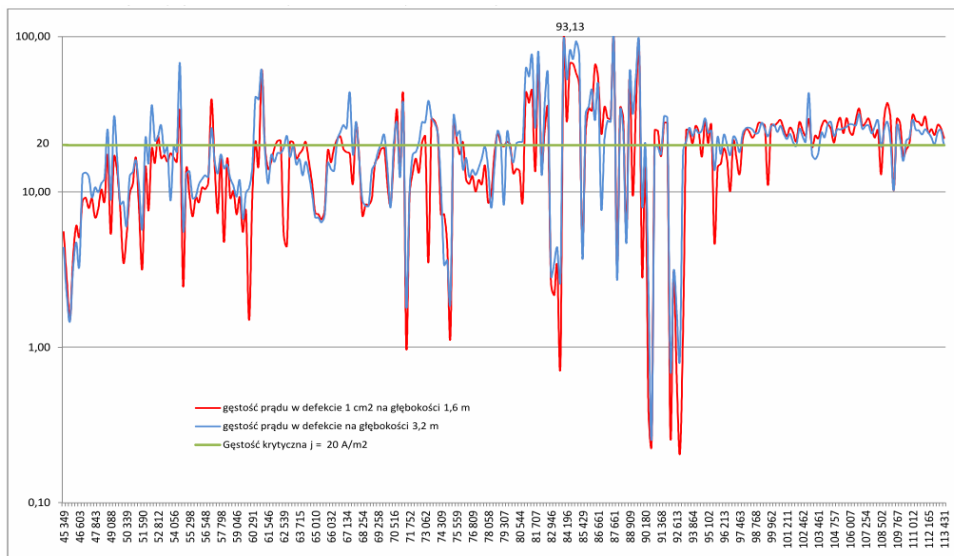
Uproszczony wzór na obliczanie gęstości prądu przemiennego j w defekcie kołowym o powierzchni 1 cm^2 uwzględniający rezystywność gruntu w miejscu jego wystąpienia przedstawiono poniżej:

$$j = 226 \frac{U_{ACsr}}{\rho} \left[\frac{A}{m^2} \right] \quad (9)$$

Po wykonaniu pomiarów siły elektromotorycznej wyindukowanej w kablu pomiarowym w czasie rzeczywistym i dokonaniu aproksymacji wyników do warunków maksymalnych uwzględniających znamionowe obciążenie prądowe oddziałującej linii oraz całkowitą długość przebiegu równoległego, znając rezystywność gruntu wzdłuż trasy rurociągu, można wyznaczyć miejsca narażone na korozję spowodowaną prądem przemiennym.

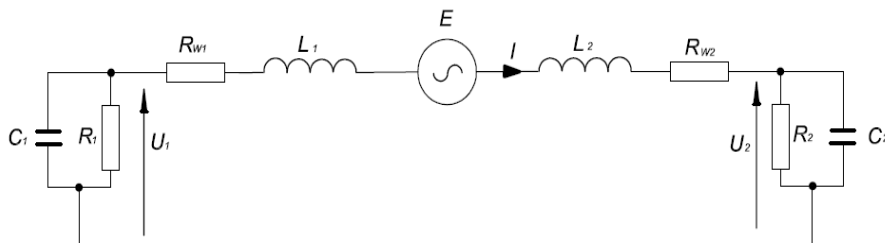
Obniżenie napięcia przemiennego poprzez podział rurociągu na odcinki odseparowane elektrycznie przy pomocy monobloków, przedstawiono na przykładzie wybudowanego gazociągu DN1000.

Na rys. 3 przedstawiono wykres gęstości prądu przemiennego wzdłuż trasy gazociągu DN1000, obliczoną dla defektu 1 cm^2 zlokalizowanego na głębokości $1,6 \text{ m}$ oraz $3,2 \text{ m}$ od powierzchni gruntu. Wartości odniesiono do wartości krytycznej gęstości prądu przemiennego 20 A/m^2 .



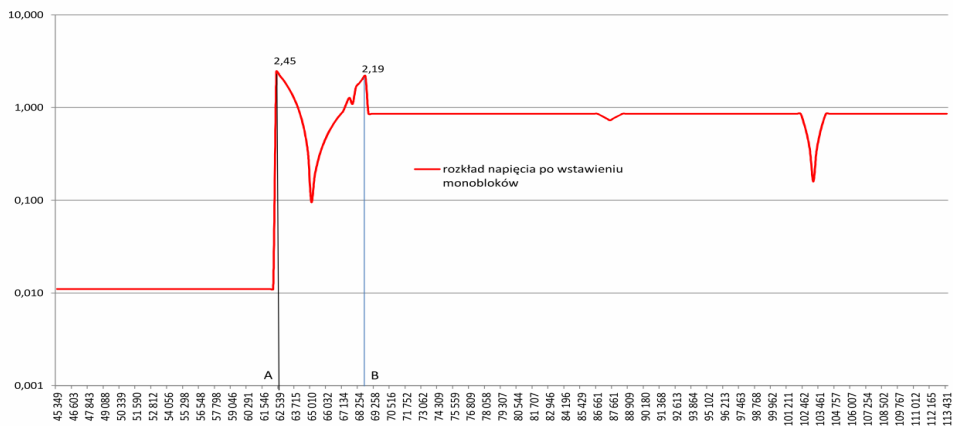
Rys. 3. Wykres przewidywanej gęstości prądu w defekcie o powierzchni 1 cm^2 na trasie gazociągu DN1000

Jak widać z rysunku 3 gazociąg jest narażony w wielu miejscach na korozję od prądu przemiennego, gdyż wartość gęstości prądu w defekcie o powierzchni 1 cm^2 przekracza dopuszczalną wartość 20 A/m^2 . Przy tak dużych wyindukowanych siłach elektromotorycznych niezbędny był podział gazociągu na odcinki wydzielone elektrycznie i zastosowanie środków ochrony dla każdego z odcinków oddzielnie. Schemat zastępczy odcinka wydzielonego monoblokami przedstawia rysunek 4.



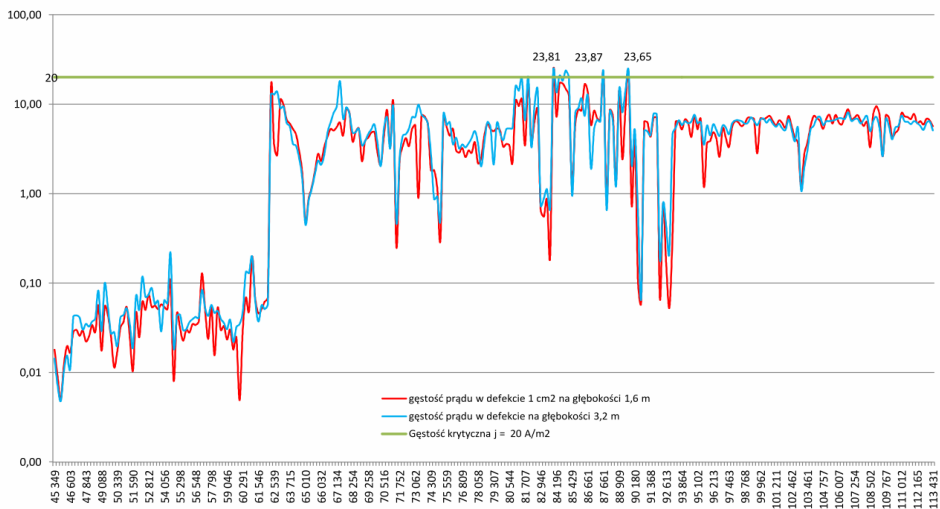
Rys. 4. Schemat zastępczy odcinka gazociągu wydzielonego monoblokami, poddanego oddziaływaniom prądu przemiennego

Na rysunku 5 przedstawiono rozkład napięć po dokonaniu podziału odcinka za pomocą monobloków zaprojektowanych w punktach A i B.



Rys. 5. Wykres rozkładu napięcia przemiennego wzdłuż trasy gazociągu, po wydzieleniu odcinka gazociągu DN1000 za pomocą monobloków

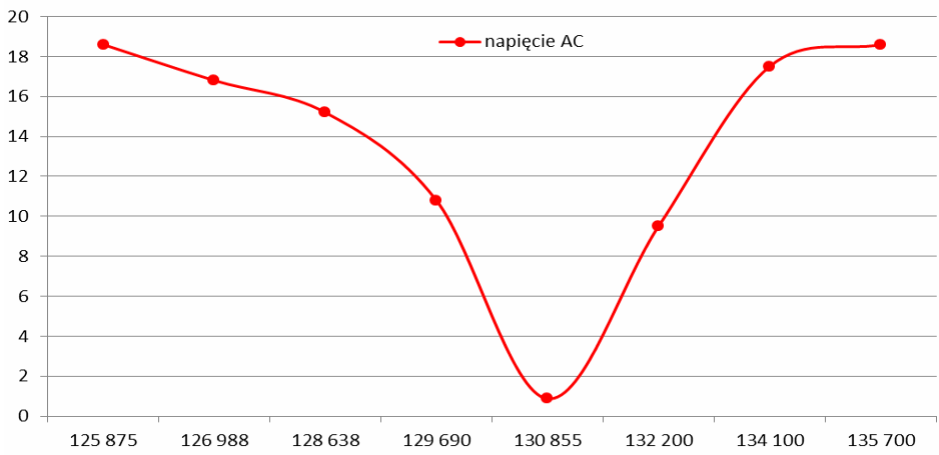
Na rysunku 6 przedstawiono wykres gęstości prądu przemiennego dla w/w przypadku przeliczoną dla defektu 1 cm^2 zlokalizowanego na głębokości 1,6 m oraz 3,2 m po wydzieleniu odcinka gazociągu za pomocą monobloków.



Rys. 6. Wykres gęstości prądu w defekcie o powierzchni 1cm² po wydzieleniu odcinka gazociągu DN1000 za pomocą monobloków

W celu wyeliminowania zagrożenia nadmierną gęstością prądu przemiennego na odcinkach, gdzie gęstość prądu przekracza 20A/m², zaprojektowano obsypkę piaskową.

Kolejnym przykładem możliwości zabezpieczenia gazociągu w sytuacji nadmiernego oddziaływania prądu przemiennego jest gazociąg, na którym zrealizowano instalację odprowadzającą prąd przemienny do ziemi. Na rysunku 7 przedstawiono wykres wyindukowanego napięcia przemiennego zmierzonego w punktach pomiarowych na trasie tego gazociągu przed zastosowaniem zabezpieczeń.

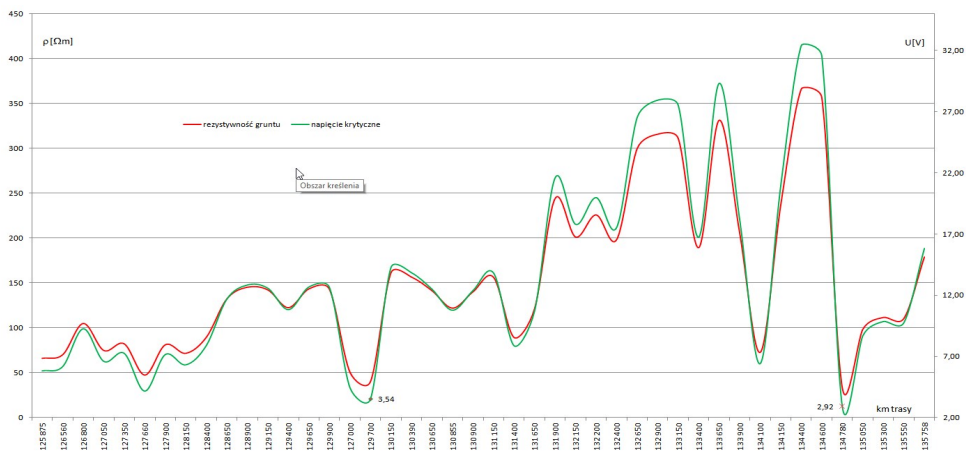


Rys. 7. Rozkład napięcia przemiennego na odcinku gazociągu o długości około 10 km

Na przedstawionym odcinku gazociągu niezbędne było obniżenie napięcia do wartości bezpiecznych z punktu widzenia ochrony przed korozją. W tym celu wyznaczono dla odcinka „napięcie krytyczne” wzdłuż trasy gazociągu wg wzoru:

$$U_{ACKrytyczn e} = \frac{\rho j}{226} [V] \quad (10)$$

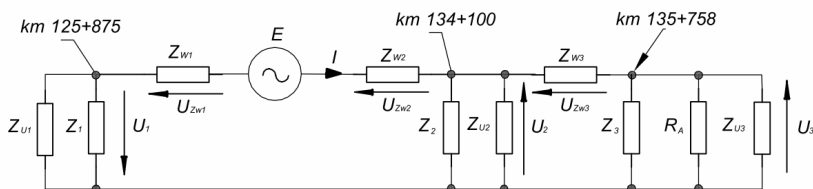
Jest to napięcie, przy którym w danym miejscu rurociągu o określonej rezystywności gruntu, gęstość prądu w defekcie kołowym o powierzchni 1 cm² nie przekracza kryterium.



Rys. 8. Wykres napięcia krytycznego i rezystywności gruntu wzdłuż trasy gazociągu

Jak widać z wykresu na rys. 8, w okolicy km 134+780 napięcie przemienne nie powinno być wyższe niż 2,92 V. Wartość napięcia przed wprowadzeniem zabezpieczeń wynosiła w tym miejscu około 18 V (rys. 7). W punkcie 128+300 km napięcie nie powinno być wyższe od 3,54 V, a wartość napięcia przed wprowadzeniem zabezpieczeń wynosiła około 15 V.

Aby obniżyć napięcia do wartości bezpiecznych należało odpowiednio dobrać zabezpieczenia. W tym celu w obwodzie, którego schemat zastępczy przedstawiono na rys. 9, dobrano układy pośrednio uziemiające.



Rys. 9. Schemat zastępczy gazociągu z układami pośrednio uziemiającymi

gdzie:

Z_{w1}, Z_{w2}, Z_{w3} – impedancje wzdłużne rurociągu,

Z_1, Z_2, Z_3 – impedancje poprzeczne rurociągu,

Z_{U1}, Z_{U2}, Z_{U3} – impedancje rozptywu projektowanych uziomów w punktach z układami pośrednio doziemiaczami wyposażonymi w kondensatory.

Schemat zastępczy opisują równania:

$$E = U_{Z_{W2}} + U_2 + U_1 + U_{Z_{W1}} \quad (11)$$

$$U_1 = I * |Z_{Z1}| \quad (12)$$

$$U_2 = I * |Z_{Z2}| \quad (13)$$

gdzie:

Z_{Z1}, Z_{Z2} – impedancje zastępcze gałęzi lewej i prawej.

Jednostkowa rezystancja przejścia powłoki gazociągu:

$$r_{co} > 4,6 * 10^7 \Omega m^2 \quad (14)$$

Indukcyjność jednostkowa:

$$L_1 = 1,87 * 10^{-6} H / km \quad (15)$$

Pojemność jednostkowa:

$$C_1 = \epsilon_0 \epsilon_p D / d = 1,46 * 10^{-7} F/m \quad (16)$$

Moduł impedancji wzdłużnej jednostkowej:

$$|Z| = 0,6 \Omega/km \quad (17)$$

Przy takiej rezystancji przejścia prąd ochrony katodowej gazociągu przy potencjale załączeniowym $E_{on} = -1,3V$ wzgl. CSE wynosi około 150 mA.

Z uwagi na potrzebę zastosowania na przykładowym odcinku gazociągu układów pośrednio uziemiających, przeprowadzono rozeznanie rynku pod kątem możliwości zastosowania konkretnych rozwiązań technicznych. Układ pośrednio doziemiaczy powinien mieć możliwie małą impedancję, a nawet czystą reaktancję pojemnościową. Najlepiej nadawałyby się do tego kondensatory bipolarne o pojemności 100 mF lub większej, ale takich kondensatorów nie produkuje się seryjnie.

Na polskim rynku są dostępne dwa układy do odprowadzania prądów przemiennych, które równocześnie nie prostują odprowadzanego prądu, niepotrzebnie pogłębiając polaryzację katodową chronionej konstrukcji. Należą do nich:

- bocznik prądów przemiennych typu PLPro produkcji Leutron, najczęściej stosowany model PLPro40A,
- odgranicznik prądu stałego (solid state decoupler) produkcji Dairyland Electrical Industries typu SSD-2/2-1,2-75-R.

Z opisu układu PLPro40A wynika, że zbudowany jest on z kondensatorów o pojemności łącznej 200 mF, dzięki czemu uzyskuje się bardzo dobrą wartość 16 m Ω reaktancji pojemnościowej przy częstotliwości 50 Hz. Niestety jego rezystancja dla prądu stałego wynosi 18 k Ω , co powoduje, że przy potencjale załączeniowym gazociągu $-1,3 V$ wzgl. CSE upływność prądu stałego układu wynosi około 70 μA . Mając na uwadze, że prąd ochrony gazociągu wynosi 150 μA , zastosowanie 3 sztuk PLPro spowodowałoby upływność rzędu 210 μA . Przy

takim stosunku prąd ochrony/upływność zdalny nie będzie możliwy zdalny monitoring gazociągu, wskazujący na pojawienie się nowego defektu powłoki izolacyjnej. W przypadku wzrostu prądu nie uzyska się wiarygodnej informacji czy jest on spowodowany pojawieniem się defektu powłoki, czy defektem układu PLPro.

W przypadku ogranicznika SSD-2/2-1,2-75-R jego impedancja wynosi około 40 mΩ, a upływność dla prądu stałego przy potencjale -1,5V wzgl. CSE wynosi tylko około 3,5 μA (dane uzyskane od firmy Corrstop). Takie parametry zdecydowanie bardziej kwalifikują ten ogranicznik do zastosowań dla rurociągów w bardzo dobrych powłokach.

Obydwa układy wyposażone są w iskierniki do odprowadzania prądów piorunowych.

W przypadku rozpatrywanego odcinka gazociągu w układach odprowadzających prąd przemienny zastosowano ograniczniki DEI SSD-2/2-1,2-75-R. Po rozwiązaniu obwodu zastępczego uzyskano wyniki dla wymaganych rezystancji uziomów:

- około 0,8 Ω w punkcie 125+875,
- około 0,94 Ω w punkcie 134+100,
- około 2,2 Ω w punkcie 135+758.

Moduł impedancji całkowitej obwodu: $|Z| = 6,24 \Omega$.

Prąd płynący w obwodzie I: $I = SEM/|Z| = 6,41 \text{ A}$.

Przy wymaganych parametrach uziomów obliczone napięcie wynosi:

- $U_1 = 4,33 \text{ V}$ w punkcie 125+758,
- $U_2 = 5,28 \text{ V}$ w punkcie 134+101,
- $U_3 = 2,4 \text{ V}$ w punkcie 135+758.

Po zainstalowaniu ograniczników osiągnięto następujące parametry:

Prąd płynący w obwodzie: $I = 5,75 \text{ A}$

- w punkcie 125+875 rezystancja uziomu 1,19 Ω, $U_1 = 6,87 \text{ V}$ do ziemi dalekiej,
- w punkcie 134+100 rezystancja uziomu 1,30 Ω, $U_2 = 3,45 \text{ V}$ do ziemi dalekiej,
- w punkcie 135+758 rezystancja uziomu 2,82 Ω, $U_3 = 5,70 \text{ V}$ do ziemi dalekiej.

Aby zapewnić pełną ochronę przed korozją prądu przemiennoprądową na odcinkach od km 125+875 do 126+988 oraz od 134+101 do km 135+758 należało na gazociągu wykonać powłokę bezdefektową.

3. Podsumowanie

Jak przedstawiono powyżej, zapewnienie rurociągów w bardzo dobrej jakości powłokach izolacyjnych skutecznej ochrony przed korozją spowodowaną prądem przemiennym wymaga szczegółowej analizy każdego z zagrożonych odcinków oraz zastosowania różnych metod i środków w celu osiągnięcia pozytywnego rezultatu.

Literatura

- [1] Machczyński W., *Oddziaływania elektromagnetyczne na obwody ziemnopowrotne – rurociągi podziemne*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 1998.
- [2] Sokółski W., Machczyński W., Rozwadowski J., *Oddziaływanie indukcyjne linii elektroenergetycznych wysokiego napięcia na gazociągi – Część II*, Ochrona przed korozją 2006, nr 8.

- [3] Machczyński W., *Wyznaczanie parametrów jednostkowych R, L, G podziemnych rurociągów*, IX Krajowa Konferencja Pomiary Korozyjne w Ochronie Elektrochemicznej, Zakopane 2006.
- [4] Baeckmann W., Schwenk W., *Katodowa ochrona metali*,
- [5] ST-IGG-0602:2013 – Ochrona przed korozją zewnętrzną stalowych gazociągów lądowych. Ochrona katodowa. Projektowanie, budowa i użytkowanie.

