



ZASTOSOWANIE
POMIARÓW DCVG I POMIARÓW OPORNOŚCI GRUNTU
PRZY REMONTACH GAZOCIĄGÓW

APPLICATION
OF DCVG AND SOIL RESISTIVITY MEASUREMENTS
FOR GAS PIPELINES REHABILITATION

Tomasz Koszewnik, Janusz Wiński

GEOINVIREX-APRT Sp. z o.o.

Słowa kluczowe: pomiary DCVG, remont gazociągu, selekcja defektów izolacji
Keywords: DCVG measurements, gas pipeline rehabilitation, coating faults selection

Streszczenie

Artykuł dotyczy wykorzystania pomiarów DCVG i pomiarów oporności gruntu przy remoncie gazociągów. Podany jest przykład wykorzystania wyników tych pomiarów do remontu 130-kilometrowego gazociągu w izolacji bitumicznej.

Summary

The application of DCVG and soil resistivity measurements for gas pipeline rehabilitation has been described. Results of applying of these measurements for rehabilitation of 130 kilometers gas pipeline with bitumen coating has been presented.

1. Wprowadzenie

Artykuł dotyczy zastosowania pomiarów DCVG i pomiarów oporności gruntu do remontu zabezpieczeń antykorozyjnych. Celem remontu zabezpieczeń antykorozyjnych gazociągu a więc powłoki izolacyjnej i systemu ochrony katodowej jest:

- likwidacja korozji powodującej ubytki metalu,
- neutralizacja czynników powodujących zagrożenie korozyjne (np. prądy błędzące),
- zwiększenie efektywności działania systemu ochrony katodowej (zmniejszenie poboru prądu, zwiększenie zasięgu oddziaływania stacji ochrony katodowej),
- poprawienie ogólnego stanu powłoki izolacyjnej.

Dla wykonania efektywnego remontu zabezpieczeń antykorozyjnych konieczne są dokładne dane dotyczące:

- ogólnego stanu izolacji i lokalizacji poszczególnych defektów,
- zagrożenia korozyjnego ze strony gruntu,
- skuteczności działania systemu ochrony katodowej,
- zagrożenia związanego z prądami błędzącymi i oddziaływaniem innych konstrukcji chronionych katodowo.

Informacji powyższych dostarczają powierzchniowe badania diagnostyczne, których pełny zakres obejmuje pomiary DCVG, pomiary oporności i pH gruntu, pomiary intensywne i pomiary oddziaływań prądów błędzących pochodzących z trakcji prądu stałego oraz pomiary oddziaływań prądów przemiennych generowanych przez trakcje elektroenergetyczne WN. W prezentowanym artykule przedstawiamy wyniki remontu dwudziestotrzyletniego gazociągu DN 500, długości 130 km, w powłoce bitumicznej. Gazociąg chroniony był przez 8 stacji ochrony katodowej. W ramach remontu wykonano powierzchniowe badania diagnostyczne, naprawę powłoki izolacyjnej i niewielkie naprawy rury stalowej. Ostatnim etapem prac była zmiana parametrów stacji ochrony katodowej w związku ze zmniejszonym zapotrzebowaniem prądu ochrony katodowej.

2. Powierzchniowe badania diagnostyczne

Powierzchniowe badania diagnostyczne objęły pomiary DCVG, pomiary oporności gruntu na głębokości posadowienia gazociągu oraz w ograniczonym zakresie, pomiary skuteczności działania ochrony katodowej (metoda CIPS, jednoelektrodowa).

Pomiary DCVG

Nazwa DCVG (Direct Current Voltage Gradient) w przełożeniu na język polski oznacza Gradient Potencjału Prądu Stałego. Nazwa ta odnosi się do pól elektrycznych, w praktyce pomiarów korozyjnych zwanych „*gradientami*”, powstających na powierzchni gruntu ponad defektami izolacji rurociągów chronionych katodowo. Ponieważ nazwa DCVG stosowana bywa także do innych technik pomiarowych bazujących na pomiarach *gradientów*, angielska firma DCVG Ltd. wprowadziła nazwę *metoda DCVG Mulwany’ego*, którą właśnie stosowaliśmy w badaniach diagnostycznych omówionych poniżej. Jest to metoda dwuelektrodowa, wykorzystująca przerywacz, analogową, kilkuzakresową aparaturę pomiarową oraz dwie przenośne elektrody odniesienia. Konstrukcja elektrod pozwala na swobodne przemieszczanie

się operatora wzdłuż gazociągu podczas pomiarów. Spośród wszystkich znanych technik pomiarowych metoda DCVG najdokładniej lokalizuje defekty izolacji rurociągów poziomych.

Najważniejszymi parametrami uzyskiwanymi w wyniku pomiarów polowych i ich interpretacji są:

- **epicentrum defektu** – punkt na powierzchni gruntu zlokalizowany dokładnie ponad centrum defektu izolacji,
- **waga defektu** ($dE_{Za} - dE_{Wy}$) / ($E_{Za} - E_{Wy}$) – stosunek różnicy gradientów pomierzonych w epicentrum defektu do różnicy potencjałów gazociągu odniesionej do miejsca defektu,
- **względna waga defektu** – waga defektu uwzględniająca oporność gruntu,
- **wyłaczeniowy charakter defektu** (dE_{Wy}) – wyłaczeniowy gradient potencjału mierzony na odcinku epicentrum defektu – odległy grunt.

Pomiary DCVG wykonano na całym omawianym gazociągu stosując aparaturę i sprzęt produkcji angielskiej firmy *DCVG Ltd.* Zlokalizowano łącznie 3275 defektów powłoki izolacyjnej, w tym 1201 o wadze >35%IR, 1592 defekty o wadze 15–35%IR i 482 defekty o wadze <15%IR.

Pomiary oporności gruntu

Pomiary oporności gruntu wykonano na głębokości posadowienia gazociągu w miejscach wszystkich defektów izolacji zlokalizowanych pomiarami DCVG. Zastosowano specjalistyczną aparaturę i sprzęt produkcji Przedsiębiorstwa Badań Geofizycznych. Pomiary wykonano czteroelektrodowym układem Wenner'a, przy odległości między elektrodami $a = 3$ m. Stwierdzono że na miejscu 4 defektów oporność gruntu ρ utrzymuje się <20 Ω m (grunty korozyjne), w miejscu 409 defektów oporność gruntu utrzymuje się w granicach 20–100 Ω m (grunty o podwyższonej aktywności korozyjnej), w miejscu pozostałych 2861 defektów oporność gruntu utrzymuje się >100 Ω m (grunty niekorozyjne).

Pomiary skuteczności działania ochrony katodowej (metoda CIPS, jednoelektrodowa)

Pomiary skuteczności działania ochrony katodowej wykonano w epicentrach 470 defektów izolacji wykrytych pomiarami DCVG. Wykorzystano aparaturę produkcji angielskiej firmy *DCVG Ltd.* Zastosowano taktowanie ZAŁ – 0,3 sek, WYŁ – 0,6 sek. Pomierzone wartości parametru E_{Za} wynosiły od –1420 mV do –300 mV, parametr E_{Wy} kształtował się w granicach od –950 mV do –250 mV. Pomiary metodą CIPS wykonano jedynie na pierwszym odcinku remontowanego gazociągu.

3. Selekcja defektów izolacji do odsłonięcia i naprawy

Remont omawianego gazociągu prowadzony był odcinkami o długości 20–40 km. Na każdym odcinku wykonywano komplet działań remontowych tj. pomiary diagnostyczne, selekcję defektów izolacji do naprawy, odsłonięcie defektów i naprawę gazociągu. W ten sposób doświadczenia uzyskiwane na kolejnych odcinkach mogły być wykorzystywane na odcinkach następnych. Na pierwszym odcinku wybierając defekty do naprawy kierowano się dwoma parametrami: waga defektu i skuteczność działania ochrony katodowej. Do naprawy wybrano więc defekty o bardzo dużej lub dużej wadze defektu (%IR), które poza tym wykazywały znaczne niedochronienie. Tak przeprowadzona selekcja doprowadziła do wybrania

defektów znajdujących się w większości w gruntach wysokooporowych. Po wykonaniu wykopów okazało się, że w tych miejscach znajdują się duże defekty izolacji jednak na powierzchni rury stalowej nie było śladów korozji powodującej ubytki metalu. Ponieważ pierwszym celem odsłonięcia i naprawy defektu izolacji jest likwidacja korozji powodującej ubytki metalu, odsłanianie defektów zawierających istotne zagrożenie korozyjne uznano za priorytet i zmieniono zasady selekcji defektów do naprawy. Wybierając defekty do naprawy kierowano się trzema parametrami: tzw. względną wagą defektu, opornością gruntu i wielkością gradientu wyłączeniowego $dE_{wył}$. Do naprawy wybierano więc przeważnie defekty charakteryzujące się dużą względną wagą defektu, niską opornością gruntu i anodową lub nisko-katodową wartością gradientu $dE_{wył}$. Względną wagę defektu wyliczano według formuły:

$$wzgl. \text{ waga defektu} = \frac{\%IR * 100}{\rho} .$$

4. Wykopy i naprawa gazociągu

Wykopy lokalizowane były na podstawie wyników diagnostycznych badań powierzchniowych. Wykonano łącznie 134 wykopy zlokalizowane wzdłuż całej trasy rurociągu o długości 130 km. Wymiary większości wykopów były znormalizowane i wynosiły: długość – 7 m, szerokość – 3 m, głębokość – 0,6 m poniżej spągu gazociągu. W każdym wykopie dokonywano oględzin izolacji, sporządzano dokumentację fotograficzną stanu izolacji, oraz opisywano grunt, w którym gazociąg został położony. Następnie zrywano starą izolację i jeżeli na odkopanym odcinku występowała spoina czółowa, wykonywano badania radiograficzne tej spoiny. W dalszej kolejności powierzchnia rury stalowej była dokładnie oczyszczana i wykonywano oględziny i fotograficzną dokumentację jej stanu. Jeżeli stwierdzono korozję powodującą głębsze ubytki metalu lub poważniejsze uszkodzenia mechaniczne, wykonywano naprawę uszkodzenia. Celem profilaktycznej naprawy regeneracyjnej było zapewnienie naprawianemu elementowi odpowiedniej wytrzymałości i powstrzymanie procesów korozji.

Następnie zakładano nową powłokę izolacyjną. Po wykonaniu naprawy wykop zasypywano i przywracano pierwotny stan powierzchni gruntu.

5. Wyniki akcji remontowej

5.1. Likwidacja zagrożeń korozyjnych powodujących ubytki metalu

Na podstawie badań diagnostycznych zlokalizowano 3275 defektów izolacji, z których 134 wytypowano do naprawy i odsłonięto. Po odsłonięciu w 98 wykopach (74% wszystkich odsłoniętych defektów) na powierzchni rury stalowej stwierdzono ubytki metalu o głębokości od poniżej 0,5 mm do 3 mm. W 61 defektach izolacji (45% wszystkich odsłoniętych defektów) stwierdzono ubytki metalu o powierzchni od 1 cm² do ponad 20000 cm². Dokładna statystyka zagrożenia korozyjnego stwierdzonego na gazociągu przedstawiona jest w tablicy 1 i 2.

Tabl. 1. Zagrożenie korozyjne w odsłoniętych defektach izolacji (głębokość ubytków metalu)

Ogółem defektów	Defekty naprawione	Ubytki 1,5–3,0 (mm)	Ubytki 0,5–1,5 (mm)	Ubytki >0,5 (mm)	Defekty bez ubytków metalu
3275	134	16	65	17	36
	100%	12%	49%	13%	26%

Tabl. 2. Zagrożenie korozyjne w odsłoniętych defektach izolacji (powierzchnia ubytków metalu)

Ogółem defektów	Defekty naprawione	Ubytki o powierzchni >100 cm ²	Ubytki o powierzchni 10–100 cm ²	Ubytki o powierzchni 1–10 cm ²	Defekty bez ubytków o pow. <1 cm ²
3275	134	12	26	23	73
	100%	9%	19%	17%	55%

Podjęta akcja remontowa doprowadziła do lokalizacji i usunięcia istotnych zagrożeń korozyjnych a w szeregu przypadkach również do przywrócenia naprawianym elementom gazociągu odpowiedniej wytrzymałości.

5.2. Naprawa defektów pobierających duże ilości prądu ochrony katodowej

Obok identyfikacji i likwidacji zagrożeń korozyjnych ważnym celem akcji remontowej zabezpieczeń antykorozyjnych gazociągu jest usprawnienie działania systemu ochrony katodowej i zmniejszenie poboru prądu. Gazociąg chroniony był przez 8 stacji ochrony katodowej. Dla czterech z nich, przedstawionych w tabelicy 3, udało się zestawić pobór prądu ochrony katodowej przed i po akcji remontowej. Stacje te obejmowały swoim zasięgiem ok. 60% długości badanego gazociągu, gdzie zlokalizowano ok. 1900 defektów izolacji, z których około 70, tj. ok. 4% odsłonięto i naprawiono. W zasięgu oddziaływania omawianych stacji pobór prądu spadł z 44,5A do 38A. Naprawa 4% defektów izolacji zmniejszyła więc pobór prądu o około 14%.

Tabl. 3. Pobór prądu ochrony katodowej przed i po naprawie gazociągu

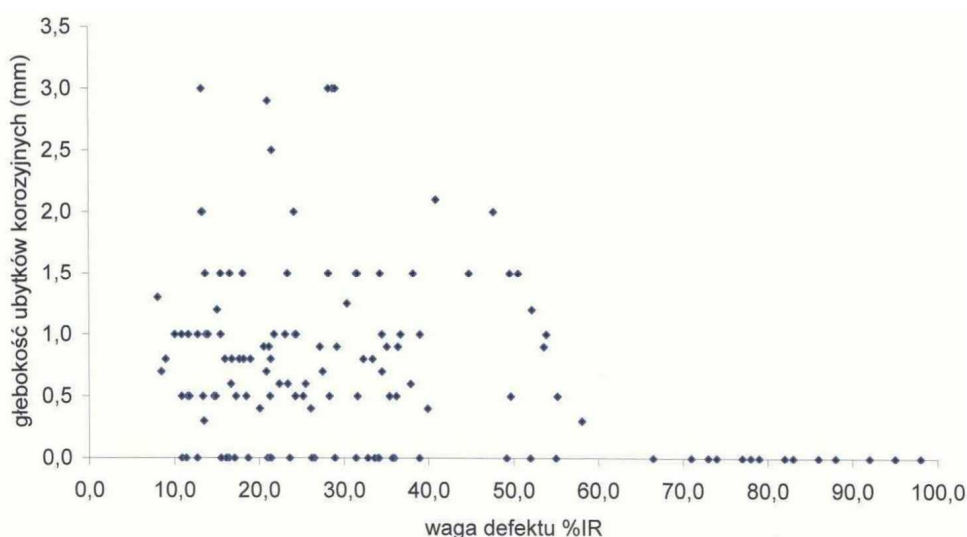
S O K	Parametry przed naprawą	Parametry po naprawie	Spadek poboru prądu
A – 32.45 km	14,5A 35V	14A 35V	0,5A
B – 49.64 km	8A 15V	7A 15,5V	1,0A
C – 89.07 km	12A 33V	10A 33V	2,0A
D – 108.85 km	10A 12V	6,8A 11,5V	3,2A

6. Korelacja zagrożenia korozyjnego z wynikami pomiarów DCVG i pomiarami oporności gruntu

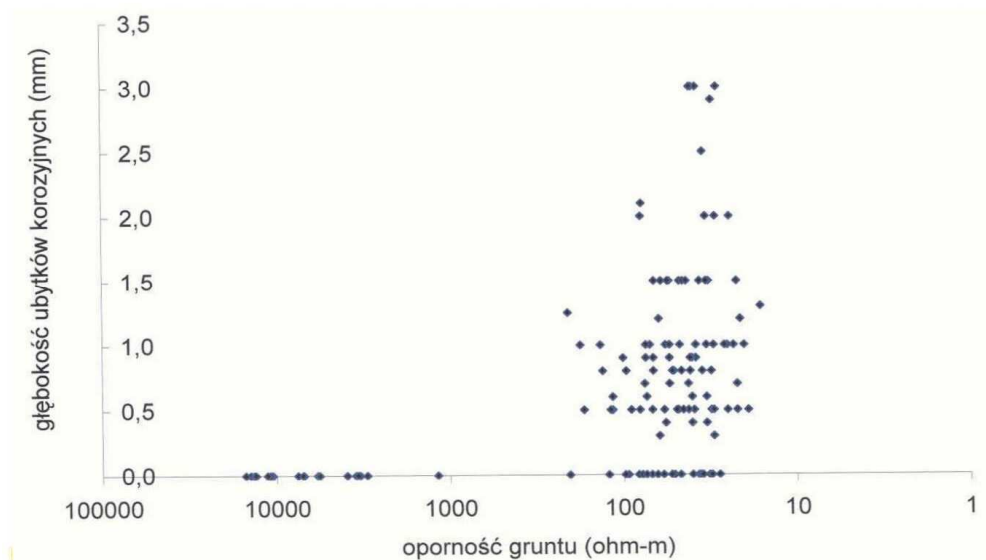
Omówiona powyżej naprawa gazociągu jest przykładem wykorzystania powierzchniowych badań diagnostycznych do skutecznej i efektywnej ekonomicznie akcji remontowej. Wykopy lokalizowane były głównie na podstawie wyników pomiarów DCVG i pomiarów oporności gruntu. Na podstawie tych pomiarów nie tylko lokalizowano defekty, ale również wstępnie prognozowano możliwość zagrożenia korozyjnego. Poniżej przedstawiono korelację zagrożenia korozyjnego z parametrami: waga defektu, oporność gruntu i gradient wyłączniowy dEwył.

Na rys. 1 przedstawiona jest korelacja wagi defektów i głębokości ubytków korozyjnych. Jak widać brak jest korelacji między tymi wielkościami, wzrostowi wagi defektów nie towarzyszy wzrost głębokości ubytków metalu a defekty o największej wadze nie wykazują żadnych ubytków korozyjnych.

Inaczej wygląda korelacja pomiędzy głębokością ubytków metalu i opornością gruntu przedstawiona na rys. 2. Tutaj korelacja jest wyraźna, Prawie wszystkie defekty, gdzie stwierdzono ubytki metalu grupują się w gruntach o oporności $<100 \Omega m$, a przeważająca ich część, w tym ubytki największe, w gruntach o oporności $<50 \Omega m$. W defektach zlokalizowanych w gruntach o oporności $>1000 \Omega m$ nie stwierdzono korozji powodującej ubytki metalu.

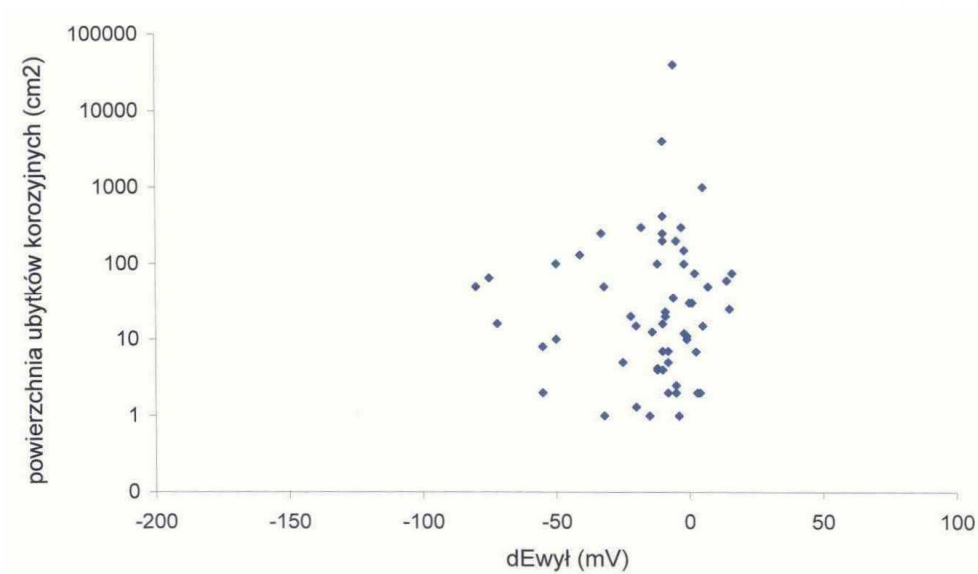


Rys. 1. Gazociąg DN500, izolacja bitumiczna, wiek 23 lata. Korelacja zagrożenia korozyjnego (głębokość ubytków korozyjnych) i wagi defektu



Rys. 2. Gazociąg DN500, izolacja bitumiczna wiek 23 lata. Korelacja zagrożenia korozyjnego (głębokości ubytków korozyjnych) i oporności gruntu

Wyraźna korelacja istnieje także pomiędzy rozległością ubytków korozyjnych a wielkością gradientu wyłączeniowego $dE_{wył}$. (rys. 3).



Rys. 3. Gazociąg DN500, izolacja bitumiczna wiek 23 lata. Korelacja zagrożenia korozyjnego (powierzchnia ubytków metalu) i gradientu wyłączeniowego $dE_{wył}$

Na gazociągach niechronionych katodowo defekty izolacji mają charakter katodowy lub anodowy i z defektami anodowymi związane jest zagrożenie korozyjne. W warunkach ochrony katodowej potencjał defektów anodowych przesuwają się w kierunku ujemnym i w pomiarach DCVG zaznaczają się one w postaci anodowych lub nisko-katodowych gradientów dE_{wył}. Na omawianym gazociągu (rys. 3) ponad 80% defektów, w których stwierdzono ubytki metalu przekraczające powierzchnię 1 cm² grupuje się w przedziale wartości dE_{wył} od +25 mV do -25 mV. Największe zagęszczenie i również defekty o bardzo rozległych ubytkach metalu osiagających powierzchnię kilku m², występuje w przedziale od +15 mV do -15 mV.

7. Wnioski

Doświadczenia omawianej akcji naprawczej pokazują, że pomiary DCVG obok niewątpliwiej przydatności do lokalizacji defektów izolacji mogą być także wykorzystane do wstępnego prognozowania zagrożenia korozyjnego. Parametr waga defektu nie koreluje się jednak z możliwością wystąpienia zagrożenia korozyjnego. Dla prognozowania zagrożenia korozyjnego metoda DCVG jest skuteczna, ale w połączeniu z pomiarami oporności gruntu. Do prognozowania zagrożenia korozyjnego należy stosować parametry: względna waga defektu, oporność gruntu i gradient.

Literatura

- [1] Leeds J. M.: *The application of DC voltage-gradient technology to accurately determine buried pipeline rehabilitation requirements*, Pipeline Risk Assessment, Rehabilitation and Repair Conference, Huston, 1994.
- [2] Materiały z badań stanu zabezpieczenia i remontów gazociągów wysokiego ciśnienia zrealizowane w latach 1998–2001 przez firmę Geoinvirex.