

**DOŚWIADCZENIA W OCHRONIE KATODOWEJ
GAZOCIĄGÓW RÓWNOLEGŁYCH**

**EXPERIENCE IN CATHODIC PROTECTION
OF PARALLEL GAS PIPELINES**

Hanna Matus

GAZ-SYSTEM S.A.

Słowa kluczowe: korozja, rurociąg, ochrona katodowa

Keywords: corrosion, pipeline, cathodic protection

Streszczenie

Ocena skuteczności ochrony katodowej rurociągów ułożonych równolegle, posiadających różny poziom izolacji, przysparza wiele problemów natury pomiarowej. W referacie zostały opisane dwa przypadki równoległych gazociągów wysokiego ciśnienia oraz sposób podejścia służb ochrony przeciwkorozyjnej do ich eksploatacji.

Abstract

Assessment of cathodic protection effectiveness of parallel pipelines with a different insulation level causes many measurement problems. In the lecture two cases have been described of high pressure parallel pipelines and the approach of corrosion protection specialists to their operation.

Wstęp

Większość gazociągów wysokiego ciśnienia, wybudowanych w latach 60., 70. i 80. ubiegłego wieku, posiada izolacje bitumiczne niskiej jakości. Stare gazociągi wysokiego ciśnienia o przebiegach równoległych pracowały najczęściej w systemie wspólnej ochrony katodowej pomimo różnego poziomu izolacji orurowania. Gazociągi równoległe były najczęściej zwarte ze sobą poprzez armaturę zaporowo-upustową i nie zawsze były odseparowane elektrycznie od obiektów gazowniczych.

Stan techniczny orurowania starych gazociągów można ocenić głównie poprzez ocenę jakościową po ich odkopaniu oraz poprzez diagnostykę stanu izolacji, lokalizację doziemień i ocenę skuteczności działania ochrony katodowej. Rozwiązania konstrukcyjne starych gazociągów uniemożliwiają lub znacząco utrudniają wykonanie badania ich stanu technicznego za pomocą tłoków inteligentnych.

Nowe gazociągi połączone z gazociągami starymi bezpośrednio poprzez armaturę zaporowo-upustową wykazują potencjał bardziej ujemny w stosunku do starego. Prowadzi to do powstawania makroogniw galwanicznych, które mogą doprowadzić do korozji nowego odcinka gazociągu, o ile pojawią się na nim uszkodzenia izolacji.

W dalszej części referatu zostały omówione problemy eksploatacji ochrony katodowej gazociągów wysokiego ciśnienia o przebiegach równoległych, na przykładzie doświadczeń służb ochrony przeciwkorozyjnej GAZ-SYSTEM S.A. Oddziału w Rembelszczyźnie.

Oddziaływania ochrony katodowej

W przypadku ochrony katodowej rurociągów równoległych w izolacji bitumicznej niskiej jakości należy wziąć pod uwagę anodowe i katodowe stożki potencjałowe generowane wokół tych konstrukcji. Wpływają one na mierzone wartości potencjału równoległej konstrukcji i mogą zakłócać prawidłową interpretację wyników.

Anodowy i katodowy stożek potencjałowy są spowodowane przepływem prądu ochrony katodowej w ziemi. Anodowy stożek występuje dookoła uziomu anodowego, a katodowy stożek potencjałowy występuje dookoła defektu powłoki. Anodowy stożek potencjałowy jest spowodowany dużą gęstością prądu ochrony katodowej na anodzie, która jest dużo mniejsza niż katoda (gazociąg). Im większy płynie prąd ochrony katodowej, tym większy jest zasięg oddziaływań stożka anodowego. Rozległość stożka zależy również od napięcia wyjściowego urządzenia polaryzującego, konfiguracji uziomu i rezystywności gruntu.

Prąd ochrony katodowej wpływający do gazociągu wywołuje powstawanie w gruncie stożków potencjałowych dookoła defektów powłoki. Gradient potencjału w pobliżu rurociągu jest zależny od gęstości prądu w defekcie i rezystywności gruntu. Nadmierne oddziaływanie jednej konstrukcji na drugą można ocenić poprzez pomiar potencjału badanej katodowo konstrukcji podczas przerywania prądu ochrony katodowej konstrukcji chronionej. Jeżeli podczas załączania prądu ochrony katodowej stwierdza się obniżenie potencjału niechronionej konstrukcji (potencjał przesuwają się w kierunku elektrododatnim), to znaczy, że znajduje się ona w obszarze oddziaływań stożka anodowego. Jeżeli nastąpi wzrost potencjału konstrukcji (potencjał przesuwają się w kierunku elektroujemnym), to mamy do czynienia z oddziaływaniem katodowego stożka potencjałowego.

Oddziaływania anodowe ochrony katodowej jednego rurociągu nie powinny powodować przesunięcia potencjału bez składowej IR drugiego rurociągu poza zakres potencjałów ochronnych. Oddziaływania katodowe są szczególnie groźne dla rurociągów wykonanych ze stali o podwyższonej wytrzymałości, dla której potencjałem krytycznym bez składowej IR jest wartość potencjału $-1,1V$ względem CSE.

Ochrona katodowa gazociągów równoległych – przykład 1

Pierwsze z omawianych gazociągów o przebiegach równoległych to dwa gazociągi o średnicy DN500, długości około 135 km. Pierwsza nitka gazociągu została wybudowana w 1972 r., drugą nitkę gazociągu wybudowano w 1986 roku. Nowszy gazociąg został przystosowany do inspekcji wewnętrznej przy pomocy tłoka inteligentnego. Gazociągi są ułożone w odległości około 10 m od siebie, w niektórych miejscach krzyżują się ze sobą. Obydwa gazociągi posiadają fabryczne bitumiczne powłoki izolacyjne znacznie różniące się jakościowo. W początkowym okresie eksploatacji gazociągi były zwarte między sobą poprzez zespoły przyłączeniowe tłoczni i zespoły przyłączeniowe gazociągów odgałęźnych. Brakowało lub były niesprawne złącza izolujące na przyłączach do stacji gazowych. W trakcie eksploatacji gazociągu stwierdzono również liczne zwarcia rur osłonowych z rurą gazową, co dodatkowo przyczyniało się do zwiększenia zapotrzebowania na prąd ochrony katodowej.

Od początku oddania gazociągów do użytkowania na gazociągu działała ochrona katodowa. Stacje ochrony katodowej były zaprojektowane niezależne dla każdej nitki. Na potrzeby ochrony katodowej I nitki gazociągu zostało wybudowanych 12 SOK, a dla ochrony katodowej II nitki zostało wybudowanych 10 SOK. Z uwagi na liczne doziemienia i wspólne niekontrolowane połączenia, stacje ochrony katodowej pracowały przy łącznym prądzie polaryzacji o wartości około 140 A. Pomimo polaryzacji gazociągów tak dużym prądem nie było pewności co do skuteczności działania ochrony katodowej. Mało ujemne potencjały gazociągu stwierdzono na początkowym odcinku przyległym do uziemionej tłoczni gazu. W pobliżu niektórych rur osłonowych zwartych metalicznie z gazociągiem, potencjał wyłączeniowy wynosił zaledwie -0,4 V względem CSE. Służby eksploatacyjne wykonywały badania potencjału załączeniowego i wyłączeniowego w punktach pomiarowych na obydwu konstrukcjach, ale metoda ta nie dawała dostatecznej informacji o tym, co się dzieje z rurą i jej izolacją.

Pierwsze badania skuteczności działania ochrony katodowej I nitki gazociągu DN500 zostały wykonane w 1993 roku przez duńskie firmy FORCE i BALSLEV. Ich zadaniem była ocena stanu technicznego gazociągu pod kątem potwierdzenia możliwości podniesienia ciśnienia w starszym gazociągu. W celu wytypowania miejsc odkrywek gazociągu wykonano pomiary potencjału gazociągu klasyczną metodą CIPS, bez pomiaru gradientów bocznych. Dodatkowo w wybranych punktach pomiarowych na gazociągu zainstalowano elektrody symulujące do oceny skuteczności ochrony katodowej metodą pomiaru potencjału odłączeniowego. Pomiary CIPS służyły głównie do znalezienia dużych doziemień gazociągu, skutkujących upływnością prądu ochrony katodowej, np. niezaizolowanych elementów podziemnych typu zasuw czy zaślepione kołnierzami odejścia, przygotowane dla przyłączy gazowych. Kompleksowe badania stanu technicznego gazociągu, połączone z licznymi odkrywkami, prześwietleniem spoin i badaniami materiału rur, zakończyło się negatywną ekspertyzą, wskutek czego ciśnienia w gazociągu nie podniesiono. W zaleceniach znalazły się jednak wytyczne co do poprawy skuteczności systemu ochrony katodowej. Od tej pory systematycznie podejmowano działania idące w kierunku lepszego zabezpieczenia gazociągu przed korozją. W pierwszej kolejności zostały zainstalowane monobloki odseparowujące gazociągi od tłoczni gazu. Wykonano dodatkowe punkty PWP na skrzyżowaniach gazociągów oraz na odcinkach pomiędzy stacjami ochrony katodowej. Stacje ochrony katodowej przystosowano do możliwości wspólnej ochrony katodowej obydwu nitek. Przez kilka lat uzupełniano brakujące złącza izolujące (monobloki) w celu oddzielenia gazociągów od siebie. W tym czasie wielokrotnie przekonfigurowano system ochrony katodowej, dopasowując go do nowej sytuacji. W okresie wspólnej ochrony katodowej gazociągów wykonano szereg pomiarów, które pomogły ocenić poziom polaryzacji gazociągów, chociaż

były niewystarczające do oceny skuteczności ochrony. Pomiary te polegały między innymi na rejestracji przepływu prądu między obydwu konstrukcjami we wspólnych punktach pomiarowych. Poza pomiarami potencjału wyłączeniowego jednocześnie na obydwu konstrukcjach podczas synchronicznego przerywania sygnału ochrony katodowej, wykonywano pomiary wzajemnego oddziaływania na siebie konstrukcji podczas pracującej ochrony katodowej na jednym gazociągu i wyłączonej ochronie na drugim gazociągu. Istniała obawa, że z powodu różnego poziomu polaryzacji katodowej, lokalnie może zachodzić zjawisko przepływu prądu między stalowymi powierzchniami defektów powłoki obydwu gazociągów w skutek działania makroogniw korozyjnych. W dłuższej perspektywie ogniwa te mogą doprowadzić do perforacji ścianki gazociągu. Korzystnym uwarunkowaniem dla obydwu konstrukcji był brak oddziaływań prądu przemiennego oraz niewielkie zasięgi oddziaływań prądów błędzących na skrzyżowaniach z trakcją kolejową lub brak tych oddziaływań. Również grunt, w których posadowiono gazociągi, w 75% należy do gruntów mało korozyjnych, tj. jego rezystywność jest większa od 100 Ωm .

W latach 2002 i 2004 po elektrycznym odseparowaniu obydwu nitek gazociągów DN500 od siebie i uziemionych obiektów gazowniczych, wykonano badania stanu izolacji I nitki gazociągu metodą DCVG oraz badania skuteczności ochrony katodowej w defektach izolacji gazociągu, które charakteryzowały się największym poborem prądu ochrony katodowej. W czasie pomiarów była wyłączona ochrona katodowa drugiej nitki gazociągu. Skuteczność ochrony katodowej została oceniona na podstawie pomiarów potencjałów metodą ekstrapolacyjną, z kontrolą gradientów bocznych do ziemi dalekiej, mierzonych po obydwu stronach gazociągu. Wybrane miejsca defektów, wskazane jako potencjalnie zagrożone korozją, zostały odsłonięte, a defekty – naprawione. Tylko w jednym miejscu wykryto wżer korozyjny, w pozostałych miejscach rura była nieskorodowana. W międzyczasie w listopadzie 2003 roku wykonano pierwsze badanie II nitki gazociągu przy pomocy tłoka inteligentnego. Tłok wykrył kilka wżerów korozyjnych, z których największy stanowił 50% grubości ścianki. Wżer był umiejscowiony na odcinku gazociągu w stalowej, nieizolowanej rurze przeciskowej, która nie miała zamknięcia i była wypełniona elektrolitem glebowym. Miejsce to zostało odsłonięte i rurę gazową naprawiono za pomocą opasek naprawczych. Kilka wżerów wykryto na odcinku położonym w skrajnie zmiennych warunkach gruntowych. Gazociąg został ułożony na granicy ilów o rezystywności 18 Ωm i piasków o oporności ponad 1000 Ωm . Pomimo działającej ochrony katodowej, gęstość prądu w defektach była niewystarczająca do przeciwdziałania ogniwom galwanicznym, które wytworzyły się pomiędzy odkrytymi powierzchniami stali na granicy różnych warstw gruntu. Izolacja gazociągu została naprawiona, skorygowano parametry ochrony katodowej. Od kilku lat w tym miejscu działają czujniki szybkości korozji, zainstalowane na obydwu nitkach gazociągu, które nie wykazują zagrożenia korozją.

Wszystkie wykryte miejsca korozji przyczyniły się do zintensyfikowania działań w kierunku poprawy systemu ochrony katodowej. Przeprowadzono korektę parametrów ochrony katodowej obydwu nitek gazociągów DN500, dobudowano nowe stacje ochrony katodowej w miejscach o najmniej ujemnym potencjale, zlikwidowano stacje w miejscach, w których były niepotrzebne oraz przeprowadzono pomiary skuteczności ochrony katodowej wraz z lokalizacją defektów izolacji na drugiej nitce gazociągu.

W efekcie rozdzielenia elektrycznego obydwu gazociągów można było określić ich rzeczywiste zapotrzebowanie prądowe. Okazało się, że starszy gazociąg potrzebuje ponad 3 razy więcej prądu ochrony katodowej niż młodszy. Dzięki oddzielnej polaryzacji katodowej obydwu nitek gazociągu i naprawie największych defektów izolacji oraz po usunięciu doziemień, udało się ustawić parametry ochrony katodowej na podobnym poziomie.

Przyczyniło się to do ograniczenia przepływu prądu między różnie spolaryzowanymi konstrukcjami, co było widocznie w punktach pomiarowych przed ich rozdzielaniem. Dane dotyczące obydwu nitek gazociągów oraz parametry ochrony katodowej zestawiono w tabeli 1.

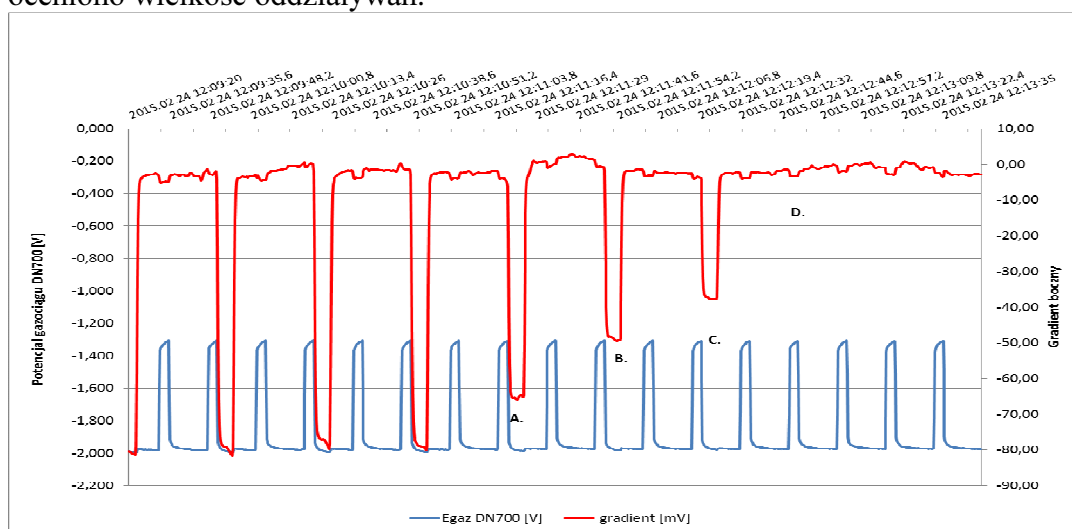
Tabela 1. Dane dotyczące równoległych nitek gazociągów DN500
Table 1. Data concerning parallel DN500 gas pipeline lines

Dane	I nitka DN500	II nitka DN500
Długość	Około 132,5 km	Około 132,5 km
Rok budowy	1970	1986
Rodzaj izolacji	Bitumiczna	Bitumiczna
Średnica zewnętrzna / grubość ścianki	508 mm / 8mm	508 mm / 8 mm
Gatunek stali	St52,3 R35 i 18G2A	18G2A
Ilość SOK / łączny prąd SOK na początku działania ochrony	12 SOK / 80A	10 SOK / 60A
Ilość SOK / łączny prąd SOK po rozdzielaniu gazociągów	18 SOK / 77,5A	6 SOK / 22,2A
Ilość rur zwartych metalicznie	11	12
Ilość punktów pomiarowych	163	148
Śluzy nadawcze i odbiorcze tłoka	Nie przystosowany do inspekcji tłokiem inteligentnym	Przystosowany do inspekcji tłokiem inteligentnym

Od dwóch lat trwa realizacja III nitki gazociągu zlokalizowanego w pasie ochronnym istniejących gazociągów DN500. Nowy gazociąg o średnicy DN700 został wybudowany w izolacji 3LPP/3LPE. Gazociąg jest zbudowany z rur o podwyższonych parametrach wytrzymałości ze stali L485NB. Wymagań odnośnie wysokiego poziomu izolacji nie udało się spełnić na dwóch odcinkach gazociągu wykonanych przewiertami kierunkowymi techniką HDD. Odcinki te zostały odseparowane elektrycznie przy pomocy monobloków z uwagi na brak możliwości uzyskania skutecznej ochrony katodowej w zróżnicowanych defektach izolacji. W przypadku uzyskania właściwej gęstości prądu ochrony katodowej w dużych defektach izolacji, małe defekty uzyskiwałyby gęstości kilkakrotnie większe od dopuszczalnych. Groziłoby to odspojeniem izolacji gazociągu w miejscach tych defektów, mogłoby dojść również do nawodorowania stali, co jest szczególnie groźne w przypadku stali o podwyższonej wytrzymałości.

Nowy gazociąg DN700 posiada niezależną ochronę katodową i nie jest połączony elektrycznie z istniejącymi gazociągami DN500. Na styku starej i nowej konstrukcji są zainstalowane monobloki separujące. Z uwagi na bliskie usytuowanie oraz różne zapotrzebowanie prądowe gazociągów DN500 i DN700 wykonano próbne pomiary oddziaływania starych konstrukcji na nową w miejscu stwierdzonych dużych ubytków izolacji gazociągu DN700. Do oceny wybrano jeden z większych ubytków izolacji, który jest zlokalizowany na znacznej głębokości pod torami kolejowymi. Mierzono potencjał on/off gazociągu DN700 oraz gradient prostopadły potencjału defektu do ziemi dalekiej, ustawiając elektrody odniesienia, jedną w epicentrum defektu, drugą w kierunku prostopadłym do gazociągu, w stronę przeciwną niż stare gazociągi. Stacje ochrony katodowej gazociągów DN500 pracowały w trybie pracy przerywanej 5 s on / 25 s off, a stacja ochrony katodowej gazociągu DN700 pracowała w cyklu 12 s on / 3 s off. Podczas pomiarów stwierdzono

występowanie stożków katodowych od defektów izolacji gazociągu bitumicznego, co powodowało przesunięcie potencjału gazociągu DN700 o wartość 20 mV w kierunku elektroujemnym. Na rys. 1 pokazano wykres potencjału gazociągu DN700 i gradient potencjału zmierzony nad defektem izolacji tego gazociągu. W czasie rejestracji stopniowo wyłączano po jednej stacji ochrony katodowej gazociągów DN500, co spowodowało stopniowe zmniejszenie oddziaływań. Po wyłączeniu wszystkich działających stacji ochrony katodowej gazociągów DN500 można było zmierzyć wielkość gradientu defektu pod torami. Średnia wartość gradientu wyniosła 2,65 mV przy zwiększonym 10-krotnie prądzie wyjściowym SOK na gazociągu DN700 do wartości 3,5 mA. Zwiększenie prądu polaryzacji było niezbędne do oceny skuteczności ochrony katodowej w defekcie izolacji. Przy okazji oceniono wielkość oddziaływań.



Rys. 1. Pomiar potencjału gazociągu DN700 i gradientu potencjału defektu do ziemi dalekiej przy torach kolejowych podczas przerywania sygnału ochrony katodowej gazociągów równoległych DN500. Zmiany gradientu podczas wyłączania kolejnych SOK na gazociągu DN500 zaznaczono literami A., B i C. W pozycji D. – całkowicie wyłączona ochrona katodowa gazociągu DN500.

Fig. 1. Measurement of the DN700 gas pipeline potential and defect potential gradient to remote earth near railway tracks during interrupting of the DN500 parallel gas pipeline cathodic protection signal. Gradient changes during switching off CPS on the DN500 gas pipeline have been marked with letters A., B., C. In point D. - completely switched off DN500 gas pipeline cathodic protection.

Ochrona katodowa gazociągów równoległych – przykład 2

Kolejny omówiony przypadek gazociągów o przebiegach równoległych to dwa gazociągi o średnicy DN200 i DN400, długości około 72 km. Obydwie nitki są zasilane z gazociągów DN500 i odseparowane od nich za pośrednictwem złączy izolujących. Gazociągi kończą się na terenie stacji regulacyjno-pomiarowej, od której są również odseparowane elektrycznie za pomocą złączy izolujących. Pierwsza nitka gazociągu o średnicy DN200 została wybudowana w 1972 roku, druga nitka gazociągu została wybudowana w latach 1992-1993 z rur o średnicy DN400. Nowszy gazociąg został przystosowany do inspekcji wewnętrznej przy pomocy tłoka inteligentnego. Gazociągi są ułożone w bliskiej odległości od siebie. Obydwa gazociągi posiadają fabryczne bitumiczne powłoki izolacyjne, znacznie różniące się jakościowo. W trakcie budowy gazociągu DN200 doprowadzono do licznych zwarć rur osłonowych z rurą gazową, których to połączeń nie ma na gazociągu DN400. Gazociąg DN200 został oddany do użytkowania wraz z czynną ochroną katodową w postaci 5 stacji ochrony katodowej. Po zakończeniu budowy gazociągu DN400

w 1993 roku, obie konstrukcje zostały ze sobą zwarte nie tylko poprzez zespoły zaporowo-upustowe, ale również poprzez punkty drenażu i punkty pomiarowe międzystacyjne. Projekt nie przewidywał oddzielnej ochrony nowego gazociągu DN400. W punktach drenażu SOK były montowane oporniki ograniczające wielkość prądu polaryzacji gazociągu DN400. Pomimo to nie udało się tak dobrać parametrów, żeby zapewnić skuteczną ochronę gazociągu DN200, zachowując przy tym prawidłowe parametry na gazociągu DN400. Z uwagi na nierównomierny rozływ prądu polaryzacji katodowej, po kilku latach wspólnej ochrony wybudowano jeszcze trzy nowe stacje ochrony katodowej, mając w planach rozdzielenie od siebie obydwu konstrukcji.

Rezystywność gruntu na trasie gazociągów waha się od 16 Ωm do ponad 1000 Ωm . Do około 40 km przeważają grunty średnio lub bardzo korozyjne o rezystywności poniżej 100 Ωm , dalej przeważają grunty wysokoomowe, o małych własnościach korozyjnych. Na każdym gazociągu jest zabudowanych 85 punktów pomiarów elektrycznych, w tym 63 punkty wspólne, tj. z przewodami przyłączonymi do obydwu gazociągów. Dane dotyczące obydwu nitek gazociągów oraz parametry ochrony katodowej zestawiono w tabeli 2.

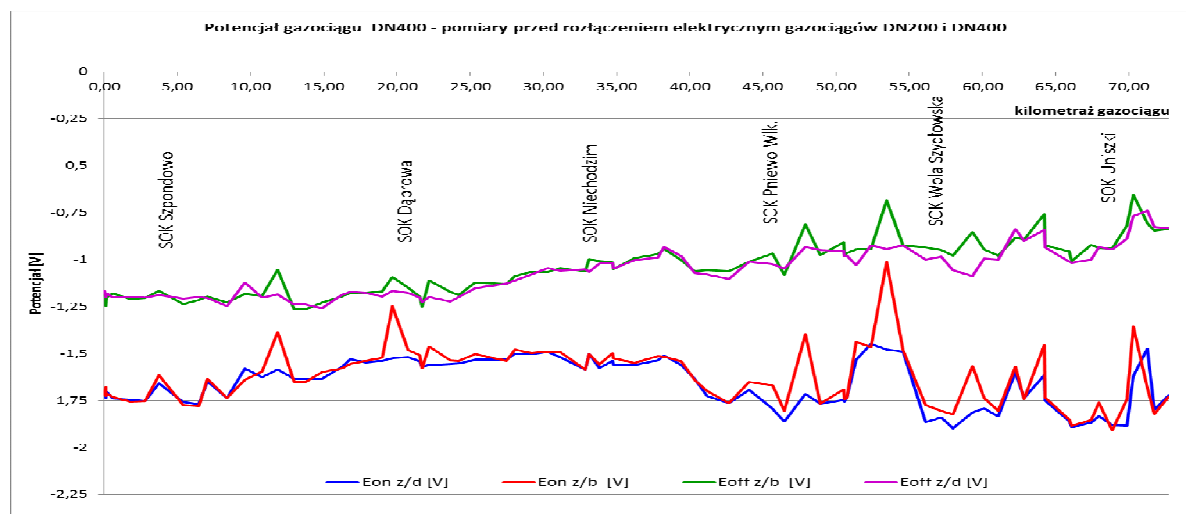
Tabela 2. Dane dotyczące równoległych nitek gazociągów DN200 i DN400
Table 2. Data concerning parallel DN200 and DN400 gas pipeline lines

Dane	I nitka DN200	II nitka DN400
Długość	Około 72,30 km	Około 72,80 km
Rok budowy	1972	1992-1993
Rodzaj izolacji	Bitumiczna	Bitumiczna
Średnica zewnętrzna / grubość ścianki	210 mm / 10 mm	408 mm / 6,3 mm
Początkowa ilość SOK/ łączny prąd SOK	5 SOK / 10 A	4,65 A
Obecna ilość SOK/ łączny prąd SOK po rozdzieleniu gazociągów	7 SOK / około 13,5 A	1 SOK / 0,6 A
Ilość rur zwartych metalicznie	13	0
Ilość PPA	85	85
Śluzy nadawcze i odbiorcze tłoka	Nie przystosowany do inspekcji tłokiem inteligentnym	Przystosowany do inspekcji tłokiem inteligentnym

Parametry ochrony katodowej połączonych ze sobą gazociągów DN200 i DN400 były na bieżąco dostosowywane do sytuacji występujących na gazociągach. Na rys. 2 i 3 pokazano rozkład potencjału załączeniowego i wyłączeniowego gazociągów przy łącznym prądzie ochrony katodowej gazociągu DN200 na poziomie 9,3 A i prądzie ochrony katodowej gazociągu DN400 na poziomie 4,65 A. Na wykresach widać jak nierówna była polaryzacja katodowa obydwu konstrukcji.

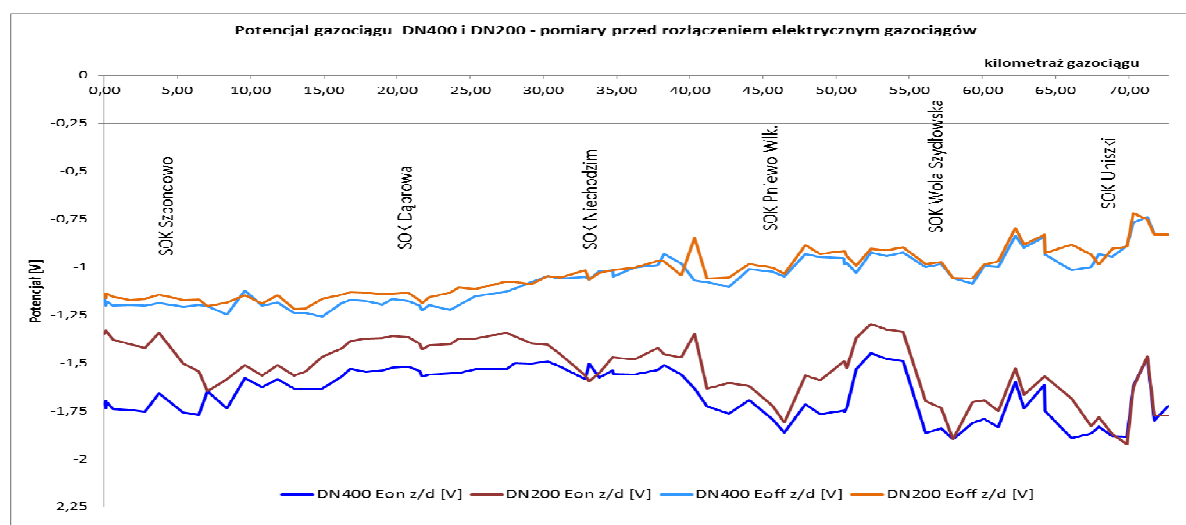
Odseparowanie elektryczne dwóch zwartych gazociągów było planowane od kilku lat. Z uwagi na duże koszty jednorazowe takiego przedsięwzięcia część robót wykonano podczas remontów i przebudów obiektów gazowniczych. Docelowy projekt odseparowania przewidywał montaż monobloków na rurze DN200, co było łatwiejsze do wykonania zarówno od strony technicznej, jak i ekonomicznej. Prace zostały zakończone na początku 2014 roku i można było przystąpić do zmiany konfiguracji systemu ochrony katodowej. Podczas pomiarów rozkładu potencjałów wzdłuż gazociągu stwierdzono wpływ ochrony katodowej

gazociągu DN200 na gazociąg DN400. Wykonano dodatkowe pomiary potencjału gazociągu DN400 przy załączonej i wyłączonej ochronie katodowej gazociągu DN200. Wyniki przedstawiono na wykresie (rys. 4).



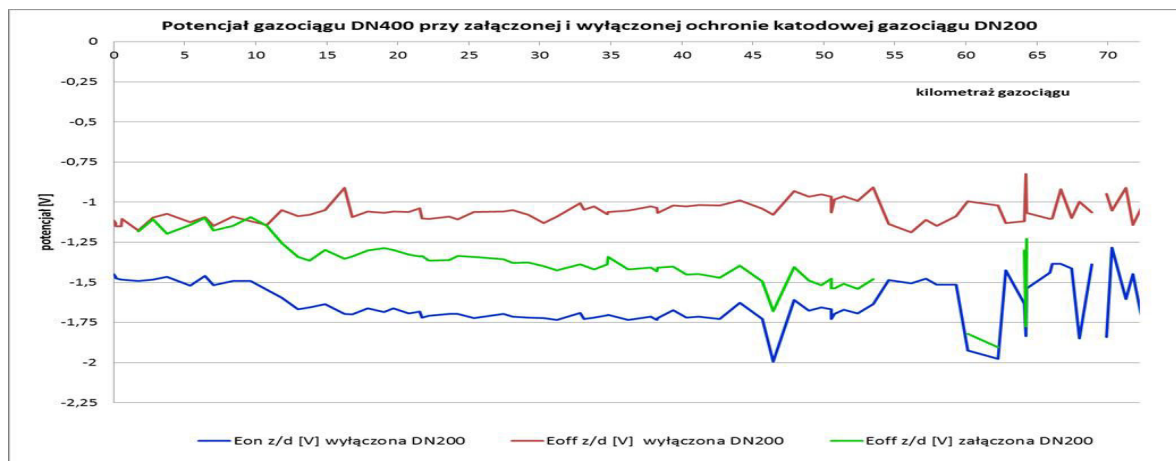
Rys. 2. Wykres potencjału on/off gazociągu DN400 przed rozłączeniem elektrycznym gazociągów DN200 i DN400, pomiar względem CSE do ziemi dalekiej (z/d) i bliskiej (z/b).

Fig. 2. Graph of on/off potential of DN400 gas pipelines before electric disconnection of DN200 and DN400 pipelines, measurement vs the CSE to remote and near earth.



Rys. 3. Wykres potencjałów on/off gazociągów DN200 i DN400 przed ich rozłączeniem, pomiar względem CSE do ziemi dalekiej(z/d).

Fig. 3. Graph of on/off potentials of DN200 and DN400 gas pipelines before their disconnection, measurement vs the CSE to remote earth.



Rys. 4. Wykres rozkładu potencjału gazociągu DN400 w punktach pomiarowych na trasie gazociągu przy załączonej i wyłączonej ochronie katodowej gazociągu DN200, pomiar względem CSE do ziemi dalekiej (po zamontowaniu monobloków i stwierdzonej upływności prądu na końcówce gazociągu).

Fig. 4. DN400 gas pipeline potential distribution graph in measurement points on the gas pipeline route with switched on and switched off DN200 gas pipeline cathodic protection, measurement vs the CSE to remote earth (after mounting monoblocks and stated current leakage on the gas pipeline end).

Prawidłowe wartości potencjału wyłączeniowego gazociągu DN400 można odczytać na podstawie danych oznaczonych jako $E_{\text{off z/d}}$ wyłączona DN200. Wartości $E_{\text{off z/d}}$ załączona DN200 są obciążone składową potencjału gazociągu DN200. Po analizie przebiegów potencjału gazociągu DN400 i DN200 stwierdzono niezidentyfikowane wcześniej doziemienia, tj. zwarcie monobloku na jednej ze stacji gazowych oraz zwarcie gazociągów DN200 i DN400 na odcinku między kilometrem 62,83 a 71,27. Przyczynę zwarcia monobloku udało się szybko zlikwidować. Okazało się, że uszkodzeniu uległ iskiernik zamontowany bezpośrednio na monobloku wejściowym. Był to czwarty przypadek uszkodzenia iskiernika na monobloku, zarejestrowany w ostatnim okresie przez służby ochrony przeciwkorozyjnej Oddziału w Rembelszczyźnie. Po wymianie iskiernika doziemienie zniknęło. Problemem okazało się zlokalizowanie miejsca zwarcia gazociągów. Na odcinku między kilometrem 62,83 a 71,27 gazociągi w dwóch miejscach się krzyżują, co brano pod uwagę jako miejsca potencjalnego połączenia. Pomiary DCVG wykluczyły tę ewentualność (brak defektów izolacji w tych miejscach). Kolejnym podejrzanym miejscem był punkt pomiarowy PR 71,27 km, w którym to potencjały obydwu gazociągów wykazywały największą zbieżność. Pomiary DCVG wykazały znaczne defekty izolacji na gazociągu DN200 sięgające 50% sygnału on/off, ale nie udało się potwierdzić zwarcia. Najbardziej skuteczną metodą poszukiwania połączenia okazał się pomiar prądu płynącego w gazociągach, wymuszony z generatora aparatury PCM. Generator PCM zamontowano przy monobloku wejściowym na końcowej stacji gazowej, wymuszając w gazociągu DN400 przepływ prądu o wartości 3 A. Prawie cały prąd zgodny co do kierunku i wartości zarejestrowano w miejscu zwarcia z gazociągiem DN200 w 69,68 km. Zwarcie było spowodowane pozostałymi w ziemi przewodami po starym, zniszczonym punkcie pomiarowym. Po zlikwidowaniu doziemienia parametry na gazociągu poprawiły się, ale ujawniło się jeszcze jedno niekontrolowane połączenie. Ponowne pomiary potencjałów przy załączonej ochronie katodowej jednej konstrukcji i wyłączonej ochronie katodowej drugiej konstrukcji wskazały największą zbieżność potencjałów w punkcie 64,21 km, w którym to kilometrze jest zlokalizowany zespół przyłączeniowy stacji gazowej. Ponownie wykorzystano urządzenie PCM, stwarzając pętlę prądową poprzez przyłącze stacji gazowej dla znalezienia

miejsca przepływu prądu. Miejscem połączenia okazał się nowo zainstalowany monoblok rozdzielający gazociąg DN200 od gazociągu DN400, który nie wykazuje pełnego zwarcia, lecz upływność prądu. Dodatkowo dużą upływność prądu odnotowano poprzez uziemioną kolumnę upustową gazu oraz podpory części nadziemnej zespołu przyłączeniowego.

Po wszystkich przeprowadzonych działaniach skorygowano parametry ochrony katodowej obydwu nitek gazociągu, starając się wyrównać potencjały polaryzacji katodowej. W konsekwencji na gazociągu DN400 pozostawiono tylko jedną pracującą stację ochrony katodowej przy prądzie $I_{wyj} = 0,6$ A, zaś na gazociągu DN200 załączono wszystkie pozostałe SOK, ustawiając łączny prąd na poziomie 13,5 A. Sprawa niesprawnego monobloku oczekuje wyjaśnienia, a naprawa izolacji ZZU oraz usunięcie zwarć gazociągu w rurach osłonowych zostały zgłoszone służbom sieciowym do planu remontów. Po stronie służb ochrony przeciwkorozyjnej pozostaje lokalizacja defektów i ocena skuteczności działania ochrony katodowej w nowej konfiguracji.

We wrześniu 2014 roku zostały zainstalowane 4 czujniki korozymetryczne o powierzchni 5 cm^2 i grubości 1 mm w następujących miejscach:

- w p. 3,74 km przy DN200 i DN400 grunt $35\ \Omega\text{m}$, przy zwartej rurze osłonowej na DN200,
- w p. 27,46 km przy DN200 i DN400 grunt $62\ \Omega\text{m}$, przy skrzyżowaniu pod kątem ostrym z LWN,
- w p. 50,55 km przy DN200 i DN400 grunt $430\ \Omega\text{m}$, przy skrzyżowaniu z torami kolejowymi, przy zwartej rurze osłonowej na DN200,
- w p. 60,15 km przy DN200 i DN400 grunt $510\ \Omega\text{m}$, w miejscu zlikwidowanego uchodzenia.

W tabeli 3 zestawiono aktualne wyniki szybkości korozji na zainstalowanych czujnikach. Jak widać szybkość korozji w wybranych newralgicznych miejscach gazociągów DN200 i DN400 jest niższa od dopuszczalnej $0,01\text{ mm/rok}$.

Tabela 3. Zestawienie czujników korozymetrycznych zainstalowanych na gazociągach DN200 i DN400
Table 3. Specification of corrosimetric sensors installed on DN200 and DN400 pipelines

gazociąg	kilometraż	Liczba dni pomiaru	Data pomiaru	V_{kor_t}	R_u	$I_{p_{kor}}$	E_{on}	E_{IRfree}
				[mm/rok]	[Ω]	[μA]	[V]	[V]
DN200	3,74	174	09.03.15	0,003	320	600	-1,475	-1,230
	27,46	178	09.03.15	0,004	6120	35	-1,320	-1,100
	50,55	175	09.03.15	0,008	50000	1	-1,580	-0,844
	60,15	179	09.03.15	0,002	5980	157	-1,880	-0,950
DN400	3,74	174	09.03.15	0,003	180	3000	-1,952	-1,160
	27,46	178	09.03.15	0,007	2840	336	-2,190	-1,170
	50,55	175	09.03.15	0,006	50000	1	-2,05	-0,850
	60,15	179	09.03.15	0,002	8000	94	-1,990	-1,140

Trwają przygotowania do inspekcji tłokiem inteligentnym odcinka gazociągu DN400. Wyniki będą ciekawym materiałem uzupełniającym naszą wiedzę o stanie technicznym tej nitki gazociągu, która z uwagi na brak kompletnych danych pomiarowych, mogła nie być lokalnie skutecznie chroniona.

Wnioski

W przypadku budowy nowego gazociągu w strefie istniejącego starego gazociągu w izolacji bitumicznej z licznymi defektami i doziemieniami, należy zwrócić uwagę na:

- prawidłowy dobór izolacji nowego rurociągu w zależności od warunków terenowych, rezystywności i pH gruntu; dbałość o wysoki poziom wykonania izolacji,
- odseparowanie elektryczne za pomocą złączy izolujących nowego rurociągu od istniejących rurociągów o przebiegach równoległych; takie odseparowanie eliminuje korozję galwaniczną nowego rurociągu, która mogłaby zachodzić w ewentualnych defektach powłoki charakteryzujących się różnym poziomem polaryzacji katodowej,
- niezależną ochronę katodową nowego rurociągu; nowe rurociągi budowane są obecnie z rur stalowych o podwyższonej wytrzymałości, potencjały korozyjne (bez składowej *IR*) w nieciągłościach powłoki izolacyjnej nie powinny być bardziej ujemne niż -1,1 V względem CSE; warunek ten byłby trudny do osiągnięcia w przypadku wspólnej ochrony,
- zabezpieczenie od prądów błądzących (o ile występuje taka potrzeba); w przypadku spełnienia warunku bezdefektowej izolacji w rejonie skrzyżowania z torami trakcji elektrycznej oddziaływanie prądów błądzących nie powinno wystąpić,
- zabezpieczenie od oddziaływania prądu przemiennego (o ile występuje taka potrzeba); na korozję od prądu przemiennego szczególnie narażone są rurociągi w dobrych izolacjach ułożone w niskooporowym gruncie; nie można dopuścić do nadmiernej gęstości prądu przemiennego na powierzchni małych defektów izolacji,
- usytuowanie gazociągu względem istniejących stacji ochrony katodowej, a zwłaszcza uziołów anodowych tych stacji; zalecane jest odsunięcie gazociągu od uziołów anodowych stacji ochrony katodowej pracujących przy dużych prądach polaryzacji lub zmiana tych uziołów na głębinowe, naprawa izolacji w promieniu działania stożków anodowych (izolacja bezdefektowa),
- usytuowanie punktów pomiarowych nowego rurociągu w pobliżu istniejących punktów pomiarowych rurociągu starego lub zainstalowanie punktów wspólnych; ułatwia to wykonywanie pomiarów eksploatacyjnych, zwiększa możliwości pomiarowe, co z kolei pozwala na lepszą interpretację wyników badań,
- w przypadku rurociągów o przebiegach dalekosieżnych podział na krótsze odcinki wydzielone monoblokami (często uwarunkowany lokalizacją obiektów gazowniczych); ułatwia to eksploatację ochrony katodowej oraz zmniejsza zagrożenie korozyjne; w przypadku rurociągów o kierunku przebiegu wschód – zachód dodatkowo przyczynia się do zmniejszenia oddziaływania prądów tellurycznych, indukujących się w gazociągach w dobrej izolacji.

W przypadku istniejących rurociągów równoległych, charakteryzujących się różnym poziomem izolacji znacznie różniącym się od siebie, zaleca się rozdzielenie tych konstrukcji od siebie i zapewnienie im niezależnej ochrony katodowej. Analizując takie przedsięwzięcie należy brać pod uwagę nie tylko możliwości techniczne, ale również względy ekonomiczne. Gdy te ostatnie przeważają, pozostaje wspólna ochrona katodowa równoległych konstrukcji przy jednoczesnej kontroli przepływu prądów między nimi. Warto zastanowić się nad zamontowaniem dodatkowych wspólnych punktów pomiarowych, bo nie generuje to wielkich kosztów, a zwiększa możliwości pomiarowe. W miejscach szczególnie narażonych na korozję zaleca się montaż czujników korozymetrycznych, oddzielnie dla każdej konstrukcji. Szybkim i stosunkowo tanim sposobem oceny polaryzacji równoległych konstrukcji jest zainstalowanie elektrod symulujących o powierzchniach dobranych do przewidywanych defektów izolacji. Należy pamiętać, że ocena polaryzacji katodowej za pomocą elektrod symulujących i czujników korozymetrycznych dotyczy tylko niewielkiego obszaru rurociągu, w pobliżu miejsca ich zainstalowania.

Literatura

1. PN-EN 12954:2004 Ochrona katodowa konstrukcji metalowych w gruntach lub w wodach – Zasady ogólne i zastosowania dotyczące rurociągów
2. ST-IGG-0601:2012 Ochrona przed korozją zewnętrzną stalowych gazociągów lądowych. Wymagania funkcjonalne i zalecenia
3. ST-IGG-0602:2013 Ochrona przed korozją zewnętrzną stalowych gazociągów lądowych. Ochrona katodowa. Projektowanie, budowa i użytkowanie