



OCHRONA KATODOWA TŁOCZNI GAZU

CATHODIC PROTECTION OF A GAS COMPRESSOR STATION

Hanna Matus, Andrzej Kowalski

Operator Gazociągów Przesyłowych GAZ-SYSTEM S.A.

Słowa kluczowe: korozja, obiekt złożony, skuteczność ochrony katodowej
Keywords: corrosion, complex object, cathodic protection effectiveness

Streszczenie

W referacie omówiono problemy związane z ochroną katodową konstrukcji złożonych, jakimi są między innymi tłocznie gazu. Omówiono instalacje ochrony katodowej na istniejących obiektach pozostających w eksploatacji GAZ-SYSTEM S.A. Oddział w Rembelszczyźnie. Przedstawiono metody oceny skuteczności ochrony katodowej orurowania podziemnego tłoczni na przykładzie zrealizowanych inwestycji oraz inwestycji będących w trakcie budowy.

Summary

In the lecture problems have been discusses connected with cathodic protection of complex structures, amongst others gas compressor stations. Cathodic protection installations have been described on existing objects being operated by GAZ-SYSTEM S.A. Rembelszczyzna branch. Cathodic protection effectiveness assessment methods have been presented of compressor station underground piping on the example of completed investments and investments in the construction phase.

1. Wprowadzenie

GAZ-SYSTEM S.A. Oddział w Rembelszczyźnie prowadzi eksploatację gazociągów wysokiego ciśnienia oraz obiektów takich jak stacje gazowe i tłocznie gazu. Na terenie oddziału znajdują się 3 duże obiekty tłoczniowe połączone z węzłami rozdzielczo – pomiarowymi gazu, zlokalizowane w Rembelszczyźnie, Wronowie i Hołowczycach.

Tłocznie gazu zapewniają właściwe ciśnienie gazu w sieci wysokoprężnej. Na terenie tłoczni oprócz gazociągów jest zlokalizowanych szereg instalacji pomocniczych takich jak rurociągi inertyzacji azotem, rurociągi sprężonego powietrza, rurociągi glikolu, rurociągi wody przeciwpożarowej i inne. Instalacja inertyzacji azotem służy do wypełnienia gazem obojętnym wyłączonych z eksploatacji odcinków rurociągów.

Na tłoczni w Rembelszczyźnie i tłoczni we Wronowie nowe rurociągi inertyzacji azotem są wykonane ze stali nierdzewnej nieizolowanej, przy czym w Rembelszczyźnie instalacja jest przyłączana do gazociągów poprzez węże elastyczne, tylko na czas jej wykorzystania. Na tłoczni we Wronowie rurociągi azotu są podłączone na stałe do gazociągów ze stali węglowej. Na terenie tłoczni Hołowczyce do instalacji inertyzacji azotem wykorzystano nieczynny stalowy gazociąg DN50

Rurociągi technologiczne istniejących tłoczni gazu są galwanicznie połączone z siecią uziemień oraz zbrojeniami konstrukcji żelbetowych, co wynika przede wszystkim z wymogów ochrony przeciwporażeniowej oraz odgromowej. Uziemienia odgromowe i ochronne na tłoczniach są zrealizowane przy pomocy płaskowników stalowych ocynkowanych. Sieć uziemiająca jest elektrycznie ciągła, główne połączenia wykonane są metodą spawania. Do instalacji z płaskowników FeZn podłączone są między innymi stalowe konstrukcje hali tłoczni.

Rurociągi gazu na terenie węzłów rozdzielczo – pomiarowych tłoczni mają zróżnicowane średnice (od DN50 do DN1000) oraz różne pokrycia ochronne uzależnione od warunków środowiskowych, temperatury gazu oraz od wieku zabudowy. Stare gazociągi pozostające w ziemi od czasu budowy tłoczni posiadają przede wszystkim pokrycia bitumiczne w różnym stanie technicznym. Nowo budowane sieci gazowe są wykonywane z rur stalowych zabezpieczonych izolacjami fabrycznymi 3LPE/3LPP. Armatura podziemna jest zabezpieczona izolacją bitumiczną (stare zawory) lub jest pokryta poliuretanem (nowe zawory).

2. Ochrona katodowa obiektów złożonych

Wymóg ochrony katodowej orurowania podziemnego tłoczni gazu wynika z Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 26 kwietnia 2013 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać sieci gazowe i ich usytuowanie - Dz.U.2013.poz. 640.

Tłocznie gazu, z uwagi na liczne połączenia rurociągów technologicznych z innymi instalacjami podziemnymi, siecią uziemiającą i zbrojeniami żelbetu zalicza się do tzw. konstrukcji złożonych. Konstrukcją złożoną nazywa się obiekty chronione katodowo, które nie mogą być izolowane elektrycznie ze względów bezpieczeństwa lub względów technicznych od innych konstrukcji metalowych znajdujących się w tym samym elektrolicie, co chroniona konstrukcja [2].

W konstrukcji złożonej obce elektrody (np. stal ocynkowana, stal zbrojeniowa w betonie, uziomy z miedzi, rurociągi ze stali nierdzewnej, żeliwo krzemowe) znacznie zwiększają zapotrzebowanie prądu ochrony katodowej gazociągów. Szczególnie niekorzystne są połączenia

gazociągów z prętami zbrojeniowymi oraz z rurociągami ze stali nierdzewnej jeżeli pozostają one w stanie pasywacji czyli są katodami ogniw tworzących się ze stalowymi powierzchniami rurociągów znajdujących się w tym samym elektrolicie glebowym. Powierzchnia zbrojenia jak również powierzchnia nieizolowanych rurociągów ze stali nierdzewnej (katody) jest wielokrotnie większa od powierzchni niewielkiego defektu w powłoce izolacyjnej gazociągu (anody). W rezultacie gęstość prądu na powierzchni gazociągu jest na tyle duża, że może doprowadzić do szybkiego postępu korozji. W przypadku nowego obiektu należy zadbać o odizolowanie zbrojeń żelbetu oraz rurociągów ze stali nierdzewnej od części technologicznych połączonych z podziemnymi rurociągami ze stali węglowej.

Połączenia z siecią uziemiającą ze stali ocynkowanej nie stanowią zagrożenia korozyjnego dla rurociągów. Ocynkowana stalowa taśma jest anodą w ogniwie utworzonym ze stalą rurociągową (katodą) i pozostaje nią dopóki cynk nie ulegnie rozтворzeniu.

Podstawowym warunkiem skutecznej polaryzacji katodowej rurociągów, pomimo ich galwanicznego połączenia z obcymi katodami i anodami, jest odpowiednie rozwiązanie i umieszczenie uziomów anodowych. W klasycznej ochronie lokalnej stosuje się centralnie usytuowany uziom głęboki w połączeniu z pojedynczymi płytkami uziomami w miejscach gdzie polaryzacja rurociągów okazuje się niewystarczająca. Zamiast uziomu głębokiego można zastosować płytki uziomu składający się z licznych pojedynczych anod umieszczonych blisko rurociągów. Rolę uziomu może również pełnić anoda kablowa w postaci miedzianej linki w powłoce z przewodzącego polimeru. W obydwu ostatnich przypadkach rurociąg znajduje się w stożku napięciowym uziomu anodowego, przez co jest ułatwiony dopływ prądu ochrony katodowej do miejsc defektów w powłoce ochronnej rurociągu lub podziemnego elementu armatury [3].

Osiągnięcie pełnej ochrony katodowej orurowania podziemnego na terenie obiektu złożonego jakim jest tłocznia gazu może okazać się niemożliwe, gdy stosuje się ogólne wskazówki normy PN-EN 12954 [1]. W tych warunkach w ocenie skuteczności ochrony katodowej konstrukcji można posłużyć się kryteriami opisanymi w normie PN-EN 14505 [2], które stanowią rozszerzenie normy PN-EN 12954. Jako kryteriów można użyć trzech metod, które są oparte na doświadczeniu praktycznym i ogólnie stosowane:

- potencjał załączeniowy konstrukcji ze stali węglowej E_{on} równy lub niższy niż $-1,2$ V, jeśli miejsce pomiaru leży poza obszarem wpływu dużej obcej katody (np. zbrojonego betonu lub uziomu miedzianego) i jeżeli rezystywność gruntu jest wystarczająco mała (mniejsza niż ok. $100 \Omega m$), dopuszczalny jest potencjał bardziej ujemny niż $-0,8$ V w pobliżu dużych obcych katod (w promieniu ok. $0,5$ m), np. fundamentów żelbetowych;
- przesunięcie potencjału konstrukcji lub elektrody symulującej o przynajmniej $-0,3$ V w wyniku włączenia ochrony katodowej w miejscach krytycznych, tj. w miejscach, w których jest wysokie prawdopodobieństwo wypływu dużego prądu anodowego z chronionej konstrukcji (np. w pobliżu obcej katody spowodowanej połączeniem galwanicznym, różnorodnością gruntu lub efektem ekranowania);
- przesunięcie potencjału w kierunku elektrododatnim na elektrodzie symulującej przynajmniej o $0,1$ V zmierzone od chwili odłączenia do 1 h po odłączeniu od konstrukcji.

Wszystkie pomiary potencjału konstrukcji są odniesione względem nasyconej elektrody odniesienia siarczano-miedziowej (CSE). W ocenie skuteczności ochrony katodowej należy posłużyć się przynajmniej dwoma z wymienionych kryteriów.

3. Opis instalacji ochrony katodowej tłoczni gazu we Wronowie

Tłocznia Wronów wraz z węzłem rozdzielczo-pomiarowym została wybudowana w 1970 roku. Od początku użytkowania istniejące orurowanie podziemne nie posiadało czynnej instalacji ochrony przeciwkorozyjnej. Ochrona katodowa węzła rozdzielczo-pomiarowego Wronów została zrealizowana w 2015 roku, po zainstalowaniu na obiekcie brakujących monobloków na gazociąg DN700 w kierunku Puław oraz DN500 w kierunku Rozwadowa.

Grunt na terenie węzła i tłoczni jest średnio agresywny korozyjnie, lekko alkaliczny, przy niewielkim zróżnicowaniu pod względem rezystywności. Wartość rezystancji przypowierzchniowej warstwy gruntu waha się w granicach 30 Ω m do 150 Ω m.

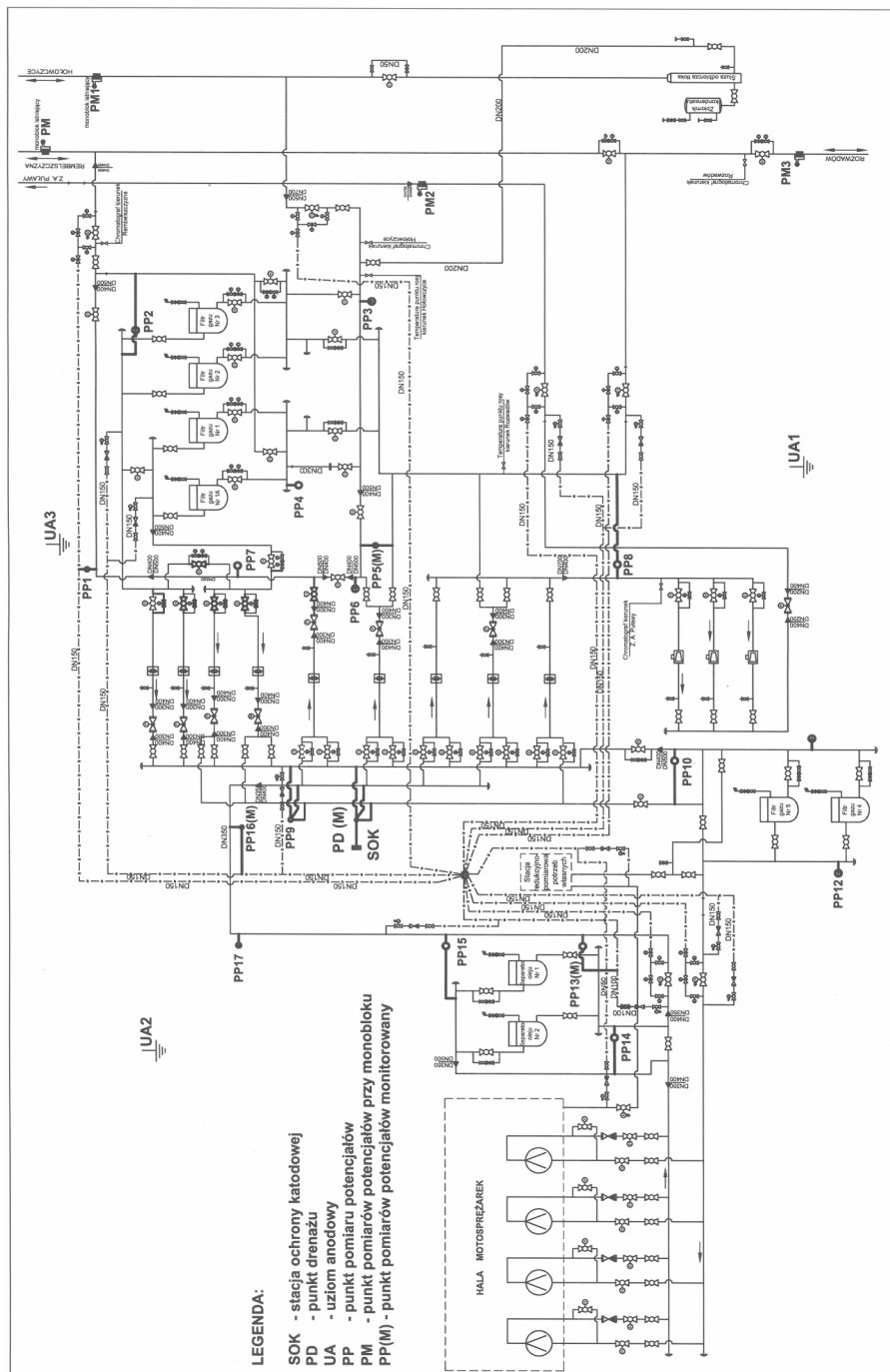
Na potrzeby ochrony katodowej orurowania podziemnego zaprojektowano jedną stację ochrony katodowej pracującą w obwodzie z trzema pół głębokimi uziomami anodowymi. Każdy z uziomów anodowych został zbudowany z 2 anod typu Ti/MMO, umieszczonych w odwiercie o średnicy 300 mm i głębokości około 18,5 m. Pierwsza anoda została umieszczona na głębokości 12 m od powierzchni gruntu. Taki rodzaj uziomów wynikał z geologii gruntu oraz możliwości pozyskania miejsca na potrzeby lokalizacji uziomów. Jako źródło polaryzacji katodowej wykorzystano tradycyjny zasilacz transformatorowy z regulacją ręczną, o prądzie wyjściowym do 20 A i napięciu do 50 V. Zasilacz został umieszczony w wolnostojącej obudowie z tworzywa sztucznego, zlokalizowanej centralnie w stosunku do układu rurociągów.

Dla oceny skuteczności ochrony katodowej podziemnego orurowania węzła zaprojektowano 20 szt. punktów pomiarów elektrycznych (PPE). Przy wszystkich projektowanych monoblokach przewidziano punkty pomiarowe umożliwiające pomiar potencjału gazociągów przed i za monoblokiem. W pobliżu każdego słupka PPE zamontowano rury osłonowe dla umiejscowienia w nich stałej lub przenośnej elektrody odniesienia Cu/nas.CuSO₄ (CSE) na głębokości ułożenia rurociągu, w celu ograniczenia składowej omowej potencjału na czas pomiaru potencjału konstrukcji. Stałe elektrody odniesienia CSE zostały zaprojektowane w punkcie drenażowo-pomiarowym SOK, w punktach pomiarowych przeznaczonych do monitoringu potencjału (PP5, PP13, PP16) oraz w punktach monoblokowych (PM1, PM2, PM3 i PM4).

Dla oceny skuteczności polaryzacji katodowej orurowania podziemnego węzła w punktach pomiarowych zainstalowano elektrody symulujące o powierzchni stalowej płytki 30 cm² (29 szt.) oraz czujniki korozymetryczne o powierzchni elementu pomiarowego 10 cm² i grubości 1 mm (4 szt.). Układ pomiarowy gazociąg – elektroda symulująca – elektroda odniesienia służy do pomiaru potencjału symulowanego defektu w powłoce ochronnej gazociągu.

Elektrody symulujące przy gazociągach zainstalowano parami. Elektrody o symbolu „S” po miesiącu swobodnej korozji przyłączono do gazociągu chronionego katodowo, a elektrody o symbolu „SA” pozostawiono swobodnie korodujące. Elektrody „SA” są przewidziane dla celów diagnostycznych zagrożenia korozyjnego, stanowią punkt odniesienia do oceny polaryzacji katodowej w danym miejscu pomiarowym.

Schemat instalacji ochrony katodowej węzła rozdzielczo-pomiarowego Wronów pokazano na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat instalacji ochrony katodowej węzła rozdzielczo – pomiarowego Wronów

4. Pomiary dla oceny skuteczności ochrony katodowej tłoczni gazu we Wronowie

Przed uruchomieniem stacji ochrony katodowej wykonano pomiary potencjałów spoczynkowych wszystkich konstrukcji podziemnych zlokalizowanych na terenie węzła oraz potencjałów spoczynkowych zainstalowanych elektrod symulujących i czujników korozymetrycznych, względem przenośnych i stałych elektrod odniesienia CSE. Zmierzone wartości potencjałów służą jako referencyjne dla wartości zmierzonych po uruchomieniu ochrony katodowej obiektu. Potencjały wypadkowe konstrukcji stalowych połączonych z uziemieniem obiektu mieściły się w przedziale $-0,62 \text{ V} \div -0,76 \text{ V}$ wzgl. CSE.

Rozruch instalacji ochrony katodowej orurowania podziemnego węzła i tłoczni we Wronowie rozpoczęto w grudniu 2015 r. W ramach rozruchu instalacji ochrony katodowej ustawiono parametry polaryzacji katodowej pozwalające uzyskać potencjał konstrukcji bardziej ujemny niż $-0,85 \text{ V}$ (bez składowej IR) względem elektrody CSE. Jednocześnie ograniczono wartość potencjału ochrony katodowej orurowania węzła w kierunku elektroujemnym do wartości $-1,1 \text{ V}$ wzgl. CSE z uwagi na istniejącą na obiekcie instalację inertyzacji azotem, wykonaną ze stali nierdzewnej i połączoną metalicznie z rurociągami ze stali węglowej. W stacji ochrony katodowej ustawiono prąd wyjściowy na poziomie $I_{\text{wyj}} = 8 \text{ A}$, pomimo iż zapotrzebowanie prądu ochrony katodowej zostało oszacowane w projekcie na poziomie 10 A .

Po upływie tygodnia sprawdzono skuteczność działania ochrony katodowej wykonując pomiar potencjałów elektrod symulujących zainstalowanych na obiekcie, podczas chwilowego odłączania elektrody od gazociągu. Dla oceny skuteczności ochrony katodowej wprowadzono źródło prądu ochrony katodowej w tryb pracy przerywanej 27s on/ 3s off. Przerywacz SOK był zsynchronizowany z przerywaczem włączonym w obwodzie elektrody symulującej – gazociąg. W trakcie pomiarów rejestrowano mierzone wartości przy pomocy multimetrów o oporności wejściowej $>10 \text{ M}\Omega$ i klasie dokładności minimum 1,5, z częstotnością próbkowania 0,1 s (10 Hz).

Na podstawie wstępnej polaryzacji katodowej obiektu stwierdzono, że prąd ochrony katodowej dociera do wszystkich elektrod symulujących i czujników korozymetrycznych. Natężenie prądu przyjmowało różne wartości zależne od usytuowania gazociągów względem instalacji uziemiającej oraz od rezystywności gruntu. Na etapie ruchu próbnego kryterium potencjałowe $-0,85 \text{ V}$ wzgl. CSE, określone w PN-EN 12954:2002 dla rurociągów stalowych posadowionych w gruncie o rezystywności poniżej $100 \Omega\text{m}$, nie było spełnione w 16 miejscach pomiarowych.

W ramach rozruchu instalacji ochrony katodowej wykonano również pomiary sprawdzające izolujące działanie złączy izolujących (monobloków). Stwierdzono brak odseparowania gazociągu DN700 Wronów – Puławy od orurowania podziemnego węzła we Wronowie. Po odkopaniu monobloku pomiary wykazały sprawność zarówno monobloku jak również iskiernika zainstalowanego na monobloku. W trakcie dalszych pomiarów zlokalizowano przyczynę upływności prądu, którą okazało się zwarcie gazociągu DN700 z gazociągiem DN500 Rembelszczyzna – Wronów, na odcinku przed monoblokiem DN500 i za monoblokiem DN700. Do czasu usunięcia tego połączenia, gazociąg do Puław jest dodatkowo chroniony z instalacji ochrony katodowej tłoczni we Wronowie, co należy brać pod uwagę przy ocenie skuteczności ochrony katodowej tego gazociągu. Ochrona katodowa gazociągu DN700 do Puław ma natomiast niewielki wpływ na odczyt potencjałów odłączeniowych elektrod symulujących przy-

łączonych do orurowania wężła i tłoczni, a co za tym idzie, na ocenę skuteczności ochrony katodowej tego orurowania.

Kolejne pomiary w ramach rozruchu instalacji ochrony katodowej przeprowadzono w marcu 2016 r. po upływie 3 miesięcy od ruchu próbnego stacji ochrony katodowej. Parametry instalacji ochrony katodowej orurowania podziemnego wężła i tłoczni we Wronowie zarejestrowane w marcu 2016 r. zawiera tab.1.

Tabela 1. Parametry ochrony katodowej orurowania podziemnego wężła rozdzielczo-pomiarowego we Wronowie (marzec 2016 r.)

Nr uziomu anodowego	Prąd w linii anodowej	Rezystancja uziomu	Nr przyłącza drenażowego	Prąd w linii katodowej
UA1	1,6 A	2,1 Ω	GD1	1,9 A
UA2	2,1 A	1,95 Ω	GD2	2,1 A
UA3	2,3 A	1,42 Ω	GD3	2 A
Łącznie	6 A	1,0 Ω	Łącznie	6 A

Przed przystąpieniem do pomiarów oceniających skuteczność działania ochrony katodowej we wszystkich punktach pomiarowych, przeprowadzono regulację parametrów wyjściowych SOK. Zmniejszono prąd polaryzacji katodowej do 6 A, a następnie wykonano serie rejestracji potencjałów i prądów elektrod symulujących oraz czujników korozymetrycznych analogicznie jak podczas ruchu próbnego. Wyniki tych pomiarów oraz pomiarów przeprowadzonych w grudniu 2015 r. zawiera tabela 2.

Tabela 2. Wyniki pomiarów skuteczności ochrony katodowej orurowania podziemnego wężła rozdzielczo-pomiarowego we Wronowie

PPE	Symbol elektrody symul.	08.2015	12.2015		03.2016			Gazociąg	
		E_n [V]	E_{odt} [V]	I [μ A]	E_{on} [V]	E_{odt} [V]	I [μ A]	E_{on} [V]	E_{off} [V]
PD	S1	-0,52	-0,956	337	-1,3	-1,096	136	-1,3	-1,062
	S1A	-0,54			-0,77	-0,767		-1,306	-1,071
	S2	-0,7	-1,06	345	-1,289	-1,098	248	-1,305	-1,071
	S2A	-0,66			-0,799	-0,792		-1,307	-1,074
	S3	-0,5	-0,956	290	-1,283	-1,09	211	-1,295	-1,073
	S3A	-0,5			-0,749	-0,744		-1,298	-1,064
PP1	S1	-0,72	-1,018	760	-1,576	-1,077	27	-1,576	-1,099
	S1A	-0,66			-0,722	-0,742		-1,576	-1,1
	S2	-0,6	-1,058	870	-1,604	-1,179	34	-1,605	-1,108
	S2A	-0,57			-0,719	-0,704		-1,606	-1,104
PP2	S1	-0,55	-1	215	-1,307	-1,051	21	-1,306	-1,097
	S1A	-0,7			-0,79	-0,773		-1,304	-1,097
	S2	-0,5	-0,971	210	-1,299	-0,988	75	-1,3	-1,099

pPE	Symbol elektrody symul.	08.2015	12.2015		03.2016			Gazociąg	
		E _n [V]	E _{odt} [V]	I [μA]	E _{on} [V]	E _{odt} [V]	I [μA]	E _{on} [V]	E _{off} [V]
	S2A	-0,52			-0,639	-0,641		-1,302	-1,098
pp3	Xr1	-0,536	-0,59	250	-1,31	-0,999	22	-1,307	-1,107
	S1	-0,41	-0,56	585	-1,302	-1,011	110	-1,308	-1,094
	S1A	-0,346			-0,497	-0,492		-1,304	-1,089
pp4	S1	-0,48	-0,708	230	-1,288	-0,993	24	-1,281	-1,071
	S1A	-0,552			-0,601	-0,595		-1,29	-1,073
pp5	S1	-0,49	-0,68	75	-1,268	-0,735	26	-1,268	-1,069
	S1A	-0,58			-0,646	-0,641	0	-1,268	-1,072
	S2	-0,58	-0,99	350	-1,264	-1,015	73	-1,271	-1,063
	S2A	-0,53			-0,656	-0,654	0	-1,273	-1,066
pp6	Xr1	-0,518	-0,79	340	-1,284	-1,043	14	-1,281	-1,087
	S1	-0,58	-0,88	408	-1,279	-1,093	72	-1,284	-1,092
	S1A	-0,59			-0,725	-0,684		-1,279	-1,086
pp7	S1	-0,71	-0,81	280	-1,314	-1,038	84	-1,307	-1,121
	S1A	-0,67			-0,595	-0,588		-1,315	-1,118
	S2	-0,9		420	-1,317	-1,182	88	-1,318	-1,111
	S2A	-0,89			-0,821	-0,815		-1,322	-1,109
pp8	S1	-0,77	-0,92	188	-1,327	-1,154	253	-1,345	-1,107
	S1A	-0,644			-0,786	-0,778		-1,348	-1,09
	S2	-0,55	-1,03	374	-1,351	-1,092	22	-1,345	-1,099
	S2A	-0,601			-0,706	-0,704		-1,346	-1,092
pp9	Xr1	-0,435	-0,69	99	-1,337	-1,077	27	-1,337	-1,09
	S1	-0,46	-0,69	310	-1,326	-1,097	92	-1,33	-1,087
	S1A	-0,56			-0,794	-0,798		-1,331	-1,086
	S2	-0,76	-0,952	270	-1,315	-1,117	168	-1,33	-1,082
	S2A	-0,73			-0,787	-0,766		-1,326	-1,082
	S3	-0,53	-0,683	190	-1,307	-1,103	165	-1,321	-1,094
	S3A	-0,52			-0,746	-0,759		-1,321	-1,083
pp10	S1	-0,68	-0,952	370	-1,325	-1,136	300	-1,349	-1,099
	S1A	-0,74			-0,795	-0,796		-1,341	-1,082
	S2	-0,71	-1,01	449	-1,315	-1,123	338	-1,345	-1,098
	S2A	-0,58			-0,872	-0,861		-1,34	-1,086
pp11	S1	-0,65	-0,895	279	-1,337	-1,125	265	-1,357	-1,087
	S1A	-0,61			-0,815	-0,807		-1,361	-1,082

PPE	Symbol elektrody symul.	08.2015	12.2015		03.2016			Gazociąg	
		E_n [V]	E_{odl} [V]	I [μ A]	E_{on} [V]	E_{odl} [V]	I [μ A]	E_{on} [V]	E_{off} [V]
PP12	Xr1	-0,74		230	-1,305	-1,129	121	-1,315	-1,091
	S1	-0,65	-0,778	151	-1,31	-1,114	115	-1,319	-1,086
	S1A	-0,51			-0,762	-0,747		-1,316	-1,084
PP13	S1	-0,26	-0,585	180	-1,13	-0,791	48	-1,132	-0,995
	S1A	-0,47			-0,717	-0,715		-1,133	-0,997
	S2	-0,32	-0,534	106	-1,09	-0,773	46	-1,092	-0,981
	S2A	-0,362			-0,299	-0,28		-1,094	-0,984
PP14	S1	-0,32	-0,532	225	-1,076	-0,896	37	-1,077	-0,986
	S1A	-0,287			-0,358	-0,386		-1,077	-0,996
	S2	-0,311	-0,531	206	-1,09	-0,872	29	-1,09	-0,985
	S2A	-0,318			-0,328	-0,316		-1,091	-0,99
PP15	S1	-0,55	-0,667	355	-1,117	-0,872	362	-1,15	-0,999
	S1A	-0,564			-0,585	-0,586		-1,131	-0,995
	S2	-0,45	-0,523	355	-1,129	-0,858	31	-1,13	-1,015
	S2A	-0,521			-0,521	-0,522		-1,129	-1,001
PP16	S1	-0,53	-0,71	110	-1,369	-1,069	90	-1,369	-1,056
	S1A	-0,6			-0,609	-0,615		-1,371	-1,058
	S2	-0,7	-1,08	930	-1,359	-1,108	255	-1,382	-1,051
	S2A	-0,63			-0,675	-0,668		-1,387	-1,048
PP17	S1	-0,47	-0,946	390	-1,292	-0,991	19	-1,303	-1,055
	S1A	-0,49			-0,587	-0,581		-1,307	-1,053

Oznaczenia:

E_n – potencjał korozyjny (spoczynkowy)

E_{odl} – potencjał elektrody symulującej /czujnika korozymetrycznego zmierzony w trakcie odłączania od konstrukcji chronionej katodowo (dla elektrod swobodnie korodujących o symbolu SA – wartość potencjału zmierzona w trakcie przerywania sygnału wyjściowego SOK)

E_{on} / E_{off} – potencjał załączeniowy /potencjał wyłączeniowy

I – prąd płynący w obwodzie elektrody symulującej/czujnik korozymetryczny – gazociąg

S, SA – elektroda symulująca o powierzchni 30 cm²

Xr – czujnik korozymetryczny o powierzchni 10 cm²

Po okresie 3-miesięcznej polaryzacji katodowej obiektu zmalało zapotrzebowanie prądowe konstrukcji podziemnych węzła i tłoczni Wronów, a potencjały E_{on} ochrony katodowej stały się bardziej elektroujemne i zawierają się w przedziale $-1,28$ V ÷ $-1,36$ V wzgl. CSE. Wyjątek stanowią konstrukcje podziemne zlokalizowane w pobliżu hali tłoczni oraz rurociągi

przechodzące bardzo blisko uziomu anodowego, znajdujące się w stożku działania tego uziomu (dotyczy punktu PP1).

Pomiary potwierdziły spełnienie kryterium potencjałowego $-0,85$ V wzgl. CSE na 26 elektrodach symulujących i 4 czujnikach korozymetrycznych. Tylko 3 elektrody symulujące mają potencjał mniej ujemny od kryterium. Są to elektrody zlokalizowane blisko hali motosprężarek (punkty PP13, PP14 i PP15), gdzie rurociągi są połączone z uziemioną konstrukcją tłoczni gazu i zbrojeniami żelbetów. Potencjał E_{on} orurowania podziemnego wynosi w tym miejscu około $-1,1$ V wzgl. CSE, a potencjały korozyjne (spoczynkowe) elektrod symulujących zainstalowanych najbliżej hali tłoczni przyjmują potencjał około $-0,3$ V.

Z uwagi na krótki okres polaryzacji katodowej Tłoczni Wronów nie ma jeszcze wiarygodnych wyników pomiarów szybkości korozji przy pomocy czujników korozymetrycznych zainstalowanych na obiekcie. Zasadnym wydaje się montaż dodatkowego czujnika korozymetrycznego w pobliżu hali motosprężarek. Wyniki szybkości korozji będą uzupełnieniem dotychczasowych pomiarów, które będą powtórzone po usunięciu zwarcia orurowania tłoczni z gazociągami do Puław. Dopiero wówczas będzie możliwe zakończenie rozruchu ochrony katodowej węzła i tłoczni we Wronowie i ustalenie parametrów eksploatacyjnych SOK Wronów.

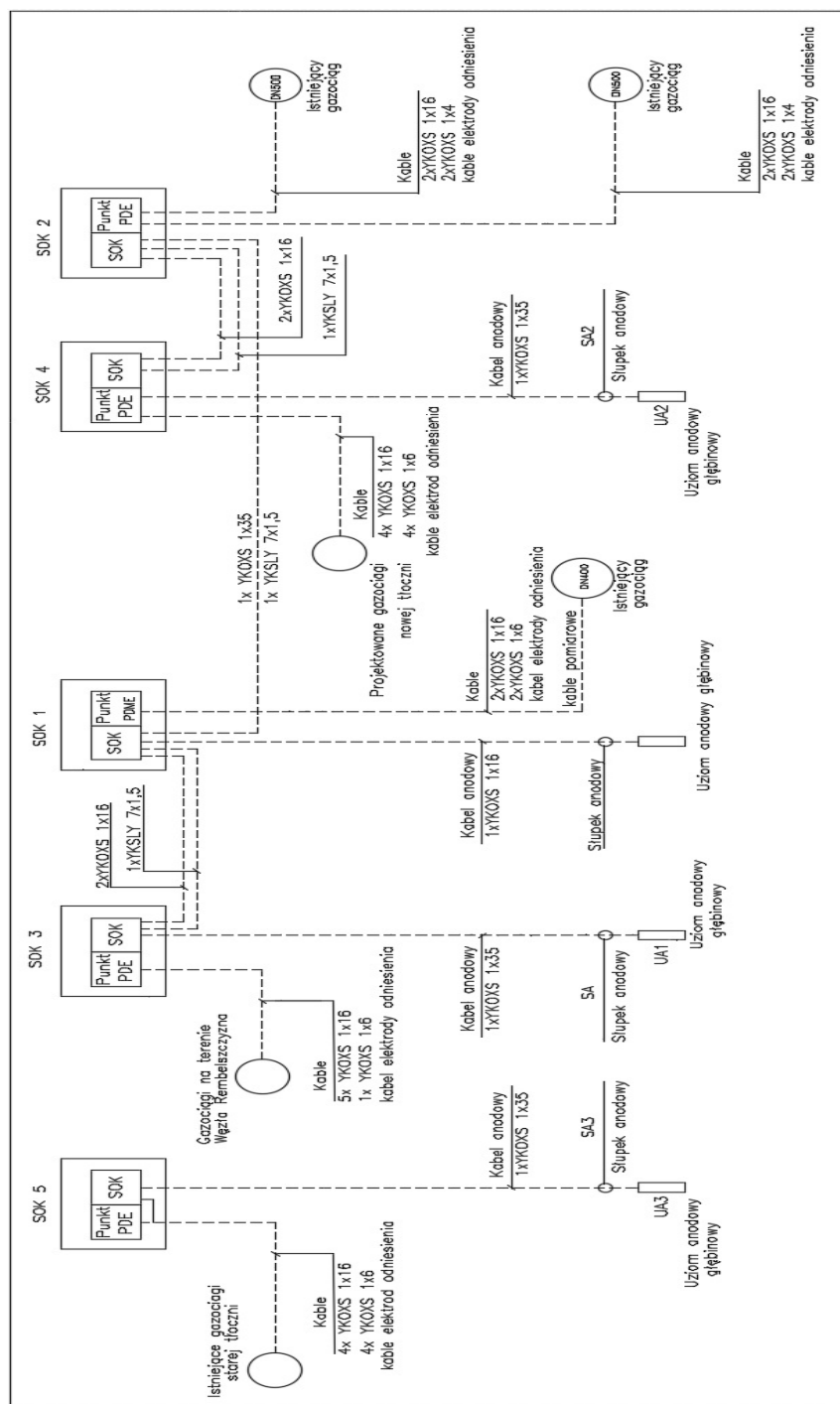
5. Opis instalacji ochrony katodowej tłoczni gazu w Rembelszczyźnie

Tłocznia Rembelszczyzna składa się z dwóch obiektów - starsza część została wybudowana w 1971 roku, nową część dobudowano w 1992 roku. Do istniejącego węzła rozdzielczo-pomiarowego dochodzi 6 gazociągów w/c o średnicach od DN400 do DN700. Planowane jest włączenie kolejnych wielkośrednicowych gazociągów, które są w fazie projektowania. Ze względu na występujące ograniczenia w zdolności tłoczenia istniejącej tłoczni gazu podjęto decyzję o przebudowie istniejącego obiektu i przystosowaniu go do aktualnych potrzeb.

W pierwszym etapie rozbudowano węzeł rozdzielczo – pomiarowy, który połączono z istniejącą siecią gazową. Na potrzeby starej i nowej tłoczni oraz węzła zaprojektowano wspólną kolumnę wydmuchową gazu, co spowodowało elektryczne połączenie wszystkich gazociągów znajdujących się na terenie obiektu. Rozdzielenie nowych elementów zabudowy węzła i tłoczni od istniejących wymagałoby poniesienia znacznych nakładów finansowych i montażu kilkudziesięciu monobloków.

Podczas budowy nowego węzła rozdzielczo-pomiarowego dołożono starań, aby elementy żelbetowe zostały odizolowane od elementów technologicznych przez zastosowanie odpowiednich przekładek izolacyjnych. Izolacja gazociągów była dokładnie sprawdzana przed zasypaniem, a zauważone usterki były na bieżąco usuwane.

Do czasu przebudowy węzła w Rembelszczyźnie orurowanie podziemne starej tłoczni nie posiadało instalacji ochrony katodowej. Na potrzeby ochrony katodowej nowego i starego orurowania podziemnego węzła i tłoczni zaprojektowano trzy stacje ochrony katodowej z uziomami głębokimi, a dla gazociągów przesyłowych wychodzących z węzła, dodatkowo dwie instalacje. Po realizacji całego przedsięwzięcia wszystkie stacje ochrony katodowej będą mogły pracować w dowolnej konfiguracji, współpracując z czterema uziomami głębokimi.



Rys. 2. Schemat instalacji ochrony katodowej węzła i tłoczni gazu Rembelszczyzna

Na obecnym etapie rozbudowy tłoczni Rembelszczyzna tylko jedna stacja ochrony katodowej (SOK3) polaryzuje orurowanie podziemne wężła i starej tłoczni. Dwie pozostałe stacje (SOK1 i SOK2) polaryzują gazociągi przesyłowe. Kolejna stacja (SOK4) będzie zainstalowana po wybudowaniu nowej tłoczni, a ostatnia powstanie na potrzeby ochrony katodowej starego obiektu (SOK5). Schemat docelowy instalacji ochrony katodowej wężła i tłoczni gazu Rembelszczyzna pokazano na rys. 2. Stacje ochrony katodowej zostały wyposażone w automatyczne urządzenia polaryzujące pracujące w trybie galwanostatu. Taki rodzaj urządzeń dobrano z uwagi na synchroniczną pracę z innymi urządzeniami zainstalowanymi w stacjach ochrony katodowej na gazociągach przesyłowych wychodzących z tłoczni oraz ze względu na możliwość równoległej pracy dwóch SOK w układzie wspólnego uziomu anodowego.

Przy gazociągach na terenie nowego wężła zostały zabudowane 3 punkty pomiarów elektrycznych, w których zainstalowano elektrody symulujące o powierzchni 10 cm^2 (X) i czujniki korozymetryczne o powierzchni 5 cm^2 (Xr) oraz stałe elektrody odniesienia (E). Jeden czujnik korozymetryczny (Xr2) pozostawiono w gruncie bez przyłączenia do chronionej katodowo konstrukcji.

Punkt pomiarowy PP1 jest umiejscowiony najbliżej orurowania starej tłoczni, punkt PP2 znajduje się przy uziemionym zbiorniku podziemnym w izolacji poliuretanowej, punkt PP3 jest zlokalizowany przy ciągach pomiarowych wężła. Punkt PP4 został zainstalowany przy istniejącym gazociągu DN500 w izolacji bitumicznej. Wyniki pomiarów potencjałów i prądów elektrod symulujących oraz czujników korozymetrycznych zainstalowanych na obiekcie zamieszczono w tab. 3. Tabela 4 zawiera odczyty parametrów czujników korozymetrycznych, w tym wartość szybkości korozji w mm/rok.

Tabela 3. Wyniki pomiarów potencjałów i prądów ochrony katodowej wężła rozdzielczo-pomiarowego w Rembelszczyźnie

PPE	Gazociąg		Elektroda symulująca / czujnik korozymetryczny				
	03.2016		03.2016				04.2015
	E_{on} [V]	E_{off} [V]	E_n [V]	E_{on} [V]	E_{odl} [V]	I [μA]	I [μA]
PP1 Xr2	-0,734	-0,632	-0,672	-0,489	-0,501	czujnik nie przyłączony	
PP1 Xr1	-0,712	-0,622	-0,589	-0,712	-0,628	1,1	93
PP1 X	-0,712	-0,623	-0,645	-0,711	-0,676	2,6	102
PP2 Xr	-0,900	-0,79	-0,807	-0,899	-0,778	0,4	7
PP2 X	-0,853	-0,778	-0,802	-0,851	-0,83	16	17
PP3 Xr	-1,191	-0,931	-0,805	-1,188	-1,065	26	45
PP3 X	-1,192	-0,927	-0,792	-1,187	-1,08	43	92
PP4 X	-1,142	-0,923	-0,442	-1,142	-0,724	4,8	142
PD	-1,263	-0,973	-0,764	-1,255	-1,043	3,6	144

Z uwagi na możliwość przechronienia nowych gazociągów w izolacji 3LPE, obecna instalacja ochrony katodowej nie zapewnia pełnej ochrony istniejącego orurowania tłoczni. Pomimo to szybkość korozji, zarejestrowana za pomocą czujników korozymetrycznych po roku ich ekspozycji w gruncie, jest na poziomie akceptowalnym. Tylko czujnik nie podłączony do konstrukcji chronionej katodowo wykazuje szybkość korozji przekraczającą dopuszczalne kryterium 0,01mm/rok. Na podstawie pomiarów nasuwa się wniosek, że w wysokooporowym gruncie nawet niewielkie przesunięcie potencjału w kierunku elektroujemnym może zapewnić skuteczną ochronę katodową konstrukcji podziemnej.

Tabela 4. Wyniki odczytów parametrów czujników korozymetrycznych zainstalowanych na terenie węzła rozdzielczo-pomiarowego w Rembelszczyźnie

PPE	Data pomiaru	V_t	E_{on}	$E_{odł}$	I	R	Uwagi
		[mm/rok]	[V]	[V]	[μA]	[Ω]	
PP1 Xr2	11.05.15	0,0000				1530	czujnik nie przyłączony
	17.03.16	0,0527				3790	
PP1 Xr1	22.04.15	0,0703	-0,809	-0,596	93	2380	podłączenie
	17.03.16	0,0018	-0,712	-0,628	1,1	16800	
PP2 Xr	22.04.15	0,0689	-0,915	-0,894	7	2020	podłączenie
	17.03.16	0,0003	-0,899	-0,778	0,4	1710	
PP3 Xr	22.04.15	0,0714	-1,122	-1,003	45	1360	podłączenie
	17.03.16	0,0009	-1,188	-1,065	25,6	2490	

Oznaczenia:

X – elektroda symulująca o powierzchni 10 cm²,

Xr – czujnik korozymetryczny o powierzchni 5 cm².

6. Opis instalacji ochrony katodowej tłoczni gazu w Hołowczycach

Tłocznia gazu w miejscowości Hołowczyce składa się z dwóch obiektów oddalonych od siebie na odległość około 400 m. Tłocznia Hołowczyce I została wybudowana w 1989 roku. Tłocznia Hołowczyce II została wybudowana w 1992 roku. Tłocznie między sobą są połączone 3 nitkami gazociągów DN700 i DN1000. Do węzła rozdzielczo-pomiarowego tłoczni Hołowczyce I dochodzą cztery gazociągi w/c o średnicach od DN150 do DN1000.

Tłocznia jest odseparowana od gazociągów wlotowych i wylotowych za pomocą podziemnych złączy izolujących – monobloków. Pełne odseparowanie tłoczni zostało zrealizowane dopiero w 2006 roku. Na ciągach rurowych łączących obie tłocznie nie ma zainstalowanych monobloków.

Ochrona katodowa orurowania podziemnego tłoczni została zrealizowana w 2008 roku. Na terenie Tłoczni Hołowczyce I i Hołowczyce II zainstalowano dwie stacje ochrony katodowej (SOK1 i SOK2), po jednej na każdej tłoczni. Do polaryzacji katodowej orurowania tłoczni wykorzystano tradycyjne prostowniki transformatorowe z regulacją ręczną. Elementem składowym instalacji ochrony katodowej tłoczni są dwa pionowe uziomy anodowe o głębokości około 60 m, zbudowane z elektrod żelazo-krzemowych w obsypce koksowej.

Dla oceny skuteczności ochrony katodowej rurociągów podziemnych, w wybranych miejscach umieszczono elektrody symulujące o powierzchni 10 cm^2 i 100 cm^2 . Na tłoczni Hołowczyce I zainstalowano łącznie 54 elektrody symulujące, a na tłoczni Hołowczyce II zainstalowano 30 elektrod symulujących. Elektrody symulujące są połączone z chronioną katodowo konstrukcją poprzez 33 punkty pomiarowe. W 12 punktach pomiarowych zostały zainstalowane stałe elektrody odniesienia CSE na potrzeby monitoringu potencjału połączeniowego konstrukcji.

Na terenie tłoczni występują grunty o różnej rezystywności. W zależności od miejsca pomiaru, wartości te wahają się w granicach $200\ \Omega\text{m}$ do $600\ \Omega\text{m}$.

Rozruch ochrony katodowej orurowania podziemnego tłoczni Hołowczyce został przeprowadzony w 2009 roku. Pomimo znacznej odległości między dwiema tłoczniami nie można traktować tych obiektów niezależnie. Ochrona katodowa jednej tłoczni oddziałuje na ochronę katodową drugiej tłoczni, dlatego pomiary skuteczności ochrony katodowej należy wykonywać podczas synchronicznego przerywania sygnału wyjściowego obydwu SOK.

Podczas rozruchu instalacji ochrony katodowej orurowania tłoczni Hołowczyce I 19 elektrod symulujących nie spełniało kryterium określonego w normie PN-EN 12954 tj. $-0,75\text{V}$ względem CSE. Na tłoczni Hołowczyce II brak kryterium stwierdzono w przypadku 5 elektrod. Pomiary polaryzacji katodowej wykonane po upływie roku wykazały nie spełnienie kryterium ochrony na 16 spośród 54 zainstalowanych elektrodach symulujących.

Do oceny skuteczności ochrony katodowej wzięto pod uwagę kryterium określone w normie dotyczącej ochrony katodowej konstrukcji złożonych [2]. Porównano wartość przesunięcia potencjału odłączeniowego elektrod symulujących względem ich potencjału korozyjnego. Na tej podstawie stwierdzono skuteczność ochrony katodowej orurowania podziemnego Tłoczni Hołowczyce II oraz niepełną ochronę katodową orurowania Tłoczni Hołowczyce I przy parametrach wyjściowych SOK1 $I_{\text{wyj}} = 10,5\text{ A}$, $U_{\text{wyj}} = 16,3\text{ V}$. Parametry te ustalono kompromisowo biorąc pod uwagę nierównomierną polaryzację katodową rurociągów i stwierdzoną nadmierną polaryzację niektórych odcinków gazociągów w izolacji PE. W celu poprawy dystrybucji prądu ochrony katodowej podjęto wówczas decyzję o zaprojektowaniu i zainstalowaniu w miejscach niedostatecznie chronionych dodatkowych uziomów anodowych płytkich. Problem niedochronienia dotyczył rurociągów usytuowanych przy hali sprężarek oraz przy filtrach.

Dodatkowe uziomy anodowe płytkie, zbudowane z żelazo-krzemu w zasypce koksowej, zamontowano w 4 dodatkowych punktach pomiarowych. Uziomy zostały włączone w obwód istniejącej instalacji ochrony katodowej.

W 2013 r. w newralgicznych miejscach na terenie tłoczni Hołowczyce I zainstalowano cztery czujniki korozymetryczne. Wyniki pomiarów szybkości korozji potwierdzają szybkość korozji bliską zeru.

W trakcie kilkuletniej eksploatacji ochrony katodowej gazociągów na terenie tłoczni w Hołowczycach kilkakrotnie przeprowadzano regulacje parametrów wyjściowych SOK. Wynikało to z różnych prac modernizacyjnych wykonywanych na tłoczni Hołowczyce II, między innymi zostały zdemontowane sprężarki GPA-1, GPA-2, GPA-3 wraz z całą infrastrukturą towarzyszącą. Uległa zmniejszeniu powierzchnia konstrukcji chronionej katodowo, co w konsekwencji spowodowało konieczność zmniejszenia prądów wyjściowych SOK 1 i SOK 2. Parametry wyjściowe obydwu stacji ochrony katodowej od czasu ich rozruchu do ostatnich pomiarów dla oceny skuteczności ochrony katodowej przedstawiono w tabeli 5.

Ostatnie pomiary skuteczności ochrony katodowej wykonane w 2015 roku wykazały głęboką polaryzację katodową obydwu obiektów. Tabele zawierające wyniki pomiarów wykonanych na wszystkich zainstalowanych elektrodach symulujących były prezentowane na konferencji PSK w Ostródzie w 2015 r. [4]. Większość elektrod symulujących o powierzchni 10 cm² miała rezystancję przejścia powyżej 20 kΩ, a prąd płynący w obwodzie elektroda – gazociąg tylko w 3 przypadkach na 37 był większy od 10 μA. W przypadku elektrod o powierzchni 100 cm² ich rezystancja przejścia wahała się między 1÷7 kΩ, a prąd wpływający do elektrody tylko w 4 przypadkach na 37 był większy od 100 μA. Porównanie tych wyników z wynikami z lat poprzednich świadczy o osadzaniu się osadów katodowych na powierzchni elektrod symulujących, których efektem jest zmniejszenie ich powierzchni czynnej.

Tabela 5. Parametry pracy SOK 1 i SOK 2 w czasie eksploatacji ochrony katodowej na tłoczniach Hołowczyce I i II

Rok	SOK 1			SOK 2		
	U _{wyj} [V]	I _{wyj} [A]	R _{uz} [Ω]	U _{wyj} [V]	I _{wyj} [A]	R _{uz} [Ω]
2009	16	11,2	1,3	10	7,2	1,0
2010	16,3	10,5	1,4	10,5	6,1	1,27
2012	16	9,8	1,42	8,5	4,3	1,3
2013*	17,9	10,3	1,45	6,5	3,1	1,35
2014	16,2	8,0	1,45	5,2	2,1	1,37
2015**	14,5	7,7	1,61	5,05	1,74	1,52

* po zainstalowaniu dodatkowych uziołów anodowych

** po demontażu trzech sprężarek i usunięciu punktów pomiarowych S33, S34, S35

Po pomiarach przeprowadzonych w 2015 roku zmniejszono parametry polaryzacji katodowej tłoczni Hołowczyce I i II. Kolejne pomiary skuteczności ochrony katodowej orurowania podziemnego tłoczni, które są planowane w 2016 r., pozwolą ocenić czy parametry te są na prawidłowym poziomie, czy też należy przeprowadzić dalszą regulację.

7. Wnioski

- Podziemne gazociągi na terenie tłoczni gazu są zagrożone korozją w większym stopniu niż gazociągi przesyłowe. Zagrożenie zewnętrznych powierzchni gazociągów jest spowodowane ich połączeniami ze zbrojeniami fundamentów i konstrukcji żelbetowych. Pręty zbrojeniowe i stal nierdzewna są katodami w stosunku do pozbawionych izolacji przeciwkorozyjnej powierzchni gazociągów, które w ogniach korozyjnych zachowują się jak anody.
- Połączenie rurociągów ze stali węglowej chronionej katodowo, z rurociągami ze stali nierdzewnej niszczy warstwę pasywną stali o podwyższonej wytrzymałości. Na skutek ekwipotencjalizacji obiektu złożonego stal nierdzewna traci swoje własności ochronne w środowisku elektrolitycznym i zachowuje się jak stal węglowa. Należy unikać takich połączeń.

- W ochronie katodowej istniejących obiektów tłoczni gazu najlepiej nadają się uziomy głębokie lub półgłębokie, uzupełnione o lokalne uziomy płytkie. Konieczność montażu dodatkowych uziomów anodowych płytkich można stwierdzić dopiero po rozruchu instalacji.
- Do oceny polaryzacji katodowej konstrukcji złożonych należy zastosować w pierwszej kolejności kryteria opisane w normie PN-EN12954. Jeżeli kryteria te są one zbyt rygorystyczne należy zastosować kryteria wg normy PN-EN 14505.
- W przypadku oceny skuteczności ochrony katodowej orurowania podziemnego obiektu złożonego według PN-EN 12954, nie można porównywać z wartością kryterium ochrony ani potencjału załączeniowego ani wyłączeniowego zmierzonego na chronionej katodowo konstrukcji, ponieważ żaden z tych potencjałów nie jest potencjałem wolnym od omowego spadku napięcia IR.
- Skuteczność ochrony katodowej rurociągu można wiarygodnie ocenić na podstawie pomiaru potencjału elektrody symulującej odłączonej na czas pomiaru od gazociągu w punkcie pomiarowym, przy równoczesnym wyłączeniu prądu ochrony katodowej.
- W celu oceny skuteczności ochrony katodowej orurowania podziemnego zaleca się montowanie przy konstrukcji zarówno elektrod symulujących jak i czujników korozymetrycznych. Odczyty szybkości korozji uzupełniają ocenę skuteczności polaryzacji katodowej, ale ich wyniki są możliwe do uzyskania w dłuższym okresie czasu.
- Zaleca się stosowanie elektrod symulujących/czujników korozymetrycznych swobodnie korodujących, nie przyłączonych do chronionej katodowo konstrukcji, gdyż stanowią punkt odniesienia do oceny polaryzacji katodowej w danym miejscu pomiarowym.
- Rezystancje przejścia elektrod symulujących polaryzowanych katodowo mogą ulec znacznemu, kilkakrotnemu zwiększeniu w wyniku pokrywania się powierzchni elektrody warstwą osadów katodowych. Nie dyskwalifikuje to elektrod do dalszej eksploatacji.
- Na istniejących obiektach w izolacji bitumicznej, pozostających w gruncie wysokooporowym, do oceny skuteczności ochrony katodowej lepiej sprawdzają się elektrody symulujące o powierzchni 100 cm² niż 10 cm².

Literatura

- [1] Norma PN-EN12954 – Ochrona katodowa konstrukcji metalowych w gruntach lub w wodach. Zasady ogólne i zastosowania dotyczące rurociągów.
- [2] Norma PN-EN14505 – Ochrona katodowa konstrukcji złożonych.
- [3] Markiewicz M., *Klasyczna ochrona katodowa węzła przesyłowego gazu*, VII Krajowa Konferencja Pomiary Korozyjne w Ochronie Elektrochemicznej, Jurata 2002.
- [4] Solarz W., Matus H., *Ochrona katodowa Tłoczni Gazu Hołowczyce*, Konferencja Polskiego Stowarzyszenia Korozyjnego, Ostróda 2015.