



**ZDALNY MONITORING OCHRONY KATODOWEJ  
GAZOCIĄGÓW WYSOKIEGO CIŚNIENIA**

**REMOTE MONITORING OF THE CATHODIC PROTECTION  
OFF GAS TRANSPORTATION PIPELINES**

Marek Fiedorowicz, Michał Jagiełło

Operator Gazociągów Przesyłowych GAZ-SYSTEM S.A.  
Oddział w Gdańsku

Słowa kluczowe: ochrona katodowa, monitoring, powłoka, defekt powłoki  
Keywords: cathodic protection, coating, coating defect

**Streszczenie**

Stosowanie zdalnego monitoringu umożliwia zmniejszenie kosztów użytkowania oraz zwiększenie skuteczności i niezawodności ochrony katodowej. W pracy przedstawiono podstawy ochrony przeciwkorozyjnej rurociągów, omówiono ogólne przepisy DVGW dotyczące zdalnego monitoringu ochrony katodowej, omówiono związek pomiędzy rozwiązaniami funkcjonalnymi monitoringu a jakością powłoki izolacyjnej, przedstawiono monitoring ochrony katodowej gazociągów funkcjonujący w Oddziale w Gdańsku.

**Summary**

The fact of using remote monitoring gives way to the reduction of the costs of usage of the cathodic protection and seems to increase the level of its effectiveness.

In this work we have focused on the foundations of the anticorrosion protection of pipelines and general DVGW regulations regarding remote monitoring of cathodic protection have been discussed. Also, the relation between the functional outcomes of monitoring and the quality of the insulation coating has been examined. Finally, the remote monitoring of the gas pipe cathodic protection in Gdańsk department off GAZ-SYSTEM has been introduced.

## 1. Wprowadzenie

Ochrona przed korozją to jeden z ważniejszych czynników decydujących o stanie technicznym stalowych gazociągów, bezpieczeństwie i ciągłości dostaw gazu oraz szeroko rozumianych kosztach użytkowania sieci. Ten aspekt dotyczący budowy i użytkowania gazociągów w dłuższej perspektywie ma istotny wymiar ekonomiczny. Kwestie dotyczące zapewnienia skutecznej ochrony przed korozją gazociągów wysokiego ciśnienia uwzględnione są w przepisach budowy i użytkowania, normach, metodach zarządzania ryzykiem. Zgodnie z obowiązującym *rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 30 lipca 2001 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać sieci gazowe* [1], gazociągi stalowe powinny być zabezpieczone przed korozją za pomocą powłok izolacyjnych z tworzyw sztucznych i ochrony elektrochemicznej. Obowiązek stosowania ochrony katodowej gazociągów wysokiego ciśnienia, w tym ochrony przed korozją powodowaną przez prądy błądzące, istnieje od 1978 r. [2].

Zmniejszenie kosztów inwestycyjnych i użytkowania ochrony katodowej oraz zwiększenie skuteczności i niezawodności ochrony przeciwkorozyjnej można uzyskać w wyniku zastosowania powłok izolacyjnych o odpowiednio wysokim stopniu szczelności oraz zdalnego monitoringu ochrony katodowej. W przypadku rurociągów pokrytych powłokami o wysokim poziomie szczelności zbędne jest wykonywanie pomiarów intensywnych, skuteczność ochrony można wykazywać za pomocą prostych pomiarów, zasięgi działania źródeł polaryzacji katodowej są duże, moce i ilości tych źródeł są niewielkie, możliwe stało się stosowanie tanich anod galwanicznych zamiast stacji katodowych z zewnętrznymi źródłami prądu.

Zdalny monitoring umożliwia zmniejszenie kosztów eksploatacji ochrony katodowej poprzez wyeliminowanie istotnej ilości kosztownych terenowych kontroli i pomiarów. Na przykład, gdyby zdalny monitoring nie był stosowany, to wg przepisów należałoby stacje katodowe kontrolować co 2 miesiące. W przypadku zastosowania zdalnego monitoringu planowe kontrole działania tych stacji można wykonywać raz w roku. Z drugiej strony zdalny monitoring zwiększa niezawodność tej ochrony – stwarza możliwości podjęcia niezwłocznych działań w sytuacjach wystąpienia awarii i zakłóceń. Waga dostarczanych informacji zależy od zastosowanych rozwiązań technicznych monitoringu, rodzaju i ilości monitorowanych wielkości związanych z ochroną katodową, a przede wszystkim – od poziomu izolacji monitorowanego rurociągu. Jeśli poziom szczelności powłoki izolacyjnej jest odpowiednio wysoki, wówczas zdalny monitoring może dostarczać informacji o spełnieniu potencjałowych kryteriów ochrony katodowej rurociągu w defektach powłoki izolacyjnej, bez konieczności wykonywania kosztownych pomiarów terenowych.

## 2. Monitoring ochrony katodowej rurociągów wg przepisów DVGW

Według przepisów niemieckich [3, 4] stacje ochrony katodowej powinny być kontrolowane co ok. 2 miesiące, pomiary potencjałów załączeniowych w wybranych punktach pomiarowych powinny być wykonywane w odstępach ok. rocznych, a pomiary potencjałów załączeniowych i wyłączeniowych we wszystkich punktach pomiarowych – nie rzadziej niż co 3 lata. W przypadku zastosowania zdalnego monitoringu ochrony katodowej można zrezygnować z terenowych okresowych kontroli stacji katodowych i pomiarów potencjałów załączeniowych w wybranych punktach gazociągu, natomiast pomiary potencjałów załączeniowych i wyłączeniowych we wszystkich punktach pomiarowych mogą być wykonywane w odstępach 3–6 letnich.

**A.**

Pomiary terenowe w punktach pomiarowych mogą być wykonywane co 3 lata, jeśli zdalny monitoring umożliwi rozpoznanie stanów awaryjnych i zakłóceńowych ochrony katodowej:

- unieruchomienie urządzeń ochronnych,
- przerwanie dopływu prądu ochronnego,
- powstanie zwarcia (doziemienia) z konstrukcją o rezystancji uziemienia mniejszej niż dwukrotność rezystancji przejścia gazociągu.

Z reguły w celu stwierdzenia i oceny tych zdarzeń wystarczające jest zdalne monitorowanie jednej lub kilku niżej wymienionych wielkości:

- natężeń prądów wyjściowych i potencjałów załączeniowych w punktach drenażu stacji ochrony katodowej,
- natężeń prądów ochrony i potencjałów załączeniowych w punktach pomiarowych z połączeniami/mostkami elektrycznymi pomiędzy rurociągami/konstrukcjami,
- natężeń prądów drenowanych (odprowadzanych) i potencjałów załączeniowych w stacjach drenażu,
- potencjałów załączeniowych na granicach/końcach stref ochrony.

**B.**

Jeśli zdalny monitoring, oprócz wcześniej wymienionych stanów zakłóceńowych, umożliwia jeszcze rozpoznanie powstania uszkodzenia powłoki izolacyjnej, w którym nie będzie spełnione kryterium skutecznej ochrony katodowej, to wówczas, wg przepisów niemieckich, pomiary terenowe mogą być wykonywane co 6 lat. Powstanie takiego defektu miałoby być rozpoznane na podstawie zauważalnego zwiększenia natężenia prądu ochrony i przesunięcia potencjału wyłączeniowego (a w określonych przypadkach również potencjału załączeniowego) w kierunku wartości elektrododatnich, jeśli rezystancja przejścia rurociągu (przed powstaniem tego defektu) będzie odpowiednio duża, spełniająca zał. (1):

$$R_U \geq \frac{j\pi\rho^2}{(E_f - E_{ON})300} \quad (1)$$

gdzie:

- $R_U$  – rezystancja przejścia rurociągu,  $j$  – gęstość prądu ochrony zapewniająca ochronę katodową,  $\rho$  – rezystywność gruntu, największa na trasie,  $E_f$  – potencjał niepełnej polaryzacji katodowej w defekcie powłoki,  $E_{ON}$  – potencjał załączeniowy.

Zał. (1) wyprowadzono przy założeniu, że stosunek rezystancji przejścia nowego defektu do rezystancji przejścia rurociągu nie jest większy niż 15, a do tego defektu wpływa prąd polaryzacji katodowej o natężeniu  $j_f = 0,8$  j.

Dla  $j = 0,1$  A/m<sup>2</sup>,  $\rho = 100$  Ωm,  $E_f = -0,65$  V,  $E_{ON} = -1,3$  V otrzymuje się  $R_U = 16,1$  Ω. Jeśli potencjał wyłączeniowy przed powstaniem nowego defektu wynosił -1 V, potencjał  $E_f$  w nowo powstałym defekcie wynosi -0,65 V, a stosunek rezystancji uziemienia nowego defektu do rezystancji uziemienia (przejścia) rurociągu wynosi 15, to na podstawie prostego obliczenia uzyskuje się, że po powstaniu tego nowego defektu przesunięcie potencjału wyłączeniowego w kierunku elektrododatnim wyniesie ok. 22 mV.

Zatem, wg przywołanych przepisów DVGW, aby możliwe było zwiększenie odstępu czasowego pomiędzy kolejnymi pomiarami terenowymi w punktach pomiarowych do sześciu

lat, zdalny monitoring powinien rozpoznawać tak małe zmiany potencjału wyłączeniowego, świadczące o powstaniu defektu powłoki izolacyjnej z niepełną ochroną katodową.

Autorzy pozwalają sobie na skomentowanie pewnych zapisów w tych przepisach, z uwzględnieniem krajowej specyfikacji.

1. Poważne wątpliwości autorów budzi dopuszczenie niewykonywania terenowych kontroli działania stacji ochrony katodowej, jeśli stosowany jest zdalny monitoring. Przecież niezbędne jest przeprowadzanie konserwacji i – raz w roku – pomiarów skuteczności ochrony przeciwporażeniowej oraz odgromowej (przebiegiowej). Zdaniem autorów, raz w roku powinien być przeprowadzony przegląd stacji katodowej, obejmujący kontrolę działania, konserwację, pomiary skuteczności ochrony przeciwporażeniowej i odgromowej oraz inne pomiary dla oceny stanu technicznego, w tym stałych elektrod odniesienia i elektrod symulujących, względem których wykonywane są pomiary w ramach zdalnego monitoringu.
2. Zdaniem autorów, wymagana rezystancja przejścia rurociągu wg zał. (1) jest zbyt mała, aby możliwe było wiarygodne rozpoznawanie, na podstawie zmian potencjałów wyłączeniowych, powstawania nowych defektów powłoki izolacyjnej, w których niespełnione są potencjałowe kryteria ochrony katodowej. Z praktyki jednoznacznie wynika, że zmiany potencjału wyłączeniowego, zwłaszcza tak małe jak 20 mV, nie muszą wynikać z faktu powstania nowego defektu, mogą być spowodowane nawet bardzo słabymi oddziaływaniami prądów błędzących lub tellurycznych, zmianą potencjałów dyfuzyjnych elektrod odniesienia, zmianami nawilgocenia i natlenienia gruntu. Obserwuje się na przykład znaczne przesuwanie potencjałów wyłączeniowych (i załączeniowych) w kierunku wartości elektrododatnich w okresach letnich, gdy wskutek suszy zwiększa się natlenienie i rezystywność gruntów. Gdyby początkowa, przed powstaniem nowego defektu, rezystancja przejścia rurociągu była większa, to większe byłoby przesunięcie potencjału wyłączeniowego, spowodowane przez powstanie nowego defektu. Przykładowo, gdyby rezystancja początkowa była trzykrotnie większa niż obliczona na podstawie zał. (1), to dla wcześniejszego przykładu liczbowego zmiana potencjału  $E_{OFF}$  spowodowana przez nowy defekt powłoki wyniosłaby ok. 58 mV, a nie 22 mV.
3. Według omawianych przepisów z reguły wystarczające jest wykonanie pomiarów raz na dobę, a w obszarach oddziaływań prądów błędzących – dwa razy (jednego pomiaru w godzinach szczytu i jednego w okresie przerwy w ruchu). Zdaniem autorów, w warunkach krajowych jest to niewystarczające, aby odróżnić zmiany potencjałów spowodowane przez oddziaływania prądów błędzących i tellurycznych od zmian wywołanych przez powstanie nowych defektów powłoki izolacyjnej. W Polsce, w odróżnieniu od Niemiec, trakcja kolejowa jest stałoprądowa, a oddziaływania stałych prądów błędzących są częste, powszechne, rozległe i intensywne. Nawet w okresach przerw w ruchu kolejowym (a nie zawsze takie przerwy mają miejsce) odnotowuje się istotne zmiany potencjałów spowodowane przez oddziaływania prądów błędzących. Zgodnie z PN-EN 50162: 2006 [5] w obszarach oddziaływań prądów błędzących dopuszcza się wyptywanie prądu z rurociągu chronionego katodowo do ziemi przez okres nie dłuższy niż 3,6 sekundy w ciągu godziny. Pomiar potencjału dwa razy na dobę absolutnie nie umożliwia sprawdzenia, czy ten wymóg jest spełniony.
4. Przy niezbyt wysokim wymaganym poziomie wyjściowym izolacji rurociągu konieczne jest monitorowanie potencjałów w wielu punktach na trasie, z czym związana jest konieczność wyposażania tych punktów w dość kosztowne układy monitoringu. W kraju takie rozwiązanie, przynajmniej na razie, nie byłoby rozsądne z uwagi na dość dużą skalę

zniszczeń, dewastacji i kradzieży elementów/punktów pomiarowych usytuowanych w terenie dostępnym.

5. W warunkach krajowych wykonywanie pomiarów terenowych, tak jak w Niemczech, w okresach 3 i 6 letnich, nie byłoby dobrym rozwiązaniem, z powodu wspomnianej uprzednio skali występujących dewastacji i kradzieży punktów pomiarowych. Wykonując kolejne pomiary po takim okresie zapewne stwierdziłoby się, że wiele punktów już nie istnieje lub jest uszkodzonych i wykonanie pomiarów jest niemożliwe. Ponadto w Polsce częste są przypadki wykonywania przez strony trzecie prac w sąsiedztwie gazociągów, naruszających ochronę przeciwkorozyjną.
6. W omawianych przepisach podkreśla się, że wyniki pomiarów powinien oceniać biegły (specjalista), który na podstawie wykształcenia, doświadczenia zawodowego, znajomości norm i przepisów technicznych jest w stanie ocenić te wyniki oraz bezpieczeństwo eksploatacji urządzeń ochrony katodowej. Specjaliści muszą być pisemnie wyznaczeni przez firmy zaopatrywania w wodę i gaz lub przez firmy specjalistyczne, zgodnie z GW 11. Natomiast w kraju system certyfikacji personelu i firm zajmujących się ochroną katodową różnych konstrukcji (projektowaniem, budową, użytkowaniem), jak dotąd, nie funkcjonuje, z niekorzystnymi tego skutkami. Zachodzi pilna potrzeba uruchomienia takiego systemu [6].

### **Zdalny monitoring ochrony katodowej a stopień szczelności powłoki izolacyjnej rurociągu**

Wyznacznikiem stopnia szczelności powłoki izolacyjnej podziemnego rurociągu jest gęstość prądu ochrony katodowej odnoszona do jego powierzchni bocznej (im mniejsza jest ta gęstość, tym wyższy jest stopień szczelności izolacji), bądź rezystancja lub jednostkowa rezystancja przejścia (uziemia) rurociągu (im większe są te rezystancje, tym większa jest szczelność powłoki izolacyjnej). Przyjmuje się, całkowita szczelność polietylenowej powłoki izolacyjnej wyraża się jednostkową rezystancją przejścia rzędu co najmniej  $10^8 \Omega m^2$ .

Związek pomiędzy stopniem szczelności powłoki izolacyjnej podziemnego rurociągu a ochroną katodową (spełnieniem/niespełnieniem kryteriów ochrony, rozwiązaniami układowymi ochrony, metodami stwierdzania skuteczności ochrony) przedstawiono w [7].

Autorzy w tej pracy wykazali, że jeśli rurociąg/odcinek rurociągu pobiera prąd polaryzacji katodowej  $I_p$  o natężeniu

$$I_p \leq \frac{16((E_O - E_{ON}) - jd\rho)^2}{j\pi\rho^2} \quad (2)$$

lub rezystancja przejścia  $R_R$  rurociągu/odcinka

$$R_R \geq \frac{(E_O - E_{ON})j\pi\rho^2}{16((E_O - E_{ON}) - jd\rho)^2} \quad (3)$$

lub jednostkowa rezystancja przejścia  $R_J$  rurociągu/odcinka

$$R_J \geq \frac{(E_O - E_{ON})j\pi\rho^2}{16((E_O - E_{ON}) - jd\rho)^2} \times S \quad (4)$$

gdzie:

- $I_p$  – natężenie prądu polaryzacji katodowej pobieranego przez odcinek/rurociąg,
- $E_O$  – potencjał ochrony katodowej,  $E_{ON}$  – zastosowany potencjał załączeniowy,
- $j$  – wymagana gęstość prądu ochrony katodowej w defekcie powłoki izolacyjnej,
- $d$  – grubość powłoki izolacyjnej,  $\rho$  – rezystywność gruntu,  $S$  – powierzchnia boczna odcinka/rurociągu,

to wówczas na tym odcinku/rurociągu spełnione będą potencjałowe kryteria ochrony katodowej we wszystkich nieszczelnościach powłoki izolacyjnej, nawet w najbardziej niekorzystnej sytuacji, gdy te wszystkie nieszczelności będą skoncentrowane w postaci jednego defektu o kształcie koła, jeśli tylko potencjał załączeniowy nie będzie mniej ujemny niż  $E_{ON}$ .

Wymagana rezystancja przejścia wg zał. (3) jest zdecydowanie większa, niż wg zał. (1) z przepisów DVGW. Jeśli wymagany potencjał ochrony  $E_O$  wynosi  $-0,85/-0,95$  V, zastosowany potencjał załączeniowy  $E_{ON} = -1,3$  V, potrzebna gęstość prądu ochrony  $j = 0,1$  A/m<sup>2</sup>, grubość powłoki izolacyjnej  $d = 0,002$  m, rezystywność gruntu  $\rho = 100$   $\Omega$ m, to wymagana rezystancja przejścia wynosi odpowiednio 478/631  $\Omega$ . Z kolei dopuszczalne pobory prądu polaryzacji katodowej wynoszą odpowiednio 0,94 mA ( $E_O = -0,85$  V) i 0,55 mA ( $E_O = -0,95$  V).

Wymagania określone wg zał. (2–4) są wymaganiami dla tzw. powłok o wysokim poziomie szczelności (WPS). Są one ostrzejsze, niż wymagania określone w przepisach DVGW dotyczących zdalnego monitoringu i w zasadzie mogą być formułowane w odniesieniu do rurociągów nowo budowanych, w powłokach izolacyjnych z tworzyw sztucznych. Spełnienie tych kryteriów nie nastęca większych trudności, natomiast stosowanie powłok WPS ma szereg zalet [7], w tym dotyczących zdalnego monitoringu ochrony katodowej.

Jeśli oddziaływania prądów błądzących nie występują lub jeśli są one słabe, to rozkład potencjału załączeniowego na całej trasie takiego rurociągu jest ekwipotencjalny. Oznacza to, że wystarczające jest wówczas monitorowanie potencjału z jednego dowolnego punktu na trasie. Jeśli/dopóki spełnione jest którekolwiek spośród kryteriów (2–4) dot. powłoki i ochrony katodowej rurociągu, to wówczas można przyjąć, że spełnione są kryteria skutecznej ochrony katodowej we wszystkich nieszczelnościach powłoki izolacyjnej tego rurociągu – na podstawie prostych pomiarów potencjału załączeniowego  $E_{ON}$  wykonanych w zaledwie jednym punkcie pomiarowym; jeśli natomiast kryteria te przestaną być spełnione (np. wzrośnie pobór prądu do 1,5 mA lub potencjał załączeniowy wzrośnie od  $-1,3$  V do  $-1,1$  V) to oznacza to, że powstał nowy defekt powłoki i to taki defekt, w którym kryterium ochrony może nie być spełnione.

Dla rurociągów poddanych oddziaływaniom prądów błądzących lub tellurycznych niezbędne jest monitorowanie – rejestrowanie potencjałów załączeniowych w celu wyznaczenia wartości średnich i skrajnych w poszczególnych przedziałach czasu oraz w celu oszacowania czasu trwania okresów, w których prąd może wypływać z rurociągu do ziemi (Przyjmuje się, że prąd może wypływać z rurociągu do ziemi, jeśli chwilowy potencjał załączeniowy wskutek oddziaływań prądów błądzących lub tellurycznych przyjmuje wartości mniej ujemne niż  $-1,2$  V).

W przypadku rurociągów pokrytych powłokami izolacyjnymi o wysokim poziomie szczelności zadowalającą informację o skuteczności ochrony katodowej można uzyskać monitorując potencjał załączeniowy z zaledwie jednego punktu pomiarowego (jeśli źródłem prądu ochrony katodowej tego rurociągu jest niezawodny galwanostat utrzymujący zadane natężenie prądu polaryzacji; gdyby źródłem prądu był potencjostat utrzymujący potencjał  $E_{ON}$  na zadanym poziomie, wówczas należałoby monitorować natężenie tego prądu i potencjał załączeniowy z dowolnego punktu). Jednakże oczywistością jest, że im więcej monitorowanych punktów, tym lepszy i bardziej niezawodny jest monitoring.

Ochrona katodowa powinna być tak projektowana i użytkowana, aby wyeliminowane zostały wszystkie zagrożenia korozyjne rurociągu, tzn. aby te zagrożenia były zagrożeniami potencjalnymi, pojawiającymi się wówczas, gdy ochrona katodowa przestanie działać (wskutek wyłączenia, awarii, dewastacji). Zatem podstawową informacją dostarczaną przez zdalny monitoring powinna być informacja, czy ochrona katodowa działa zgodnie z nastawami (które to nastawy powinny być takie, aby spełnione były kryteria ochrony katodowej). Dodatkowo zdalny monitoring powinien dostarczać informacji o ewentualnym wystąpieniu zdarzenia zakłócającego/niweczącego ochronę katodową na znacznym obszarze, np. wskutek powstania zwarcia rurociągu z obcą metalową konstrukcją o małej rezystancji uziemienia. Te zadania spełnia monitoring wielkości wymienionych w cz. A rozdziału poświęconego przepisom DVGW. W szczególności, jeśli powłoka izolacyjna rurociągu nie jest powłoką o wysokim poziomie szczelności, to te wszystkie informacje można uzyskać monitorując potencjały załączeniowe z wybranych (wielu) punktów pomiarowych. Jednakże stosowanie zdalnego monitoringu powinno być poprzedzone wykonaniem pomiarów terenowych ochrony katodowej i utworzeniem bazy danych wzorcowych dla danego rurociągu; dane uzyskiwane ze zdalnego monitoringu powinny być odnoszone do tych danych wzorcowych (odniesienia).

Natomiast uzyskiwanie zdalnie informacji o ewentualnym powstaniu nowego defektu powłoki izolacyjnej, w którym mogłoby nie być spełnione kryterium ochrony katodowej możliwe jest, zdaniem autorów, jedynie w przypadku monitoringu ochrony katodowej rurociągów w powłokach o wysokim stopniu szczelności.

„Czułość” zdalnego monitoringu ochrony katodowej jest tym większa, im wyższy jest stopień szczelności powłoki izolacyjnej rurociągu i im mniejsze są powierzchnie boczne (długości) monitorowanych rurociągów. Problem pojawia się wówczas, gdy pomimo wysokiej szczelności powłoki izolacyjnej, wskutek dużej powierzchni (długości) monitorowanego rurociągu, natężenie pobieranego prądu ochrony katodowej jest większe od natężenia wg zał. (2). Wówczas należałoby za pomocą zdalnych pomiarów wyznaczać rezystancje przejścia poszczególnych pododcinków rurociągu, a rezystancje te powinny spełniać zał. (3). Aby takie zdalne pomiary były możliwe, rurociąg powinien być wyposażony m.in. w punkty prądowe umożliwiające zdalne pomiary prądu ochrony katodowej płynącego w rurociągu (spadku napięcia wywołanego w rurociągu przez ten prąd). Pomiary te powinny być prowadzone przy impulsowym, wielokrotnie większym natężeniu prądu w stosunku do natężenia prądu eksploatacyjnego (roboczego). Przy aktualnym poziomie techniki taka koncepcja zdalnego monitoringu jest możliwa do zrealizowania.

### **3. Monitoring ochrony katodowej w GAZ – SYSTEM S.A. Oddział w Gdańsku**

Od ponad dziesięć lat na aktualnym terenie działania Operatora Gazociągów Przesyłowych GAZ – SYSTEM S.A. Oddział w Gdańsku funkcjonuje zdalny monitoring ochrony katodowej gazociągów przesyłowych. Polega on na zdalnych pomiarach „on line” potencjałów załączeniowych z wybranych punktów gazociągów – z punktów pomiarowych zamontowanych przy złączach izolujących w rurociągach wysokiego ciśnienia przed stacjami gazowymi.

System monitoringu był i jest sukcesywnie tworzony od 1990 r. Pierwszym krokiem do stworzenia tego systemu monitoringu było uzupełnienie złączy izolujących odcinających stacje gazowe od gazociągów wysokiego ciśnienia. W pierwszej połowie lat dziewięćdziesiątych wszystkie stacje gazowe były już wyposażone w takie złącza izolujące. Oczywiście podstawowym celem uzupełniania złączy izolujących było elektryczne oddzielenie sieci wysokiego

ciśnienia od sieci dystrybucyjnych niższych ciśnień. Po zakończeniu tego procesu ok. 30% stacji ochrony katodowej gazociągów wysokiego ciśnienia można było wyłączyć z ruchu.

W kulminacyjnym okresie monitorowano potencjały załączeniowe ochrony katodowej gazociągów z 90 punktów, podczas gdy ochronę katodową sieci dług. ok. 1550 km realizowano za pomocą 50 stacji katodowych i jednego drenażu polaryzowanego. Do monitorowania potencjałów wykorzystuje się kanały pomiarowe systemów telemetrycznych stacji redukcyjno – pomiarowych i węzłów gazowych. Dane pomiarowe, w tym mierzone potencjały załączeniowe gazociągów, przesyłane są do siedziby Oddziału w Gdańsku, najczęściej bezprzewodowo w systemie łączności GPRS.

Do przesłanych danych pomiarowych potencjałów załączeniowych gazociągów dostęp mają m.in. pracownicy zajmujący się ochroną przeciwkorozyjną. W programie wizualizacyjnym prezentowane są m.in.:

- bieżące wartości potencjałów załączeniowych z poszczególnych punktów; bieżące wartości są mierzone i „wyświetlane” z częstotliwością co kilkanaście sekund, a w przypadku stacji gazowych wyposażonych w łączność GPRS – co 5 min; bieżące wartości są zapamiętywane ( archiwizowane ) z częstotliwością co 5 min,
- średnie godzinowe i średnie dobowe potencjałów,
- wykresy potencjałów załączeniowych w dziedzinie czasu (zapamiętywanych z częstotliwością co 5 min); wykresy te umożliwiają wizualne śledzenie zmian monitorowanych potencjałów w czasie, np. w ciągu doby, jak również w dłuższych „skompresowanych” przedziałach czasu, np. w ciągu roku.

Dla każdego punktu wyznaczony jest potencjał krytyczny; jeśli bieżąca wartość potencjału jest mniej ujemna niż wartość krytyczna dla danego punktu – sygnalizowane jest to komunikatem w postaci wyświetlania wartości bieżącej w kolorze czerwonym.

Ten prosty i jak się okazuje skuteczny system monitoringu umożliwia rozpoznawanie awarii i zakłóceń ochrony katodowej gazociągów:

- unieruchomienie źródeł polaryzacji gazociągu (stacji ochrony katodowej, anod galwanicznych. drenażu polaryzowanego) (rys. 3),
- przerwanie dopływu prądu ochronnego,
- zwarcie gazociągu z metalową konstrukcją o niskiej rezystancji przejścia, zakłócające ochronę katodową gazociągu na dużym obszarze, np. w wyniku zwarcia złącza izolującego przed stacją gazową, zwarcia odgromnika, zwarcia gazociągu z rurą ochronną/przepustową, zwarcia gazociągu z inną, obcą metalową konstrukcją o małej rezystancji przejścia względem ziemi itp. (rys. 6, 7, 8).

Jeśli zaistnieją ww. zdarzenia, potencjały załączeniowe gazociągów w pobliskich monitorowanych punktach ulegną zauważalnemu wzrostowi; możliwe jest przy tym ustalenie momentu wystąpienia awarii z dokładnością do 5 min.

W przypadku istotnej grupy gazociągów w powłokach izolacyjnych o wysokim stopniu szczelności ten monitoring dostarcza jeszcze jednej, bardzo ważnej informacji dotyczącej skuteczności ochrony katodowej w defektach powłoki izolacyjnej. Jeśli dla takich gazociągów potencjał załączeniowy nie jest mniej ujemny niż określona wartość, wówczas można mieć pewność, że we wszystkich nieszczelnościach powłoki izolacyjnej takiego gazociągu spełnione są kryteria skutecznej ochrony katodowej; pomiary intensywne nie są tu konieczne. Dla takich gazociągów ten monitoring dostarcza informacji także o ewentualnym powstaniu nowego, pojedynczego uszkodzenia powłoki izolacyjnej gazociągu (rys. 9, 10, 11).



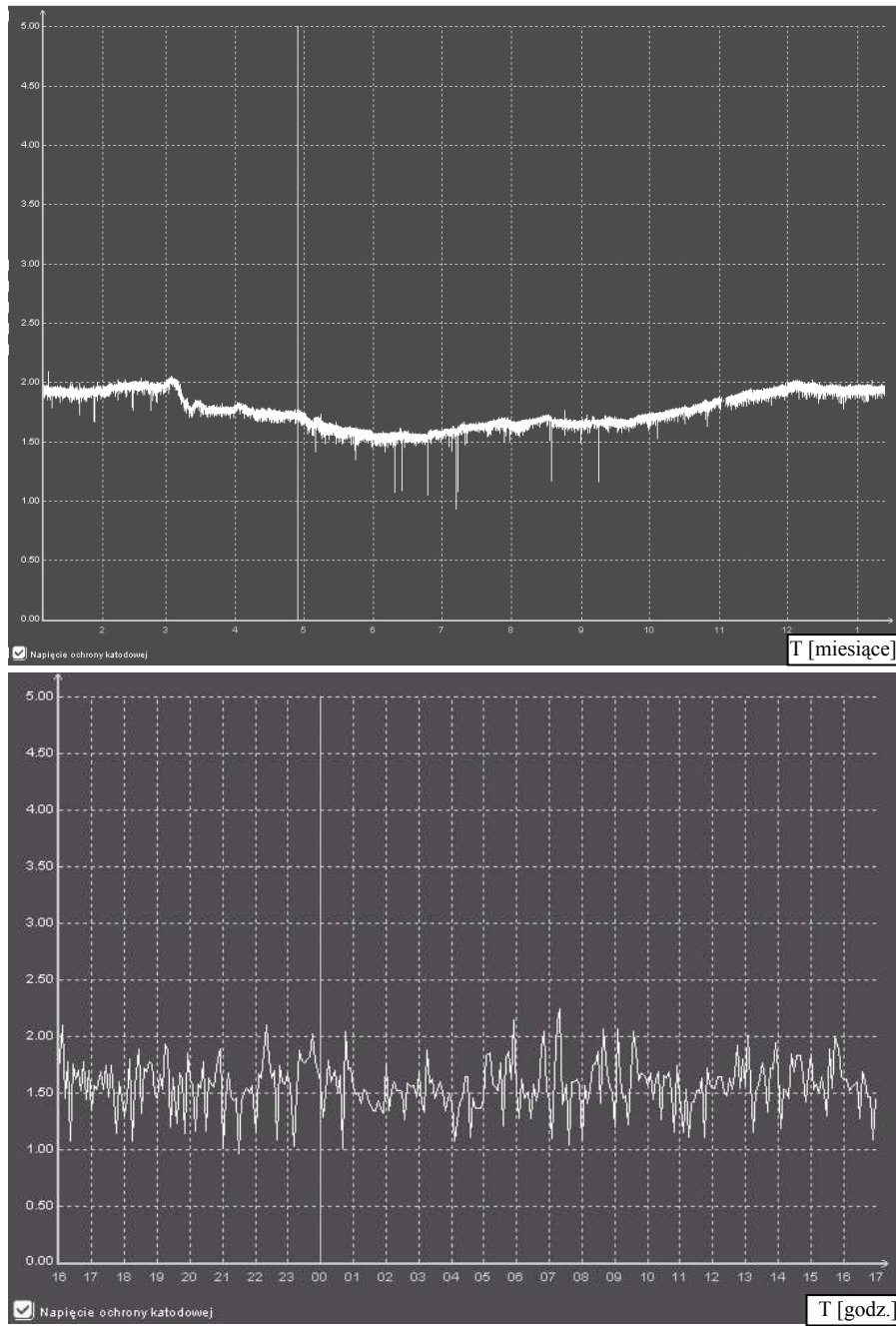
Monitoring umożliwia obserwację wpływu na potencjały załączeniowe gazociągów zdarzeń awaryjnych i zakłóceńowych wcześniej wymienionych, wpływu oddziaływań prądów błędzących (rys. 1b, 2, 3) i tellurycznych (rys. 4), zmian wilgotności i napowietrzenia gruntu (obserwuje się np. okresowe „pogarszanie” potencjałów w okresach letnich i „polepszanie” w okresach zimowych (rys. 1a)) i in. Takich możliwości nie dają systemy monitoringu, w których pomiary wykonywane są raz na dobę.

W ciągu roku w Oddziale GAZ-SYSTEM S.A. w Gdańsku przeprowadza się od 18 do 28 awaryjnych interwencji dotyczących awarii i zakłóceń ochrony katodowej gazociągów przesyłowych na podstawie informacji dostarczonych przez zdalny monitoring. Przykład zdarzenia z 2006 r., pokazujący zalety stosowania zdalnego monitoringu ochrony katodowej, a także sposób prowadzenia ochrony katodowej gazociągów w Oddziale w Gdańsku:

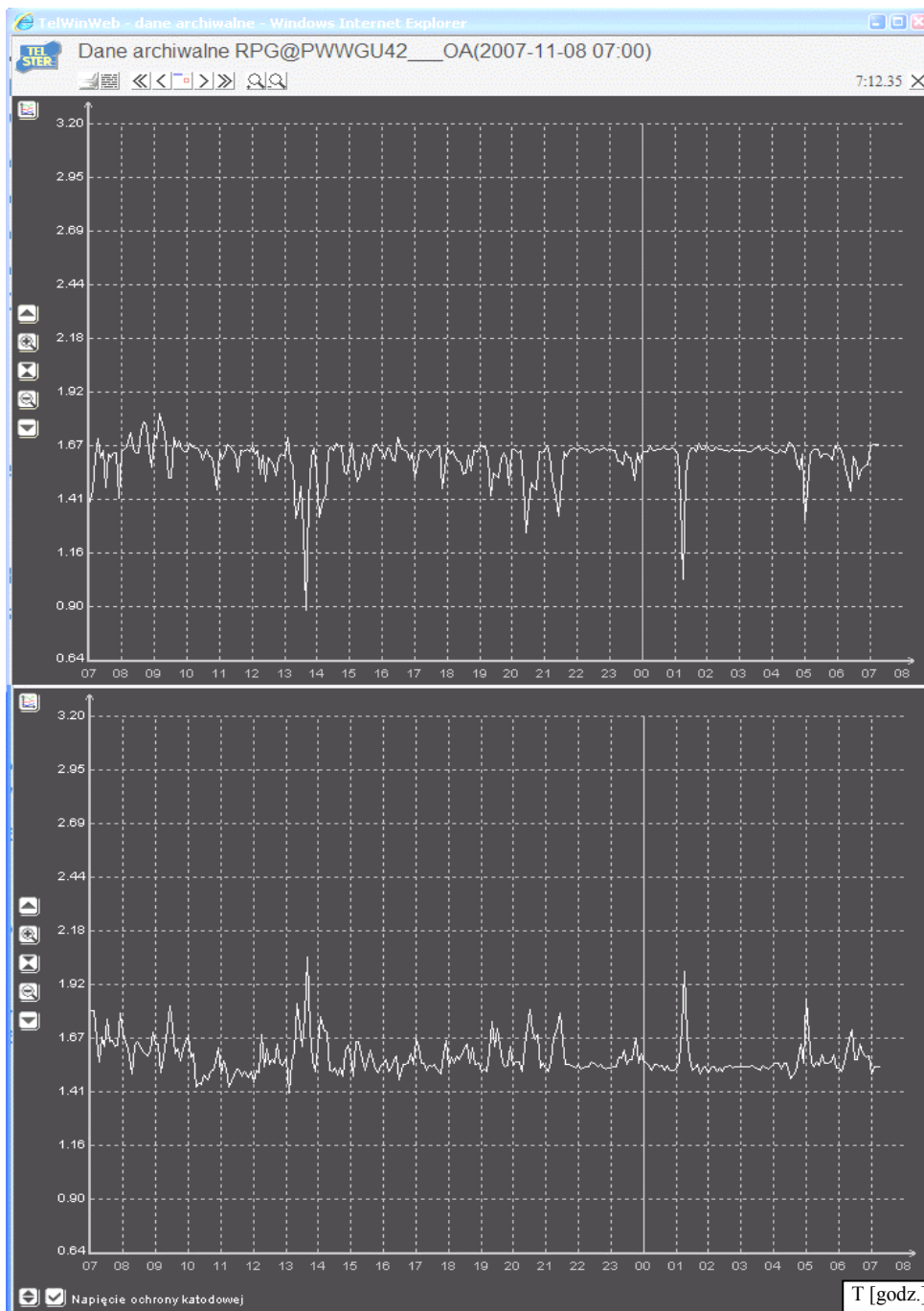
System zdalnego monitoringu zarejestrował skokowe, długotrwałe podwyższenie potencjału załączeniowego gazociągu drugostronnie zasilającego Elbląg od  $-1,4$  V do  $-0,6$  V (rys. 7). Nazajutrz wyeksponowano ekipę dwóch elektromonterów w celu ustalenia przyczyny zaniku ochrony katodowej tego gazociągu. Ustalono, że przyczyną nie jest awaria stacji anod galwanicznych polaryzujących ten gazociąg; stwierdzono wzrost natężenia prądu polaryzacji z  $0,8$  mA do ok.  $170$  mA, co wskazywało na drastyczne doziemienie gazociągu. Następnie ustalono, że przyczyną doziemienia gazociągu nie jest awaria układu telemetrii, uszkodzenie odgromnika i uszkodzenie złącza izolującego oddzielającego gazociąg od stacji gazowej. Wobec tego, na polecenie przełożonego, który kierował działaniami elektromonterów za pomocą telefonu komórkowego, ekipa pomiarowa wykonała pomiary rozprywu prądu polaryzacji katodowej wzdłuż gazociągu w celu ustalenia odcinka o zwiększonym poborze prądu. Taki odcinek został ustalony i następnie poddany oględzinom. Ekipa pomiarowa stwierdziła, że na skrzyżowaniu gazociągu z rowem odwadniającym w bezpośrednim sąsiedztwie gazociągu zostały zamontowane ścianki Larsena; przeprowadzone pomiary wykazały, że ścianki te były metalicznie zwarte z gazociągiem. Okazało się, że wykonawca przepustu rowu pod pobliską drogą krajową, który zamontował te ścianki, „trafił” ścianką w gazociąg przesyłowy. W tym miejscu gazociąg ułożony został techniką przewiertu kierowanego na głębokości ok.  $6$  m, co nie uchroniło go, niestety, przed ingerencją strony trzeciej. Dzięki zdalnemu monitoringowi jeden ze skutków tego zdarzenia, polegający na zaniku potencjału gazociągu, został zarejestrowany i zasygnalizowany, co umożliwiło podjęcie szybkich działań w celu ustalenia przyczyny; w ciągu czterech godzin od wyjazdu ekipy pomiarowej przyczyna i sprawca zostali ustaleny.

Dysponując takim monitoringiem, bezpośrednie zdalne monitorowanie stacji ochrony katodowej nie jest konieczne; można pozwolić sobie na komfort spokojnego obserwowania rozwoju technik bezpośredniego monitoringu tych stacji. Docelowo przewiduje się wprowadzenie na terenie działania Oddziału GAZ-SYSTEM S.A. w Gdańsku systemu zdalnego, bezpośredniego sterowania i monitorowania stacji katodowych; system ten będzie uzupełniony przez już istniejący system monitoringu oparty na monitorowaniu potencjałów załączeniowych gazociągów ze stacji gazowych. Realizację tego planu rozpoczęto w 2005 r. Obecnie piętnaście stacji ochrony katodowej z zewnętrznym źródłem prądu jest sterowanych zdalnie.

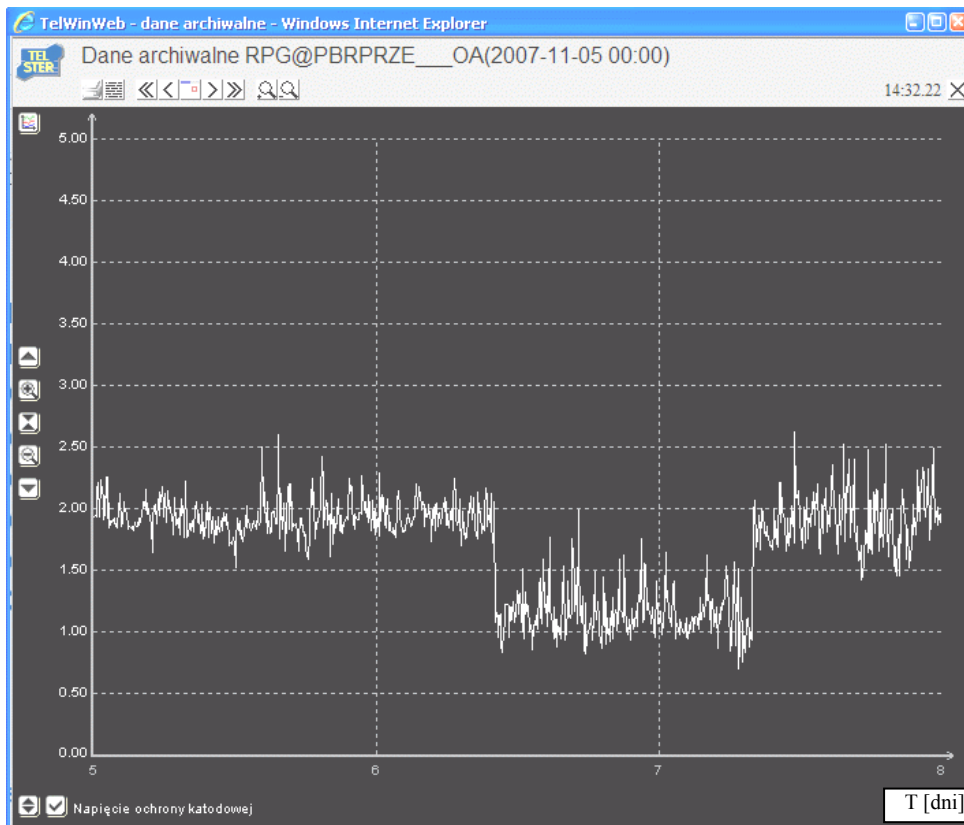
Rysunki 1–10 obrazują zarejestrowane przez zdalny monitoring różne zdarzenia, z komentarzami. Na wykresach utworzonych (zarejestrowanych) przez system monitoringu przedstawione są przebiegi czasowe wartości bezwzględnych potencjałów załączeniowych (rys. 1a, 1b, 2, 3, 6, 7, 9, 10).



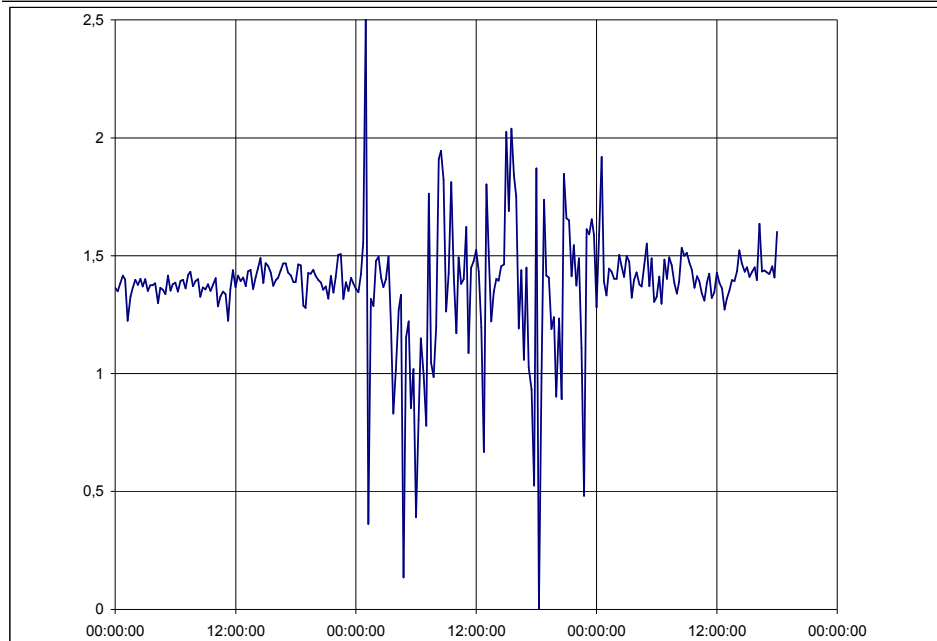
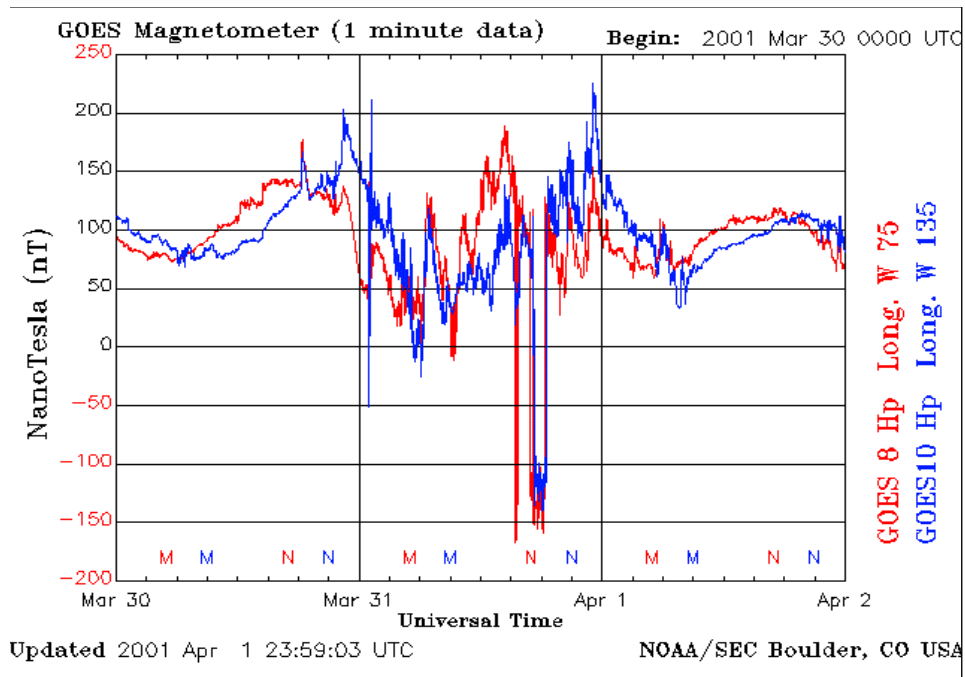
Rys. 1a, 1b. Wahania potencjału  $E_{ON}$  gazociągu w izolacji bitumicznej. Obraz zarejestrowany przez system zdalnego monitoringu. 1a (na górze) – wahania sezonowe – „pogarszanie” potencjału w miesiącach letnich oraz „poprawa” w okresie zimowym; 1b (na dole) – zmiany potencjału na skutek oddziaływań prądów błędnych



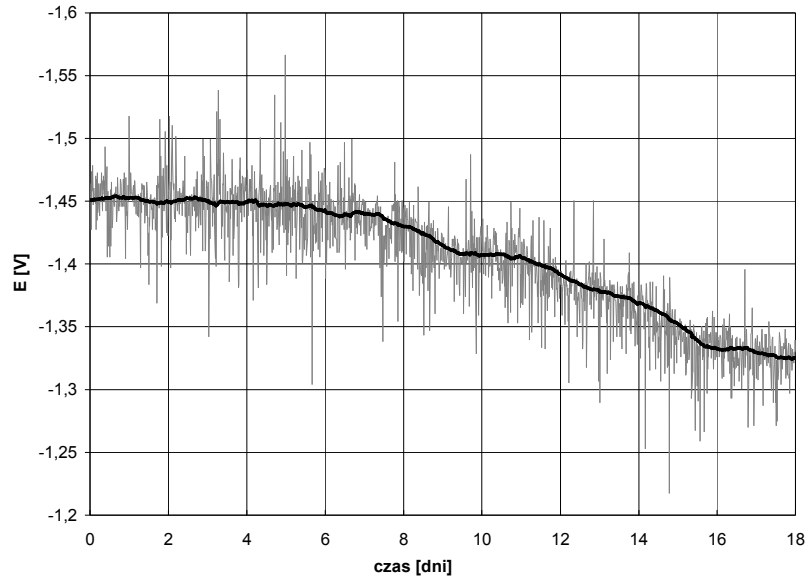
Rys. 2. Przykład zarejestrowanych zmian chwilowych potencjałów  $E_{ON}$  wskutek oddziaływań prądów błądzących na dwóch końcach gazociągu o długości 12,5 km; gazociąg w izolacji PE o wysokim stopniu szczelności; obraz zarejestrowany przez system zdalnego monitoringu.



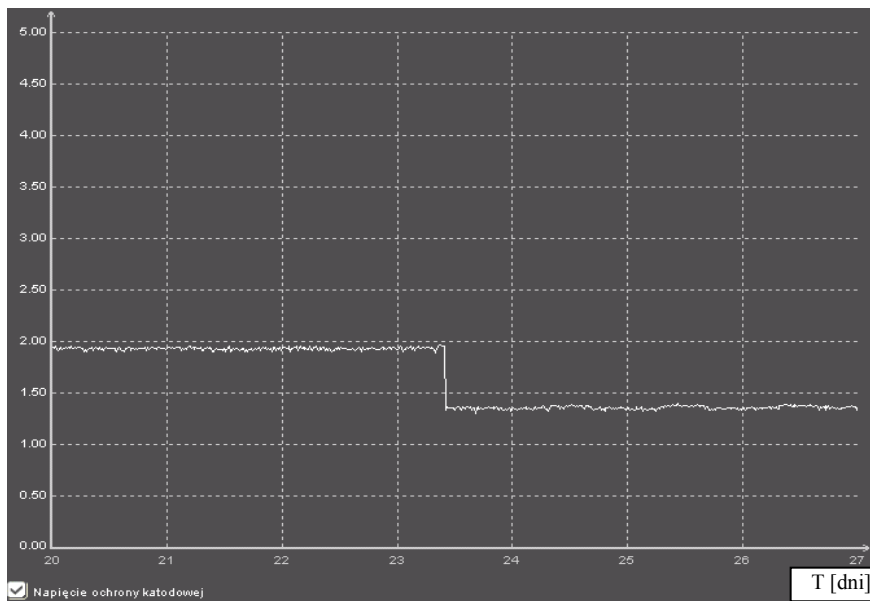
Rys. 3. Zakłócenie potencjału  $E_{ON}$  gazociągu spowodowane awarią SOK, w miejscu odległym o 10 km od SOK; gazociąg w izolacji bitumicznej ułożony w strefie oddziaływań prądów błądzących; obraz zarejestrowany przez system zdalnego monitoringu



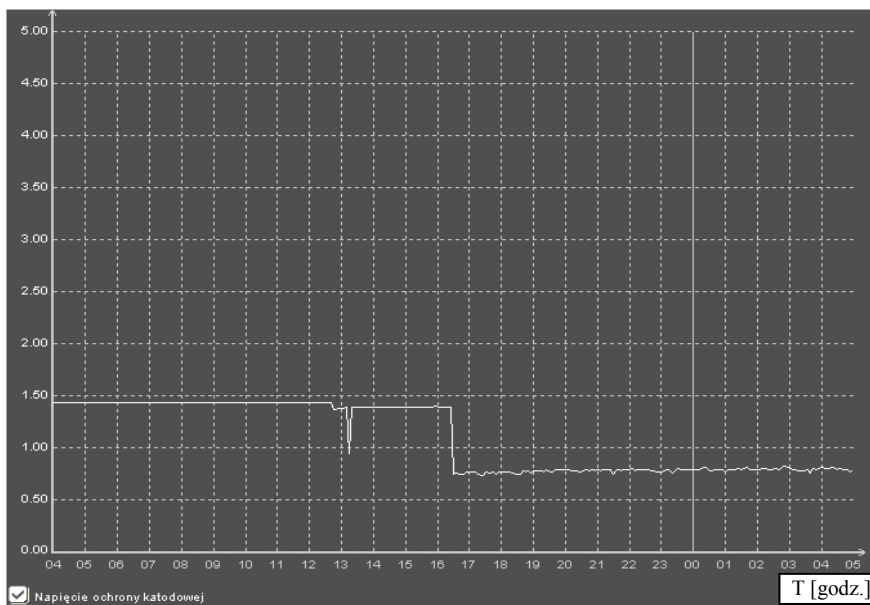
Rys. 4. Przykład zarejestrowanych zmian chwilowych potencjałów  $E_{ON}$  gazociągu wskutek oddziaływań prądów tellurycznych a) wykres obrazujący aktywność magnetyczną Słońca, b) wykres odpowiadających zmian potencjału załączeniowego gazociągu; wykres utworzony na podst. danych zarejestrowanych przez system zdalnego monitoringu



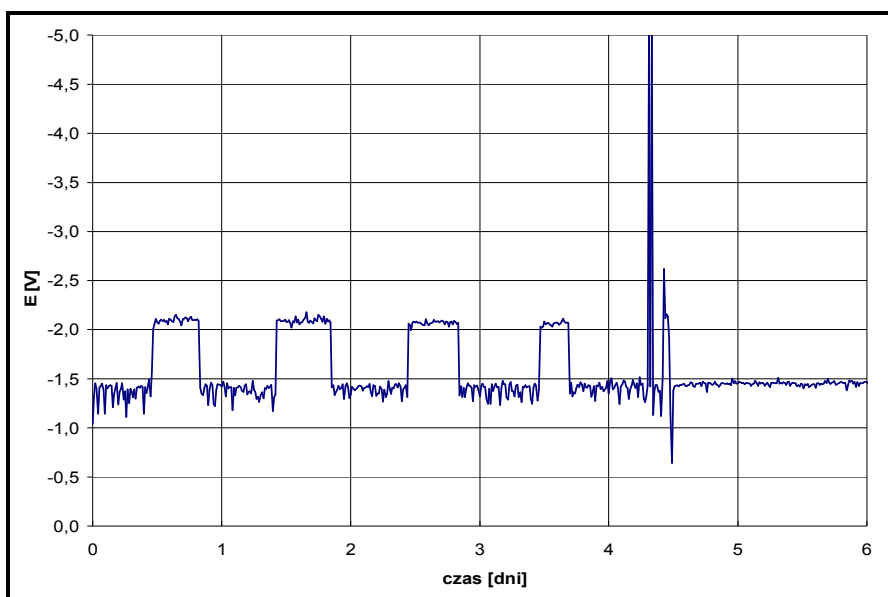
Rys. 5. Zarejestrowane zmiany potencjału  $E_{ON}$  gazociągu wskutek wypełniania się wodą jednej rury ochronnej, w której powłoka izolacyjna ułożonego odcinka gazociągu była istotnie uszkodzona (obecnie ta rura ochronna jest zlikwidowana, a powłoka izolacyjna została naprawiona); gazociąg w izolacji PE; punkt monitorowania odległy o 44 km od miejsca zdarzenia; wykres utworzony na podst. danych zarejestrowanych przez system zdalnego monitoringu



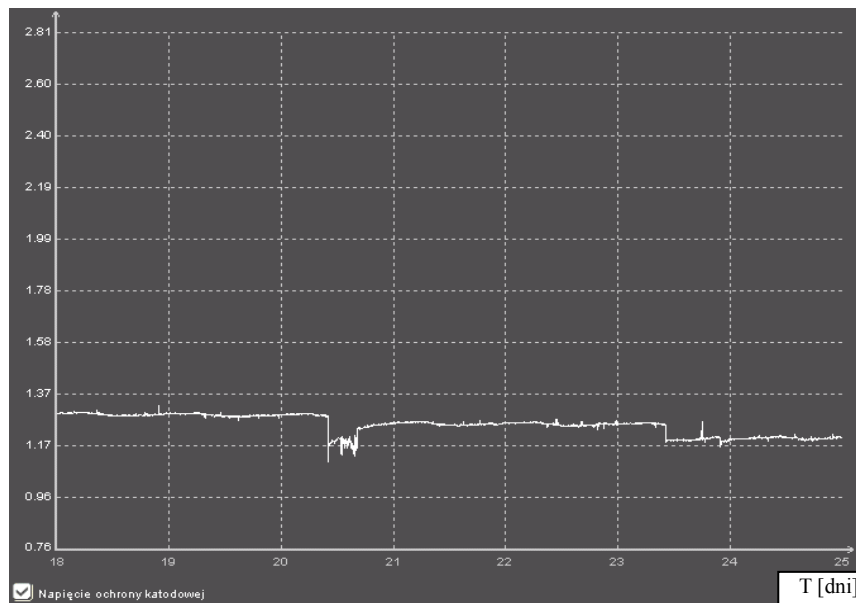
Rys. 6. Zakłócenie potencjału  $E_{ON}$  gazociągu spowodowane zwarciem złącza izolującego oddzielającego gazociąg od stacji gazowej; obraz zarejestrowany przez system zdalnego monitoringu



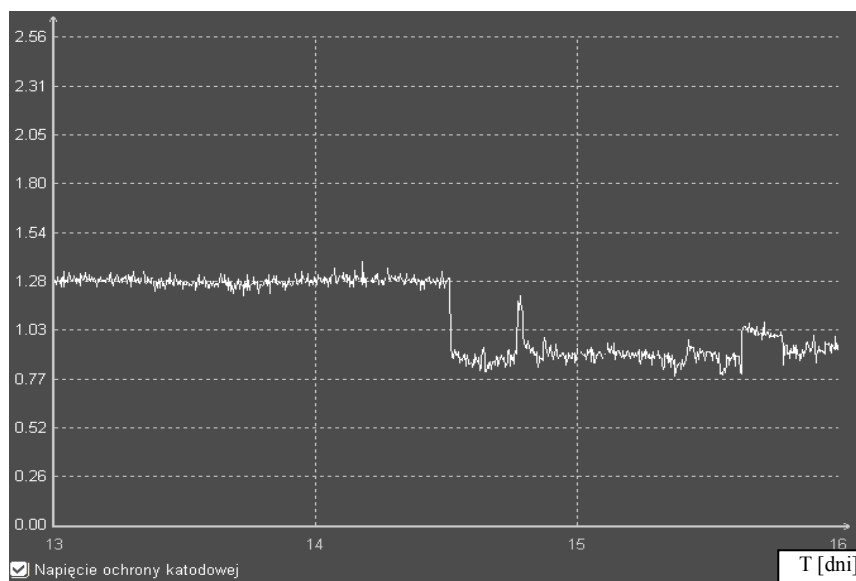
Rys. 7. Zakłócenie potencjału  $E_{ON}$  gazociągu na skutek zwarcia gazociągu ze ścianką Larsena w wyniku drastycznej ingerencji strony trzeciej; gazociąg w izolacji PE; punkt monitorowania oddalony o 7 km od miejsca zdarzenia; obraz zarejestrowany przez system zdalnego monitoringu



Rys. 8. Zarejestrowane zmiany chwilowych potencjałów  $E_{ON}$  gazociągu spowodowane okresowymi doziemieniami wskutek zwarcie odgromnika; gazociąg w izolacji PE dobrej jakości; punkt monitorowania oddalony o 35 km od miejsca zdarzenia; wykres utworzony na podstawie danych zarejestrowanych przez system zdalnego monitoringu



Rys. 9. Zakłócenie potencjału  $E_{ON}$  gazociągu spowodowane powstaniem nowego, pojedynczego defektu powłoki wskutek ingerencji strony trzeciej; gazociąg pokryty powłoką PE o wysokim stopniu szczelności; punkt monitorowania oddalony o 12 km od miejsca zdarzenia; obraz zarejestrowany przez system zdalnego monitoringu



Rys. 10. Zakłócenie potencjału  $E_{ON}$  gazociągu spowodowane uszkodzeniem powłoki izolacyjnej gazociągu przez stronę trzecią; gazociąg pokryty powłoką PE o wysokim stopniu szczelności; punkt monitorowania oddalony o 15 km od miejsca zdarzenia; obraz zarejestrowany przez system zdalnego monitoringu.





Rys. 11. Przykład uszkodzenia powłoki izolacyjnej gazociągu spowodowanego przez stronę trzecią. Moment powstania uszkodzenia zasygnalizowany został przez system zdalnego monitoringu (rys. 10); gazociąg pokryty powłoką PE o wysokim stopniu szczelności; miejsce uszkodzenia powłoki oddalone o 15 km od punktu monitorowania potencjału

#### 4. Podsumowanie

1. Stosowanie zdalnego monitoringu umożliwia zmniejszenie kosztów użytkowania ochrony katodowej oraz zwiększenie skuteczności i niezawodności tej ochrony.
2. Zastosowanie zdalnego monitoringu powinno być poprzedzone wykonaniem pomiarów terenowych ochrony katodowej i utworzeniem bazy danych wzorcowych dla danego rurociągu; dane uzyskiwane ze zdalnego monitoringu powinny być odnoszone do tych danych wzorcowych (odniesienia).
3. Podstawową funkcją zdalnego monitoringu ochrony katodowej powinno być dostarczanie informacji czy ochrona katodowa działa zgodnie z nastawami (które to nastawy powinny być takie, aby spełnione były kryteria ochrony katodowej) oraz o ewentualnym wystąpieniu zdarzenia zakłócającego/niweczącego ochronę katodową na znacznym obszarze, np. wskutek powstania zwarcia rurociągu z obcą metalową konstrukcją o małej rezystancji uziemienia. W celu zrealizowania tej funkcji nie jest konieczne monitorowanie parametrów ochrony katodowej z miejsc potencjalnie zagrożonych (w których zagrożenie pojawi się z chwilą awarii/zakłócenia ochrony katodowej).
4. W przypadku gazociągów przesyłowych tanim, prostym i skutecznym sposobem monitoringu ochrony katodowej spełniającego wymagania określone w punkcie 3. jest monitorowanie potencjałów załączeniowych z punktów pomiarowych zamontowanych przy złączach izolujących w rurociągach wysokiego ciśnienia, usytuowanych na zamkniętych terenach stacji gazowych, jeśli ilość i rozmieszczenie tych stacji są odpowiednie.

5. Zdalne rozpoznawanie powstania nowego defektu powłoki izolacyjnej rurociągu, w którym potencjał ochrony katodowej może nie być spełniony, możliwe jest w przypadku rurociągów pokrytych powłokami izolującymi o wysokim poziomie szczelności.
6. W obszarach oddziaływań prądów błędzących i tellurycznych monitorowanie oparte na pomiarach chwilowych potencjałów załączeniowych dwa razy na dobę nie jest wystarczające dla zadowalającego monitoringu ochrony katodowej.

## Literatura

- [1] Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 30 lipca 2001 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać sieci gazowe (Dz. U. nr 97, poz. 1055).
- [2] Rozporządzeniem Ministra Górnictwa z dnia 18 sierpnia 1978 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać sieci gazowe.
- [3] DVGW Arbeitsblatt GW 10: *Kathodischer Korrosionsschutz erdverlegter Lager-behälter und Stahlrohrleitungen – Inbetriebnahme und Überwachung*, Bohn, lipiec 2000.
- [4] DVGW – Merkblatt GW 16: *Fernüberwachung des kathodischen Korrosionsschutzes*.
- [5] PN-EN 50162:2006 *Ochrona przed korozją powodowaną przez prądy błędzące z układów prądu stałego*.
- [6] Sokólski W.: *Ochrona katodowa w czasopiśmie „Ochrona przed Korozją”*, „Ochrona przed Korozją” 2007, nr 8, s. 300–3007.
- [7] Fiedorowicz M., Jagiełło M.: *Stopień szczelności powłoki a ochrona katodowa podziemnego rurociągu*, „Ochrona przed Korozją” 2001, nr 12, s. 329–333 cz. I, 2002, nr 2, s. 35–39 cz. II.

Informacja o autorach: M. Fiedorowicz, M. Jagiełło – specjaliści zajmujący się ochroną przeciwkorozyjną gazociągów i obiektów w Operatorze Gazociągów Przesyłowych GAZ-SYSTEM S.A., Oddział w Gdańsku.