

Tytuł projektu; Innowacyjne urządzenie do wykonywania testów wydajnościowych naftowych otworów wiertniczych.

13. Dokumentacja układu do pomiaru szybkości korozji metodą rezystometryczną D_1/2/2021k

Podsumowanie wstępnych badań układu do pomiaru szybkości korozji metodą rezystometryczną

część I - Wprowadzenie

Metoda rezystometryczna pomiaru szybkości korozji polega na określeniu tempa powstawania ubytków korozyjnych na podstawie tempa wzrostu rezystancji próbki wykonanej z takiego samego materiału jak konstrukcja badana i w trakcie ekspozycji na takie same warunki korozyjne jakie występują dla konstrukcji badanej. W badanym układzie próbką był odcinek drutu stalowego o znanej średnicy wyjściowej, natomiast szybkość korozji jako wynik zmniejszania się średnicy (promienia) była wyznaczana z tempa wzrostu rezystancji próbki. Ponieważ próbka miała stałą długość w trakcie prowadzenia pomiarów, jedynym parametrem zmiennym wskutek ubytków korozyjnych była zmiana jej średnicy (promienia). Biorąc pod uwagę założenia koncepcyjne projektu, wynikające z faktu, że docelowo przedmiotowe pomiary prowadzone mają być także w strefach zagrożenia wybuchowego, zdecydowano się na metodę zmiennoprądową pomiaru rezystancji. Ułatwiło to zapewnienie warunków pomiaru rezystancji zgodnych z wymaganiami dla tych stref. Ponieważ oczekiwano dużej zależności mierzonej rezystancji próbki od temperatury, zastosowano w czujniku pomiarowym element pomiarowy (rezystancja odniesienia), wykonany z takiego samego drutu stalowego jak próbka, który został umieszczony w czujniku w sposób zabezpieczający go przed oddziaływaniem środowiska korozyjnego. Element był natomiast umieszczony w sposób pozwalający mu osiągnięcie tych samych temperatur, co próbka.

Pomiary były przeprowadzane w pomieszczeniu nieklimatyzowanym (jedynie lekko dogrzewanych w trakcie przeprowadzania drugiego etapu pomiarów), z wymuszonym obiegiem elektrolitu stanowiącego środowisko korozyjne. W pierwszym etapie środowiskiem tym był roztwór soli kuchennej.

1. Wykonanie badań wstępnych (uwarunkowań w fizycznych procesach korozji) dla założeń projektu koncepcyjnego.

Pierwszy etap pomiarów, wykonanych w układzie pomiarowym, odpowiadającym uwarunkowaniom pomiarów zgodnym z założeniami projektu koncepcyjnego zostały wykonane w okresie czerwiec – wrzesień 2016 r. Pomiar polegał na całodobowym pomiarze dwóch rezystancji – próbki i elementu odniesienia z częstotliwością 1 pomiar/sekundę, a następnie uśrednieniu tych pomiarów za okres 10 minut. Pobudzeniem w układzie pomiarowym był prąd o częstotliwości ok. 1kHz i natężeniu ok 80mA, płynący przez połączone szeregowo rezystancje próbki i odniesienia, natomiast odpowiedziami były mierzone spadki napięcia na tych obydwu rezystancjach.

Wnioski z wykonanych pomiarów:

a. Rezystancja próbki monotonicznie rosła w trakcie ekspozycji na środowisko korozyjne, wykazując jednocześnie dużą wrażliwość na temperaturę otoczenia:

Część II - Analiza

1. Wykonanie badań prototypu konstrukcji zespolonego przetwornika pomiaru szybkości korozji przy uwzględnieniu warunków naturalnych występujących podczas wykonywania testów wydajnościowych naftowych otworów wiertniczych.

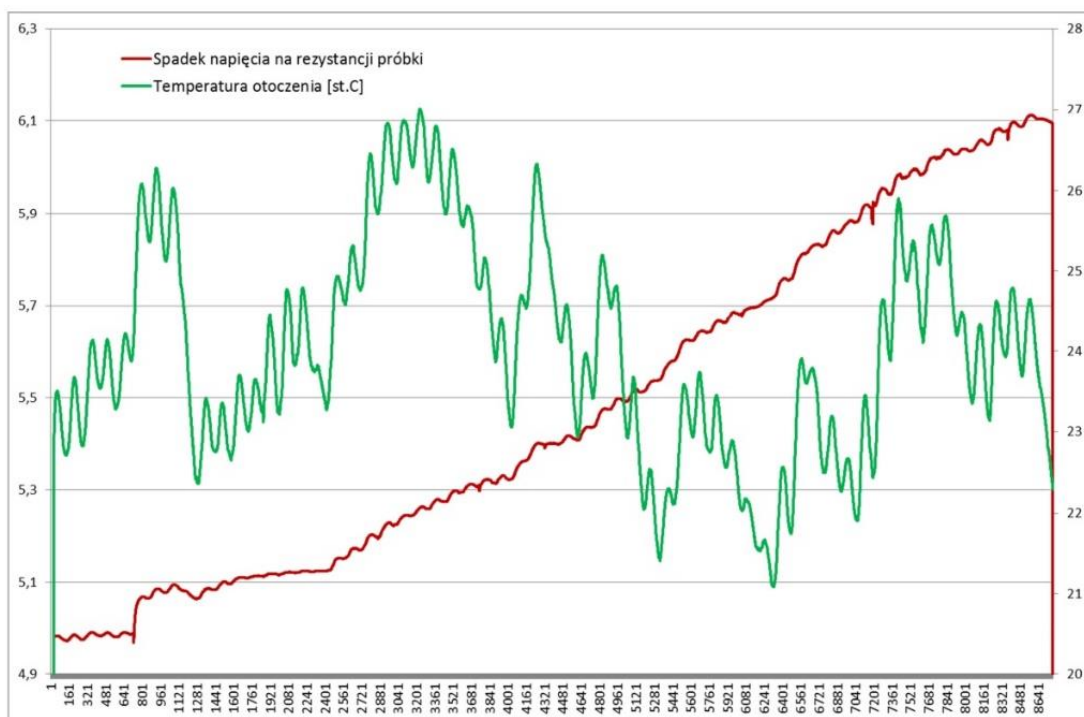
Obserwacje poczynione w trakcie pierwszego etapu pomiarów stały się bazą dla określenia nowych wymagań dla układu pomiarowego. Drugi etap pomiarów, dokonanych w listopadzie i grudniu 2016 został przeprowadzony w oparciu o znacząco zmodyfikowany układ pomiarowy, również odpowiadający uwarunkowaniom pomiarów zgodnym z założeniami projektu koncepcyjnego, w tym umożliwiające dokonywanie pomiarów szybkości korozji metodą rezystometryczną również w strefach zagrożenia wybuchowego.

Głównymi cechami nowego układu pomiarowego w stosunku do układu zastosowanego w pierwszym etapie pomiarów są:

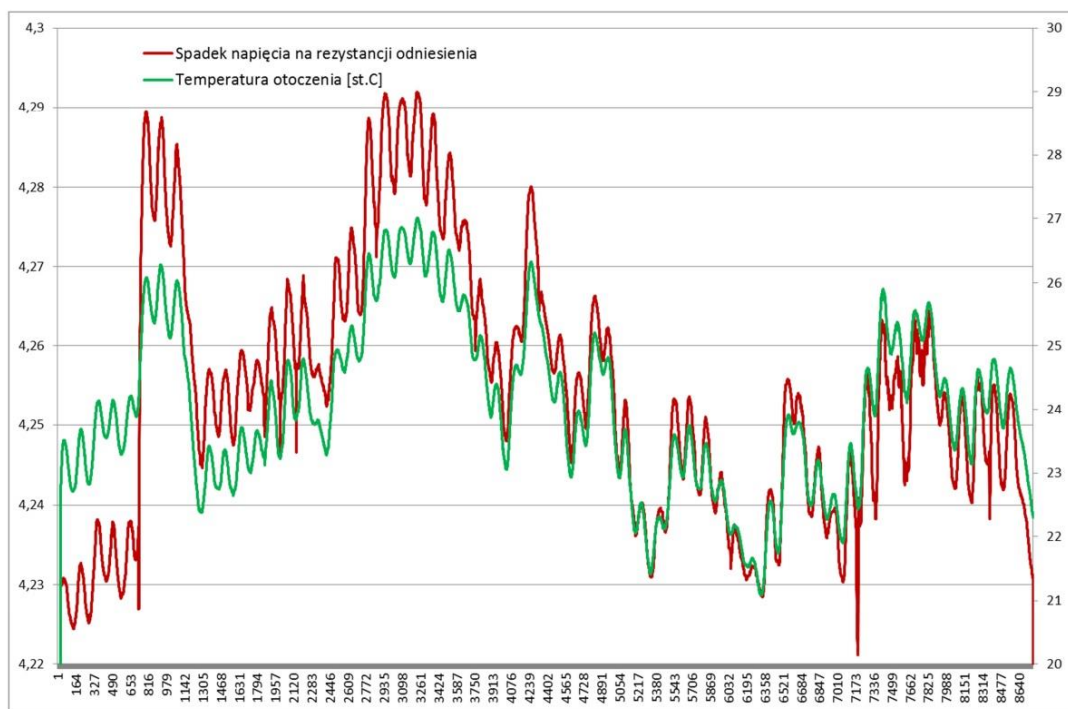
- Znacznie większa stabilność temperaturowa prądu pobudzenia,
- Większa odporność układu pomiarowego spadków napięć na zmiany temperatury otoczenia,
- Mniejsze dryfty czasowe układu pomiarowego spadków napięć,
- Mniejsze szумы własne układu pomiarowego spadków napięć,
- Pomiar rezystancji próbki i rezystancji odniesienia prądem o dwóch częstotliwościach – 125Hz i 1KHz

Wnioski z przeprowadzonych pomiarów :

Wykres I a. Rezystancja próbki monotonicznie rosła w trakcie ekspozycji na środowisko korozyjne, wykazując jednocześnie dużą wrażliwość na temperaturę otoczenia:

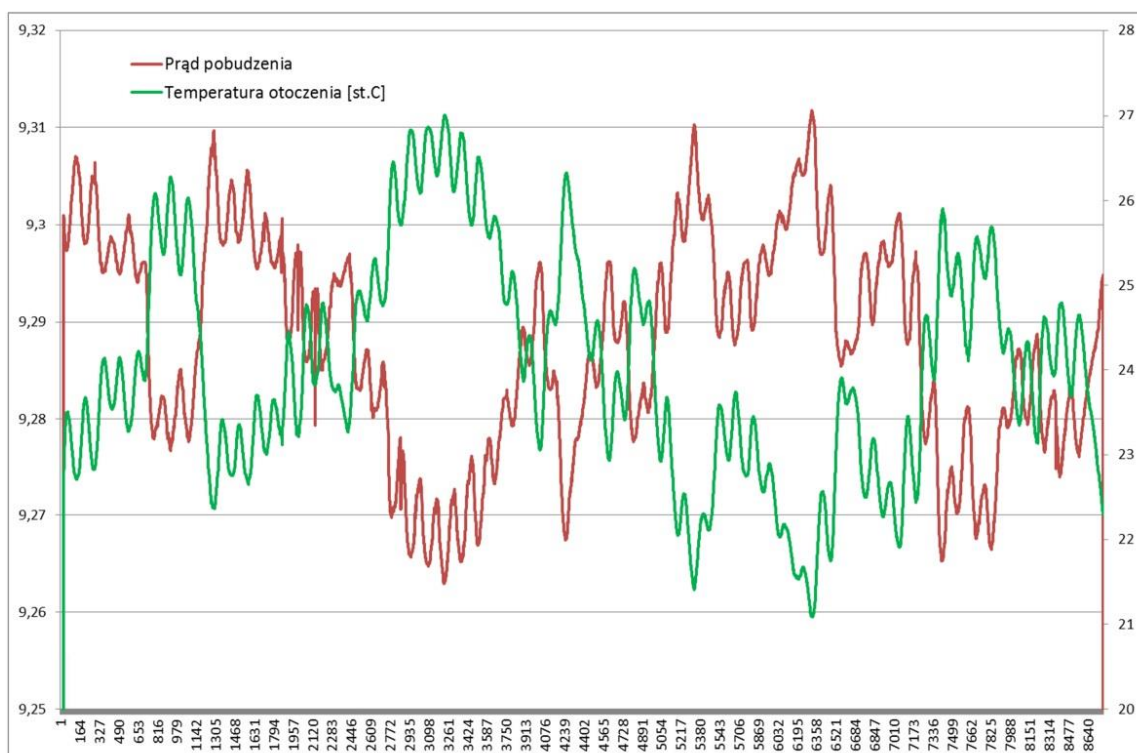


Wykres I b. Mierzone spadki napięć na rezystancjach czujnika silnie zależą od temperatury otoczenia:



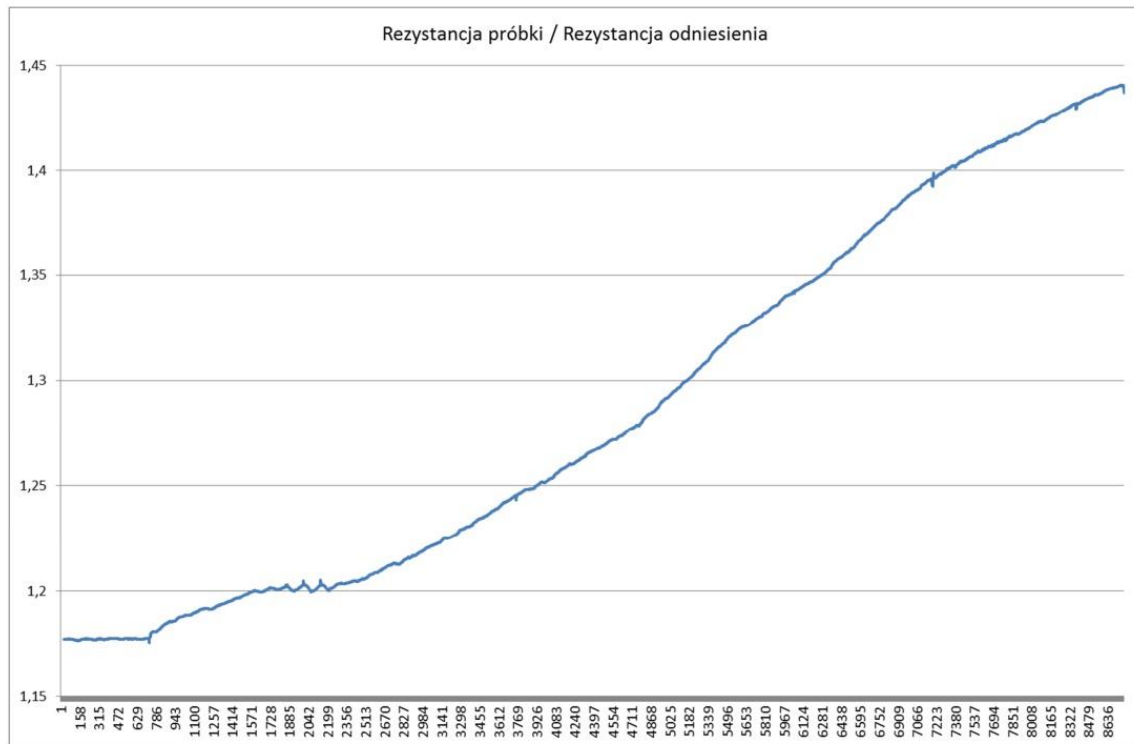
Należy tu zwrócić uwagę na to, iż pozornie mała zależność spadku napięcia na rezystancji próbki od temperatury wynika głównie z faktu, że w przypadku próbki główną przyczyną zmian jej rezystancji są jednak ubytki korozyjne. W przypadku rezystancji odniesienia widać wyraźnie, że tu zmiany rezystancji są całkowicie skorelowane ze zmianami temperatury.

Wykres I c. Generator prądu pobudzenia wykazuje zbyt dużą zależność prądu pobudzenia od temperatury otoczenia:



Wykres I d. Próba kompensacji wpływu temperatury na pomiar rezystancji próbki za pomocą pomiaru rezystancji odniesienia nie dała w pełni oczekiwanych rezultatów. Pomiar stosunku

rezystancji próbki do rezystancji odniesienia nadal wykazywał zależność od temperatury oraz pewne dodatkowe wahania i fluktuacje:



Możliwym wytłumaczeniem obserwowanych zależności mogły być:

- Wspomniana wyżej zależność prądu pobudzenia od temperatury,
- Zbyt duża wrażliwość układu pomiarowego spadków napięć na zmiany temperatury otoczenia

- Zbyt duże dryfty czasowe układu pomiarowego spadków napięć
- Zbyt duże szумы własne układu pomiarowego spadków napięć

e. Zaobserwowano niezgodność wartości rezystancji próbki i odniesienia mierzonych w układzie pomiarowym i metodą techniczną w warunkach laboratoryjnych.

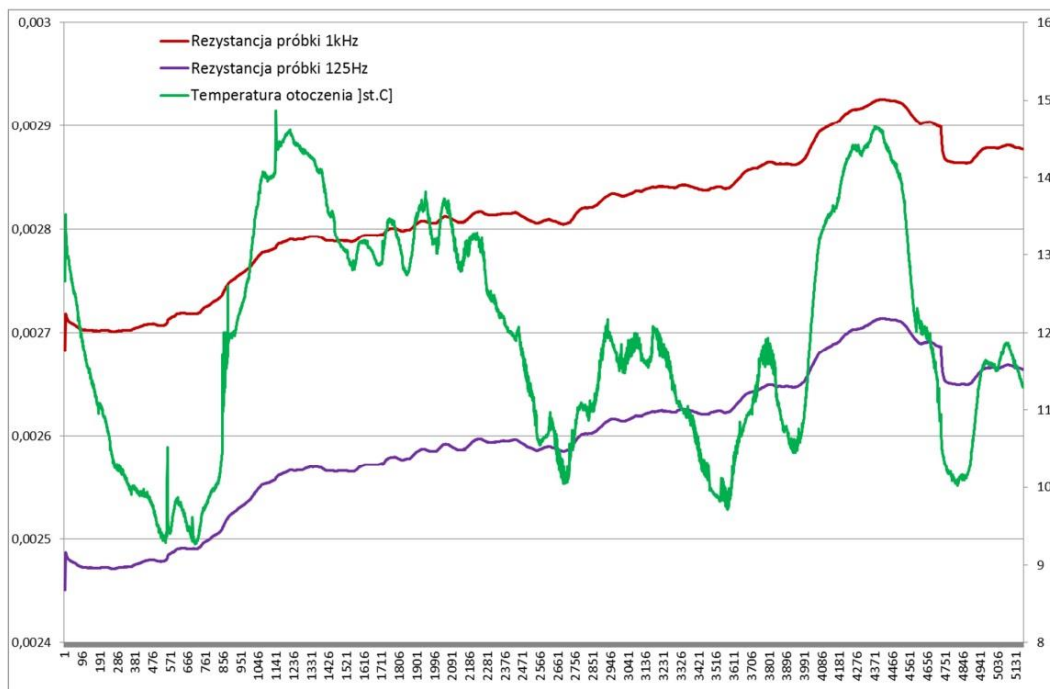
Po dokładniejszej analizie ustalono, że przyczyną tych rozbieżności jest zjawisko naskórkowości, które nie występowało w pomiarach laboratoryjnych, przeprowadzanych metodą stałoprądową, natomiast miało wpływ na wyniki pomiarów w układzie pomiarowym, w którym pobudzeniem był prąd przemienny o częstotliwości ok 1kHz. Przy takiej częstotliwości dla przewodnika stalowego o średnicy 1,85mm zjawisko naskórkowości posiada znaczący wpływ na wynik pomiaru jego rezystancji.

Podsumowanie zaawansowanych badań układu do pomiaru szybkości korozji metodą rezystometryczną

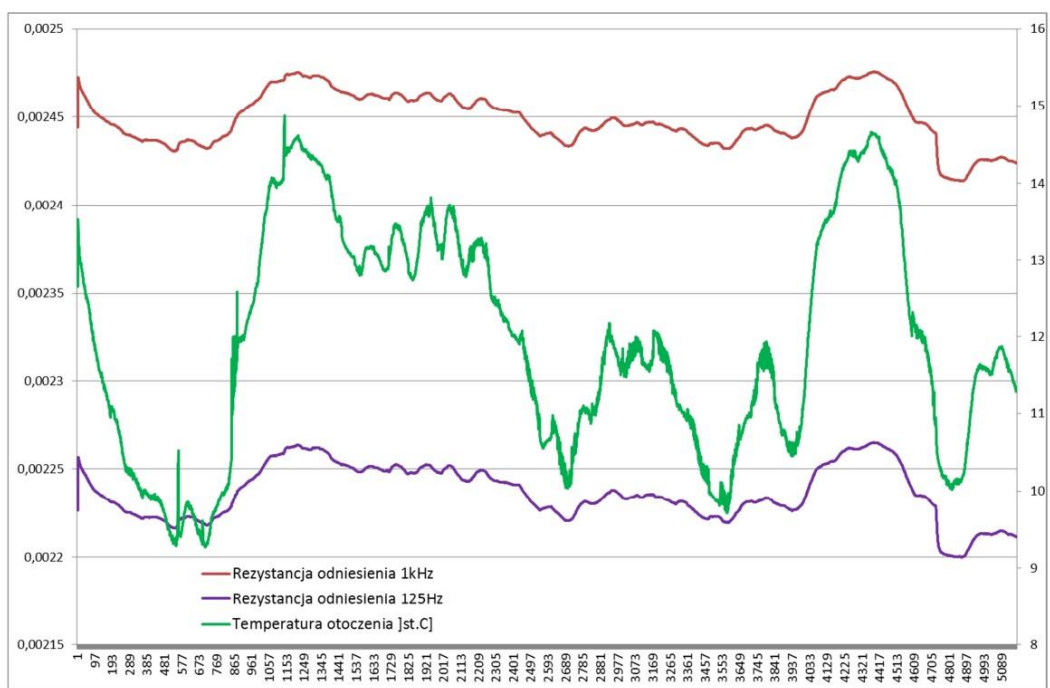
Analiza

1. Wnioski z przeprowadzonych pomiarów :

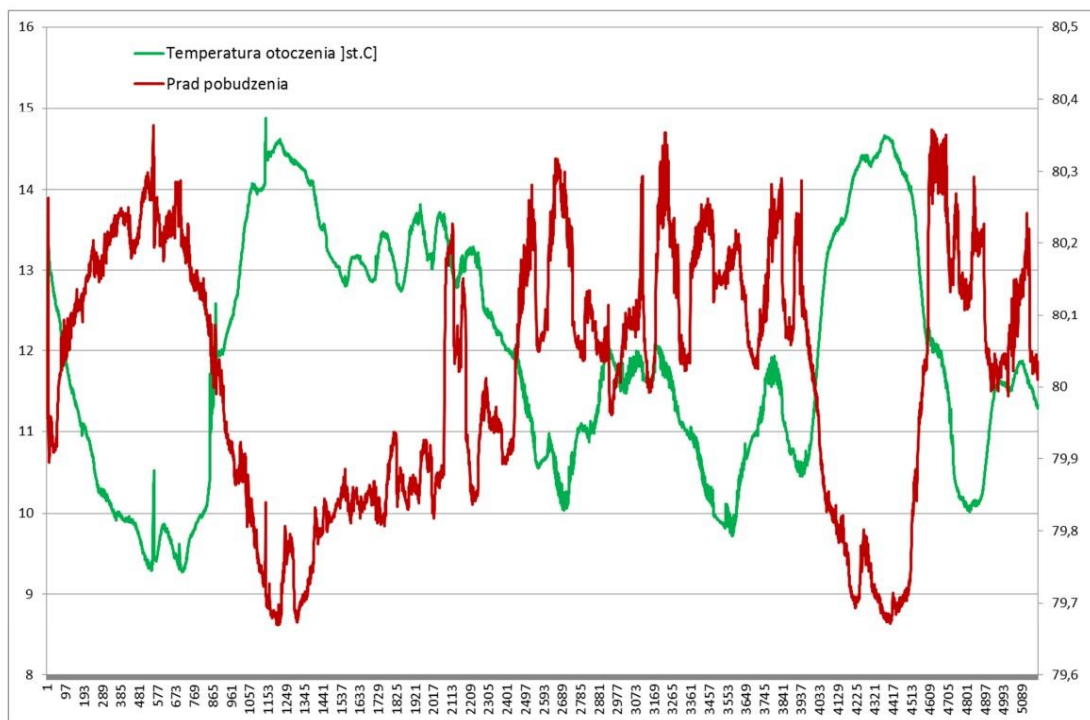
Wykres II a. Rezystancja próbki monotonicznie rosła w trakcie ekspozycji na środowisko korozyjne, wykazując jednocześnie dużą wrażliwość na temperaturę otoczenia:



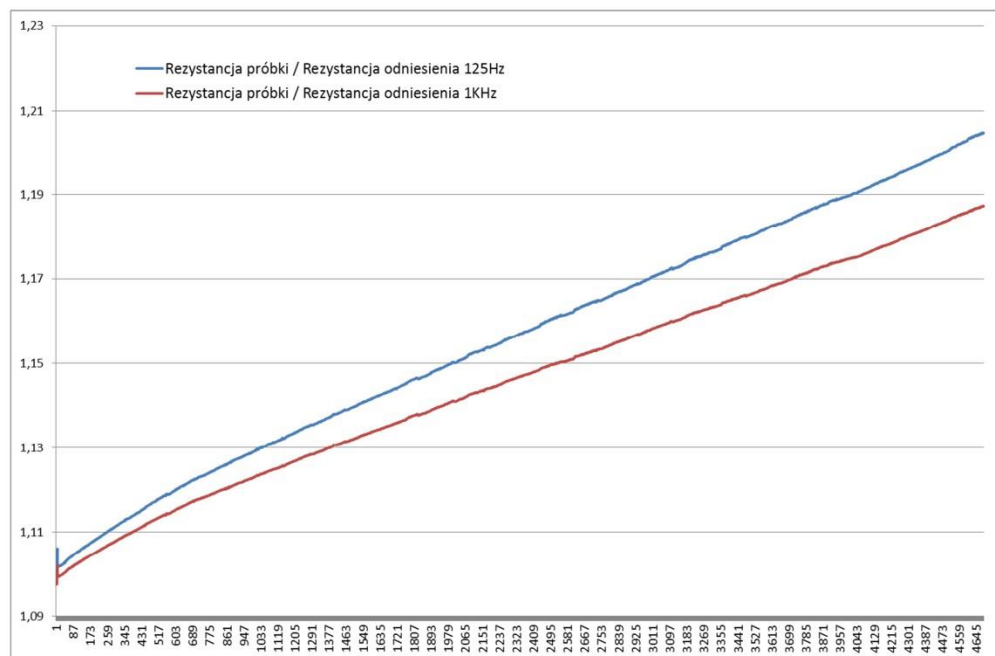
Wykres II b. Mierzone spadki napięć na rezystancjach czujnika nadal silnie zależą od temperatury otoczenia. Znacznie wyraźniej jest to nadal widoczne na wykresie rezystancji odniesienia



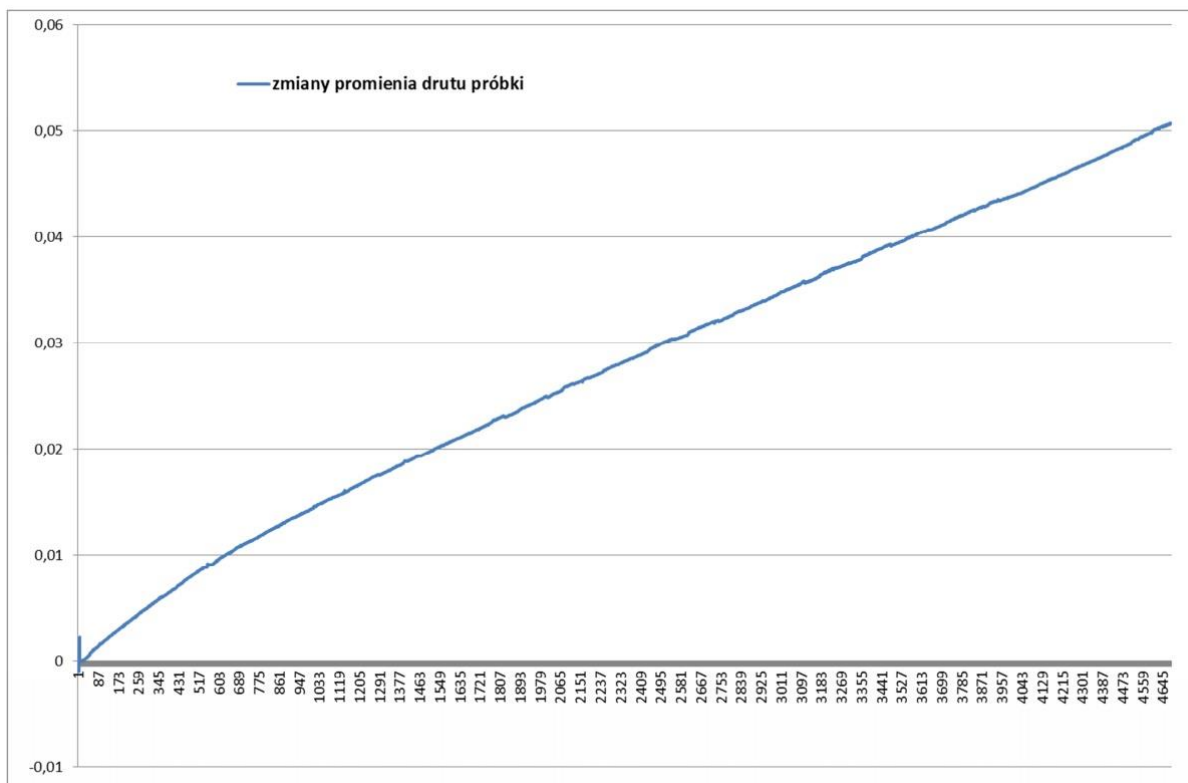
Wykres II c. Generator prądu pobudzenia wykazuje nadal zbyt dużą zależność prądu pobudzenia od temperatury otoczenia. Uzyskano zbliżoną do poprzedniej zależność wartości prądu od temperatury



Wykres II d. Próba kompensacji wpływu temperatury na pomiar rezystancji próbki za pomocą pomiaru rezystancji odniesienia dała znacznie lepsze rezultaty niż w pomiarach I etapu



Wykres II e. Potwierdzono również wpływ zjawiska naskórkowości przy pomiarze prądem o częstotliwości 1kHz (patrz wykresy pkt. a i b.). Rezystancja mierzona prądem o częstotliwości 1kHz jest większa niż mierzona prądem o częstotliwości 125Hz. Wartości Rezystancji dla 125Hz są przy tym porównywalne z pomiarami stałoprądowymi wykonanymi w warunkach laboratoryjnych.



Uzyskano wykres zmian promienia drutu próbki w czasie, którego nachylenie można interpretować jako szybkość korozji w mm/czas: Po wstępnym okresie zmian tego nachylenia, następuje jego stabilizacja, czyli próbka koroduje z pewną stałą szybkością.

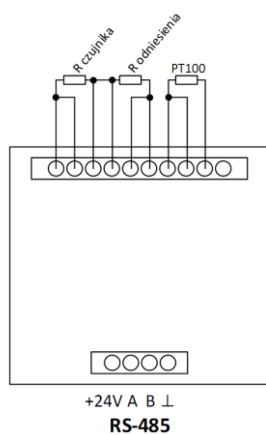
Układ do pomiaru szybkości korozji metodą rezystometryczną Praktyczne wykonanie urządzenia

Założeniem było skonstruowanie układu, który będzie w stanie pomierzyć szybkość korozji w środowisku niewodnym i jednocześnie zagrożonym wybuchem.

Ze względu na rodzaj środowiska niemożliwy jest pomiar metodą polaryzacji liniowej. Z tego powodu została wybrana metoda rezystometryczna. Niestety w strefie zagrożonej wybuchem pojawia się kolejny problem związany z pomiarem bardzo małej rezystancji czujnika. Do rzetelnego pomiaru wymagany jest stosunkowo duży prąd, który jest niedopuszczalny w strefie. Na szczęście w prezentowanym układzie udało się rozwiązać te wszystkie problemy i uzyskać prądy i napięcia w układzie na poziomie umożliwiającym zastosowanie w strefie zagrożenia wybuchem. W Tabeli 1 przedstawiono podstawowe parametry układu. Na Rysunku 1 przedstawiono wygląd układu wraz ze schematem podłączeń.

PARAMETR	WARTOŚĆ	JEDNOSTKA
Napięcie zasilające	9 ÷ 36	[V]
Pobór mocy	< 3	[W]
Wysokość	55	[mm]
Szerokość	75	[mm]
Głębokość	85	[mm]
Masa	150	[g]
Prąd czujnika korozji	100	[mA]
Zakres rezystancji czujnika korozji	0,07μ ÷ 300m	[Ω]
Rodzaj czujnika temperatury	PT100	
Zakres mierzonej temperatury	-50 ÷ 300	[°C]
Temperatura pracy układu	-40 ÷ 70	[°C]
Temperatura pracy czujnika korozji, zależna od konstrukcji czujnika	-50 ÷ 1000	[°C]

Tabela 1 Parametry układu do pomiaru korozji metodą rezystometryczną



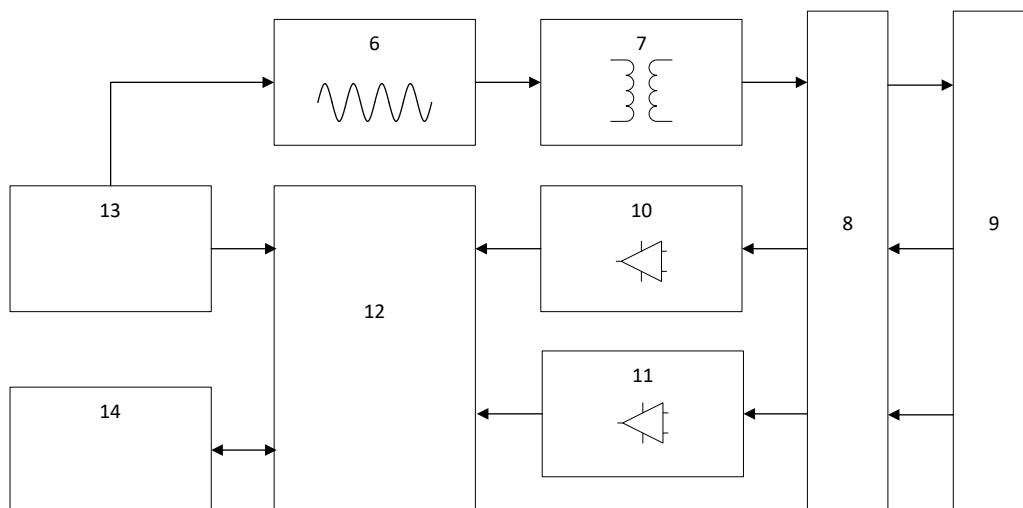
Rys. 1 Układ podłączeń układu do pomiaru korozji metodą rezystometryczną



Rys. 2 Widok urządzenia przygotowanego do zalania masą żywiczną

Znane są czujniki typu 3500-T20-K03005-24-1-1-0 Rohrbach Cosasco Systems, są one trzykrotnie droższe od wyprodukowanych w naszej firmie metodą warsztatową. Znane są również rozwiązania niedrogich czujników i układów służących do pomiaru szybkości korozji metodą rezystancyjną jak np. KR-106 firmy CorrPol. Jednakże nie mogą być one dopuszczone do użytku w strefie zagrożenia wybuchem. Firmy produkcyjne nie ujawniają dokładnych danych konstrukcyjnych produkowanych przyrządów. Zasadniczym elementem systemu jest czujnik w naszym przypadku jest o czujnik rezystancyjny. Następnie dane z czujników są okresowo odczytywane, przetwarzane i przesyłane do systemu gromadzenia danych przy pomocy transmisji przewodowej lub bezprzewodowej. Dane informujące o

szybkości korozji mogą być wyświetlane za pomocą komputera lub wysyłane do istniejącego na obiekcie systemu monitorowania i zarządzania. zastosowane zostały jednocześnie dwa rozwiązania układowe, które wspólnie są w stanie zapewnić obniżenie kosztów wyprodukowania czujnika do pomiaru szybkości korozji metodą rezystancyjną. Pierwszym z tych rozwiązań jest pełna izolacja galwaniczna układu pomiarowego. Drugim z tych rozwiązań jest zastosowanie sygnału pomiarowego w postaci przebiegu sinusoidalnego o częstotliwości akustycznej, którego napięcie jest obniżane za pomocą transformatora. Pozwala to na uzyskanie stosunkowo dużego prądu niezbędnego do pomiaru rezystancji na poziomie miliomów lub niższym przy zachowaniu energii sygnału na poziomie, który nie stwarza zagrożenia wybuchem. Istotne jest to, że jednocześnie zastosowanie rozwiązania możliwe są do realizacji za pomocą standardowych podzespołów, co umożliwi znaczące obniżenie kosztów wyprodukowania przyrządu. Dodatkowa innowacja w opracowanym systemie polega na możliwości wbudowania do czujnika elektroniki zgodnej z normami ATEX, która pozwala na przechowywanie wszystkich parametrów czujnika, oraz na zapisanie danych bieżących, które pozwalają poprawić dokładność pomiaru.



Rys. 3 Układ połączeń układu do pomiaru korozji metodą rezystometryczną

1. Rezystor pomiarowy,
2. Rezystor odniesienia,
3. Sensor temperatury,
4. Układ pomiarowy,
5. Przyłącze interfejsu RS-485,

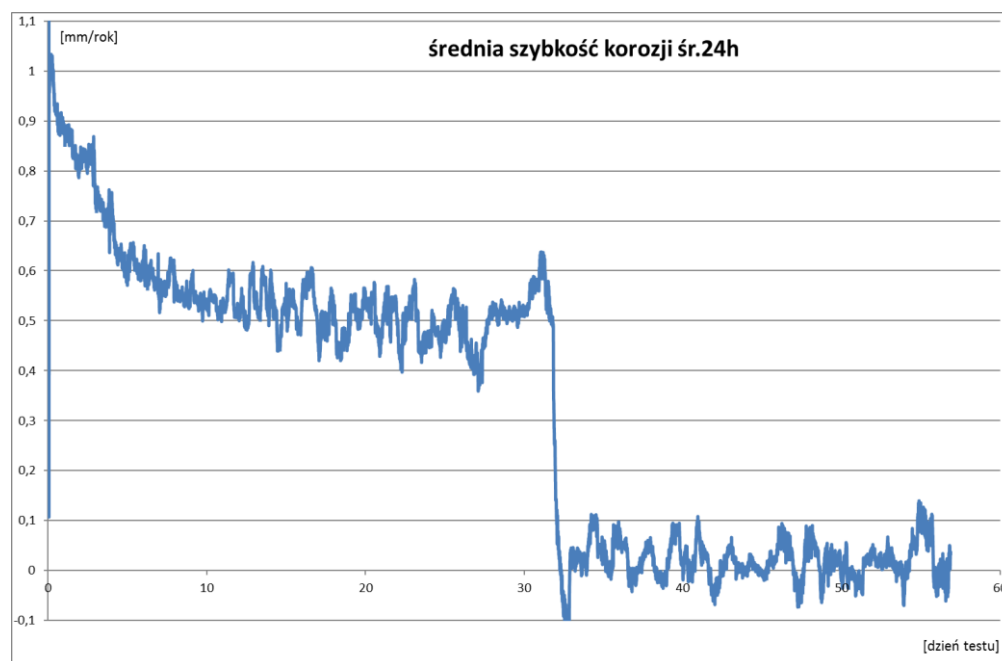
6. Generator sygnału sinusoidalnego,
7. Transformator,
8. Układ zabezpieczenie przeciwwybuchowego,
9. Czujnik,
10. Wzmacniacz sygnału z rezystora pomiarowego,
11. Wzmacniacz sygnału z rezystora odniesienia,
12. Mikroprocesorowy układ przetwarzania,
13. Izolowany zasilacz,
14. Izolowany interfejs RS-485.

Czujnik 9 zbudowany jest w postaci dwóch identycznych pod względem użytego materiału rezystorów, rezystora pomiarowego 1 i rezystora odniesienia 2, oraz sensor temperatury 3. Rezystor pomiarowy 1 wystawiony jest na działanie środowiska powodującego korozję, rezystor odniesienia jest zabezpieczony przed działaniem środowiska powodującego korozję. Sensor temperatury 3 umożliwia określenie temperatury środowiska powodującego korozję. Czujnik 9 podłączony jest do układu pomiarowego 4, transmisja danych odbywa się za pomocą przyłącza interfejsu RS-485 5.

Weryfikacja oprogramowania urządzenia do pomiaru szybkości korozji w oparciu o wykonane pomiary.

Celem weryfikacji oprogramowania jest określenie poprawności i stabilności pracy. Układ do pomiaru korozji włączony został na cykl badań trwający blisko dwa miesiące. Poniżej przedstawiono wykresy pokazujący uzyskane wyniki. Równoległe do przeprowadzonych badań zostały dokonane pomiary średnicy drutu czujnika przed badaniami i po badaniach. Początkowa średnica drutu wynosiła 1,85 [mm], natomiast uśredniona końcowa średnica drutu wyniosła 1,65 [mm]. Oznacza to zmianę promienia o 0,05[mm]. Przy czym błąd pomiaru średnicy za pomocą śruby mikrometrycznej wynosi 0,005 [mm]. Ponieważ jednocześnie pomierzona za pomocą układu do pomiaru szybkości korozji zmiana promienia drutu wyniosła 0,052 [mm] to można stwierdzić, że wynik jest zgodny z uzyskanym za pomocą pomiaru mechanicznego z dokładnością nie gorszą niż dokładność śruby mikrometrycznej.

Jak widać podczas tak długiego czasu pracy układ działał bezawaryjnie. Jednocześnie uzyskane wyniki szybkości wykazują bardzo dużą zgodność z badaniami weryfikującymi, co pozwala na postawienie wniosku, że oprogramowanie układu służącego do pomiaru szybkości korozji pracuje poprawnie i stabilnie.



Modyfikacja komunikacji z układem pomiaru korozji metodą rezystometryczną pod kątem poprawy stabilności transmisji oraz integracji z oprogramowaniem procesowym, testy stabilności pracy, kontrola zgodności z oprogramowaniem procesowym.

Modyfikacja komunikacji układu rezystometrycznego

Podczas wielodniowych testów układu do pomiaru szybkości korozji metodą rezystometryczną okazało się, że sporadycznie występują błędy transmisji sieci RS-485, które, aczkolwiek przydatne w testach i diagnostyce układu mogą zostać zapisane do bazy danych i fałszować wyniki pomiarów. Jednocześnie podczas pracy w układzie testowym struktura sieci była prosta postaci MASTER-SLAVE.

Natomiast w układzie docelowym należy się spodziewać struktury MASTER-MULTISLAVE w której urządzenie musi charakteryzować się większą zdolnością filtrowania transmisji i większą odpornością na błędy. Dlatego zdecydowano się na wprowadzenie następujących zmian w obsłudze i protokole transmisji:

- Zamiast protokołu tekstowego zastosowano standard MODBUS RTU
- Wprowadzono zgodny z MODBUS sposób filtrowania transmisji
- Wprowadzono zgodną z MODBUS detekcję błędów transmisji
- Wprowadzono zgodne z MODBUS zależności czasowe transmisji

Po wprowadzeniu wymienionych zmian układ ponownie został poddany testom trwającym 14 dni.

Okazało się że wszystkie błędy transmisji zostały odfiltrowane na poziomie protokołu transmisji.

Jednocześnie przeprowadzone zostały testy zgodności z oprogramowaniem procesowym. Na Rysunku 3 przedstawiono wygląd okienka programu testowego. Program ten został napisany w oparciu o takie same wytyczne i w tym samym środowisku co testowe oprogramowanie procesowe. Ponieważ integracja z oprogramowaniem procesowym polega na przeniesieniu wątku obsługującego transmisję z układem pomiaru korozji, przeprowadzone zostało takie przeniesienie bez przenoszenia elementów wizualizacyjnych, które w oprogramowaniu docelowym będą miały inną postać. Proces ten zakończył się pozytywnie o czym świadczy stabilna praca oprogramowania procesowego po dołączeniu wątku.

The screenshot shows a software window titled 'Form1' with a light blue border. The interface contains several input fields and controls:

- A list of measurement parameters on the left, each with a corresponding input field containing the value '0':
 - Napiecie pomiar
 - Napiecie ref.
 - Prąd
 - Temperatura czujnika
 - Temperatura elektroniki
 - Amplituda pomiar
 - Amplituda ref.
 - Wzmocnienie pomiar
 - Wzmocnienie ref.
 - Częstotliwość
- Below these, two dropdown menus for 'Wzmocnienie pomiar' and 'Wzmocnienie ref.', both set to '1'.
- Three buttons labeled 'Button1', 'Button2', and 'Button3' are arranged vertically.
- Frequency settings: 'Częstotliwość:' with 'preskaler' (1) and 'dzielnik' (0) dropdowns, and 'obliczona' (0) input fields.
- An 'auto zmiana częstotliwości' checkbox is unchecked.
- 'Interwał zmian [s]' with a text input field containing '60'.
- At the bottom, 'Połączenie z bazą:' followed by an ellipsis '...'.