



**OGRANICZENIE ODDZIAŁYWANIA PRĄDU PRZEMIENNEGO
NA GAZOCIĄG UŁOŻONY RÓWNOLEGLE DO LINII
WYSOKIEGO NAPIĘCIA 400 KV I 220 KV**

**MITIGATION OF ALTERNATING CURRENT INTERFERENCE
ON GAS PIPELINE PARALLEL TO 400 KV AND 220 KV
OVERHEAD LINES**

Jerzy Sibila, Tomasz Jaroszewicz, Jerzy Mossakowski, Maciej Malicki

P.Z.A. CORRSTOP Sp. z o.o., ul. Kamienna 87, 62-023 Kamionki k/Poznań
info@corrstop.pl

Słowa kluczowe: ochrona katodowa, prąd przemienny, korozja, odgranicznik prądu stałego
Keywords: cathodic protection, alternating current, corrosion, decoupling device

Streszczenie

W pracy opisano system do ograniczenia indukowanego w rurociągu napięcia przemiennego na przykładzie gazociągu ułożonego na odcinku 14 km równoległe do dwóch linii wysokiego napięcia: 400 kV i 220 kV. Przedstawiono rozkłady napięć przemiennych zarejestrowanych w punktach pomiarowych rozmieszczonych wzdłuż gazociągu przed i po zainstalowaniu czternastu odgraniczników prądu stałego. Przeanalizowano zasięg działania pojedynczego odgranicznika prądu stałego oraz podano przebieg natężenia wyindukowanego prądu przemiennego w ścianie rurociągu. Zwrócono uwagę na konieczność przeprowadzania pomiarów napięcia a.c. względem ziemi odległej.

Summary

This paper describes a pipeline induced A.C. voltage reduction system, based on the case of a gas pipeline with a 14 km section parallel to two power lines: 400 kV and 220 kV. Paper presents the distribution of A.C. voltages recorded at the test points along the gas pipeline, before and after the installation of fourteen solid state decouplers. The effectiveness range of single solid state decoupler is analyzed and waveforms of induced alternating current in the gas pipeline wall are presented. The need for A.C. voltage measurement with reference to remote earth is highlighted.

1. Wstęp

Wiadomo, że oddziaływanie linii przesyłowych wysokiego napięcia prądu przemiennego na podziemne metalowe rurociągi powoduje powstawanie w nich napięć, które mogą grozić porażeniem personelu prowadzącego ich eksploatację. Natomiast jeszcze do niedawna uznawano, że prąd przemienny nie stanowi realnego zagrożenia korozyjnego dla podziemnych konstrukcji stalowych. Wyniki prowadzonych przez kilkadziesiąt lat badań sprowadzały się do wniosków, że korozja wywołana prądem przemiennym powoduje zaledwie 1% ubytków powodowanych przez prąd stały o równoważnym natężeniu.

Na wartość napięcia indukowanego w rurociągu w czasie normalnej pracy linii elektroenergetycznej ma wpływ wiele czynników, głównie: natężenie i napięcie prądu przemiennego w linii wysokiego napięcia, odległość linii od rurociągu, rodzaj i stan powłoki izolacyjnej rurociągu oraz rezystywność gruntu.

Rosnące ceny ziemi oraz wymagania dotyczące ochrony środowiska i zagospodarowania terenu wymusiły równoległy, coraz bliższy przebieg napowietrznych linii elektroenergetycznych oraz rurociągów i autostrad zlokalizowanych w wąskich korytarzach. Ponadto nakładanie na rurociągi powłok izolacyjnych o coraz wyższych rezystywnościach, spowodowało wzrost wartości indukowanych napięć przemiennych. Praktyka wykazała, że prądy przemiennne o dużej gęstości, wpływające z defektów w powłoce izolacyjnej stalowego rurociągu, mogą spowodować jego przyspieszoną korozję [1, 2].

2. Opis dotychczasowego systemu redukcji napięć przemiennych i przeprowadzonej modernizacji

Gazociąg o długości około 46 km i średnicy 250 mm zbudowano w 1997 r. Na odcinku ok. 14 km jego trasa przebiega równoległe do napowietrznych linii wysokiego napięcia 400 kV i 220 kV. Średnia odległość gazociągu od osi linii 400 kV wynosi 50 m, a od 220 kV – 120 m. Pod koniec odcinka zbliżenia do tych dwóch linii WN gazociąg krzyżuje się dodatkowo z liniami średniego i wysokiego napięcia. Rezystywność gruntu wzdłuż trasy gazociągu zawiera się w przedziale od 15 Ωm aż do 10.300 Ωm .

Średnia jednostkowa rezystancja powłoki odcinków gazociągu wynosi: $1,7 \times 10^4 \Omega\text{m}^2$ i $6,5 \times 10^4 \Omega\text{m}^2$, a średnia gęstość prądu ochrony katodowej 23 $\mu\text{A}/\text{m}^2$, co świadczy o występowaniu uszkodzeń w polietylenowej powłoce gazociągu.

Gazociąg jest ciągły elektrycznie, chociaż w połowie długości odcinka zbliżonego do linii WN jest na nim zainstalowany monoblok, który w czasie normalnej eksploatacji jest zbocznikowany kablem. Ochrona katodowa gazociągu jest zrealizowana za pomocą jednej SOK zainstalowanej na 32 km rurociągu, w pobliżu początku odcinka zbliżenia do linii napowietrznych WN. Prąd ochronny z SOK wynosi 0,85 A przy napięciu wyjściowym 6 V. Wzdłuż gazociągu są rozmieszczone stacje/punkty kontrolno-pomiarowe, ale brak punktów prądowych.

Ponieważ na gazociągu zaobserwowano występowanie wyindukowanych napięć przemiennych o chwilowych wartościach przekraczających 60 V, zainstalowano na nim w latach 2002-2004 system ograniczający te napięcia, składający się z dziesięciu monolitycznych odgraniczników prądu stałego wraz z uziemieniami. Po dwóch latach system ten został ulepszony przez przebudowę punktów pomiarowych i uziemień oraz zastosowanie nowych, niskonapięciowych monolitycznych odgraniczników prądu stałego. System ten początkowo

spełniał swoje zadanie, ale wraz ze wzrostem prądów obciążenia linii elektroenergetycznych, wzbudzone w gazociągu napięcia przemienne znów przekraczały lokalnie 15 V. Zaistniała zatem konieczność jego kolejnej modernizacji.

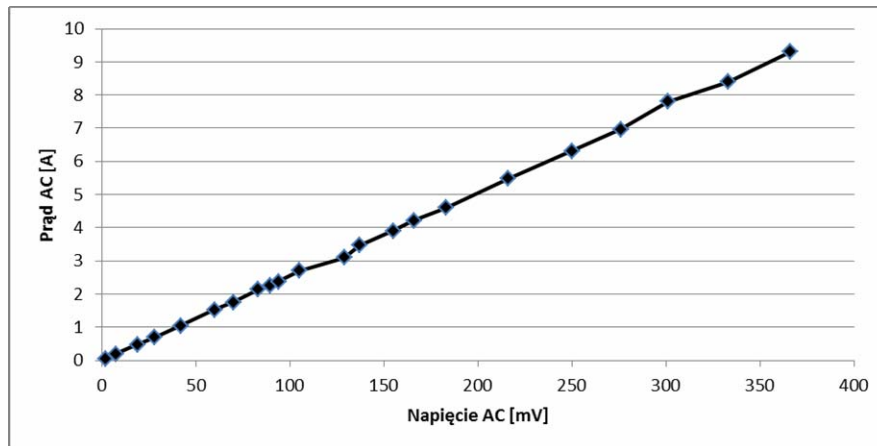
W ramach modernizacji wymieniono wiosną 2012 roku dotychczasowe dziesięć monolitycznych ograniczników prądu na urządzenia innego producenta, dodano cztery nowe uzziemienia wraz z ogranicznikami prądu stałego (OPS) i rozbudowano już istniejące w celu obniżenia ich rezystancji. Ponadto zainstalowano elektrody symulujące o powierzchni 1 cm² i czujniki korozymetryczne.

3. Charakterystyka zastosowanych urządzeń ograniczających prąd stały

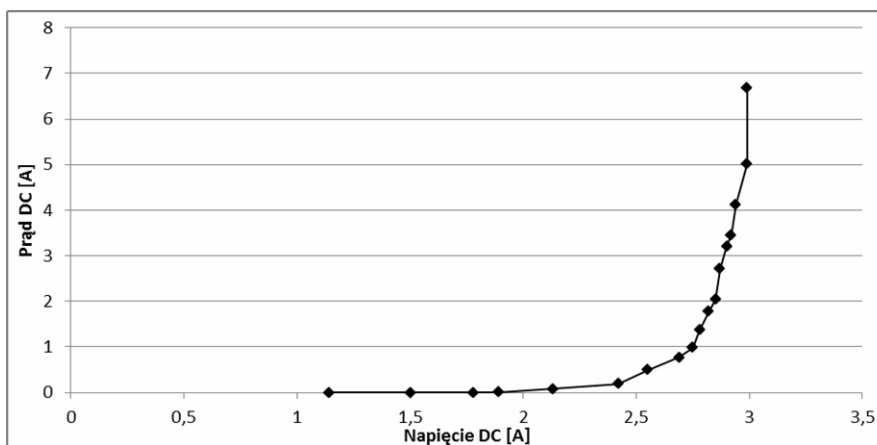
Zastosowane urządzenia ograniczające prąd stały od przemiennego (OPS), charakteryzują się dla napięć przemiennych bardzo małą impedancją wewnętrzną, do 30 mΩ. OPS wykazuje taką impedancję już dla napięć rzędu mV, co przedstawia rys. 1. Natomiast dla napięć stałych impedancja zmienia się skokowo, w zależności od przyłożonego napięcia (rys. 2). Dla napięć stałych o wartości poniżej 2 V rezystancja wewnętrzna ogranicznika prądu stałego jest rzędu MΩ, natomiast powyżej 3 V wynosi zaledwie kilka mΩ.

Tab. 1. Parametry zastosowanych Ograniczników Prądu Stałego (OPS)

Parametr	Wartość
Natężenie prądu przemiennego odprowadzanego ciągle, podczas normalnej pracy linii WN z rurociągu do ziemi poprzez uzziemienie	do 45A
Prąd przemienny udarowy	1,2 kA do 30 cykli 1,4 kA przez 10 cykli 1,6 kA przez 3 cykle 2,1 kA przez 1 cykl
Prąd piorunowy	75 kA (postać falowa 4x10)
Blokowanie prądu stałego	-2 V/+2 V
Temperatura otoczenia	-45°C do 65°C
Montaż	Odgranicznik ma bardzo szczelną obudowę, odporną na wpływy atmosferyczne, może pracować na powietrzu bez obudowy, a nawet stale zanurzony w wodzie do głębokości 2m.
Przewody łączące	Zaleca się stosowanie przewodów o przekroju nie mniejszym niż 16 mm ² , możliwie najkrótszych.



Rys. 1. Charakterystyka prądowo-napięciowa zastosowanego ogranicznika prądu stałego dla napięć przemiennych



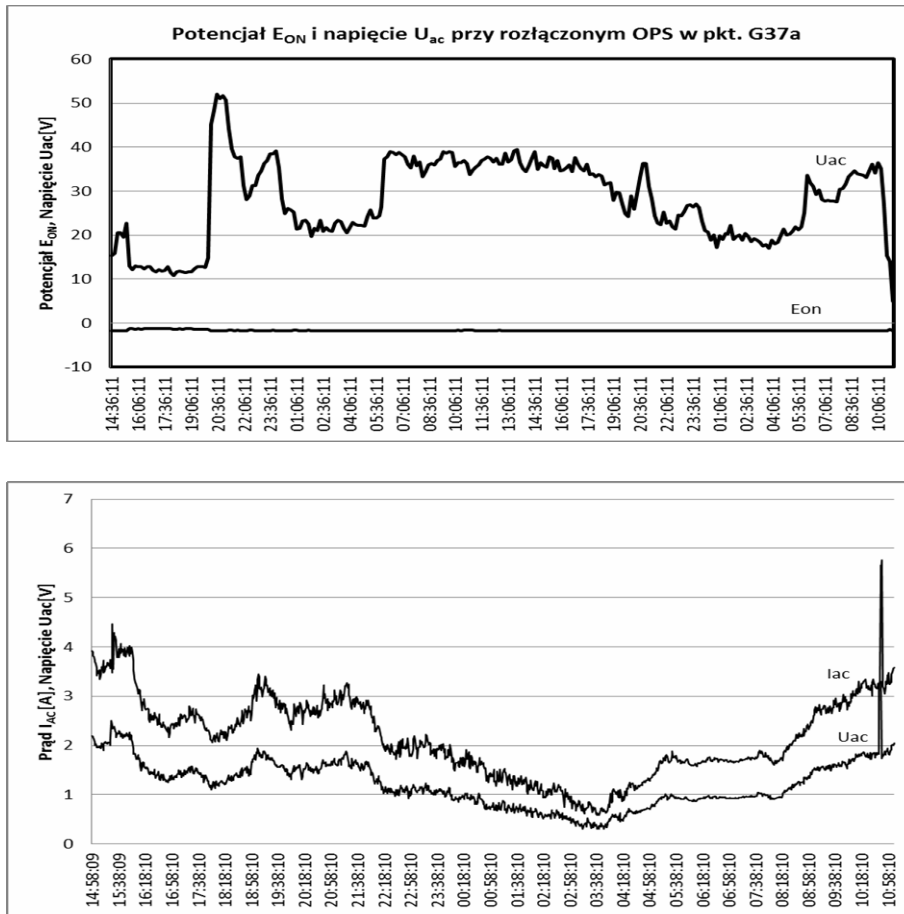
Rys. 2. Charakterystyka prądowo-napięciowa zastosowanego OPS dla napięcia stałego

4. Wpływ linii wysokiego napięcia na gazociąg oraz ocena skuteczności działania zastosowanego układu ograniczającego napięcia przemiennie

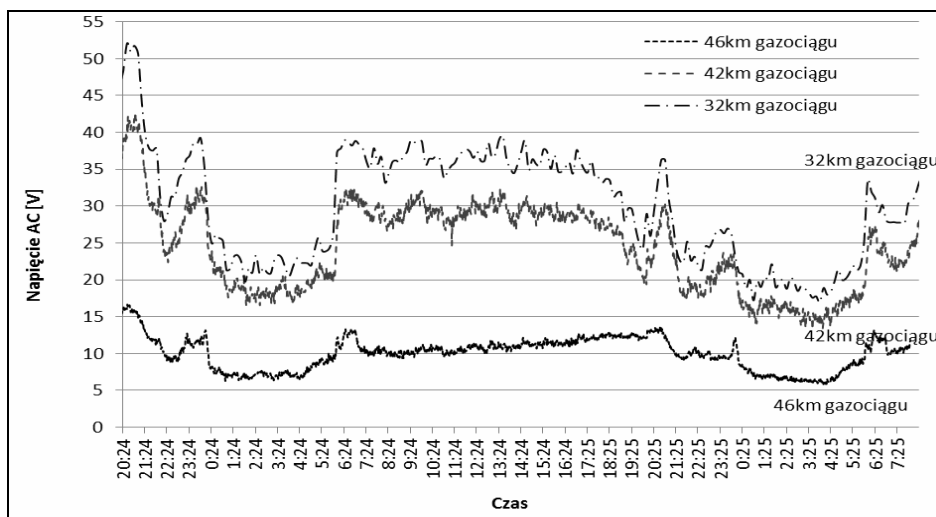
W oparciu o dane dotyczące linii elektroenergetycznej oraz parametry elektryczne rurociągu i znajomość rezystywności gruntu wzdłuż jego trasy, możliwe jest przeprowadzenie obliczeń symulujących oddziaływanie indukcyjne linii WN na gazociąg i określenie rozkładu wyindukowanych w nim napięć. W tym celu stosuje się różne algorytmy, np. podane w broszurze technicznej CIGRE [3]. Komputerową symulację oddziaływania pola indukcyjnego na gazociąg przedstawiono też w [4]. Postępowanie takie jest w zasadzie jedynym możliwym, gdy w pobliżu gazociągu dopiero projektuje się linię WN i jeszcze nie można wykonać pomiarów terenowych.

Natomiast dla istniejących obwodów ziemnopowrotnych, w skład których wchodzi metalowe konstrukcje podziemne i linie WN, właściwsze jest przeprowadzenie w terenie pomiarów wartości wyindukowanych napięć i prądów z zastosowaniem mierników rejestrujących te wielkości w dłuższym, co najmniej dobowym okresie, zarówno dla już działającego układu ograniczającego te napięcia jak i bez niego. Pomiary napięcia przemiennego w rurociągu winny być wykonywane względem tzw. ziemi odległej. Ważna jest też częstotliwość próbkowania, która winna wynosić minimum 0,002 Hz.

Na rysunku 3 przedstawiono przykładowe przebiegi napięcia przemiennego i potencjału Eon przy rozłączonym OPS oraz Uac i Iac przy załączonym OPS, zarejestrowane w punkcie G37a. Rysunek 4 przedstawia zarejestrowane w ciągu 35 godzin przebiegi napięć przemiennych w trzech wybranych punktach pomiarowych, przy odłączeniu wszystkich odgraniczników prądu stałego. Jak widać napięcia te znacznie przekraczają wartości dopuszczalne w Specyfikacji Technicznej PKN-CEN/TS 15280 z lutego 2008 roku [5] i w projekcie normy EN 15280 [6].



Rys. 3. Rejestracja potencjału oraz napięcia i prądu przemiennego w pkt. G37a.
 Rezystancja uziemienia $R = 1,4 \Omega$, rezystywność gruntu $\rho = 28 \Omega\text{m}$



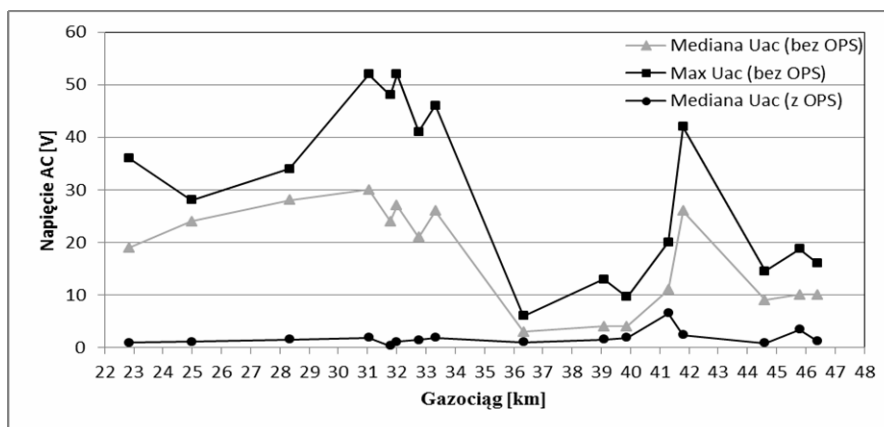
Rys. 4. Zmiany w czasie napięć przemiennych wyindukowanych w gazociągu przy odłączonych urządzeniach OPS, zarejestrowane w trzech punktach

Z zamieszczonych przebiegów napięć przemiennych wyraźnie widać ich dużą zmienność spowodowaną głównie zmianami obciążenia linii WN, a także to, że wyindukowane napięcie może przez kilkadziesiąt minut przekraczać 50 V, co stanowi niebezpieczeństwo porażenia personelu wykonującego na gazociągu w tym czasie i w tym miejscu prace remontowe lub np. pomiary związane z ochroną katodową. Znaczne wartości zmierzonego napięcia przemiennego w gazociągu, o zsynchronizowanych przebiegach dla wszystkich punktów, odzwierciedlają szczytowe obciążenie linii WN od godziny szóstej rano do dziewiątej wieczorem.

Autorzy tego referatu sądzą, że dobowe rejestracje napięć przemiennych indukowanych w gazociągu, biorąc pod uwagę zmienność prądów obciążenia linii WN a także trudności w otrzymaniu informacji o tych obciążeniach od operatorów linii WN, są zbyt krótkie. Z kolei przeprowadzanie dłuższych rejestracji jest utrudnione przez zdarzające się w terenie akty kradzieży np. przenośnej elektrody Cu/CuSO₄ umieszczonej w ziemi odległej lub nawet rejestratora.

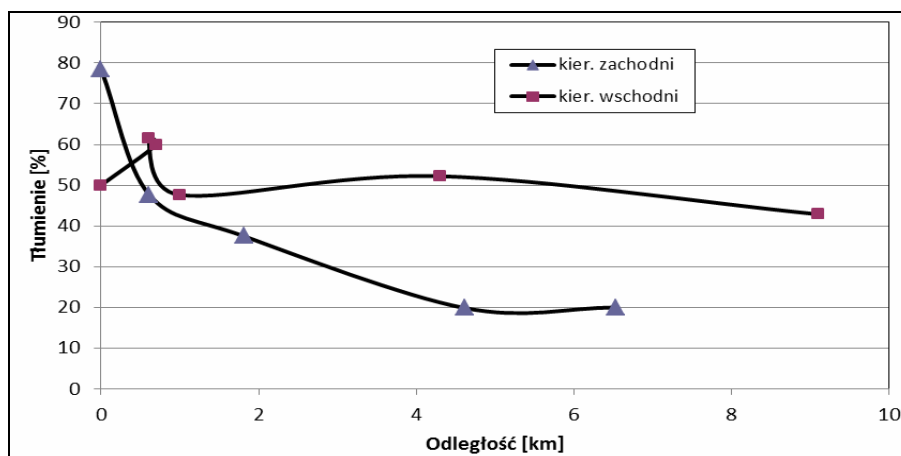
Na rys. 5 zamieszczono rozkład napięcia przemiennego wzdłuż trasy gazociągu przed i po zainstalowaniu czternastu odgraniczników prądu stałego: jego wartości maksymalne i mediany. Widać, że wskutek działania systemu obniżania napięcia przemiennego w gazociągu, jego mediana nie przekracza w żadnym punkcie pomiarowym 7 V. Z analizy zamieszczonych rozkładów napięć wynika, iż różny jest stopień zmniejszenia wartości wyindukowanego napięcia dla poszczególnych punktów. To tłumienie napięcia przemiennego nie jest też stałe w czasie, a zależy głównie od: natężenia prądu przemiennego odprowadzanego do ziemi poprzez OPS i uziemienie. Oczywiście im większe wyindukowane napięcie, a mniejsza rezystancja uziemienia, tym większy ten prąd. Na natężenie odprowadzanego w danym punkcie prądu wpływają także prądy przemiennie płynące do ziemi przez pobliskie urządzenia OPS.

Jak widać na rysunku 5, zainstalowanie większej ilości urządzeń OPS rozmieszczonych wzdłuż gazociągu w odpowiednich miejscach i odległościach, pozwoliło na zredukowanie indukowanych w nim napięć do dopuszczalnych wartości [5, 6].



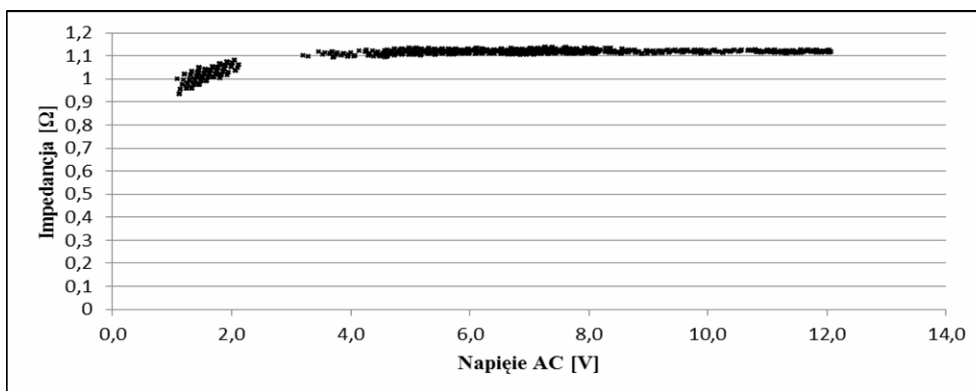
Rys. 5. Rozkład napięć przemiennych zmierzonych wzdłuż gazociągu przy załączonych oraz rozłączonych odgarnicznikach prądu stałego

Zbadano również wpływ pojedynczych urządzeń OPS na pozostałe punkty pomiarowe. Zasięg wyraźnego oddziaływania pojedynczego urządzenia odgarniczającego na napięcie w pozostałych punktach pomiarowych pokazano na rys.6. Stwierdzono oddziaływanie pojedynczego urządzenia OPS na odcinku od kilku do kilkunastu kilometrów. Na zasięg oddziaływania wpływa głównie natężenie odprowadzanego prądu oraz rezystywność gruntu wzdłuż trasy gazociągu.



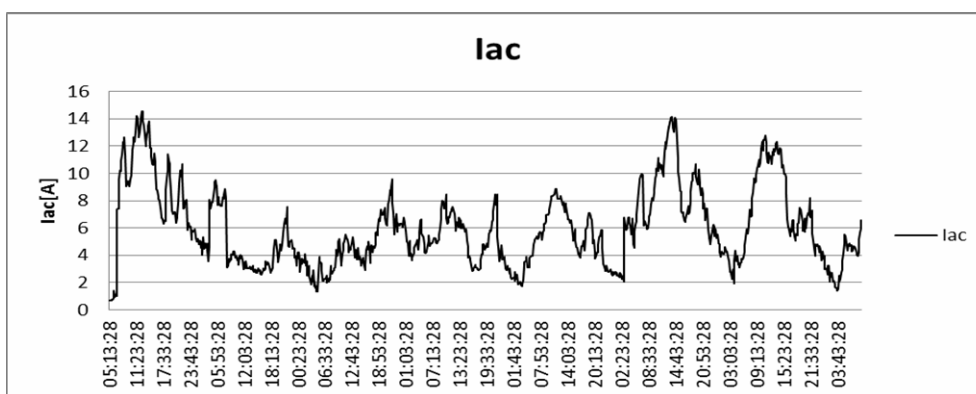
Rys. 6. Tłumienie napięcia przemiennego w odległych punktach

Analizując wyniki przeprowadzonych pomiarów, zauważono dość dziwny spadek wartości impedancji obwodu odgarniczającego prąd stały dla małych wartości napięć przemiennych, co przedstawia rys. 7. Elementem tego obwodu jest urządzenie OPS, które odprowadza z rurociągu prąd przemienny, ale blokuje przepływ prądu stałego do 2,0 V. Wyniki te są powtarzalne dla wszystkich obwodów z doziemieniami gazociągu.



Rys. 7. Zależność impedancji obwodu ograniczającego napięcie przemiennie w funkcji napięcia na gazociągu

Na ok. 39,5 km trasy gazociągu, w połowie odcinka jego równoległego ułożenia do linii WN jest zainstalowany monoblok. W czasie normalnej eksploatacji jest on zwarty bocznikiem kablem, co ma zapewnić ciągłość elektryczną gazociągu po to, by mógł on być zabezpieczony katodowo za pomocą jednej stacji SOK. To połączenie bocznikujące monoblok wykorzystano do zarejestrowania przebiegu wyindukowanego w tym miejscu prądu przemiennego. Przebieg tego prądu przedstawiono na rys. 8.



Rys. 8. Natężenie prądu przemiennego w gazociągu w dniach 18-25.05.2012 roku

Jak widać w tym miejscu prądy przemiennie płynące w ścianie gazociągu zmieniają się od 1,5 A do ponad 14 A, jednak brak jakiejś wyraźnej prawidłowości, np. skorelowania maksymalnych wartości prądu z dniami tygodnia. W pierwszym tygodniu pomiarów maksymalne natężenia prądu zarejestrowano w południe, w piątek 18 maja, natomiast w drugim tygodniu w środę, też w godzinach południowych. Niestety, akurat w środę pierwszego tygodnia pomiarów była przeprowadzana konserwacja linii WN.

Na podstawie otrzymanych wyników pomiarów można stwierdzić, że wykonana modernizacja skutecznie obniżyła indukowane w gazociągu napięcia do wartości poniżej 10 V.

Gęstości prądów zmierzone na elektrodach symulujących defekt o powierzchni 1 cm^2 są również poniżej 20 A/m^2 , za wyjątkiem jednego punktu – G37a, w którym gęstość prądu wynosi aż 300 A/m^2 , przy napięciu przemiennym $2,77 \text{ V}$. Zachodzi pytanie, jak przy tak wysokiej gęstości prądu przemiennego nie doszło do korozji prowadzącej do perforacji ścianki gazociągu? Wyjaśnieniem wydaje się być to, że pomiar przeprowadzono na sztucznym defekcie, jaki stanowi elektroda symulująca, natomiast faktycznie na gazociągu nie ma defektu powłoki w tym miejscu.

Ten problem wymaga zbadania, między innymi poprzez pomiary korozymetryczne szybkości korozji, przeprowadzenie symultanicznych pomiarów DCVG +CIPS określających stan powłoki izolacyjnej i skuteczność ochrony katodowej gazociągu w jej defektach, a także ewentualne odkrycie gazociągu w celu jego wizualnej inspekcji i wykonanie pomiaru grubości ścianki rury. Z przeprowadzeniem kolejnych pomiarów należy poczekać do ustabilizowania się warunków glebowych przy elektrodach symulujących i czujnikach korozymetrycznych oraz do wytworzenia na ich powierzchniach osadów katodowych.

5. Podsumowanie

Przeprowadzona modernizacja systemu ograniczającego napięcia przemiennie na gazociągu spełniła swoje zadanie. Wyjaśnienia wymaga jednak bardzo duża gęstość prądu zmierzona na elektrodzie symulującej defekt w powłoce gazociągu w punkcie G37a.

Pomiary indukowanego w gazociągu napięcia przemiennego winny być przeprowadzane w stosunku do elektrody odniesienia umieszczonej w ziemi odległej. Pomiary względem elektrody umieszczonej bezpośrednio nad gazociągiem różnią się od nich znacznie, niekiedy aż o 60%, zwłaszcza w punktach, w których wykonano uziemienia.

Okresy rejestracji napięć, prądów przemiennych i ich gęstości powinny być jak najdłuższe, co najmniej dobowe.

W pracach związanych z oceną prawdopodobieństwa wystąpienia korozji powodowanej prądem przemiennym na tym gazociągu, zaobserwowano sporo niejednoznaczności, utrudniających interpretację i ocenę otrzymanych wyników. I tak np. mało powtarzalne są rejestrogramy indukowanych napięć. Nawet wyniki pomiarów rezystywności gruntu różnią się o kilkadziesiąt procent w zależności od tego czy mierzymy tę rezystywność metodą Wennera, czy na pobranej próbce w pudełku pomiarowym, czy też obliczamy na podstawie zmierzonej rezystancji rozprywu i znajomości wymiarów elektrody symulującej defekt w powłoce rurociągu.

Literatura

- [1] AC Corrosion State-of-the-Art: Corrosion Rate, Mechanism, and Mitigation Requirements, NACE Technical Report, Item No. 24242, January 2010.
- [2] Fiedorowicz M., Jagiełło M.: *Korozja prądu przemiennego a ochrona katodowa podziemnych rurociągów*, „Ochrona przed Korozją” 2007, nr 8.
- [3] CIGRE Technical Brochure No. 95: Guide on the Influence of High Voltage a.c. Power System on Metallic Pipelines.
- [4] Machczyński W., Sokólski W.: *Oddziaływanie indukcyjne linii elektroenergetycznych wysokiego napięcia na gazociągi – część I*, „Ochrona przed Korozją” 2005, nr 8.

- [5] Specyfikacja Techniczna PKN-CEN/TS 15280: Ocena prawdopodobieństwa wystąpienia korozji zakopanych rurociągów wywołanej prądem przemiennym. Zastosowanie do rurociągów chronionych katodowo. Luty 2008.
- [6] Projekt Normy pr EN 15280: Evaluation of a.c. corrosion likelihood of buried pipelines applicable to cathodically protected pipelines. Draft, November 2011.