



ODDZIAŁYWANIE INDUKCYJNE LINII ELEKTROENERGETYCZNYCH WYSOKIEGO NAPIĘCIA NA GAZOCIĄGI – CZĘŚĆ II

INDUCTIVE INTERACTION OF HIGH VOLTAGE POWER LINES ON GAS PIPELINES – PART II

Wojciech Sokółski^{*)}, Wojciech Machczyński^{**)}, Jacek Rozwadowski^{*)}

^{*)} SPZP CORRPOL Gdańsk

^{**)} Politechnika Poznańska

Słowa kluczowe: ochrona katodowa, oddziaływanie linii wysokiego napięcia, korozja
wywołana przez prąd przemienny

Keywords: cathodic protection, influence of high voltage power lines, AC corrosion

Streszczenie

Stalowe rurociągi podziemne narażone są na szkodliwe oddziaływania pola magnetycznego i/lub elektrycznego pochodzącego od linii i urządzeń elektroenergetycznych wysokiego napięcia. Celem pracy jest zaprezentowanie na wybranym przykładzie rzeczywistym problematyki związanej z oddziaływaniem pola magnetycznego linii elektroenergetycznych na rurociągi podziemne. Część pierwsza (praca opublikowana) uwzględniała przede wszystkim zagrożenia porażeniowe powodowane tymi oddziaływaniami oraz ocenę potrzeby ograniczania skutków tego zjawiska. W części drugiej omówiono zagadnienia zagrożeń korozyjnych rurociągu wywoływanych prądem przemiennym oraz opisano trudności z jego eliminowaniem.

Summary

Steel underground pipelines are exposed to harmful interaction of the magnetic and/or electric fields from high voltage power lines and equipment. The aim of this work is presentation on a chosen example of real problems connected with interaction of the magnetic field of power lines with underground pipelines. The first part (published work) took into account mainly electric shock hazards caused by these interactions and assessment of the need to limit the effects of this phenomenon. In the second part problems have been described connected with the corrosion hazard to the pipeline caused by alternate currents, as well as difficulties with its elimination.

Wprowadzenie

Stalowe rurociągi podziemne narażone są na szkodliwe oddziaływania pola magnetycznego i/lub elektrycznego pochodzącego od linii i urządzeń elektroenergetycznych wskutek występowania sprzężeń typu indukcyjnego oraz konduktancyjnego. Stopień intensywności oddziaływań zależy od wielu parametrów układu źródło pola - rurociąg podziemny. Skutki oddziaływań wiążą się z zagrożeniem porażeniowym personelu obsługującego obiekt, możliwością uszkodzeń samego rurociągu i urządzeń elektrycznych podłączonych do rurociągu oraz korozją stalowej ścianki rury wywołaną przez prąd przemienny.

W wielu przypadkach praktycznych oraz na etapie projektowania tras rurociągów przydatnym narzędziem dla określania intensywności oddziaływań jest komputerowa symulacja. Znajomość mechanizmów sprzężeń, zastępczych parametrów elektrycznych rurociągów podziemnych oraz modeli obliczeniowych jest konieczna dla umiejętnego posługiwania się tym narzędziem. Rurociągi podziemne należą do klasy obwodów ziemnopowrotnych, tj. obwodów elektrycznych zawierających ziemię, w których prąd przepływa zarówno w przewodach elektrycznych, jak i w samej ziemi. Zagadnienia te są przedmiotem licznych publikacji, między innymi [1-5].

Konieczność oszczędnej gospodarki terenami, zwłaszcza w rejonach zindustrializowanych, sprawia, że tworzy się tzw. „korytarze energetyczne”, w których grupuje się napowietrzne linie elektroenergetyczne wysokiego napięcia, urządzenia trakcji elektrycznej, kable energetyczne i teletechniczne oraz magistralne rurociągi wody, gazu i paliw płynnych. Długość takich korytarzy może dochodzić do kilkuset kilometrów. Zbliżenie tras obwodów ziemnopowrotnych do źródeł pola elektromagnetycznego stwarza zagrożenia wynikające z oddziaływań natury elektrycznej i magnetycznej.

Celem prezentowanej pracy jest przedstawienie na wybranym przykładzie rzeczywistym problematyki związanej z oddziaływaniem pola magnetycznego linii elektroenergetycznych na rurociągi podziemne. Zagadnienia teoretyczne oraz problematyka zagrożenia porażeniowego, powodowanego oddziaływaniami linii elektroenergetycznej wysokiego napięcia na wytypowany odcinek gazociągu, była przedmiotem części pierwszej pracy [6]. Określone zostało przewidywane zagrożenie porażeniowe w stanach normalnego trybu pracy linii oraz w stanach awaryjnych (podczas zwarć doziemnych) na podstawie symulacji komputerowych z wykorzystaniem wiarygodnych danych opisujących zarówno analizowany rurociąg i środowisko, w którym się znajduje, a także robocze i obliczone parametry elektryczne linii elektroenergetycznej wysokiego napięcia. Stwierdzono w drodze obliczeń, że dla stanów awaryjnych zagrożenia porażeniowego konieczne jest zastosowanie środków zabezpieczających, które muszą być jednocześnie tak dobrane, aby możliwa była normalna praca systemów ochrony katodowej gazociągu. Także podczas normalnej pracy linii elektroenergetycznej indukowane były napięcia dochodzące do ok. 65 V, niegroźne z punktu widzenia zagrożenia porażeniowego, ale mogące być nieprzyjemne dla obsługi gazociągu (głównie ekip pomiarowych instalacji ochrony katodowej). W wyniku wdrożenia wniosków z tej pracy zastosowano odpowiednie środki zaradcze w postaci uziemienia gazociągu z zastosowaniem odgraniczników prądu stałego i obniżono występujące na omawianym odcinku gazociągu napięcia do wartości niższych, rzędu kilku Voltów.

Zwiększenie obciążenia linii elektroenergetycznej i związane z tym ponowne podwyższenie wielkości indukowanych napięć na gazociągu, a także wykonane w ostatnim czasie pomiary jakości izolacji na gazociągu, stanowiły podstawę do wykonania kolejnych badań i analiz, których celem tym razem było dalsze zwiększenie bezpieczeństwa gazociągu poprzez wyeliminowanie możliwości przebiegu korozji powodowanej przez prąd przemienny. Temu zagadnieniu poświęcona jest niniejsza – II część opracowania.

Kryteria ochrony przed korozją wywołaną przez prąd przemienny

Na etapie projektowania gazociągów w rejonach możliwego oddziaływania napowietrznych linii elektroenergetycznych wysokiego napięcia w pierwszym rzędzie bierze się pod uwagę bezpieczeństwo obsługi obiektów i analizuje się sytuację niemal wyłącznie pod tym względem. Przy stosunkowo niskiej rezystancji przejścia do ziemi gazociągów, wtedy gdy stosowane były klasyczne techniki ich izolacji za pomocą powłok bitumicznych, jedynym zagrożeniem było niebezpieczeństwo porażenia obsługi rurociągu w stanach awaryjnych pracy linii wysokiego napięcia, tj. w przypadku zwarć doziemnych. Ochroną przed takim zagrożeniem było połączenie gazociągu z uziemieniami za pomocą iskierników lub innego rodzaju ograniczników napięć, zazwyczaj o wyższym progu zadziałania niż około 250 V.

W ostatnich latach, dla rurociągów z wysokiej jakości powłokami izolacyjnymi stosuje się ze względów bezpieczeństwa specjalne iskierniki o napięciach zadziałania 75 V, ponieważ odnotowano przypadki występowania tej wielkości napięć w normalnych warunkach pracy linii wysokiego napięcia. Zjawiska te szczególnie są widoczne w tzw. „korytarzach energetycznych”, gdzie ze względów ekologicznych układa się w bezpośrednim kontakcie ciągi rurociągów i linii energetycznych, a często także i torów kolejowych w wąskich pasmach terenu.

Korozja wywoływana prądem przemiennym znana jest od dawna, jednak nie uznawana była za groźne zjawisko w warunkach technicznych, ponieważ udowodniono, że uszkodzenia wywołane przez prąd przemienny stanowią zaledwie kilka procent szkód jakie wywołuje prąd stały. Trudno byłoby w tym miejscu zacytować sporą ilość doniesień literaturowych, głównie w latach 1950-90, potwierdzających takie właśnie stanowisko. Jednak jak wykazała praktyka, w sytuacjach takich jak opisane wyżej, gęstości prądu przemiennego wypływające ze stalowych ścianek rurociągów przez małe powierzchnie uszkodzeń powłok izolacyjnych mogą osiągać wartości, które są krytyczne dla tego zjawiska – i mogą w końcowym rezultacie zakończyć się perforacją rurociągu.

Opracowana już w roku 1977 norma amerykańska NACE RP0177 [7] przyjmuje kryterium napięciowe 15 V (wartość napięcia pomiędzy rurociągiem i ziemią) jako wartość bezpieczną z punktu widzenia oddziaływania linii wysokiego napięcia. Obecnie norma ta jest modyfikowana i poświęca się w niej więcej uwagi na problematykę korozji, ale powyższe kryterium napięciowe zostało utrzymane. W nowej głównej normie europejskiej dotyczącej ochrony katodowej PN-EN 12954 [8] nie ustalone zostało żadne wymaganie związane z oddziaływaniem linii wysokiego napięcia, ale na zjawiska te zwrócono uwagę podając kryterium prądowe 30 A/m² jako wskaźnik możliwości wystąpienia korozji wywołanej przez prąd przemienny. Pomiar tego prądu odbywa się w obwodzie pomiędzy rurociągiem a stalową elektrodą symulującą o powierzchni 1 cm² zakopaną przy rurociągu.

Nasilenie zjawisk związanych z korozyjnym oddziaływaniem linii wysokiego napięcia na konstrukcje podziemne spowodował, że w chwili obecnej trwają prace nad opracowaniem nowych europejskich wytycznych technicznych CEN/TS 15280:2005 [9], których celem jest ustalenie technik oceny zagrożenia korozyjnego prądem przemiennym rurociągów posiadających sprawnie funkcjonującą ochronę katodową. Wg wytycznych głównymi czynnikami wpływającymi na zjawisko korozji wywołanego przez prąd przemienny są:

- wyindukowane napięcie prądu przemiennego,
- gęstość prądu przemiennego na odsłoniętym metalu,
- polaryzacja prądu stałego (potencjały ON i OFF),
- wielkość ubytków powłoki,
- miejscowa rezystywność gruntu,
- miejscowy skład chemiczny gruntu.

Prawdopodobieństwo korozji zależnej od napięcia przemiennego może zostać ocenione poprzez uwzględnienie różnych czynników, takich jak:

- napięcie prądu przemiennego indukujące się na konstrukcji,
- potencjał wyłączeniowy rurociągu,
- gęstość prądu przemiennego w defektach izolacji,
- potencjał załączeniowy rurociągu,
- stosunek prądów przemiennego i stałego,
- właściwości gruntu w otoczeniu rurociągu,
- stan korozyjny elektrod symulujących, na których wykonuje się badania.

Wytyczne formułują m.in. następujące kryteria oceny możliwości wystąpienia korozji wywołanej przez prąd przemienny:

- 1) Aby zredukować prawdopodobieństwo korozji na podziemnym rurociągu, napięcie prądu przemiennego rurociągu powinno być niższe niż:
 - 10 V na całej długości rurociągu,
 - 4 V, gdzie miejscowa rezystywność gruntu mierzona wzdłuż rurociągu jest niższa niż $25 \Omega \cdot m$.

Wartości te należy uważać za progowe dla znaczącego ograniczenia prawdopodobieństwa korozji wywołanej prądem przemiennym; oparte są one na wieloletnim doświadczeniu praktycznym europejskich operatorów rurociągów.

- 2) W praktyce ocena prawdopodobieństwa korozji wywołanej prądem przemiennym dokonywana jest w oparciu o kryterium prądowe, sformułowane w sposób następujący:
 - gęstość prądu niższa niż $30 A/m^2$ - brak lub niskie prawdopodobieństwo,
 - gęstość prądu pomiędzy $30 A/m^2$ i $100 A/m^2$ - średnie prawdopodobieństwo,
 - gęstość prądu wyższa niż $100 A/m^2$ - bardzo wysokie prawdopodobieństwo.

Wytyczne techniczne prCEN/TS 15280:2005 zalecają uwzględnianie możliwie dużej ilości czynników mających wpływ na prawdopodobieństwo wystąpienia korozji powodowanej przez prąd przemienny.

Komputerowa symulacja napięć na gazociągu w stanach trwałych

Badania symulacyjne rozkładu napięć na omawianym gazociągu, przebiegającym na odcinku 16 km w zbliżeniu do linii elektroenergetycznych wysokiego napięcia, wykonano podobnie jak części I pracy w Instytucie Elektrotechniki Przemysłowej Politechniki Poznańskiej. Obiektami oddziaływanymi są napowietrzne linie elektroenergetyczne prądu przemiennego o napięciach 400 kV oraz 220 kV.

Dane niezbędne do symulacji komputerowych oddziaływań linii elektroenergetycznych na gazociąg uzyskano z dokumentacji technicznej gazociągu, z pomiarów terenowych oraz z Polskich Sieci Elektroenergetycznych. Do obliczeń przyjęto średnią rezystywność gruntu na trasie gazociągu ($\rho = 126 \Omega \cdot m$). Dla uproszczenia przyjęto, że gazociąg pokryty jest w 25% długości powłoką izolacyjną lepszej jakości, w pozostałych 75% długości powłoką izolacyjną o gorszych parametrach (odpowiednio $20 k\Omega \cdot m^2$ i $3 k\Omega \cdot m^2$) – wariant 25/75. Zbliżenie równoległe linii 400 kV między osią linii i gazociągiem ok. 50 metrów. Zbliżenie równoległe linii 220 kV do gazociągu między osią linii i gazociągiem ok. 200 m.

Przyjęto do obliczeń prądy robocze określone przez Polskie Sieci Elektroenergetyczne dla: linii 400 kV - $I_{400} = 2350 A$ i dla linii 220 kV - $I_{220} = 980 A$. Chcąc rozwiązać docelowo problem zagrożenia korozją wywołaną przez prąd przemienny ustalono, że wszelkie obliczenia i symulacje należy przeprowadzić dla warunków skrajnych, tj. maksymalnego dopuszczalnego względami projektowymi obciążenia linii elektroenergetycznej oraz minimalnego uznanego w wytycznych napięcia indukowanego na gazociągu. Wg uzyskanych

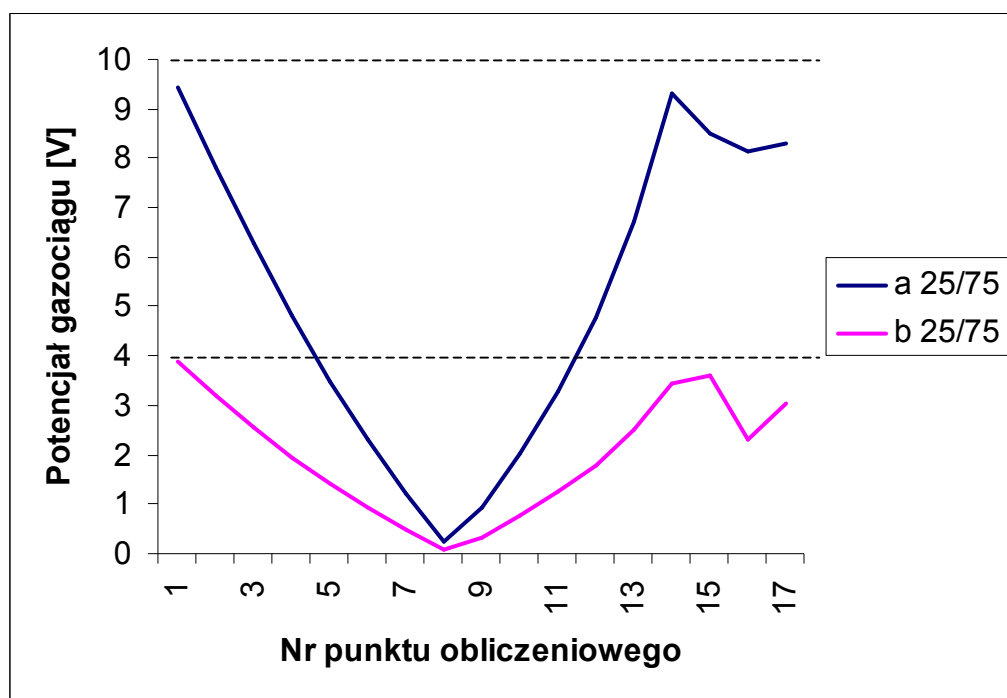
informacji, zarówno obecnie, jak i w okresie najbliższych lat, średnie obciążenie robocze stanowi około 1/4 wartości projektowanej dla linii 400kV i około 1/3 dla linii 220 kV.

Obliczenia wykonano w punktach obliczeniowych oznaczonych od 1 do 16, przy czym odległość między punktami obliczeniowymi wynosi 1 km. W przypadku długotrwałego oddziaływania indukcyjnego obu linii elektroenergetycznych zgodnie z oczekiwaniem największe wartości potencjałów występują na końcach odcinka zbliżenia gazociągu do linii, tj. w punktach obliczeniowych 1 i 14. Przeprowadzone symulacje dla wariantu 25/75 i maksymalnych dopuszczalnych prądów linii (bez uziemienia) wykazały, że indukowany potencjał na gazociągu osiągać może wartość rzędu 122 V (na początku w punkcie obliczeniowym nr 1) i 44 V na końcu (w punkcie nr 16).

Symulację komputerową przeprowadzano tak, aby na całej długości analizowanego oddziaływania linii elektroenergetycznych na gazociąg nie przekroczony były określony próg wielkości indukowanego napięcia. Dobieranym parametrem była wielkość rezystancji uziemienia gazociągu na obu jego końcach, w miejscach istniejących uziomów. Wykonano symulację dla dwóch przypadków (zgodnie z wytycznymi z [9]):

- z zamiarem uzyskania potencjału gazociągu mniejszego niż 10 V na całej długości,
- z zamiarem uzyskania potencjału gazociągu mniejszego od 4 V na całym gazociągu.

Wynik symulacji zobrazowano na rys. 1, zaś dobrane rezystancje uziomów w tab. 1.



Rys. 1. Wynik symulacji komputerowej - przebieg potencjału wzdłuż gazociągu podczas długotrwałego oddziaływania indukcyjnego obu linii elektroenergetycznych

Tabela 1. Przyjęta w symulacji komputerowej rezystancja uziomów [Ω] w poszczególnych punktach rurociągu.

Punkt [km]	Próg 10 V	Próg 4 V
1	0,15	0,06
14	0,25	0,08
15	0,5	0,25
16	-	0,5

Uzyskany wynik jest w praktyce negatywny, pomimo tego, że - jak widać z wykresu na rys. 1 - udało się uzyskać założony efekt rozkładu napięć wzdłuż rurociągu, ponieważ istnieje brak realnych szans uzyskania w warunkach rzeczywistych tak niskich rezystancji przejścia gazociągu do ziemi. Trudności są następujące:

1. silna rozbudowa układu uziemiającego, co w przypadku gruntów o średniej i większej rezystywności byłoby niezwykle kosztowne (duża ilość elektrod i zakopanej bednarki, duża powierzchnia objęta placem budowy – większe odszkodowania i podobne koszty),
2. duże obciążenie prądowe uziemienia, ograniczające jego trwałość (przepływ prądu o dużym natężeniu powoduje wydzielanie ciepła i roztwarzanie uziemień),
3. brak możliwości zapewnienia jednocześnie ochrony katodowej w sposób ekonomicznie efektywny, ponieważ stosowanie niezbędnych w takiej sytuacji odgraniczników prądu stałego z konieczności prowadzi do obwodu uziemiającego określoną – w omawianych warunkach stosunkowo dużą rezystancję,
4. konieczność zastosowania innych, jeszcze bardziej kosztownych środków, np. ekranów (gołych przewodów o dużym przekroju układanych w ziemi równolegle pomiędzy rurociągiem a osią linii napowietrznej wysokiego napięcia).

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń i symulacji komputerowych oddziaływania linii wysokiego napięcia 400 kV i 220 kV na analizowany gazociąg przy maksymalnym obciążeniu linii elektroenergetycznej można wyciągnąć następujące wnioski:

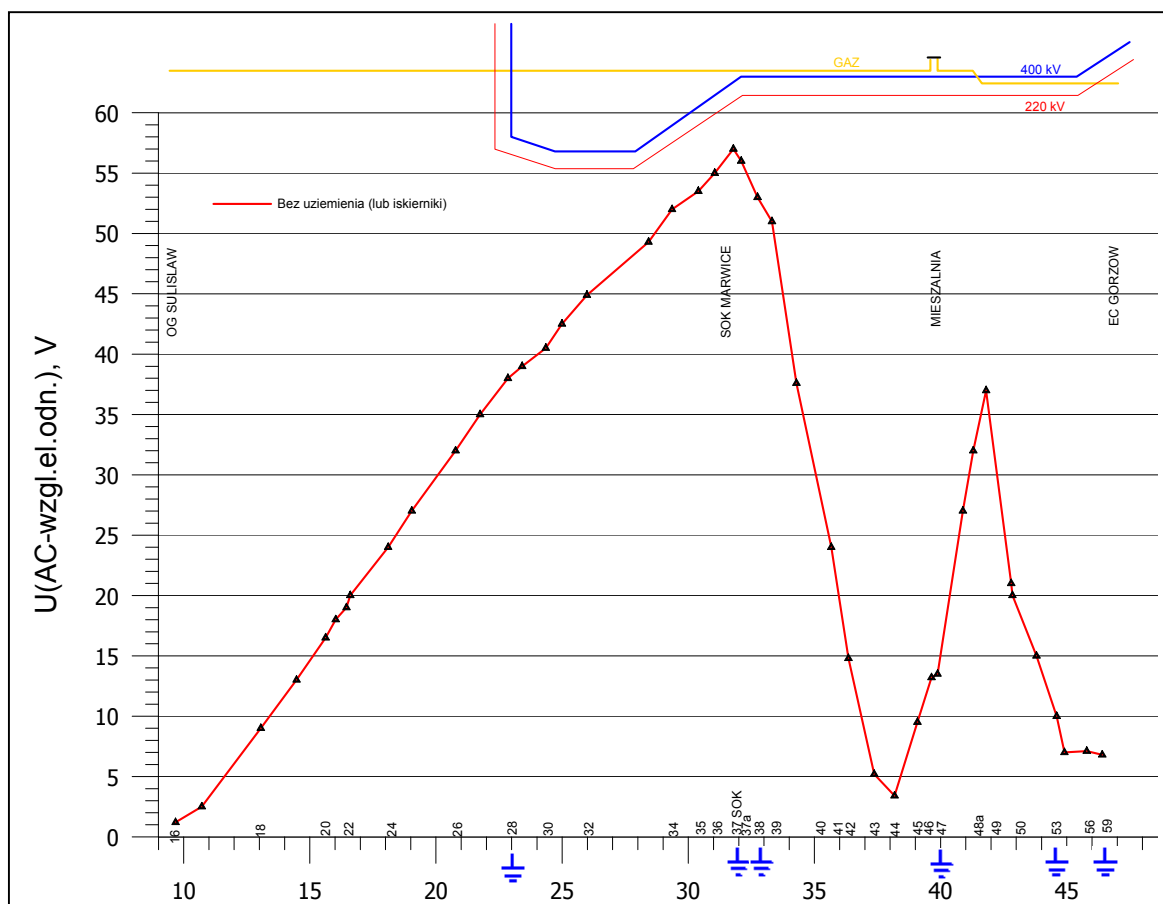
1. Wzajemne położenie obu obiektów (gazociągu i linii napowietrznej WN) jest przyczyną przepływu przez gazociąg prądów indukowanych z sieci elektroenergetycznej. Zjawiska tego nie można wyeliminować, a jedynie osłabić jego skutki. Przy nadmiernym przepływie prądu przemiennego do ziemi w miejscach uszkodzeń powłoki izolacyjnej na gazociągu skutkiem może nastąpić korozja ścianki rury, niezależnie od prawidłowo funkcjonującego systemu ochrony katodowej. Przy pełnym obciążeniu sieci (maksymalnym projektowanym) symulacja komputerowa ujawniła możliwość występowania na gazociągu napięć niebezpiecznych (122 V) podczas normalnej pracy linii (bez zastosowanych środków zabezpieczających przed taką sytuacją), co grozić może porażeniem personelu.
2. Symulacja wykazała, że przy maksymalnym projektowanym obciążeniu linii napowietrznej ograniczenie napięć na gazociągu do wartości odpowiednio 10 V i 4 V za pomocą uziemiania rurociągu jest co prawda teoretycznie możliwe, ale w praktyce technicznej niewykonalne.
3. Za jedyny sposób ograniczenia szkodliwego oddziaływania indukowanych prądów na gazociąg w obecnych warunkach eksploatacji linii napowietrznych jest jego uziemianie w sposób technicznie wykonalny, tj. poprzez rozbudowę systemu uziemień oraz zmniejszenie rezystancji odgraniczników prądu stałego.

System ochrony przed oddziaływaniem linii elektroenergetycznych wysokiego napięcia

Jak już wcześniej wspomniano, w pierwszym etapie realizacji pracy, ze względu na występowanie niebezpiecznych napięć na gazociągu, zauważone przez ekipy pomiarowe, konieczne było podjęcie działań mających na celu natychmiastowe zmniejszenie istniejącego zagrożenia dla osób kontaktujących się z gazociągiem. Rozkład indukujących się napięć na gazociągu ilustruje rys. 2.

Wykonane wówczas prace miały na celu wykorzystanie zaprojektowanych uziemień ochronnych na gazociągu, w których połączenie uziomu z metalowymi elementami gazociągu wykonane było z udziałem iskierników na napięcie 270 V, do odprowadzenia z gazociągu prądów indukowanych w czasie normalnej pracy linii elektroenergetycznej wysokiego napięcia.

W tym celu przebudowane zostały punkty kontrolno-pomiarowe, a zamiast iskierników zastosowane monolityczne ograniczniki prądu stałego (MOPS) przewodzące prąd przemienny przy napięciach wyższych od około ± 3 V.



Rys. 2. Rozkład napięcia przemiennego gazociągu bez elementów doziemniających

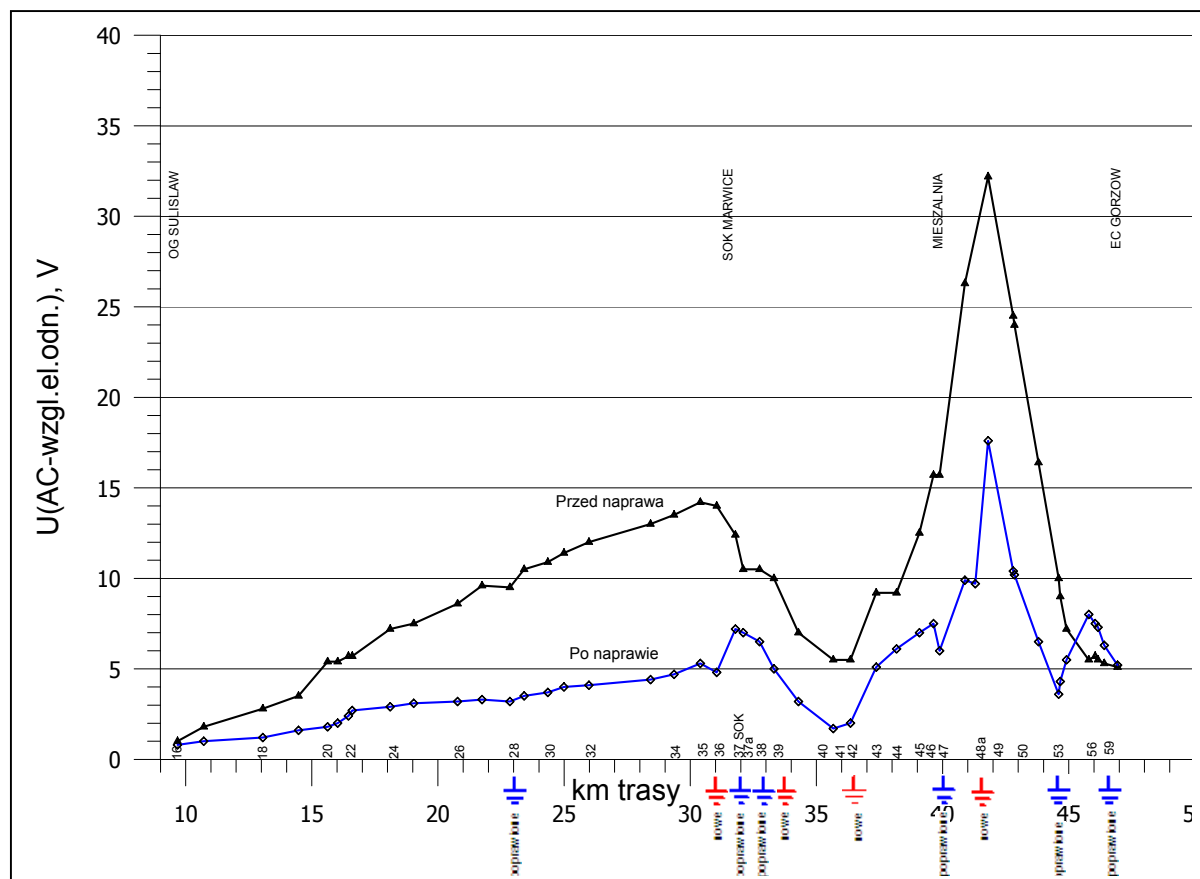
Po zastosowaniu ograniczników (MOPS) osiągnięto zadawalający efekt obniżenia indukowanego napięcia (do kilku Voltów), jednak dalszy skokowy wzrost obciążenia linii elektroenergetycznych w pewnym momencie (po 1,5 roku od zakończenia inwestycji) ponownie wymusił potrzebę obniżających się na gazociągu napięć i dalszą rozbudowę uziomów. W tym celu przeprowadzono naprawę, w ramach której wykonano:

1. rozbudowę istniejących uziemień wykonanych w czasie budowy gazociągu,
2. instalację nowych uziemień (w miejscach wynikających z symulacji komputerowej),
3. wymianę monolitycznych ograniczników prądu stałego na niskonapięciowe,
4. rozbudowę systemu elektrod symulujących o powierzchni 1 cm^2 oraz zastosowanie czujników rezystancyjnych w miejscach newralgicznych (celem stworzenia możliwości łatwego śledzenia skuteczności działania podjętych środków zaradczych).

Rezystancję przejścia istniejących uziemień obniżono poprzez dołączenie kolejnych elementów – pionowych uziomów wykonanych z żeliwa wysokokrzemowego oraz rur stalowych, połączonych bednarką ze stali ocynkowanej. Ze względu na znacząco duże i stałe w czasie obciążenie uziomów (od kilku do co najmniej kilkunastu Amperów), którymi do ziemi odprowadzany jest indukowany prąd przemienny z rurociągu, konieczne jest zastosowanie materiałów odpornych na takie warunki pracy. Na podstawie literatury wytypowano na uziomy stop żelaza z krzemem, który szeroko stosuje się także w systemach ochrony

katodowej. Do wykonania uziomów użyto żeliwa o zawartości krzemu 15 % i o wymiarach $l=2000$ mm i $d=50$ mm. Głowica elektrod została w odpowiedni sposób zarobiona i połączona z kablem oraz bednarką uziemiającą.

Dodatkową zaletą uziomów z żeliwa wysokokrzemowego jest możliwość bezpośredniego połączenia tego materiału z gazociągiem i zapewnienia w ten sposób możliwie niskiej rezystancji uziemienia. Taki zabieg, w razie potrzeby jego zastosowania w przyszłości, wymaga jedynie zwiększenia prądu ochrony katodowej gazociągu (uziom objęty jest wtedy ochroną katodową). Rozwiązanie takie znane jest w technice ochrony katodowej [10].



Rys. 3. Rozkład napięcia przemiennego gazociągu przed i po naprawie systemu uziemień

Wyniki pomiarów napięcia przemiennego na rurociągu przed i po naprawie systemu uziemień przedstawiono graficznie na rys. 3. Przy osi X zaznaczono lokalizacje uziemień poprawianych oraz uziemień nowych. Zanotowano istotne obniżenie wartości napięcia przemiennego mierzonego pomiędzy wyprowadzeniem kablowym gazociągu a elektrodą odniesienia usytuowaną w ziemi (pik w prawej części wykresu jest wynikiem wyjątkowo wysokiej rezystywności gruntu w tym miejscu i nie ma wpływu na zagrożenie korozyjne).

W dalszej kolejności zmodyfikowano odgraniczniki prądu stałego. Monolityczny odgranicznik prądu stałego (MOPS) umożliwia przepływ prądu przemiennego i prądu stałego o parametrach wyższych niż stosowane w systemach ochrony katodowej i z tego względu stosuje się go w sytuacjach, gdy wymagane jest uziemienie konstrukcji podziemnych jednocześnie chronionych za pomocą prądu stałego. Odgraniczniki wykonywane są z odpowiednich stosów diodowych, połączonych szeregowo-równolegle w taki sposób, aby MOPS przewodził prąd po przekroczeniu progu około ± 3 V. Efekt ten uzyskuje się przy szeregowym połączeniu 5 diod. Ze względu na potrzebę zmniejszenia rezystancji uziemienia

dla potrzeb omawianej pracy wykonana została partia monolitycznych odgraniczników prądu stałego z progowym napięciem około $\pm 1,2$ V z układem symetrycznym dwóch stosów równoległych składających się z trzech diod każdy. Ze względu na wydzielanie się dużych ilości ciepła na korpusie MOPS-a, posiada on konstrukcję umożliwiającą zamocowanie na radiatorze. Partię odgraniczników MDD-453 na specjalne zamówienie wykonała fabryka półprzewodników w Pradze w Republice Czeskiej.

Ponieważ zarówno norma PN-EN 12954 jak również prCEN/TS 15280 stosują jako podstawowe kryterium gęstości prądu, dokonano rozbudowy systemu elektrod symulujących o powierzchni 1 cm^2 w miejscach o podwyższonym zagrożeniu korozją wywołaną przez prąd przemienny. Obecnie na żadnej z elektrod nie obserwuje się przekroczenia krytycznych wartości natężenia prądu przemiennego. W trakcie prowadzenia prac serwisowych, w miarę potrzeb i możliwości technicznych, powinna być prowadzona stopniowa rozbudowa systemu elektrod symulujących, ze względu na coraz większą złożoność zjawisk występujących na chronionym gazociągu i potrzebę ich monitorowania.

Także badania szybkości korozji za pomocą czujników korozymetrycznych nie wykazują ubytków korozyjnych, które świadczyłyby o wystąpieniu korozji katodowo chronionego gazociągu spowodowanej przez prąd przemienny.

Podsumowanie

Przed naprawą uziemień prawie połowa punktów charakteryzowała się napięciem wyższym niż wartość graniczna sugerowana w opracowywanej normie prCEN/TS 15280. Gęstość prądu przemiennego na trzech elektrodach symulujących wykazywała wartości powyżej 30 A/m^2 , co sugeruje prawdopodobne występowanie zagrożenia korozyjnego.

Po pracach modernizacyjnych na wszystkich elektrodach symulujących uzyskano wartości gęstości prądu, które świadczą, że spełnione jest kryterium braku zagrożenia korozją wywołaną indukowanym prądem przemiennym. Także na całym badanym odcinku otrzymano wartości napięcia niższe od proponowanego kryterium napięciowego. Jedynie w niewielkim rejonie jest ona nieco wyższa, ale nie występuje w tym rejonie zagrożenie z powodu wysokiej rezystywności gruntu. Z tego samego powodu trudno w tym miejscu wykonać skuteczne uziemienie i dlatego zlokalizowano je w sąsiednim punkcie w rejonie ciekłu wodnego, gdzie może występować wyższe zagrożenie, a wykonane uziemienie może być bardziej skuteczne. Można więc stwierdzić, że po naprawie uziemień prawie na całym badanym odcinku otrzymano wartości napięcia niższe od uznanego kryterium. Na wszystkich elektrodach symulujących uzyskano wartości gęstości prądu spełniające kryterium braku zagrożenia korozją wywołaną indukowanym prądem przemiennym.

Zaprezentowana praca, której celem było naprawa istniejącego systemu zabezpieczenia gazociągu przed szkodliwymi oddziaływaniami prądu przemiennego z linii napowietrznej wysokiego napięcia, wymuszona została przez skokowo zwiększone obciążenie linii elektroenergetycznych i towarzyszący temu wzrost zagrożenia korozyjnego rurociągu, pomimo sprawnie funkcjonującego systemu ochrony katodowej. Jest to ciekawy przypadek praktyczny, a sposób jego rozwiązania, w którym wykorzystano nowe podejście – symulację komputerową przy skrajnych parametrach, może okazać się dobrą wskazówką przy analizowaniu podobnych problemów już na etapie projektowania gazociągu.

Na podstawie wyników wykonanych prac, przeprowadzonych pomiarów i zebranych doświadczeń można sformułować następujące wnioski:

1. Symulacja komputerowa wzajemnego oddziaływania linii elektroenergetycznych wysokiego napięcia zlokalizowanych równolegle z gazociągami - przy maksymalnym projektowanym obciążeniu linii napowietrznej - stanowi podstawę do prognozowania szkodliwości tego zjawiska. W analizowanym przypadku symulacja taka wykazała

jednoznacznie, że całkowite jego wyeliminowanie zgodnie z obecnie proponowanymi kryteriami wymaga zastosowania uziemień o rezystancji mniejszej od $0,1 \Omega$, co przy rezystywności gruntu wzdłuż trasy gazociągu zasadniczo większych od $50 \Omega\cdot m$ nie może być spełniona w realnych warunkach technicznych. Na szczęście obecne, jak również planowane na najbliższe lata średnie obciążenie linii elektroenergetycznych w analizowanym miejscu odpowiada 25-30 % wartości projektowanej.

2. Zastosowana obecnie naprawa systemu zabezpieczenia gazociągu przed szkodliwymi oddziaływaniami prądu przemiennego w postaci znaczącego obniżenia rezystancji istniejących uziemień, dobudowa nowych uziomów żeliwnych i zastosowanie monolitycznych odgraniczników prądu stałego, spowodowała akceptowane ograniczenie prawdopodobieństwa wystąpienia korozji powodowanej przez prąd przemienny.
3. Wprowadzony system elektrod symulujących umożliwia ustawiczne monitorowanie oddziaływania indukowanych prądów przemiennych, które powinno być włączone do czynności serwisowych instalacji ochrony katodowej gazociągu.
4. Zastosowanie nowych rozwiązań technicznych, takich jak uziomy z żeliwa wysokoprężowego czy niskonapięciowych odgraniczników prądu stałego, umożliwia obniżenie zużycia uziomów, a także stwarza dalszą możliwość (jeśli zajdzie taka potrzeba w przyszłości) zmniejszenia rezystancji przejścia gazociągu do ziemi z zachowaniem możliwości realizacji ochrony katodowej gazociągu.

Literatura

- [1] W. Machczyński: „Oddziaływania elektromagnetyczne na obwody ziemnowrotne - rurociągi podziemne.” Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 1998.
- [2] M. Lukstaedt, W. Machczyński: „Parametry elektryczne schematu zastępczego rurociągu podziemnego. Zastosowania Komputerów w Elektrotechnice ZkwE'99”, Poznań/Kiekrz, 12-14 kwietnia 1999, s. 103-106.
- [3] W. Machczyński, M. Markiewicz, W. Sokółski: „Oddziaływanie linii przesyłowych W.N., Rurociągi (Polish Pipeline Journal)”, nr 2-3, s. 11, 1999.
- [4] W. Machczyński, M. Markiewicz, W. Sokółski: „Oddziaływanie linii energetycznych W.N., Rurociągi (Polish Pipeline Journal)”, nr 4, s. 15, 1999.
- [5] M. Lukstaedt, W. Machczyński: „Oddziaływanie obwodów elektroenergetycznych na rurociągi podziemne. Zastosowania Komputerów w Elektrotechnice ZkwE'99”, Poznań/Kiekrz, 12-14 kwietnia 1999, s. 99-102.
- [6] W. Machczyński, W. Sokółski: „Oddziaływanie indukcyjne linii elektroenergetycznych wysokiego napięcia na gazociągi - część I, Ochrona przed Korozją”, nr 8, s. 267, 2005.
- [7] NACE Standard RP0177-2000: “Mitigation of Alternating Current and Lightning Effects on Metallic Structures and Corrosion Control Systems”.
- [8] PN-EN 12954:2003 „Ochrona katodowa konstrukcji metalowych w gruntach lub w wodach - Zasady ogólne i zastosowania dotyczące rurociągów”.
- [9] prCEN/TS 15280 “Evaluation of a.c. corrosion likelihood of buried pipelines - Application to cathodically protected pipelines”.
- [10] O. Sneath, I. Munro: “Silicon Iron as an Alternative to Copper Grounding Electrodes - Impact on Cathodic Protection”, Materials Performance, nr 12, 1995, p. 20.