



**POLSKIE
STOWARZYSZENIE
KOROZYJNE**

XI Doroczna Konferencja naukowo-techniczna PSK
Annual Conference of Polish Corrosion Society
"WSPÓŁCZESNE TECHNOLOGIE PRZECIWKOROZYJNE"
"State-of-the-Art Anticorrosion Technologies"
423th Event of European Federation of Corrosion
10-12.05.2017 r. Hotel OSSA k/Rawy Mazowieckiej



ZDALNE MONITOROWANIE PARAMETRÓW OCHRONY KATODOWEJ RUROCIĄGU

REMOTE MONITORING OF PIPELINE CATHODIC PROTECTION SYSTEM

dr inż. Jacek Rozwadowski
Corrpol

mgr inż. Maciej Malicki
Speckor

Słowa kluczowe: telemetria, monitoring, pomiary zdalne, ochrona katodowa
Keywords: telemetry, monitoring, remote measurements, cathodic protection

Streszczenie

W niniejszym referacie opisano wdrożenie systemu telemetrii instalacji ochrony katodowej rurociągu. We wstępie podano najistotniejsze informacje o rurociągu jako obiekcie ochrony przeciwkorozyjnej oraz omówiono źródła zagrożenia korozyjnego. Następnie opisano instalację ochrony katodowej oraz instalację urządzeń telemetrycznych. Zaprezentowano także najistotniejsze parametry konfiguracyjne urządzeń oraz ich funkcjonalność. Na końcu opisano wdrożony system gromadzenia, przetwarzania i wizualizacji danych z urządzeń.

Summary

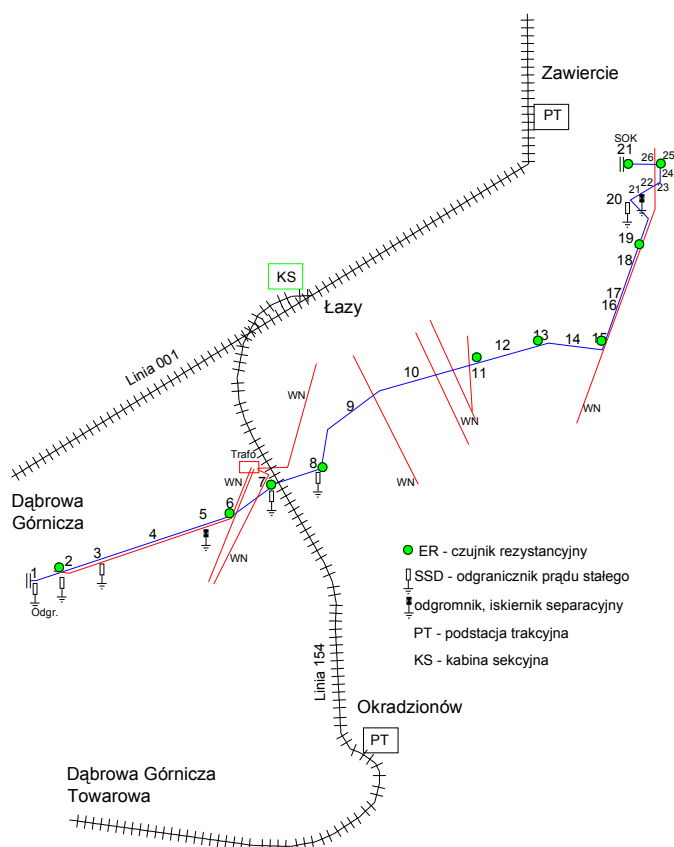
In this paper the implementation of remote monitoring system of pipeline cathodic protection installation is described. In the introduction, the most important information about the pipeline regarding to corrosion protection is given and the sources of potential corrosion hazard are being discussed. The installation of cathodic protection and the installation of telemetry devices are subsequently described. The most relevant configuration parameters of the devices and their functionality are also presented. Finally, the implemented system for measurement data collection, processing and visualization is described.

Wprowadzenie

Wybudowany w 2009 r. przez *Alkat Sp. z o.o.* powiązany z *Air Liquide S.A.* rurociąg dostarcza tlen z wytwórni w Hucie Katowice (*Arcelor Mittal*) do Huty CMC w Zawierciu. Ze względu na wysokie zagrożenie w razie awarii wymaga szczególnej uwagi związanej z pracą elementów technologicznych jak i zabezpieczeń przeciwkorozyjnych.

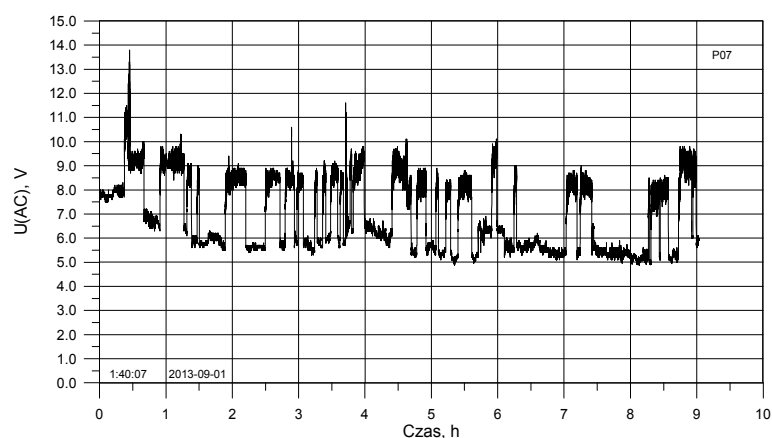
Monitorowany obiekt i zagrożenie korozyjne

Rurociąg tlenu zbudowany jest z rur stalowych o średnicy DN250. Z zewnątrz zabezpieczony jest powłoką fabryczną 3LPE wysokiej jakości. Trasa rurociągu o długości ok. 25km (rys.1) przebiega głównie w terenach rolniczych i leśnych o bardzo zróżnicowanej rezystywności gruntu wynoszącej od 20 do 2000Ωm.



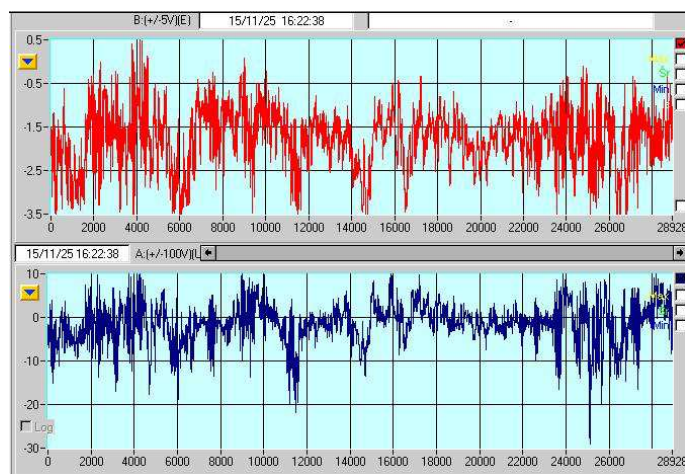
Rysunek 1. Trasa rurociągu tlenu wraz z elementami instalacji ochrony katodowej.

Trasa na początkowym i końcowym odcinku przebiega równolegle w bezpośrednim sąsiedztwie linii WN i wielokrotnie się z takimi liniami krzyżuje. Powoduje to indukowanie w rurociągu napięć mocno zależnych od aktualnego poboru mocy przez piece hutnicze (rys.2).



Rysunek 2. Zmiany napięcia przemiennego indukowanego w rurociągu.

Cała trasa rurociągu zlokalizowana jest równolegle do zelektryfikowanej linii kolejowej (Ząbkowice – Zawiercie) w odległości od 1 do 6km. W jednym miejscu rurociąg krzyżuje się z zelektryfikowanym odgałęzieniem od linii opisanej powyżej. Konfiguracja ta sprzyja oddziaływaniu prądów błądzących o charakterze katodowym od strony Dąbrowy Górniczej oraz zauważalnym charakterze anodowym w rejonie Zawiercia (rys.3).



Rysunek 3. Zmiany dobowe potencjału E_{on} rurociągu (wykres górny) i potencjału szyn (według procedur *Air Liquide*) w punkcie pomiarowym nr 7.

Instalacja ochrony katodowej

Rurociąg objęty jest ochroną katodową prądem z zewnętrznego źródła. Stacja ochrony katodowej zlokalizowana jest w Zawierciu. W ostatnich latach rozbudowano system w następującym zakresie:

- wyposażono 27 punktów pomiarowych na trasie rurociągu w elektrody symulujące (wymóg *Air Liquide*),
- zwiększono z 2 do 6 liczbę zamontowanych odgraniczników prądu stałego, jako zabezpieczenie przed oddziaływaniem korozyjnym indukowanego w rurociągu prądu przemiennego,
- zwiększono z 3 do 10 liczbę zainstalowanych czujników korozymetrii rezystancyjnej.

Ochrona katodowa oraz zastosowane urządzenia ograniczające oddziaływanie indukowanych prądów przemiennych na rurociąg tlenu spełniają obecnie swoje zadanie zgodnie z normami PN-EN 15280 oraz PN-EN 12954, co nie oznacza, że działanie to jest już optymalne i równomierne na całej długości rurociągu.

Różnorodny i dynamiczny charakter zmian zachodzących na rurociągu skłonił do prób zastosowania szczególnych rozwiązań telemetrycznych w poznawaniu zjawisk tam zachodzących.

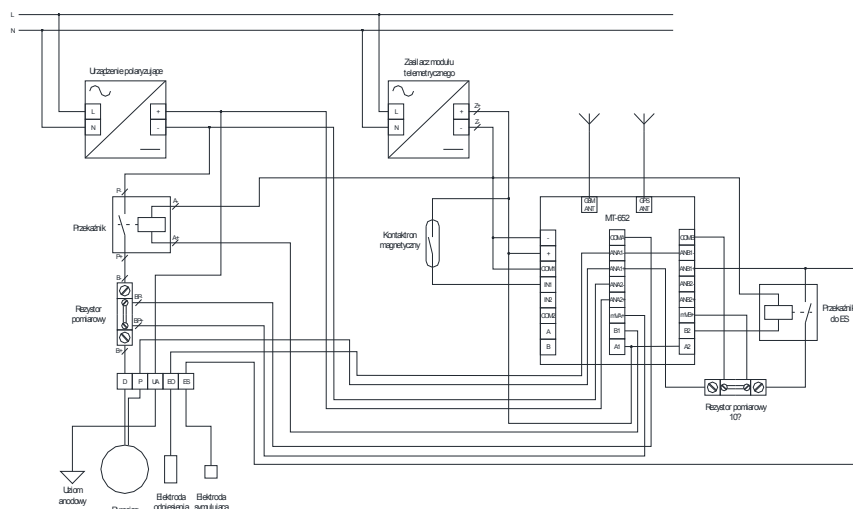
Instalacja urządzeń telemetrycznych

Do instalacji modułów telemetrycznych wytypowano dwa punkty. Jedno urządzenie zamontowano w stacji ochrony katodowej, a drugie w punkcie pomiarowym na trasie rurociągu. W SOK zamontowano moduł *MT-652* prod. firmy *InVentia* dedykowany do pracy na obiektach z dostępnym zasilaniem sieciowym, tj. przede wszystkim w stacjach ochrony katodowej czy stacjach drenażu wzmocnionego. *MT-652* posiada 6 wejść analogowych, 2 wejścia cyfrowe, 2 wyjścia cyfrowe i wbudowany akumulator podtrzymujący pracę urządzenia w przypadku zaniku zasilania zewnętrznego. Urządzenie realizuje pomiary w sposób synchroniczny wedle algorytmów typowych dla ochrony katodowej, które mogą być w szerokim zakresie parametryzowane przez Użytkownika.

Moduł został zamocowany przy pomocy fabrycznego uchwytu na szynie DIN w szafie z urządzeniem polaryzującym. Razem z modułem telemetrycznym zamontowano następujące elementy/urządzenia peryferyjne:

- zasilacz 24V DC – stanowi on źródło napięcia stałego do zasilania modułu, a także napięcia stanu wysokiego na wejściu cyfrowym. Zasilacz zapewnia także zasilanie cewek przekaźników zewnętrznych;
- przetworniki prąd/napięcie – w celu dokonywania pomiarów prądu wyjściowego SOK oraz prądu elektrody symulującej dobrano odpowiednie do zakresu rezystory pomiarowe;
- przekaźniki zewnętrzne – zapewniają one możliwość rozłączania obwodu wyjściowego SOK oraz odłączania elektrody symulującej od rurociągu;
- kontaktron magnetyczny – umożliwia monitorowanie stanu drzwi szafy (otwarte/zamknięte);

- antena dualna GSM/GPS – z uwagi na to, że szafa SOK wykonana jest z tworzywa sztucznego antenę zamontowano wewnątrz obudowy, w jej górnej części.

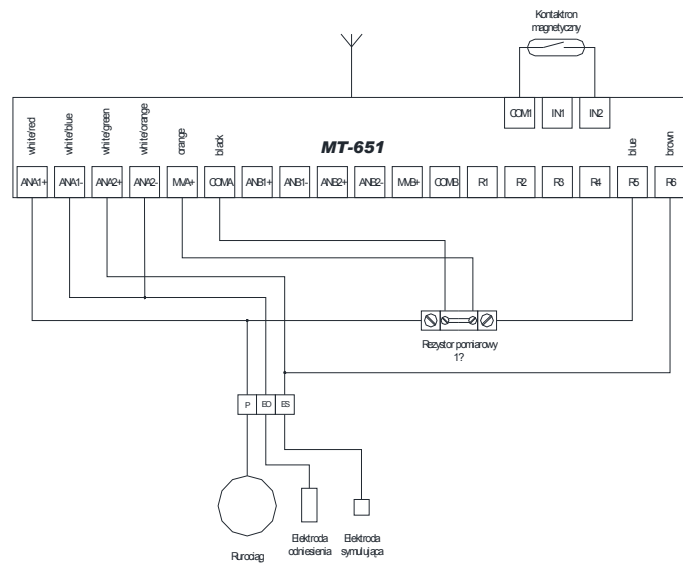


Rysunek 1. Schemat połączeń modułu telemetrycznego w SOK.

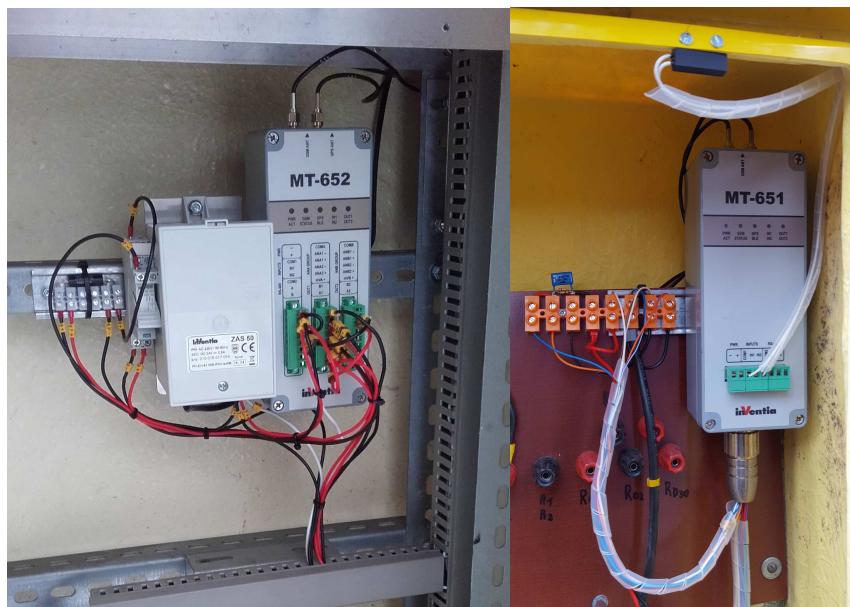
W punkcie pomiarowym zamontowano moduł *MT-651* dedykowany do pracy w instalacjach bez zasilania sieciowego, tj. w punktach pomiarowych, stacjach anod galwanicznych czy stacjach drenażu polaryzowanego. Podobnie jak *MT-652*, moduł *MT-651* posiada 6 wejść analogowych, 2 wejścia cyfrowe i 2 wyjścia cyfrowe. Odmianą jest natomiast konstrukcja wejść i wyjść, która umożliwia minimalizację zużycia przez nie energii. *MT-651* zasilany jest z wbudowanego pakietu baterii odpornych na zmiany temperatury. Sposób realizacji pomiarów jest identyczny jak w module *MT-652*, co zapewnia kompatybilność i synchronizację pracy całego systemu. W celu zapewnienia możliwości montażu modułu w typowym słupku oznaczeniowo-pomiarowym, większość sygnałów podłącza się za pośrednictwem okrągłego gniazda zlokalizowanego na dolnej ścianie obudowy.

Moduł został zamocowany przy pomocy fabrycznego uchwytu na szynie DIN w szafce punktu pomiarowego. Razem z modulem telemetrycznym zamontowano następujące elementy/urządzenia peryferyjne:

- przetwornik prąd/napięcie – w celu dokonywania pomiarów prądu elektrody symulującej dobrano odpowiedni do zakresu rezystor pomiarowy;
- kontaktor magnetyczny – umożliwia monitorowanie stanu drzwi szafy (otwarte/zamknięte);
- antena dualna GSM/GPS – z uwagi na to, że szafka punktu pomiarowego wykonana jest z tworzywa sztucznego antenę zamontowano wewnątrz obudowy, w jej górnej części.



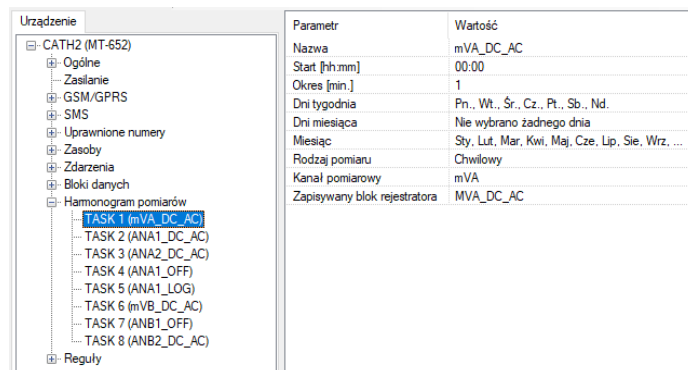
Rysunek 2. Schemat połączeń modułu telemetrycznego w punkcie pomiarowym.



Rysunek 3. Fotografie zamontowanych modułów telemetrycznych.

Konfiguracja urządzeń i funkcjonalność

Konfiguracja urządzeń obejmuje m.in. parametry zasilania, informacje niezbędne do zalogowania do sieci, harmonogram wykonywania pomiarów i przesyłania ich wyników oraz definicję i sposób obsługi zdarzeń (transmisja spontaniczna). Do konfiguracji modułów wykorzystano darmowy program narzędziowy *MT Manager*.



Rysunek 3. Fragment okna programu *MT Manager* z drzewem parametrów i konfiguracją zadania pomiarowego.

Najważniejszym parametrem dotyczącym zasilania jest tryb pracy (z oszczędzaniem lub bez oszczędzania energii). Moduł zamontowany w SOK został skonfigurowany do pracy bez oszczędzania energii – oznacza to, że pozostaje on przez cały czas zalogowany do sieci GSM i może odpowiadać na zapytania lub realizować komendy Użytkownika, natomiast w module zamontowanym w punkcie pomiarowym został aktywowany tryb oszczędzania energii. W tym trybie poza realizacją harmonogramu pomiarów i transmisji oraz obsługą zdarzeń moduł przechodzi w tryb „uśpienia”. Oznacza to, że nie jest on stale zalogowany do sieci i Użytkownik nie może uzyskać do niego zdalnego dostępu w dowolnej chwili.

Tabela 1. Pomiary realizowane przez moduły telemetryczne.

Rodzaj pomiaru	SOK	Punkt pomiarowy
Prąd wyjściowy SOK	x	
Napięcie wyjściowe SOK	x	
Potencjał załączeniowy	x	x
Potencjał wyłączeniowy	x	x*
Potencjał odłączeniowy elektrody symulującej	x**	x
Prąd elektrody symulującej	x	x
Napięcie przemienne	x	x
Napięcie zasilacza urządzenia polaryzującego	x	

* realizowany synchronicznie z modulem pracującym w SOK

** realizowany jednocześnie z wyłączeniem SOK

Pomiary realizowane przez oba moduły zestawiono w powyższej tabeli (tab.1). Oprócz podanych wielkości każdy z modułów monitoruje szereg dodatkowych parametrów, takich jak m.in. temperatura, napięcie zasilania/baterii/akumulatora oraz parametry pracy modułu GSM i GPS.

Konfiguracja zdarzeń obejmuje sposób reakcji modułu na zdefiniowane przez Użytkownika sytuacje, kluczowe dla poprawnego funkcjonowania monitorowanego systemu. Zestawienie skonfigurowanych zdarzeń dla każdego z modułów umieszczono w poniższej tabeli (tab.2).

Tabela 2. Zdarzenia i sposób reakcji.

<i>Zdarzenie</i>	<i>SOK</i>	<i>Punkt pomiarowy</i>
Zanik zasilania	Transmisja	-
Niski stan akumulatora/baterii	Transmisja	Transmisja + SMS
Otwarcie drzwi szafy	Transmisja + SMS	Transmisja + SMS
Wykrycie ruchu urządzenia	Transmisja + SMS	-
Przekroczenie temperatury	Transmisja	-
Zanik napięcia zasilającego UP	Transmisja + SMS	-

Transmisja – natychmiastowe wysłanie informacji do systemu wizualizacji

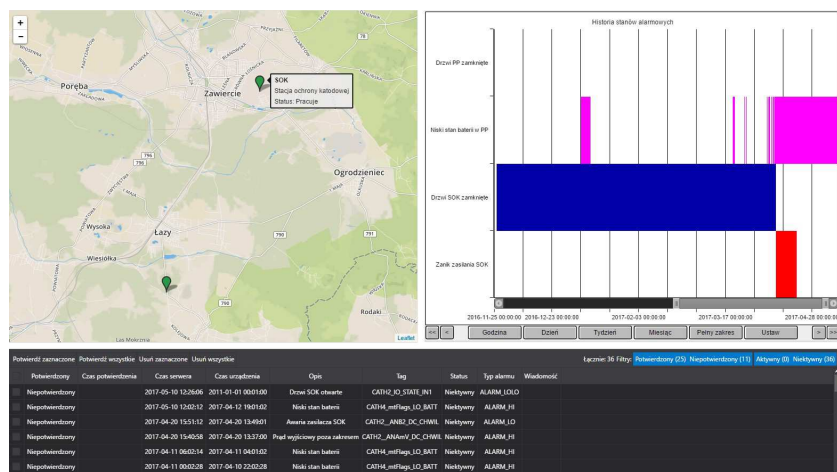
SMS – natychmiastowe wysłanie wiadomości SMS na telefon Użytkownika

System gromadzenia, przetwarzania i wizualizacji danych

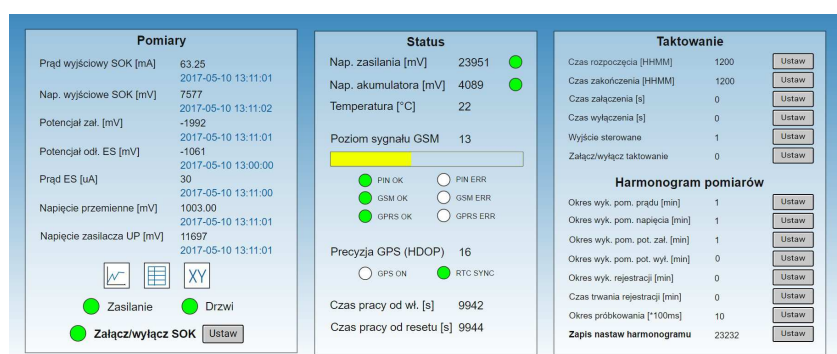
Moduły telemetryczne przesyłają dane do systemu *Dataportal* za pośrednictwem sieci GSM. Komunikację umożliwiają karty SIM ze statycznym adresem IP w APN „telemetria.pl”. *Dataportal* jest systemem działającym „w chmurze” – oznacza to, że Użytkownik nie musi dysponować skomplikowaną i kosztowną infrastrukturą teleinformatyczną w celu wdrożenia i korzystania z systemu. Jedyne co jest potrzebne, to komputer z dostępem do Internetu i zainstalowaną przeglądarką internetową.

Aplikacja do obsługi modułów składa się z ekranów telemetrycznych, wykresów czasowych i tabel z danymi. Po zalogowaniu do systemu na stronie <https://dataportal.online> pojawia się ekran główny. Na ekranie głównym znajduje się mapa z lokalizacją urządzeń, lista alarmów oraz wykres prezentujący historię wybranych stanów alarmowych (rys.4). Wszystkie elementy ekranu są interaktywne. Mapę można dowolnie skalować i przesuwać, a znajdujące się na niej ikony urządzeń sygnalizują ich aktualny stan za pomocą koloru i dymka z tekstem pojawiającego się po najejaniu kursorem myszy. Dostępne operacje na liście alarmów to potwierdzanie i usuwanie alarmów oraz filtrowanie wyświetlanych alarmów w zależności od ich statusu. Na wykresie z historią stanów alarmowych można dowolnie wybierać widoczny przedział czasowy bezpośrednio na obszarze wykresu, za pomocą przycisków szybkiego wyboru pod wykresem lub wprowadzając daty i godziny z klawiatury.

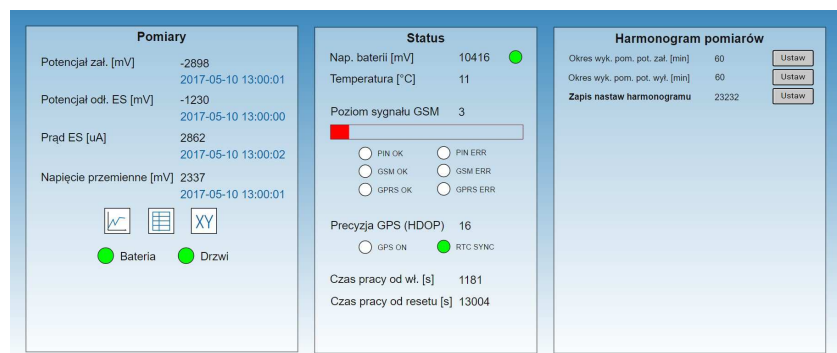
Po wybraniu ikony danego urządzenia na mapie, wyświetla się ekran szczegółowy, na którym widoczne są aktualne wartości pomiarów oraz stany wejść cyfrowych, a także informacje o statusie pracy urządzenia (rys.5 i 6). Na ekranie szczegółowym można także zmienić ustawienia harmonogramu pomiarów. W przypadku SOK dostępne są dodatkowo ustawienia taktowania oraz możliwość załączenia/wyłączenia stacji.



Rysunek 4. Ekran główny systemu telemetrii.

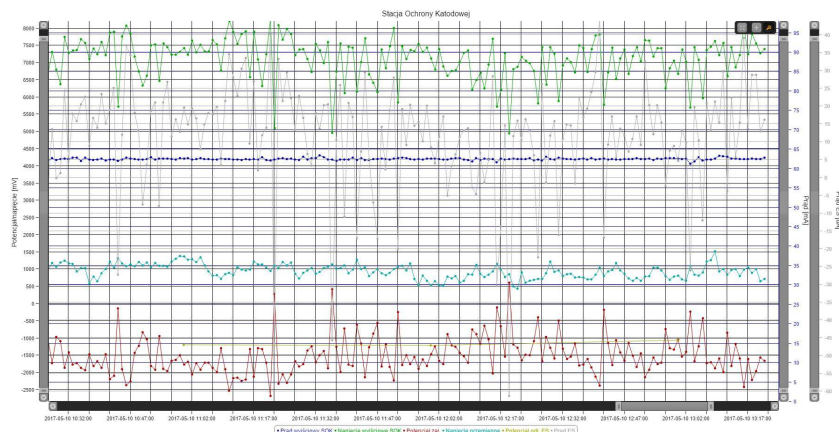


Rysunek 5. Ekran szczegółowy SOK.



Rysunek 6. Ekran szczegółowy punktu pomiarowego.

Poprzez wybór odpowiednich ikon na ekranie szczegółowym można wyświetlić wykres czasowy mierzonych wartości (rys.7), tabelę z danymi oraz wykres korelacyjny. Wykres czasowy umożliwia wybór wyświetlanych zmiennych oraz dowolne skalowanie osi wartości. Widoczny przedział czasowy można wybrać bezpośrednio na obszarze wykresu, za pomocą przycisków szybkiego wyboru pod wykresem lub wprowadzając daty i godziny z klawiatury. Aby wygenerować tabelę z danymi należy wybrać pożądane zmienne oraz zdefiniować przedział czasowy. Dane z tabeli można wyeksportować do pliku CSV i zapisać je na komputerze lokalnym w celu ew. dalszej obróbki. Wykres korelacyjny umożliwia natomiast ocenę wzajemnej zależności dwóch serii próbek poprzez wyświetlenie ich w postaci zbioru punktów, gdzie współrzędną X określa wartość próbki z pierwszej serii, a współrzędną Y określa wartość próbki z drugiej serii z tym samym stemplem czasowym.



Rysunek 7. Wykres czasowy pomiarów.

Zawartość i układ ekranów telemetrycznych są w pełni konfigurowalne i mogą być dostosowywane do potrzeb i wymagań Użytkownika. Dzięki zastosowaniu zaawansowanych mechanizmów przetwarzania danych system zapewnia pełną skalowalność, tzn. może obsługiwać zarówno pojedyncze urządzenia, jak i setki, a nawet tysiące urządzeń bez istotnego wpływu na wydajność i szybkość działania.

Dalszy rozwój systemu

Instalacja urządzeń monitoringu dostarczyła nowych informacji o funkcjonowaniu systemu ochrony katodowej oraz znacznie podniosła bezpieczeństwo pracy rurociągu dzięki możliwości niezwłocznej reakcji na zdarzenia niepożądane i awarie. W związku z tym planowana jest rozbudowa systemu o kolejne urządzenia, które będą zamontowane w punktach pomiarowych i zapewnią ciągle monitorowanie zagrożenia korozyjnego w tych miejscach.