



**ANALIZA ODDZIAŁYWAŃ PRZEMIENNOPRĄDOWYCH  
NA WSCHODNIM ODCINKU  
GAZOCIĄGU TRANZYTOWEGO JAMAŁ – EUROPA**  
**THE ALTERNATING CURRENT IMPACT ANALYSIS  
ON THE EASTERN SECTION  
OF THE TRANSIT GAS PIPELINE JAMAL – EUROPE**

Wiesław Solarz, Mikołaj Kościuk

OGP GAZ-SYSTEM Oddział w Rembelszczyźnie  
System Gazociągów Tranzytowych EuRoPol GAZ s.a., Warszawa

Słowa kluczowe: ochrona przeciwkorozyjna, gazociąg, skuteczność ochrony, oddziaływania prądu przemiennego

Keywords: corrosion protection, gas pipeline, effectiveness, alternating current impact

### **Streszczenie**

Stosowanie bardzo dobrej jakości powłok izolacyjnych pociąga za sobą oprócz korzyści także szereg niedogodności związanych z eksploatacją. O skuteczności ochrony przeciwkorozyjnej całego rurociągu mogą decydować warunki, jakie tworzą się w pojedynczym defekcie izolacji. Stąd potrzeba stosowania specjalnych technik badawczych, szczególnie na odcinkach gazociągu wielokrotnie krzyżującego się z liniami przesyłowymi najwyższych napięć, które oprócz własnych oddziaływań mogą też przenosić inne zakłócenia natury elektrycznej.

### **Summary**

Application of very good quality insulating coatings provides/involves, apart from benefits, many disadvantages related with operation and maintenance of anticorrosion protection system. Conditions generated by single defects may determine anticorrosion protection effectiveness of whole pipeline. Hence the need to use special techniques of research, especially on the sections of the pipeline repeatedly crossed with the high voltage transmission lines, which in addition to their own interactions may also carry other electrical interference nature.

## 1. System zabezpieczeń przed korozją

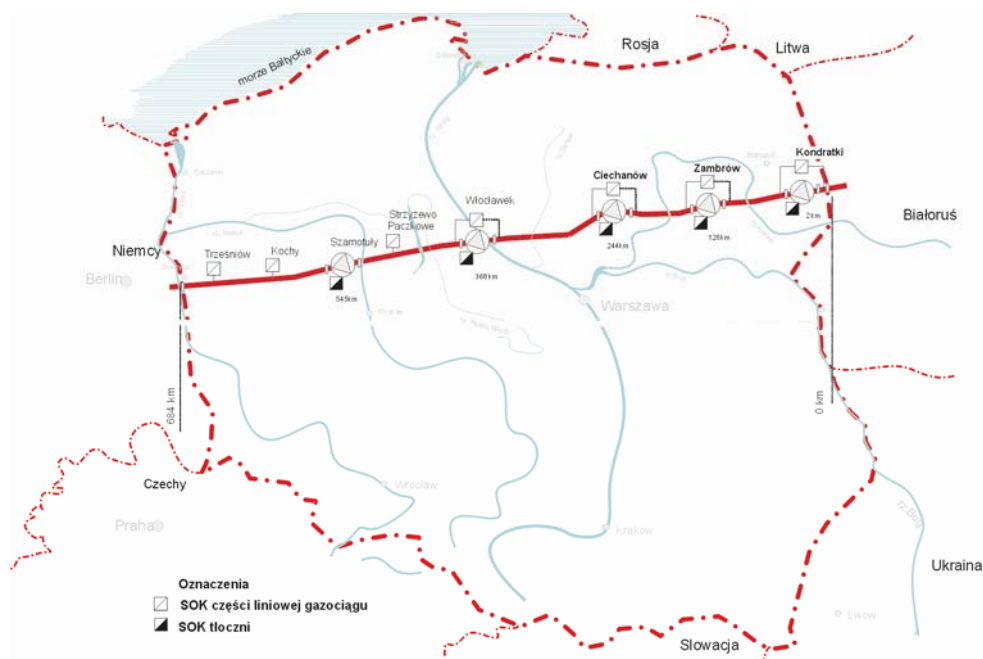
Podstawowe zabezpieczenie przeciwkorozyjne gazociągu tranzytowego stanowi jego zewnętrzna izolacja. Zgodnie ze współczesnymi wymaganiami rury posiadają fabrycznie wytłaczaną trójwarstwową powłokę polietylenową, a armatura izolację poliuretanową, też nanoszoną fabrycznie. Jednostkowa rezystancja powierzchniowa izolacji, mierzona zarówno po wybudowaniu gazociągu jak i w kolejnych latach eksploatacji jest na poziomie nie mniejszym niż:

- $10^6 \Omega \text{ m}^2$  na odcinkach gazociągu niezawierających zespołów zaporowo upustowych,
- $5 \cdot 10^5 \Omega \text{ m}^2$  na odcinkach zawierających ZZU.

Ochrona katodowa jest stosowana jako środek wspomagający ochronę podstawową i monitorujący stan jego zabezpieczenia przeciwkorozyjnego. Zgodnie z dokumentacją projektową jako kryterium oceny skuteczności ochrony przeciwkorozyjnej, w zależności od rezystywności gruntu, przyjęto potencjały  $-0,75 \div -0,95 \text{ V}$  wolne od składowej IR (mierzone względem elektrody  $\text{Cu}/\text{CuSO}_4$ ).

## 2. Ochrona katodowa gazociągu

Liniowa część gazociągu jest galwanicznie podzielona monoblokami izolacyjnymi na pięciu zespołach podłączeniowych tłoczni oraz na obu granicach państwa. Tak utworzone sekcje gazociągu są polaryzowane przez niezależne stacje tworząc autonomiczny system ochrony katodowej części liniowej.



Rys. 1. Ochrona katodowa liniowych i kubaturowych obiektów gazociągu na terenie RP

Obiekty kubaturowe, tzn. każda tłocznia łącznie z jej zespołem podłączeniowym, są galvanicznie odizolowane od części liniowej gazociągu poprzez monobloki i chronione przez niezależny system ochrony katodowej ze stacją ochrony katodowej zlokalizowaną na terenie tłoczni. Kontrola parametrów pracy ochrony katodowej obiektów liniowych (ZZU, ZPT) i kubaturowych jest prowadzona metodami cyfrowymi w trybie „on-line”.

### **3. Monitorowanie parametrów ochrony przeciwkorozyjnej**

Monitorowanie parametrów pracy systemu ochrony katodowej odbywa się drogą SCADA. System ten umożliwia śledzenie na bieżąco parametrów oraz trybów i stanów pracy stacji SOK na poszczególnych obiektach i zespołach technologicznych. Zapewnia też realizację pomiarów w trybie automatycznym - w wielu opcjach - stosownie do potrzeb terenowych ekip pomiarowych. Tym niemniej przyjęto zasadę, że system monitoringu służy do kontroli poprawności pracy systemu ochrony katodowej (śledzenie zmian parametrów i stanów awaryjnych systemu). Natomiast nastawy parametrów i trybów pracy stacji realizowane są tylko lokalnie, a skuteczność ochrony katodowej jest oceniana na podstawie corocznych pomiarów terenowych, realizowanych przez służby eksploatacyjne.

### **4. Przyjęte zasady i procedury w eksploatacji ochrony przeciwkorozyjnej na SGT**

Podstawowe pomiary są realizowane cyklicznie, co roku zgodnie z ustalonymi wcześniej instrukcjami i harmonogramem.

Interpretacja wyników pomiarów nie zawsze jest jednoznaczna. Wprawdzie opracowano wiele sposobów określania potencjału bez składowej IR, lecz nie można wskazać jednej uniwersalnej i prostej metody, która pozwoli na określenie skuteczności ochrony w defektach. Szczególnie jest to istotne dla stref anodowych i katodowych na odcinkach gazociągu ze stwierdzonym oddziaływaniem prądów błądzących i oddziaływań przemienoprądowych od elektroenergetycznych linii przesyłowych najwyższych napięć.

Dlatego też po okresie trzech lat od zakończenia budowy, gdy gazociąg uzyskał dobry kontakt z gruntem i ujawniły się wszystkie istniejące defekty powłoki izolacyjnej gazociągu opracowano wieloletni program badań weryfikacyjnych obejmujący następujące działania:

- przebadanie całego gazociągu z powierzchni ziemi metodą DCVG dla znalezienia wszystkich defektów powłoki izolacyjnej,
- dokonanie pomiarów weryfikacyjnych dla określenia skuteczności ochrony w zlokalizowanych defektach,
- dokonanie analizy, które ze zlokalizowanych defektów wymagają naprawienia izolacji, a które mogą być okresowo monitorowane przy pomocy zainstalowanych sond.

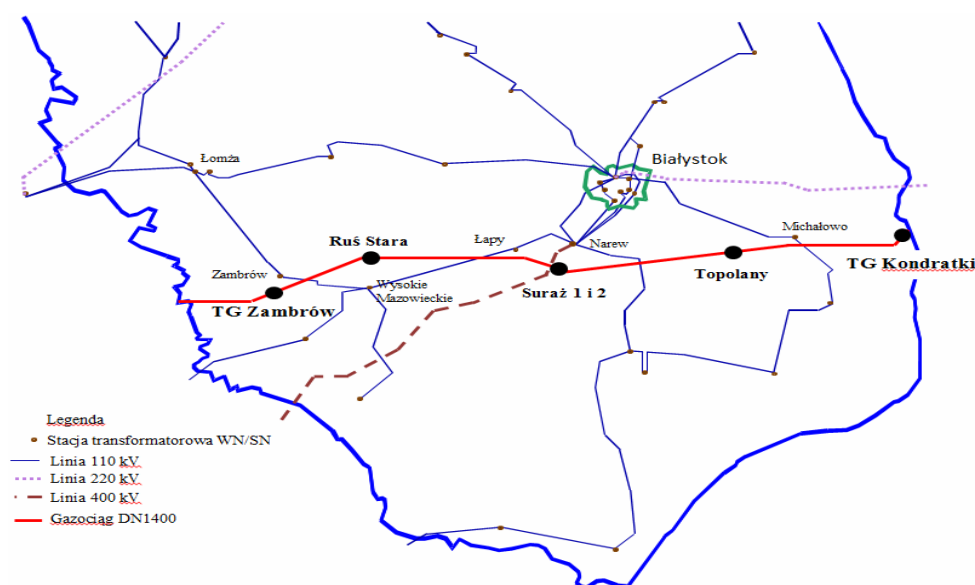
W miejscach defektów niekwalifikujących się do naprawy, w których skuteczność ochrony nie została potwierdzona w sposób jednoznaczny, zastosowano sondy korozymetryczne, które są stosownym narzędziem do monitorowania szybkości procesów korozyjnych np. na armaturze zaporowej zespołów technologicznych. Są one także odpowiednie do kryteriów ochrony określonych w normie PN-EN-12954. Z dotychczasowych doniesień [1] i doświadczeń eksploatacyjnych wynika, że zachowana jest powtarzalność parametrów sond

korozymetrycznych i mimo wielu niedogodności mogą one być stosowane do kontroli procesu korozji na gazociągu.

Następne badania gazociągu z powierzchni gruntu o podobnym zakresie będą wyznaczane na odcinkach wykazujących w standardowych pomiarach eksploatacyjnych pogorszenie się parametrów powłoki izolacyjnej gazociągu lub pojawieniu się zagrożeń powodowanych obcymi oddziaływaniami natury elektromagnetycznej.

## 5. Oddziaływania przemiennoprądowe od elektroenergetycznych linii przesyłowych

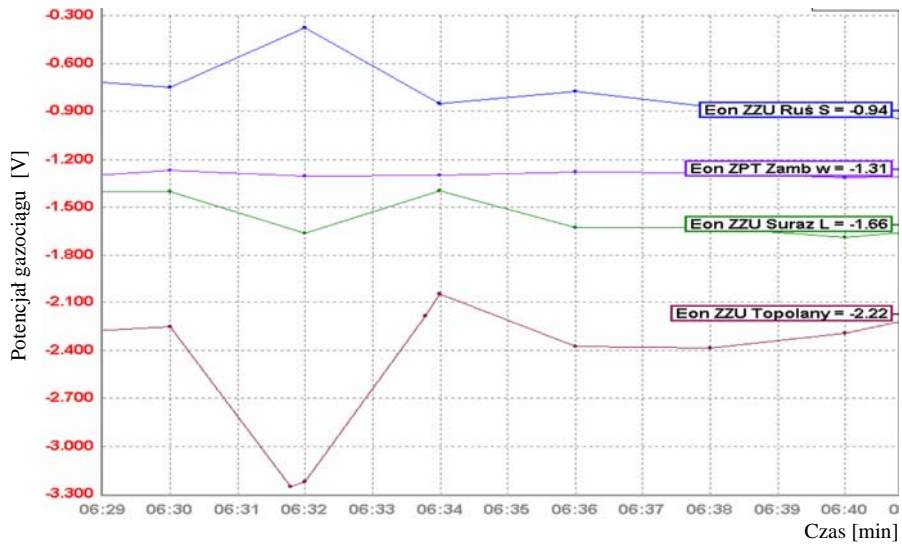
Na skutek oddziaływań elektromagnetycznych pobliskich obiektów stan skuteczności ochrony przeciwkorozyjnej gazociągu nie jest stanem quasi ustalonym. Prądy powodowane tymi oddziaływaniami (zmieniające się w czasie) wypływając z gazociągu powodują tworzenie się stref anodowych, a wpływając powodują tworzenie się stref katodowych. Oba te zjawiska w różny sposób niekorzystnie wpływają na stan ochrony przeciwkorozyjnej gazociągu. Daje się je zauważyć na całym odcinku gazociągu Kondratki – Zambrów.



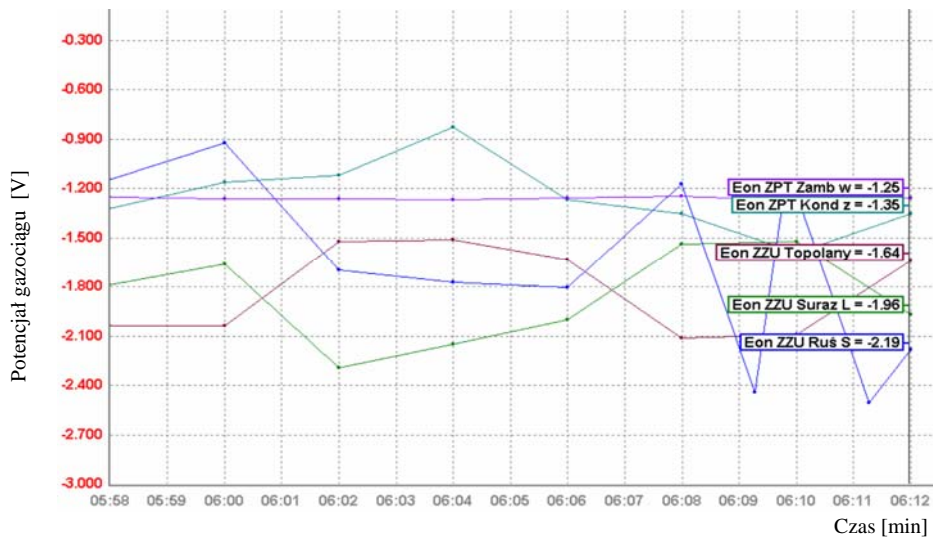
Rys. 2. Schemat poglądowy skrzyżowań przesyłowych linii elektroenergetycznych wysokich napięć na odcinku gazociągu Kondratki – Zambrów

Największe oddziaływania linii przesyłowych wysokich napięć na gazociąg obserwuje się na dwóch około dwudziestokilometrowych odcinkach. Jeden z nich znajduje się między Zambrówem i Rusią Starą, a drugi między Surażem i Topolanami. Wartość tych oddziaływań mierzone gęstością prądu wynosiły odpowiednio: na pierwszym odcinku ponad  $70 \text{ A/m}^2$ , a na drugim odcinku ponad  $50 \text{ A/m}^2$  – w sytuacji kiedy nie stosowano żadnych środków zapobiegających skutkom oddziaływań przedmiotowych linii. Po zainstalowaniu urządzeń odpręga-

jących składową przenienną, obserwuje się wyraźny spadek gęstości prądu i na wymienionych odcinkach wartości tego parametru wynoszą odpowiednio: 6 A/m<sup>2</sup> i 23 A/m<sup>2</sup>.



Rys. 3. Przykładowy rozkład potencjałów załączeniowych ochrony katodowej na odcinku gazociągu Kondratki – Zambrów przed zainstalowaniem ograniczników prądu stałego



Rys. 4. Przykładowy rozkład potencjałów załączeniowych ochrony katodowej na odcinku gazociągu Kondratki – Zambrów po zainstalowaniu ograniczników prądu stałego

Występujące oddziaływania prądów błędnych na liniowej części gazociągu i związane z tym wątpliwości przy ocenie skuteczności ochrony gazociągu obliguje nas do stosowania technik badawczych, które mimo pewnych dylematów, pozwalają na zdiagnozowanie nie tylko stanu izolacji, ale i stanu ścianek rurociągu. W tym celu, po roku eksploatacji dokonano sprawdzenia gazociągu od wewnątrz tłokami inteligentnymi, dokumentując tzw. stan „zero-wy”. Następne badania były przeprowadzone w roku 2012. Analiza wyników badań zarejestrowanych przez tłok magnetyczny oraz badań ścianki rury po odsłonięciu gazociągu jednoznacznie wykluczyły istnienie defektów korozyjnych.

## 6. Tłumienie skutków oddziaływań linii wysokich napięć na gazociąg

W badaniach uwzględniono 80 km odcinka ze 126 km gazociągu łączącego tłocznie gazu. Trasa omawianego odcinka gazociągu krzyżuje się cztery razy z liniami elektroenergetycznymi, a sumaryczna długość zbliżeń wynosi około 4,3 km. Znaczna część gazociągu ułożona jest w gruntach o rezystywności poniżej 30  $\Omega$ m. Na podstawie wyników pomiarów gęstości prądu stwierdzono zagrożenie korozją przemiennoprądową ze względu na przekroczone kryterium 30 A/m<sup>2</sup>.

Badając zagrożenie korozyjne wykonano kilka serii pomiarów mających na celu wybór metody ograniczającej skutki indukcyjnego oddziaływania linii WN na gazociąg. Podczas pomiarów mierzono gęstość prądu przemiennego na przenośnej elektrodzie symulującej defekt izolacji o powierzchni 1 cm<sup>2</sup>, wbijanej w grunt nad gazociągiem oraz napięcie przemienne między gazociągiem a ziemią odległą, gdzie elektrodę stanowiła stalowa szpilka. Każdorazowo mierzono również rezystancję uziemienia elektrody przenośnej zawsze umieszczonej w tym samym miejscu. W kolejnych pomiarach nie odnotowano większych odchyłek wartości rezystancji niż 10%. Nie korzystano z zamontowanych wcześniej stałych elektrod symulujących z uwagi na bardzo zróżnicowane daty ich montażu oraz z tego względu, że większość tych elektrod pokryta jest osadami katodowymi a rezystancja uziemienia części z nich przekracza 20 k $\Omega$ .

W tabeli 1 zestawiono wyniki z czterech serii pomiarów.

Wyniki pierwszej serii pomiarów są zobrazowaniem stanu oddziaływania linii WN bez stosowania jakichkolwiek środków zapobiegających skutkom tych oddziaływań. Zagrożenie przemiennoprądowe rozkładało się praktycznie wzdłuż całego odcinka. Zarejestrowane napięcia zawierały się w granicach od 1,0 do 4,7 V.

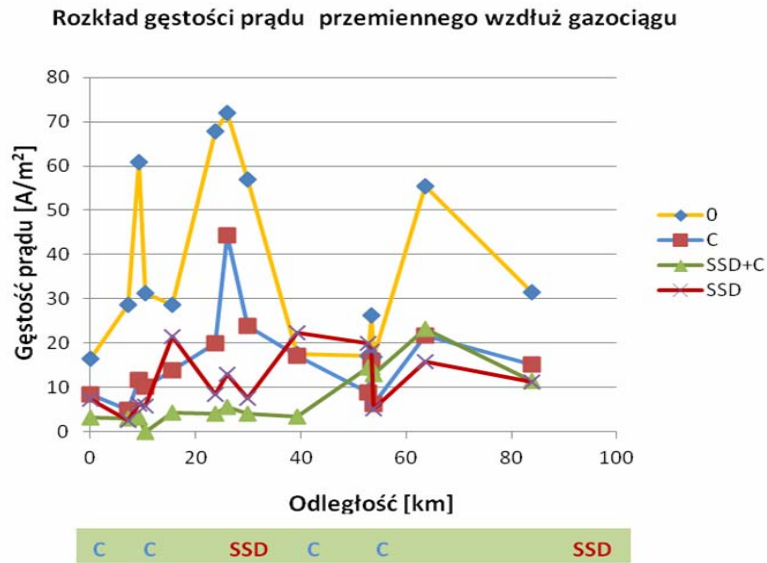
Pierwszym środkiem, jaki zastosowano w celu zmniejszenia wpływu indukowanych napięć przemiennych, były kondensatory. Zamontowano je w punktach P/O i P/OP, tam gdzie był naturalny dostęp do uziomów. Wszystkie punkty na tym odcinku posiadały sprawne uziemienia o wartości rezystancji nieprzekraczającej 10  $\Omega$ . W celu odprowadzenia zaindukowanych prądów użyto kondensatorów elektrolitycznych o pojemności 10 000  $\mu$ F, napięciu znamionowym 50 V i rozszerzonym zakresie temperatury pracy od -40 do +85°C. Kondensatory włączono między uziom a gazociąg przyłączając ujemny biegun kondensatora do gazociągu a dodatni do uziomu. Na wykresie (rys. 5.) miejsca zamontowania kondensatorów zaznaczono literą „C”.

Tabela 1. Zestawienie danych z wynikami pomiarów gęstości prądu przemiennego

Pikietaż	Data pomiarów				$R_{el.sym.}$	Rezystywność gruntu
	07_2012	04_2013	12_2013	04_2014		
	[A/m <sup>2</sup> ]	[A/m <sup>2</sup> ]	[A/m <sup>2</sup> ]	[A/m <sup>2</sup> ]		
0	16,4	8,5	3,1	7,3	809	22,5
7,260	28,7	5,0	2,9	2,6	892	18,2
9,173	<b>60,9</b>	11,7	3,2	6,3	852	20,1
10,496	<b>31,2</b>	10,1	0,0	5,9	1240	49,2
15,644	28,7	13,8	4,2	21,4	711	21,0
23,725	<b>67,9</b>	20,0	4,1	8,4	865	25,1
25,992	<b>72,0</b>	<b>44,4</b>	5,6	12,9	560	19,5
29,858	<b>57,0</b>	23,9	4,0	7,6	826	24,6
39,208	17,5	17,1	3,3	22,4	2850	52,7
52,872	17,2	8,9	14,5	19,9	1550	48,2
53,397	26,2	16,0	14,4	18,2	1630	33,1
53,801	16,9	6,2	12,9	5,1	1280	45,1
63,669	<b>55,5</b>	21,8	23,2	15,8	797	37,9
83,904	<b>31,4</b>	15,1	11,4	11,3	640	17,2
<b>minimum</b>	16,4	5,0	0,0	2,6		
<b>średnia</b>	37,7	15,9	7,6	11,8		
<b>maks.</b>	72,0	44,4	23,2	22,4		
<b>odch. std.</b>	20,4	10,0	6,6	6,6		

Wyniki drugiej serii pomiarów wykazały dużą skuteczność kondensatorów w odsprężaniu indukowanych napięć przemiennych. Średnia gęstość prądu w symulowanym defekcie izolacji o powierzchni 1 cm<sup>2</sup> spadła o ponad 50%, przy czym pozostało tylko jedno miejsce, punkt pomiarowy na 26 kilometrze, w którym gęstość prądu przemiennego przekracza 30 A/m<sup>2</sup>. Zastosowanie kondensatorów spowodowało zmniejszenie gęstości prądu przemiennego i mniejszy rozrzut wartości na całym badanym odcinku gazociągu. Mierzone napięcia mieściły się w przedziale od 0,3 do 3,2 V.

Następnym krokiem podjętym przeciw niepożądanym skutkom indukowanych napięć przemiennych było zastosowanie monolitycznych odgraniczników prądu stałego (SSD) bez odłączania kondensatorów. Odgraniczniki prądu stałego, są to przyrządy przepuszczające prąd przemienny praktycznie od napięcia o amplitudzie powyżej zera i blokujące prąd stały do wartości napięcia w zakresie, np.  $\pm 2$  V, ustalonym jako parametr przyrządu. Na wykresie (rys. 5) miejsca podłączenia odgraniczników prądu stałego zaznaczono symbolem „SSD”.



Rys. 5. Wykresy rozkładu gęstości prądu przemiennego

Pomiary wykonano dla:

- 0 – bez zastosowania jakichkolwiek elementów odprzegających;
- C – z zamontowanymi kondensatorami;
- SSD+C – z zamontowanymi odgranicznikami prądu stałego i kondensatorami;
- SSD – z zamontowanymi odgranicznikami prądu stałego.

Odgraniczniki zostały włączone między gazociąg a uziom na przedostatnich zespołach zaporowo-upustowych na obu końcach odcinka. Zastosowanie odgraniczników spowodowało dalsze obniżenie gęstości prądów mierzonych na prężnej elektrodzie symulującej defekt izolacji o powierzchni 1 cm<sup>2</sup>. Wartości napięcia przemiennego mierzone we wszystkich punktach odcinka zawierały się w granicach 0,7 do 2,5 V. Podwyższone wartości gęstości prądu przemiennego odnotowano w miejscach największego zbliżenia bądź krzyżowania się trasy gazociągu z liniami WN.

Ostatnia seria pomiarów została przeprowadzona po odłączeniu kondensatorów odsprzegających przy włączonych odgranicznikach prądu stałego. Odłączenie kondensatorów spowodowało podwyższenie średniej gęstości prądu o prawie 50% w porównaniu z poprzednią konfiguracją. Wartości napięcia przemiennego mierzone między gazociągiem a ziemią odległą zawierały się w przedziale 0,4 do 2,7 V.

Każda seria pomiarów była uzupełniona dodatkowymi pomiarami, których celem było sprawdzenie czy w innych punktach pomiarowych nie wzrosło zagrożenie korozją przemienoproudową po zmianie konfiguracji urządzeń odprzegających. W dodatkowych pomiarach nie odnotowano wzrostu zagrożenia korozyjnego.



## 7. Wnioski

1. Zastosowanie elementów odsprzęgających (kondensatory i ograniczniki) w celu odprowadzenia prądów przeniennych do ziemi znacząco przyczyniło się do stabilizacji potencjałów gazociągu. Stosowanie obu elementów jednocześnie zwiększa skuteczność działania układu.
2. Na przestrzeni ostatniego roku, w wyniku zastosowania układów odsprzęgających, nie zanotowano uszkodzeń odgromników (90V/20kA) zamontowanych w punktach pomiarowych tego odcinka. W przeciągu poprzednich lat wymieniano ich około 23 %.
3. Na sondach korozymetrycznych, zainstalowanych we wszystkich zlokalizowanych miejscach zwiększonych oddziaływań natury elektrycznej nie stwierdzono zagrożeń korozyjnych, a monitorowana szybkość korozji nie przekracza 0,01 mm/rok.
4. Na okres wykonania pomiarów takich jak DCVG, czy wyznaczenie rezystancji przejścia izolacji gazociągu należy odłączyć od gazociągu ograniczniki i kondensatory.

## Literatura

- [1] Jankowski J., Materiały VIII Krajowej Konferencji „Pomiary Korozyjne w Ochronie Elektrochemicznej”, Jurata, 16–18.06.2004, s. 29–39.
- [2] Fiedorowicz M., Materiały IX Krajowej Konferencji „Pomiary Korozyjne w Ochronie Elektrochemicznej”, Zakopane, 7–9.06.2006, s. 225–239.
- [3] Kościuk M., Materiały programu naukowo-technicznego współpracy w obszarze diagnostyki i monitoringu korozji, Kassel, 25–30.06.2002.
- [4] Kościuk M., Materiały IX Krajowej Konferencji „Pomiary Korozyjne w Ochronie Elektrochemicznej”, Zakopane, 7–9.06.2006, s. 105–111.
- [5] Olejniczak M., Sokólski W., Materiały VIII Krajowej Konferencji „Pomiary Korozyjne w Ochronie Elektrochemicznej”, Jurata, 16–18.06.2004, s. 81–89.

