

**REJESTRATOR POMIAROWY
czterokanałowy**

mR4

i

**REJESTRATOR POMIAROWY
trójkanałowy z przerywaczem**

mR3p

Część III.

ZASTOSOWANIA

w OCHRONIE KATODOWEJ przed KOROZJĄ

WYDANIE PIERWSZE
uzupełnione

Warszawa czerwiec 2016

8.

Użytkownicy rejestratorów **mR4/mR3p** i czytelnicy instrukcji obsługi proszeni są o zgłaszanie wątpliwości, uwag krytycznych, niejasności i innych usterek, mailem pod adresem L.INSTRUMENTS
biuro@linstruments.com.pl

Instrukcja użytkowania składa się z czterech części:

Część I. Obsługa

Część II. Program **mRgui**

Część III. Zastosowania w ochronie katodowej przed korozją

Część IV. Wyposażenie pomocnicze

Spis treści części III

1 Uwagi wstępne	7
1.1 Szczególne cechy rejestratorów serii mR4/mR3p	7
1.2 Znaczenie pomiarów w ochronie przed korozją	8
1.3 Zjawiska fizyczne	8
1.4 Czym jest 'ziemia'?	8
1.5 Elektrolit czy dielektryk?	9
1.6 Defekty	10
1.7 Ochrona katodowa i prąd ochrony	10
1.8 Przerwywanie prądu	10
1.9 Wielkości mierzone	12
1.10 Niektóre pojęcia bliskoznaczne	12
1.11 Styczność metali	13
1.12 Parametry pomiaru	13
1.13 Metody pomiarowe	14
1.14 Elektrody odniesienia	15
1.15 Organizacja pomiarów	15
1.16 Rejestratory mR4/mR3p w praktyce pomiarowej	15
1.17 Wtyczki	16
1.18 Ochrona przeciwporażeniowa	17
1.19 Oznaczenia	18
1.20 Różne	19
1.21 Materiały źródłowe	19
2 Wtyczki inteligentne	21
2.1 Wtyczka uniwersalna WU	21
2.1.1 Wtyczka uniwersalna WU(1) w układzie (1)	23
2.1.2 Wtyczka uniwersalna WU(2) w układzie (2)	24
2.2 Wtyczki dedykowane WD	25
3 Zastosowania wtyczki uniwersalnej WU(1)	28
3.1 Potencjał rurociągu	28
3.1.1 Pomiar potencjału załączeniowego	28
3.1.2 Pomiar potencjału wyłączeniowego	30
3.2 Prądy błędzące pochodzenia trakcyjnego	32
3.2.1 Stacja pomiarowa w pobliżu toru	32
3.2.2 Rurociąg w pobliżu toru	34
3.2.3 Rurociąg narażony na oddziaływanie odległego toru	36
3.2.4 Pomiar prądu w ziemi	37
3.3 Stacja ochrony katodowej SOK ze źródłem zewnętrznym	39
3.4 Stacja drenażu polaryzowanego SDP	42
3.5 Stacja anod galwanicznych SAG	44

4	Zastosowania wtyczki uniwersalnej WU(2)	47
4.1	Prądy błędzące w ziemi	47
4.2	Oddziaływanie ochrony katodowej rurociągu na sąsiednią konstrukcję	49
4.3	Złącze izolujące/monoblok. Pomiar potencjałów	52
4.4	Badanie jakości złącza izolującego/monobloku	53
4.4.1	Pomiar prądu skrośnego złącza izolującego	53
4.4.2	Pomiar prądu bocznikującego złącze	56
4.5	Rury osłonowe	57
4.5.1	Badanie układu rura produktowa – rura osłonowa według wytycznych CEOCOR	58
4.5.1.1	Pomiar potencjału E_G rury produktowej i potencjału E_R rury osłonowej	59
4.5.1.2	Pomiar rezystancji uziemienia R_G rury produktowej i R_R rury osłonowej metodą techniczną	61
4.5.1.3	Pomiar rezystancji R_{GR} rura produktowa – rura osłonowa metodą techniczną	64
4.5.1.4	Pomiar prądu zwarcia w układzie rura produktowa – rura osłonowa	65
4.5.1.5	Zasilanie próbne układu rura produktowa – rura osłonowa	61
4.5.1.6	Lokalizacja zwarcia metodą pomiaru potencjałów	63
4.5.2	Badanie układu rura produktowa – osłona według wskazówek NACE	71
4.5.2.1	Pomiar potencjału E_G rury produktowej i potencjału E_R rury osłonowej	72
4.5.2.2	Pomiar rezystancji wewnętrznej układu rura produktowa – rura osłonowa	74
4.5.2.3	Depolaryzacja rury osłonowej	76
4.6	Pomiar prądu i potencjału rurociągu wtyczką WU(2)	78
4.7	Ocena jakości powłoki na podstawie pomiaru prądów i potencjałów w sąsiednich stacjach pomiarowych przy użyciu wtyczek WU(2)	81
5	Zastosowania wtyczki WDB dedykowanej do pomiaru prądu	83
5.1	Kalibracja bocznika rurociągowego (punktu prądowego)	83
5.2	Pomiar prądu i potencjału rurociągu wtyczką WDB	86
5.3	Ocena jakości powłoki na podstawie synchronicznego pomiaru prądów i potencjałów w dwóch sąsiednich stacjach pomiarowych przy użyciu wtyczek WDB	89
6	Zastosowania wtyczki WDG dedykowanej do pomiarów Liniowych	89
6.1	Lokalizacja defektów powłoki metodą gradientów (DCVG)	94

6.1.1	Badanie rurociągów o powłoce z nielicznymi nieszczelnościami (elektrody wzdłuż rurociągu)	96
6.1.2	Badanie rurociągów o powłoce bardzo porowatej lub z licznymi nieszczelnościami (elektrody prostopadle do rurociągu)	99
6.2	Metoda potencjałowa (CIS, CISP)	102
6.3	Metoda pomiarowo-ekstrapolacyjna	105
6.3.1	Dwie elektrody prostopadle do rurociągu, gdy nie występują prądy z obcych źródeł	105
6.3.2	Pomiar z użyciem trzech elektrod, gdy występują prądy z obcych źródeł	109
7	Zastosowania wtyczki WDP do pomiaru sygnałów napięcia przemiennego i do niektórych innych pomiarów specjalnych	112
7.1	Pomiar napięcia przemiennego przy użyciu wtyczki WDP	112
7.2	Pomiar prądów błędzących pochodzenia trakcyjnego przy użyciu wtyczki WDP	117
7.3	Intensywny pomiar metodą potencjałową (CIS, CISP) przy użyciu wtyczki WDP	119
7.4	Kontrola stacji drenażu polaryzowanego SDP	120
8	Zastosowania wtyczki WDI do pomiaru natężenia prądu	125
8.1	Pomiar prądu w ziemi	125
8.2	Badanie rury produktowej wewnątrz rury osłonowej metodą techniczną	127
8.3	Pomiar rezystancji rura produktowa – rura osłonowa metodą techniczną	130
8.4	Oddziaływanie ochrony katodowej rurociągu na sąsiednią konstrukcję	132
8.5	Badanie jakości złącza izolującego/monobloku	134
8.6	Pomiar rezystancji wewnętrznej układu rura produktowa – rura osłonowa	136
8.7	Depolaryzacja osłony	138
9	Przerywanie prądu wtyczką WDR we współpracy z rejestratorem mR3p	141
10	Zastosowania wtyczki WDS do kontroli elektrody symulującej (w opracowaniu)	142
11	Materiały informacyjne	143
11.1	Zalecenia normatywne	143
11.2	Instrukcje	144
11.3	Wydawnictwa zwarte	144
11.4	Artykuły	144

1 UWAGI WSTĘPNE

1.1 Szczególne cechy rejestratorów serii *mR4/mR3p*

W tym opracowaniu przedstawiono zastosowania rejestratorów *mR4/mR3p* w pomiarach związanych z ochroną katodową stalowych rurociągów podziemnych środkami ochrony czynnej w postaci *polaryzacji katodowej* oraz ochrony biernej w postaci *powłok izolacyjnych*.

Życie jest bogatsze niż wyobrażnia. Nie sposób tu omówić wszelkie możliwe zastosowania rejestratorów. Różnorodność rozwiązań technicznych i specyfika obiektów powoduje, że każdy przypadek praktyczny jest inny. Podane metody, układy, nastawy i procedury stanowią tylko przykłady, które przedstawiono tu dla ilustracji możliwości. W praktyce pomiarowej należy polegać przede wszystkim na znajomości przedmiotu i doświadczeniu.

Różnica między rejestratorami *mR4* a *mR3p* polega na tym, że rejestrator *mR4* jest wyposażony w cztery kanały pomiarowe **K1, K2, K3, K4**. Rejestrator *mR3p* posiada trzy kanały pomiarowe **K2, K3, K4**, natomiast kanał **K1** zastąpiono w nim dwoma przerywaczami: przekąźnikowym PP 0.5A i tranzystorowym PT 2A. W niektórych pomiarach przerywacz rejestratora *mR3p* jest bardzo przydatny. Na ogół jednak można stosować dowolnie rejestrator *mR4* lub *mR3p*, ponieważ najczęściej wystarcza użycie kanałów **K2, K3, K4**.

Zalety rejestratorów *mR4/mR3p* zapewniają spełnienie wysokich wymagań, jakie współczesna nauka i technika stawiają przyrządom pomiarowym:

- synchronicznie działające i galwanicznie separowane kanały pomiarowe pozwalają na obserwację zmian w czasie nawet czterech/trzech jednocześnie mierzonych wielkości,
- zmiany mierzonych wielkości obiektu w ruchu można śledzić dzięki wbudowanemu odbiornikowi GPS,
- cztery/trzy zakresy pomiarowe – każdy w granicach od $\pm 18\text{mV}$ do $\pm 100\text{V}$ – umożliwiają obserwację wszelkich sygnałów z rozdzielczością odpowiednio od 100nV do $100\mu\text{V}$,
- doskonałe tłumienie sygnałów 50Hz,
- wymierna karta pamięci *microSD*,
- kieszonkowe wymiary,
- interfejsy USB i *Bluetooth* służą do komunikacji z komputerem stacjonarnym lub laptopem (Windows) albo ze smartfonem (*Android*) lub tabletem (Windows, Android) dla obserwacji mierzonych przebiegów w czasie rzeczywistym lub ich analizy po zakończeniu eksperymentu pomiarowego w programie *mRgui* (cz. II),
- dla usprawnienia pracy rejestratory są wyposażone w urządzenia pomocnicze (interfejsy) zwane tu wtyczkami, które użytkownik w prosty sposób adaptuje do swych potrzeb.

1.2 Znaczenie pomiarów w ochronie przed korozją

Uszkodzenie korozyjne urządzenia (obiektu, konstrukcji) może być przyczyną poważnych strat, a nawet doprowadzić do zagrożenia życia. Ochronę katodową przed korozją stosuje się, aby temu zapobiec. Dbłość o skuteczne działanie ochrony wymaga stałego dozoru, diagnostyki, profilaktyki, prac badawczych, stosowania właściwych metod pomiaru i dysponowania sprzętem wysokiej jakości o starannie dobranych parametrach technicznych.

W warunkach terenowych przeprowadzenie pomiaru napotyka na trudności nieznanne w zaciszu laboratorium. Są to nie tylko warunki środowiskowe, ukształtowanie terenu, zabudowa, zjawiska atmosferyczne i podobne przeszkody, ale także nagła konieczność trafnego odniesienia do aktualnej sytuacji pojęć abstrakcyjnych takich jak np. *pole elektryczne*, związany z nim *potencjał* i *gradient potencjału*, i to przy jednoczesnej obserwacji sygnałów pomiarowych, wyciąganiu na tej podstawie wniosków i odpowiednim korygowaniu postępowania.

1.3 Zjawiska fizyczne

Mierząc sygnały elektryczne napięcia i *prądu stałego* korzysta się ze znanych praw fizyki. Tradycyjnie przyjmuje się, że prąd stały (d.c.) płynie od (+) do (-), ale tak jest tylko w zewnętrznej części obwodu, natomiast w jego części wewnętrznej – czyli w źródle – ten sam prąd zamykając obwód płynie od (-) do (+). Tak dzieje się w każdym ogniwie elektrycznym, a więc i w ogniwie korozyjnym.

Mówiąc o *prądzie stałym* ma się na myśli niezmiennie natężenie i stałą biegunowość, trzeba jednak pamiętać, że pod wpływem różnych czynników prąd zmienia wartość, a czasem i kierunek. Ścisłej ‘prąd stały’ należałoby więc nazywać *prądem wolnozmiennym*, ale jest to sformułowanie dość niezgrabne i można je mylnie odnieść do *prądu przemiennego* sinusoidalnie (a.c.), często tradycyjnie nazywanego ‘prądem zmiennym’.

Przepływ prądu przez granicę faz: metal – ziemia powoduje *polaryzację* czyli powstanie na tej granicy pewnej *siły elektromotorycznej* (SEM), przerwa prądu – *depolaryzację* i związany z tym zanik SEM.

1.4 Czym jest ‘ziemia’?

Pojęcie *ziemi* bywa rozumiane bardzo różnie. Semantyk uznałby, że jest zakresowo nieostre. Astronomowie mówią o *Ziemi* jako planecie. Hugo Steinhaus, jeden z największych matematyków na świecie (Polak), ukuł aforyzm: Ziemia to kula u nogi.

– Ziemia! Ziemia! – wołali żeglarze odkrywając nowe lądy, a my *ziemią* skrótowo nazywamy powierzchnię, po której stąpamy i na której stawiamy przenośne elektrody. Pod *powierzchnią ziemi* badamy w *gruncie* rurociągi *podziemne*. Górną warstwą gruntu jest biologicznie czynna *gleba*. Przenośne elektrody odniesienia wchodzi w styczność z *próchnicą*, jej warstwą powierzchniową zawierającą zazwyczaj szczątki organiczne, czyli *humusem*, o którym akademicy wesoło śpiewają: – ... *nos habebit humus*.

Rurociągi są układane w gruncie o różnej spoistości, wilgotności, składzie chemicznym, własnościach geologicznych i mechanicznych. Grunt może być napowietrzony lub nienapowietrzony (*aerobowy* lub *anaerobowy*) i w związku z tym natleniony lub nienatleniony, porowaty i przepuszczający wodę (żwiry i piaski) albo nie przepuszczający wody (iły, gliny, margle). Wszystko to ma wpływ na jego własności fizyczne i chemiczne. z czego wynikają różnice w *rezystywności*.

Ziemia w potocznym języku elektrotechniki to potencjał odniesienia uważany za zerowy. Przeczy temu jednak fakt, że między dwoma punktami 'ziemi' może występować różnica potencjałów, czasem nawet znaczna, o czym świadczy znane elektrykom pojęcie napięcia krokowego wskutek przepływu prądu elektrycznego w gruncie. W ochronie katodowej odróżnia się *ziemię bliską* i *daleką*, co oznacza punkty ziemi o różnych potencjałach.

Ziemię czasem traktuje się jako przewod o przekroju nieskończenie wielkim, a zatem o nieskończenie małej rezystancji, ale grunt, w który w jakimś punkcie wnika prąd, charakteryzuje – jak już wspomniano – pewna rezystywność. Powoduje to spadek napięcia na *rezystancji rozptywu* w gruncie prądu, którego gęstość zmienia się tu nieliniowo. Przestrzennie można to sobie wyobrazić jako *lej napięciowy* o kształcie kielicha (czasem mówi się o *STOŻKU napięciowym* lub *potencjałowym*, lecz jest to uproszczenie mylące).

1.5 Elektrolit czy dielektryk?

Zamiennie zamiast o rezystancji rozptywu mówi się czasem o *rezystancji przejścia* z metalu do *elektrolitu*, za który potocznie uważa się grunt otaczający obiekty podziemne, lecz ściśle biorąc elektrolitem w gruncie jest roztwór wodny kationów i anionów Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} i in.

Grunt otaczający rurociąg podziemny nie tylko pełni rolę elektrolitu, jednocześnie bowiem stanowi *dielektryk*, co prawda o własnościach izolacyjnych nie tak wybitnych jak *powłoka izolująca* stosowana dla ochrony rurociągu, lecz mimo to uwzględnianych w obliczeniach *prądu skrośnego* powłoki.

Różnica potencjałów w ogniwie korozyjnym powoduje, że dla jej wyrównania w metalu płynie *strumień elektronów* (*prąd elektronowy*), a w otaczającym go elektrolicie jony (*prąd jonowy*). Prądowi elektrycznemu w metalu umownie przypisuje się kierunek przeciwny do kierunku strumienia elektronów przenoszących ładunek ujemny.

W gruncie mogą płynąć prądy elektryczne pochodzące z różnych źródeł. Od szyn jezdnych zelektryfikowanych kolei i tramwajów odgałęziają się *prądy błądzące*, fluktuujące wskutek ruchu pojazdów. Bardziej stabilnym źródłem prądów błądzących jest ochrona katodowa konstrukcji podziemnych. Niekiedy dają się zauważyć wolnozmiennie prądy *telluryczne* indukowane w *Ziemi* wskutek oddziaływania pól geomagnetycznych. Również układy elektroenergetyczne i przemysłowe generują w gruncie przepływ prądów elektrycznych.

1.6 Defekty

Głównym przedmiotem diagnostyki pomiarowej są miejsca narażone na korozję wskutek nieciągłości powłok izolujących rurociągów podziemnych. Te *defekty* miewają postać ubytków, pęcherzy i zwarć z innymi konstrukcjami metalowymi. Powłoki na ogół zawierają *pory* w postaci higroskopijnych naczyń włosowatych, w które w miarę upływu czasu wnika elektrolit, wskutek czego rezystancja jednostkowa powierzchni (Ωm^2) maleje, a *prąd skrośny* wzrasta. Defekty o bardzo małej powierzchni zachowują się podobnie jak pory.

Ze względów ekonomicznych naprawia się tylko te defekty powłoki, w których korozja może rozwijać się z szybkością większą niż 0.01mm/rok (10 μm /rok) - PN-EN 12954: 2004. *Ochrona katodowa konstrukcji metalowych w gruntach lub w wodach. Zasady ogólne i zastosowania dotyczące rurociągów*, 4.2.

1.7 Ochrona katodowa i prąd ochrony

Czynną ochronę katodową zapewniają *stacje ochrony katodowej SOK* ze źródłem zewnętrznym, przeważnie zasilane z ogólnej sieci elektroenergetycznej. Prócz nich stosuje się *stacje anod galwanicznych SAG*, których specyfiką jest tworzone z konstrukcją chronioną ogniwo galwaniczne. *Stacje drenażu polaryzowanego SDP* nie są uważane za obiekty ochrony, chociaż mają na ochronę pewien wpływ. *Stacje drenażu wzmocnionego SDW* łączą w sobie cechy **SOK** i **SDP**.

Używane w ochronie katodowej pojęcie *drenażu* oznacza połączenie prądowe o pewnej obciążalności. Połączeń drenażowych nie należy wykorzystywać do pomiarów potencjałów i napięć ze względu na powstające przy przepływie prądu spadki napięcia.

Stan obiektu, w którym płynie *prąd ochrony* bada się, aby ocenić efektywność ochrony katodowej. Prąd może być *załączony*, co brzmi źle po polsku, ale mówimy tak celowo, ponieważ słowa 'włączony' i 'wyłączony' są trudne słuchowo do rozróżnienia, co mogłoby być przyczyną groźnej pomyłki.

1.8 Przerwanie prądu

Przerwanie (załączanie i wyłączanie) prądu polaryzacji stosuje się w celu oceny skuteczności ochrony katodowej, a także w innych pomiarach. Potencjał konstrukcji zmierzony przy załączonym prądzie polaryzacji nazywamy *potencjałem załączeniowym* (ON), a potencjał zmierzony bezpośrednio po wyłączeniu polaryzacji - *potencjałem wyłączeniowym* (OFF). Impulsowy pomiar potencjału załączeniowego i wyłączeniowego polega na jest cyklicznym załączaniu i wyłączaniu prądu ochrony.

Odbywa się to na ogół automatycznie za pomocą *przerwywaczy*, umieszczanych w stacjach ochrony katodowej na czas pomiaru lub wbudowanych na stałe. Krótkotrwałe przerwanie (wyłączenie) prądu polaryzacji powinno być przeprowadzone synchronicznie we wszystkich źródłach prądu polaryzacji.

Przerwywacze pracują z częstością czyli *krokiem przerywania* nastawnym. Użycie przerywacza wymusza nastawienie w rejestratorze takiego *kroku zapisu danych pomiarowych*, aby sygnał w krótkiej chwili przerwy był wyraźnie widoczny.

Dlatego w podanych dalej przykładach zastosowań przerywacza przyjęto jako regułę krok zapisu danych 1/8s.

Przerywany prąd ochrony składa się z cykli impulsów teoretycznie prostokątnych, jednak kształtem bardziej zbliżonych do trapezów o pewnym czasie narastania i opadania zbocza. Polaryzacja konstrukcji przy załączaniu prądu (ON) przebiega wykładniczo w funkcji czasu, podobnie jak depolaryzacja przy wyłączeniu (OFF). Stała czasu zależy od wartości rezystancji R i pojemności C układu. Im niższy poziom szczelności, tym polaryzacja wolniejsza, a depolaryzacja odbywa się prędzej.

Polaryzacja konstrukcji przy załączaniu prądu (ON) przebiega wykładniczo w funkcji czasu, podobnie jak depolaryzacja przy wyłączeniu (OFF). Stała czasu zależy od wartości rezystancji R i pojemności C układu. Prędkość polaryzacji i depolaryzacji rurociągu zależy od wielu czynników: liczby, kształtu i wielkości defektów powłoki, rodzaju powłoki, właściwości gruntu, w jakim rurociąg jest ułożony, parametrów ochrony katodowej i innych.

Wielogodzinne cykliczne przerywanie prądu polaryzacji podczas wykonywania pomiarów powoduje pogorszenie (przesunięcie w kierunku dodatnim) potencjałów ON i OFF rurociągu. Dla ograniczenia tego niepożądanego efektu przyjmuje się, że *czas przerwy* (OFF) nie powinien być dłuższy od $\frac{1}{4}$ *czasu załączenia* (ON), np.:

czas OFF = 3s, cykl (ON+OFF) = 15s, czas ON = 12s,
czas OFF = 1s, cykl (ON+OFF) = 5s, czas ON = 4s.

W przypadku rurociągów w powłokach wysokiej jakości niektóre pomiary wykonuje się przy zwiększonym prądzie polaryzacji – przy tzw. *polaryzacji pogłębionej*. Aby ograniczyć niekorzystne efekty związane z silniejszą polaryzacją rurociągu należy stosować cykl przerywania o krótkim czasie załączenia (ON) i wydłużonym czasie przerwy (OFF), np.:

czas OFF = 9s, cykl (ON+OFF) = 10, czas ON = 1s.

W rejestratorach **MR4/MR3p** krok zapisu danych pomiarowych na kartę pamięci jest jednoznaczny z krokiem wyświetlania danych. Można go nastawiać w zakresie 1/8s, 1/4s, 1/2s, 1s ... 1800s, 3600s. Wyświetlona wartość jest średnią za okres kroku zapisu stałej częstości próbkowania rejestratora (1/8s).

Wyposażony w przerywacze rejestrator **MR3p** (cz. I) umożliwia taktowanie prądu ochrony katodowej. Można nastawić cykl przerywania:

(ON+OFF) = 1s, 2s, 3s, 4s, 5s, 6s, 10s, 12s, 15s, 20s, 30s, 60s.

Czas przerwy nastawia się stosownie do cyklu przerywania:

OFF = 0.25s, 0.375s, 0.5s, 0.625s, 0.75s, 1s, 2s, 3s, 4s, 5s, 10s, 20s, 30s.

Rejestrator **MR3p** jest wyposażony w dwa przerywacze:

- przekątnikowy PP 0.5A, 30V (zaciski 1-2),
- tranzystorowy PT 2A, 30V (zaciski 3-4).

Przerywacz PP należy zastosować, gdy prąd przerywany jest $< 0.5A$.

Przerywacz PT używa się, gdy $2A > \text{prąd} > 0.5A$. Do przerywania większych natężeń

prądu można użyć współpracującej z rejestratorem **mR3p** wtyczki dedykowanej **WDR** w jednym z wykonania: 12A, 90V – 16A, 50V – 25A, 20V.

Więcej o przerywaczach rejestratora **mR3p** (cz. I, 3.3), o wtyczce **WDR** (cz. IV, 2.4).

1.9 Wielkości mierzone

Podstawą pomiaru wielkości elektrycznych jest mierzony bezpośrednio sygnał napięciowy. Prąd zgodnie z prawem Ohma mierzy się jako spadek napięcia na znanej rezystancji. Stosując do pomiaru prądu wtyczkę uniwersalną **WU** trzeba w programie **mRgui** (cz. II, 3.3.2.2) przy znanej wartości rezystancji bocznika wyskalować wybrany kanał. Nie wymagają tego wtyczki dedykowane **WDB**, **WDP** i **WDI**.

Rejestratory **mR4/mR3p** podczas pomiaru identyfikują odebrane sygnały w czasie. Na tej podstawie można obliczyć wielkości pochodne:

- ładunek elektryczny (przepływ zmierzonego prądu w znanym czasie),
- moc (iloczyn napięcia i prądu),
- energia (iloczyn mocy w czasie).

Rezystancja (dawniej: oporność) wzdłużna rurociągu zależy od jego geometrii (długość, powierzchnia) i rezystywności (oporności właściwej) użytego materiału (stali). Za pomocą rejestratora **mR4/mR3p** można w oparciu o prawo Ohma obliczyć rezystancję metodą techniczną.

Odwrotnością rezystancji jest *konduktancja* (dawniej: przewodność, inaczej *upływność*); odwrotnością rezystywności jest *konduktywność*.

Specyfiką ochrony katodowej są pomiary w bardzo szerokim zakresie wartości. Potencjały mierzy się od miliwoltów (mV), a nawet mikrowoltów (μ V) do kilkudziesięciu woltów, prądy od mili- i mikroamperów (mA, μ A) do kilkudziesięciu amperów, itd. Wykonując pomiary należy pamiętać, że w pewnych okolicznościach wielkości te mogą jednak przybrać wartości nawet kilkudziesięciu – i więcej – woltów, amperów i omów.

1.10 Niektóre pojęcia bliskoznaczne

Wyjaśnienia wymagają używane tu pojęcia bliskoznaczne: *styczność* metali i *połączenie galwaniczne*, *ciągłość elektryczna*, a także ich przeciwieństwo, *izolacja* i *separacja galwaniczna*.

Uwaga. Czasem zamiast 'styczność' mówi się 'kontakt', co jest nie tylko wieloznaczne, ale i nieprawidłowe.

Styczność ma miejsce, gdy materiały przewodzące zostały celowo połączone (np. metal przewodu z zaciskiem), jak i gdy połączenie jest niezamierzone (np. nieosłonięty rurociąg ze stalowym wspornikiem). Skutki takich połączeń mogą się ujawnić w postaci termoogniw lub zwarć.

Izolacja jest pojęciem odnoszącym się do materiału, np. powłoki rurociągu lub kabla, natomiast zjawisko elektrycznego oddzielenia obiektów nazywane jest *separacją galwaniczną*. Gdy separację można stwierdzić wzrokowo, mówi się od *odłączeniu*.

1.11 Styczność metali

Przy pomiarze bardzo małych sygnałów wielkie znaczenie ma jakość połączeń. Styczność dwóch metali (np. przewodu pomiarowego łączącego ściankę rurociągu z odpowiednim zaciskiem w stacji pomiarowej) powinna zapobiegać tworzeniu termoogniw i spadków napięcia na rezystancji przejścia.

Zaciski szynowe stosowane podczas pomiaru trakcyjnych prądów błądzących powinny punktowo przebijać warstwę rdzy pokrywającą stopkę szyny jezdnej. W stacjach drenażu polaryzowanego przewody drenażowe powinny być trwale przytwierdzone do szyny jezdnej. Pod wpływem drgań toru mają one tendencję do obluźniania, mogą nawet ulec odłamaniu, dlatego wykonując pomiary warto zwracać uwagę na stan przewodów pomiarowych i drenażowych, ich zacisków, końcówek i izolacji.

1.12 Parametry pomiaru

Podczas pomiaru nie można określić *rzeczywistej wartości* wielkości mierzonej, ale uważa się, że została dobrze opisana, jeżeli różnica między wynikiem pomiaru a wartością rzeczywistą mieści się w dopuszczalnych granicach *błędu pomiarowego*. Z błędem pomiarowym związana jest *dokładność* czyli stopień zgodności wyniku pomiaru z rzeczywistą wartością. Rejestratory **mR4/mR3p** charakteryzują się *rzeczywistym* błędem pomiarowym ΔU znacznie mniejszym od błędu *dopuszczalnego*, czasem o więcej niż jeden rząd wielkości. Informacja o rzeczywistym i dopuszczalnym błędzie podaje protokół kalibracji sporządzany indywidualnie dla każdego rejestratora. Kalibrację zaleca się wykonywać nie rzadziej niż co 2 lata.

Uwaga. Przyczyną błędu może być również niewłaściwe ustawienie elektrody przenośnej w stosunku do *osi podłużnej* rurociągu, niedostateczna styczność elektrody ze środowiskiem elektrolitycznym i inne przyczyny, niezależne od działania przyrządów pomiarowych.

W przyrządach cyfrowych zewnętrzny sygnał analogowy jest przetwarzany na sygnał cyfrowy w postaci ciągu impulsów. Polega to na pobieraniu *próbek pomiarowych* mierzonego sygnału z określoną *częstotliwością* czyli *krokiem próbkowania*. Jak już wspomniano, krok próbkowania rejestratorów **mR4/mR3p** jest stały i wynosi 1/8s. Każdej zmierzonej wartości rejestrator przypisuje identyfikujący numer próbki. Wynik pomiaru jako statystyczny zbiór próbek jest przechowywany w pamięci rejestratora. Zbiór ten można przedstawić jako funkcję $x = f(t)$.

Na dokładność pomiaru przyrządów cyfrowych wpływa ich *rozdzielczość* czyli liczba cyfr wskazania w systemie dziesiętnym. Odpowiada to w przyrządach analogowych pojęciu *czułości* czyli stosunkowi zmiany wyniku pomiaru do zmiany rzeczywistej wartości wielkości wyjściowej.

Rozdzielczość rejestratorów **mR4/mR3p** w czterech zakresach pomiarowych:

Zakres	Rezystancja Wejściowa	Rozdzielczość	Błąd Dopuszczalny	Szum własny V_{pp}	
				Próbkowanie	
				1/8 sek.	1 sek.
±100V	10.3MΩ	100μV	$\pm(0.1\% \cdot U + 10mV)$	2mV	600μV
±10V	2.25MΩ	10μV	$\pm(0.1\% \cdot U + 1mV)$	160μV	60μV
±290mV	100kΩ	1μV	$\pm(0.1\% \cdot U + 10μV)$	6μV	1.6μV
±18mV	100kΩ	100nV	$\pm(0.1\% \cdot U + 2μV)$	800nV	300nV

Widać, że w zakresie ±100V szum własny wynosi zaledwie 2mV, co znaczy, że z powodzeniem można w tym zakresie mierzyć wartości 1000, a nawet 10000 mniejsze.

1.13 Metody pomiarowe

W ochronie przed korozją najczęściej stosowane są *pomiary punktowe*, wykonywane w wybranych stacjach pomiarowych (punktach). Wyniki pomiarów punktowych w znanych warunkach można wykorzystać do oceny skuteczności ochrony katodowej całej konstrukcji. Wykonywane okresowo pozwalają rozpoznać stany zakłóceniewe.

Do tych metod należą *periodyczne pomiary potencjału załączeniowego* (3.1.1) i *wyłączeniowego* (3.1.2) w kolejnych stacjach pomiarowych rozmieszczonych wzdłuż trasy rurociągu. Tworzone na podstawie pomiarów *bazy danych* ułatwiają ocenę stanu ochrony katodowej rurociągu. W ten sposób bada się zasięg oraz stan urządzeń ochrony (3.3, 3.4, 3.5).

Pomiary punktowe wykonuje się również w innych miejscach, w tym w rejonach prawdopodobnego *lokalnego* zagrożenia, w stacjach pomiarowych specjalnie do tego przeznaczonych. Są to najczęściej:

- zbliżenia i skrzyżowania z torami kolejowymi (3.2) i rejon oddziaływania prądów błędnych pochodzenia nietrakcyjnego,
- miejsca wzajemnego oddziaływania ochrony katodowej rurociągów i konstrukcji obcych (4.2),
- złącza izolujące (monobloki) – (4.3 i 4.4),
- skrzyżowania z obiektami infrastruktury z zastosowaniem rur osłonowych (4.5),
- boczniki rurociągowo – punkty prądowe (4.6 i 5),
- zbliżenia do linii wysokiego napięcia a.c. i miejsca potencjalnego zagrożenia korozją a.c.(7),
- stan powłoki odcinków rurociągów bada się wyznaczając w nich dopływ – (lub upływ) – prądu skośnego (4.7 i 5.3).

Innego rodzaju, bardziej wyczerpujące badania rurociągów podziemnych (6) polegają na wykonaniu posobnych pomiarów wzdłuż trasy tak gęsto, że mówi się o nich jako o *intensywnych*. Tego rodzaju pomiary można wykonywać kilkoma metodami, najczęściej jednak tylko jedną z nich nazywa się 'intensywną'. Dlatego jako termin obejmujący te metody łącznie, przyjęto tu roboczo określenie bardziej jednoznaczne: *pomiary liniowe*.

Stosowanie pomiarów liniowych jest kłopotliwe nie tylko z powodu gęstości miejsc pomiaru, lecz również dlatego, że wymagają wysokokwalifikowanych ekip pomiarowych i specjalistycznego sprzętu, a czas pracy jest ograniczony przez warunki terenowe (uprawy rolnicze) i klimatyczne (zmarznięty grunt zimą, wysuszony latem).

Wszelkie metody pomiarowe charakteryzują pewne ograniczenia. Wybór właściwej, dostosowanej do miejscowych potrzeb i warunków, wymaga przemyślenia, którego nie zastąpią przedstawione przykłady.

1.14 Elektrody odniesienia

Wszelkie pomiary potencjału w ochronie katodowej wykonuje się przy użyciu stałych i/lub przenośnych elektrod odniesienia, z reguły w postaci nasyconych półogniw siarczano-miedziowych Cu/CuSO_4 . Należy wspomnieć, że wymagają one starannej obsługi, z reguły przedstawionej w instrukcji sprzedaży. Przed przystąpieniem do pomiarów wskazana jest kalibracja elektrod przenośnych. Polega to na pomiarze potencjału elektrod względem wzorcowej elektrody kalomelowej (norma: $72 \pm 5\text{mV}$).

Gdy stosuje się więcej niż jedną elektrodę, można skompensować różnicę potencjałów między nimi wykorzystując specjalną funkcję rejestratora **mR4/mR3p**, która umożliwia redukcję różnicy do $\pm 0.25\text{mV}$ (cz. II, 5.2). Elektrody przenośne należy sytuować na powierzchni ziemi, zapewniając dobrą styczność ze środowiskiem elektrolitycznym w postaci wilgotnego, rodzimego gruntu. Czasem warto w tym celu usunąć wierzchnią warstwę gleby.

Stałe elektrody odniesienia należy kontrolować podczas wszelkich pomiarów, porównując otrzymane wyniki z danymi uzyskanymi przy użyciu równoległe połączonych elektrod przenośnych (3.1.1 i 3.1.2).

1.15 Organizacja pomiarów

Eksploatacyjne programy dozoru (monitoringu) wymagają prowadzenia systematycznych pomiarów sygnałów prądu stałego (d.c.) i prądu przemiennego (a.c.).

Niektóre badania są proste, wykonuje się je często i w długich seriach, inne, bardziej wyspecjalizowane, rzadziej. Rejestratory **mR4/mR3p** nadają się do stosowania w obu przypadkach.

Ważna jest nie tylko ocena zagrożenia korozyjnego całego rurociągu, ale chodzi również o wykrycie pojedynczych jego słabych miejsc, gdy całość nie wykazuje zagrożenia. Dostęp do rurociągu zapewniają *stacje pomiarowe (punkty pomiarowe)* – 1.19. Dzięki temu można badać stan ochrony w tych samych stałych miejscach.

1.16 Rejestratory mR4/mR3p w praktyce pomiarowej

Tworząc układ pomiarowy należy zwracać uwagę na oznaczenia kanałów pomiarowych. Zaleca się korzystanie z kodu kolorów:

K1 - żółty

K2 - zielony

K3 - czerwony

K4 - niebieski

AGND - czarny, oddzielna (separowana) masa analogowa każdego kanału.

Ważna jest biegunowość kanałów. Na podanych dalej schematach oznaczono biegun (+), któremu odpowiadają zaciski i zakresy:

1 ~ 10V,

2 ~ mV,

4 ~ 100V.

Nieoznaczony na schematach biegun (-) odpowiada zaciskowi:

3 ~ GND (*ground* – ziemia, masa).

Rejestratory **mR4/mR3p** uwzględniają warunki, w jakich prowadzone są pomiary na konstrukcjach podziemnych chronionych katodowo. Zawierają one:

- silny filtr górnozaworowy 50Hz, 100dB, który skutecznie tłumi oddziaływanie składowej przemiennej,
- we wtyczkach dedykowanych **WDG** i **WDP** zastosowano rezystancję wejściową 100MΩ.

1.17 Wtyczki

Używanie rejestratorów **mR4/mR3p** ułatwiają interfejsy w postaci *wtyczek inteligentnych* (2). Służą one jako adaptory wybranych układów pomiarowych. Stosowanie wtyczek nie jest konieczne. Użytkownik może wykonać pomiary według własnych schematów montażowych włączając kanały pomiarowe za pośrednictwem złącza 25-pinowego (cz. I, 2.4).

Przykłady pomiarów pogrupowano według proponowanych zespołów nastaw inteligentnych *wtyczek uniwersalnych WU* (3, 4). Oczywiście użytkownik dla swoich celów może również wybrać inne zespoły nastaw, wykonać podobne pomiary przy innych nastawach i wykonać zupełnie inne pomiary.

W celu wykonania specyficznych pomiarów (5, 6, 7, 8) proponuje się stosowanie *wtyczek dedykowanych WD*.

Przykłady te, przedstawione w rozdziałach 3 ÷ 8, zawierają tylko część problematyki pomiarów związaną z ich przygotowaniem i realizacją. Strona teoretyczna pomiarów, analiza wyników i archiwizacja materiałów nie są tu ujęte.

Dla uproszczenia pominięto układy stosowane w pomiarach na zbiornikach i konstrukcjach złożonych, konstrukcjach mostów, słupów i budynków stalowych, odwiertów, stali w żelbecie, stali w wodzie, jak również w specjalnych zastosowaniach trakcji elektrycznej. Podane tu przykłady mogą być jednak podstawą adaptacji układów pomiarowych do tych celów.

Poza zakres stosowania rejestratorów **mR4/mR3p** wykraczają pomiary wykonywane przyrządami mostkowymi i pomiary nieelektryczne.

1.18 Ochrona przeciwporażeniowa

Izolowane elektrycznie konstrukcje podziemne należy uważać za urządzenia, które podczas normalnego użytkowania mogą znaleźć się pod napięciem niebezpiecznym. Z tego powodu powinny je obsługiwać osoby o odpowiednich kwalifikacjach.

Przed rozpoczęciem czynności wymagających dotknięcia konstrukcji należy zmierzyć napięcie dotyku.

Uwaga 1. Norma PN-EN 15280: 2013 - *Ocena prawdopodobieństwa wystąpienia na zakopanych rurociągach korozji wywołanej prądem przemiennym stosowana do rurociągów chronionych katodowo* powołuje (8.1.1) normę PN-EN 61010-1:2010 *Wymagania bezpieczeństwa dotyczące elektrycznych przyrządów pomiarowych*, która za niebezpieczne uważa przekroczenie poziomu napięciowego:

- w normalnych warunkach
 - .napięcie przemiennie 33V r.m.s. (a.c.),
 - .napięcie przemiennie 46.7V szczytowe (a.c.),
 - .napięcie stałe (d.c.) 70V.
- w miejscach mokrych
 - .napięcie przemiennie 16V r.m.s. (a.c.),
 - .napięcie przemiennie 22.6V szczytowe (a.c.),
 - .napięcie stałe (d.c.) 35V.

Uwaga 2. Gdy rurociąg podziemny przebiega w pobliżu linii wysokiego napięcia, w pewnych warunkach może wystąpić w nim napięcie przekraczające te wartości.

Na ogół obiekt badany powinien być uziemiony, jednak w badaniach korozyjnych nie można stosować uziemienia ochronnego. Z tego powodu czynności wymagające dotknięcia obiektu i połączonych z nim gołych części obwodów elektrycznych powinny być wykonywane tylko przy użyciu sprawnych narzędzi izolowanych i środków ochrony osobistej (rękawice, kalosze dielektryczne).

Maksymalne dopuszczalne napięcia d.c. w każdym z kanałów analogowych rejestratorów **mR4/mR3p** odniesione do masy analogowej wynoszą:

- ±150V dla zakresu: ±100V,
- ±100V dla zakresu: ±10V,
- ±30V dla zakresów: ±290mV i ±18mV,

a odniesione do masy cyfrowej przyrządu:

- 0.2V do +5.1V.

Wyjątek stanowi wejście zasilania zewnętrznego, dla którego maksymalne dopuszczalne napięcie wynosi:

- +15V.

Izolacja wszystkich kanałów pomiarowych:

1000V a.c.

1.19 Oznaczenia

Z powodu braku bezpośredniego dostępu do rurociągów pod ziemią rejestratory przyłącza się do konstrukcji w odpowiednio wyposażonych *stacjach pomiarowych*, w gazownictwie zwanych punktami pomiarów elektrycznych. Poniżej podano przykładowe oznaczenia stacji pomiarowych wg normy ST-IGG-0602:2009. *Standard Techniczny. Ochrona przed korozją zewnętrzną stalowych gazociągów lądowych. Projektowanie, budowa i użytkowanie*, zał. A6. W przypadku innych oznaczeń schematy należy odpowiednio adaptować.

- P** – wyprowadzenie potencjału rurociągu,
- PE** – jak **P**, lecz dodatkowe połączenie ze stałą elektrodą odniesienia **E**,
- PD** – wyprowadzenie potencjału i połączenie prądowe (drenaż **D**),
- PDE** – jak **PD**, lecz również połączenie ze stałą elektrodą odniesienia **E**,
- PX** – wyprowadzenie potencjału i połączenie z elektrodą symulującą **X**,
- PR** – wyprowadzenie potencjału rury produktowej i rury osłonowej **R**,
- PRu** – jak **PR**, lecz również połączenie z uziomem rury osłonowej **u**,
- PIs** – odcinek rurociągu wykalibrowany jako bocznik rurociągowy (punkt prądowy),
- PIsE** – jak **PIs**, lecz również połączenie ze stałą elektrodą odniesienia **E**,
- PIsR** – jak **PIs**, z wyprowadzeniem potencjału rury osłonowej **R**,
- PWP** – wyrównanie potencjałów między rurociągiem i obcą konstrukcją,
- PM** – wyprowadzenie potencjałów przy monobloku/złączu izolującym **M**,
- PMD** – jak **PM**, lecz z połączeniami prądowymi (drenaż **D**), z dwóch stron monobloku/złącza.

W schematach połączeń przyjęto oznaczenia:

- P** – połączenie pomiarowe z konstrukcją (stacja pomiarowa),
- D** – punkt drenażowy, połączenie drenażowe z konstrukcją,
- E** – elektroda odniesienia,
- R** – rura osłonowa,
- G** – rurociąg badany,
- K** – obca konstrukcja,
- M** – monoblok, złącze izolujące
- X** – elektroda symulująca,
- A** – anoda,
- GP** – przewód napięciowy,
- GD** – przewód prądowy,
- U** – uziom,
- U_A** – uziom anodowy.

Inne oznaczenia:

E – potencjał,

U – napięcie,

I – prąd,

R – rezystancja,

ΔE – różnica potencjałów,

r_b – boczniak pomiarowy,

Pr – przerywacz ,

V – woltomierz, mV – miliwoltomierz,

A – amperomierz, mA – miliamperomierz,

SOK – stacja ochrony katodowej (źródło zewnętrzne),

SDP – stacja drenażu polaryzowanego,

SAG – stacja anod galwanicznych.

1.20 Różne

W podanych schematach montażowych dla uproszczenia przyjęto użycie rejestratora **mR4**, sugerując stosowanie kanałów pomiarowych **K4**, **K3**, **K2**. Dzięki temu używając rejestratora **mR3p**, który nie jest wyposażony w kanał **K1**, można korzystać z tych samych schematów. W kilku przypadkach niezbędne jest wykorzystanie czterech kanałów rejestratora **mR4**, w kilku innych wskazano użycie rejestratora **mR3p** i jego przerywaczy, wbudowanych w miejsce kanału **K1**.

O ile nie podano inaczej, rejestrator przyłącza się do badanego rurociągu od strony zacisku dodatniego (+).

Dla uproszczenia w podanych przykładach na ogół przyjęto, że źródłem prądu ochrony jest jedna stacja ochrony katodowej **SOK** (zasilanie jednostronne). Wyjątki zaznaczono na schematach. Przed pomiarem należy ustalić, jak obiekt jest zasilany prądem ochrony, ponieważ spotykane w praktyce zasilanie przez kilka równoległe współpracujących stacji **SOK** może znacznie zmienić rozkład potencjałów rurociągu w stosunku do układu jednostronnego zasilania.

Przyjęto, że stałe elektrody odniesienia są instalowane obok rurociągu na wysokości jego poprzecznej osi.

Przenośne elektrody odniesienia, o ile nie podano inaczej, powinny być umieszczone na powierzchni ziemi nad osią podłużną rurociągu.

1.21 Materiały źródłowe

W rozdz. (10) podano materiały źródłowe, których znajomość powinna ułatwić wykonanie pomiarów..

Stan ochrony katodowej przed korozją rurociągów podziemnych należy badać zgodnie z wymaganiami określonymi przez normy polskie (PN-EN) i branżowe standardy techniczne gazownictwa (ST-IGG).

W przedstawionych dalej przykładach powołano także kilkakrotnie:

-europejskie wytyczne CEOCOR (*Comité Europe de l'Ouest sur la Corrosion* – Europejski Komitet do Spraw Studiów nad Korozją),

-amerykańskie procedury normatywne NACE (*National Association of Corrosion Engineers* – Krajowe Stowarzyszenie Inżynierów Korozjonistów),

-niemieckie przepisy DVGW (*Arbeitsgemeinschaft DVGW/VDE für Korrosionsfragen* – Grupa robocza do spraw korozji DVGW/VDE – Niemieckie Stowarzyszenie Gazownictwa i Wodociągów/Stowarzyszenie Elektryków Niemieckich),

-CEOCOR 2007. *Mantelrohre. Ausführung, Prüfung und Sanierung von Kreuzungen erdverlegten Rohrleitungen mit Verkehrswegen. Leitfaden* (Rury osłonowe. Wykonanie, sprawdzanie i naprawa rurociągów ułożonych w gruncie na skrzyżowaniach z drogami. Wytyczne).

Szczególnie przydatne publikacje w języku polskim:

-Praca zbiorowa. *Ochrona elektrochemiczna przed korozją*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne Warszawa 1991,

-Władysław Dziuba: *Sieć powrotna i prądy błędzące*, Instytut Elektrotechniki, Warszawa 1995,

-CEOCOR. *Pomiary w ochronie katodowej przed korozją. Poradnik*. SEP i COSIW, Warszawa 2010,

-Polski Komitet Elektrochemicznej Ochrony przed Korozją. *Pomiary Korozyjne w Ochronie Elektrochemicznej*. Materiały:

.IV Krajowa Konferencja Jurata, SEP Warszawa 1996,

.V Krajowa Konferencja Jurata, SEP Warszawa 1998,

.VI Krajowa Konferencja Jurata, SEP Warszawa 2000,

.VII Krajowa Konferencja Jurata, SEP Warszawa 2002,

.VIII Krajowa Konferencja Jurata, SEP Warszawa 2004,

.IX Krajowa Konferencja Jurata, SEP Warszawa 2006,

.X Krajowa Konferencja Jurata, SEP Warszawa 2008,

.XI Krajowa Konferencja Jurata, SEP Warszawa 2010,

.XII Krajowa Konferencja Jurata, SEP Warszawa 2012,

.XIII Krajowa Konferencja *Ostróda*, SEP Warszawa 2014.

-Miesięcznik Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Przemysłu Chemicznego. *Ochrona przed Korozją*. Wydawnictwo SIGMA-NOT Warszawa.

2 WTYCZKI INTELIGENTNE

Wtyczki inteligentne ułatwiają adaptację rejestratorów **mR4/mR3p** do wybranego rodzaju pomiaru, nastaw i układu połączeń.

Wtyczka w wykonaniu uniwersalnym **WU** (2.1) należy do podstawowego wyposażenia rejestratora. Umożliwia ona przeprowadzenie pomiarów najczęściej stosowanych w ochronie korozyjnej. Kilka dodatkowych wtyczek **WU** (opcja) może jeszcze bardziej usprawnić pracę.

Wtyczki dedykowane **WD** (2.2) adaptują rejestratory do wykonania pomiarów specjalnych, które wymagają odpowiednich układów wyjściowych.

2.1 Wtyczka uniwersalna **WU**

Wszystkie kanały pomiarowe w rejestratorach **mR4/mR3p** są wyposażone w jednakowe zakresy, którym odpowiadają zaciski: $\pm 100V$, $\pm 10V$, $\pm mV$, GND. Na zaciski GND1, GND2, GND3, GND4 wyprowadzono masy analogowe separowane, co znaczy, że każdemu kanałowi jest przypisana oddzielna masa. Wybór zakresu polega na przyłączeniu przewodu pomiarowego do odpowiedniego zacisku wewnątrz wtyczki.

Uwaga. Przewody pomiarowe są do nabycia jako wyposażenie dodatkowe (cz. I, 2.9.2).

Wtyczka **WU** rejestratora **mR3p** różni się od wtyczki **WU** rejestratora **mR4** tym, że zamiast kanału pomiarowego **K1** wyprowadza wyjścia przerywaczy PT i PP. Wtyczek rejestratorów **mR3p** i **mR4** można używać zamiennie, lecz w obu przypadkach nie można wówczas korzystać z kanału **K1**.

W celu pomiaru prądu należy zaciskowi $\pm mV$ przypisać w programie wewnętrznym **mRgui** (cz. II, 3.3.2.2 i 5.4) jeden z zakresów oznaczonych $\pm 290mV$ lub $\pm 18mV$ zależnie od spodziewanej wartości prądu. Wartości $\pm 290mV$ i $\pm 18mV$ są to spadki napięcia na wewnętrznych rezystancjach odpowiadających wybranemu zakresowi.

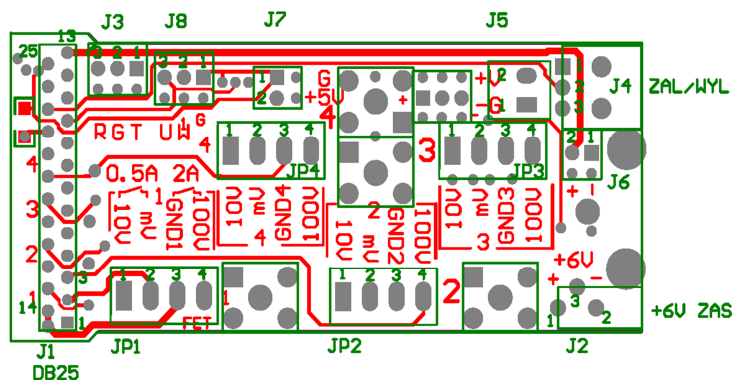
Kanałów we wtyczkach uniwersalnych **WU** można używać dowolnie, ponieważ są identyczne, jednak dla ułatwienia montażu układów pomiarowych warto im przypisać stałe funkcje i nastawy. Dobranie przewodu o dostosowanej do miejscowej sytuacji długości pozostawia się użytkownikowi. Identyfikację kanałów może ułatwić proponowany kod kolorów przewodów pomiarowych, gniazd i wtyków bananowych (1.16).

Tymi samymi kolorami identyfikowane są kanały w programie wewnętrznym **mRgui** (cz. II). W pomiarach linowych (6) wskazany kod kolorów jest obowiązujący, ponieważ każdemu kanałowi jest przypisana określona rola.

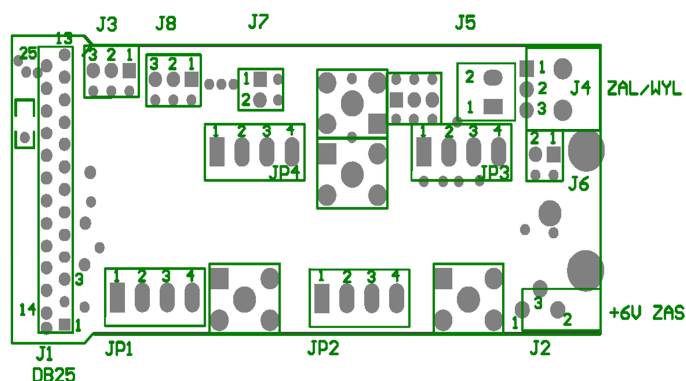
Wielokrotne użycie zapewniają przewody giętkie w izolacji silikonowej (cz. I, 2.6.1). Zalecany jest przekrój $0.5mm^2$. W pomiarach kiniowych (6) należy używać przewodów o przekroju $2.5mm^2$.

W celu ograniczenia oddziaływania szumów zewnętrznych do pomiaru bardzo małych wartości w zakresie $\pm mV$ zaleca się stosowanie przewodów jednożyłowych ekranowanych lub/i dwużyłowych skręconych.

Instalując przewody we wtyczce **WU** należy najpierw odjąć trzy wkręty(spód), a następnie otworzyć obudowę, odpinając wieko przez włożenie śrubokrętu w jedną z czterech przeznaczonych do tego szczelin.



Rys. 2.1a. Wtyczka uniwersalna **WU**. Płytkę montażową.
Widok



Rys. 2.1b. Wtyczka uniwersalna **WU**. Płytkę montażową.
Opis

Po otwarciu obudowy należy przyłączyć przewody do wybranych zacisków w odpowiednich kanałach. Przy zamykaniu obudowy należy zwrócić uwagę, aby nie uszkodzić zapewniających szczelność zameczków w krawędziach obudowy (widoczne od czoła wtyczki).

Płytkę montażową wtyczki przedstawia rys. 2.1a, a jej opis – rys. 2.1b.

Tablica 1. Wtyczka uniwersalna **WU**. Kanały, złącza, zaciski i piny rejestratora **mR4**

K1				K2				K3				K4			
Złącze JP1				Złącze JP2				Złącze JP3				Złącze JP4			
Zacisk				Zacisk				Zacisk				Zacisk			
1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
10V	mV	GND1	100V	10V	mV	GND2	100V	10V	mV	GND3	100V	10V	mV	GND4	100V
15	2	14	1	17	4	16	3	19	6	18	5	21	8	20	7

Tablica 2. Wtyczka uniwersalna **WU**. Kanały, złącza, zaciski i piny rejestratora **mR3p**

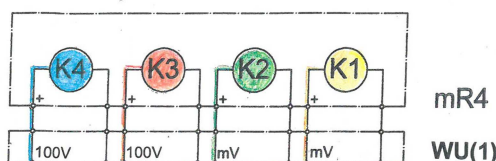
K1				K2				K3				K4			
Złącze JP1				Złącze JP2				Złącze JP3				Złącze JP4			
Zacisk				Zacisk				Zacisk				Zacisk			
1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
PP	PP	PT	PT	10V	mV	GND2	100V	10V	mV	GND3	100V	10V	mV	GND4	100V
15	2	14	1	17	4	16	3	19	6	18	5	21	8	20	7

W tabl. 1 i 2 podano złącza, zaciski, zakresy i piny w kanałach pomiarowych.

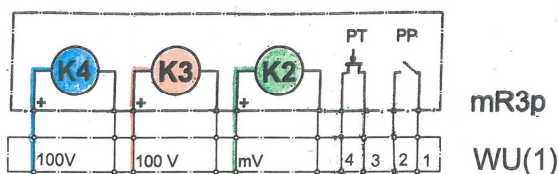
Przykłady wykorzystania wtyczek **WU** w pomiarach korozyjnych podano w dwóch przykładowych nastaw kanałów **WU(1)** (2.1.1) i **WU(2)** (2.1.2) dla przedstawienia szerokiej możliwości pomiarowych rejestratorów **mR4/mR3p**. W zależności od potrzeb można tworzyć inne kombinacje nastaw.

2.1.1 Wtyczka uniwersalna **WU(1)** w układzie (1)

Przewody pomiarowe w układzie (1) należy podłączyć do zacisków wtyczki **WU** rejestratora **mR4** wg rys. 2.2a lub do zacisków wtyczki **WU** rejestratora **mR3p** wg rys. 2.2b.



Rys. 2.2a. Rejestrator **mR4** z wtyczką **WU(1)** w układzie (1).
Schemat uproszczony



Rys. 2.2b. Rejestrator **mR3p** z wtyczką **WU(1)** w układzie (1).
Schemat uproszczony

Umożliwia to działanie rejestratora jako:

- woltomierza – kanał **K4**, zacisk $\pm 100V$, $10.3M\Omega$,
- woltomierza – kanał **K3**, zacisk $\pm 100V$, $10.3M\Omega$,
- mikrowoltomierza/amperomierza/miliamperomierza – kanał **K2**, zacisk mV, $100k\Omega$,
- mikrowoltomierza/amperomierza/miliamperomierza – kanał **K1**, zacisk mV, $100k\Omega$.

Uwaga 1. Układ (1) przewidziano do zastosowań, w których wystarcza rozdzielczość $100\mu V$ woltomierzy **K3** i **K4**.

Uwaga 2. Zależnie od spodziewanej wartości napięcia/prądu w kanałach **K1** i **K2**, pracujących jako mikrowoltomierze/amperomierze/miliamperomierze, należy w programie **mRgui** (cz. II, 3.3.2.2 i 5.4) wybrać $\pm 290\text{mV}$ (rozdzielczość $1\mu\text{V}$) lub $\pm 18\text{mV}$ (rozdzielczość $0.1\mu\text{V}$).

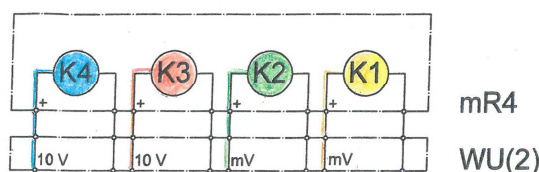
W układzie (1) wtyczka **WU(1)** może w ochronie katodowej służyć m. in. do:

- pomiaru potencjału (3.1),
- badania oddziaływania prądów błędnych (3.2),
- kontroli działania stacji ochrony katodowej ze źródłem zewnętrznym (3.3),
- kontroli działania stacji drenażu polaryzowanego (3.4),
- kontroli działania anod galwanicznych (3.5).

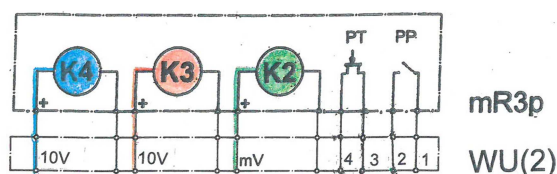
Uwaga 3. W przypadkach, w których nie jest konieczne zastosowanie wewnętrznego przerywacza rejestratora **mR3p**, dalej na schematach montażowych pokazano tylko rejestrator **mR4**.

2.1.2 Wtyczka uniwersalna **WU(2)** w układzie (2)

Przewody pomiarowe w układzie (2) należy podłączyć do zacisków wtyczki **WU** rejestratora **mR4** wg rys. 2.3a lub do zacisków wtyczki **WU** rejestratora **mR3p** wg rys. 2.3b.



Rys. 2.3a. Rejestrator **mR4** i wtyczka **WU(2)** w układzie (2).
Schemat uproszczony



Rys. 2.3b. Rejestrator **mR3p** i wtyczka **WU(2)** w układzie (2).
Schemat uproszczony

Umożliwia to działanie rejestratora jako:

- woltomierza – kanał **K4**, zacisk $\pm 10\text{V}$, $2.25\text{M}\Omega$,
- woltomierza – kanał **K3**, zacisk $\pm 10\text{V}$, $2.25\text{M}\Omega$,
- mikrowoltomierza/amperomierza/miliamperomierza – kanał **K2**, zacisk mV , $100\text{k}\Omega$,
- mikrowoltomierza/amperomierza/miliamperomierza – kanał **K1**, zacisk mV , $100\text{k}\Omega$.

Uwaga 1. Układ (2) przewidziano do stosowania, gdy w kanałach pracujących jako woltomierze wymagana jest rozdzielczość $10\mu\text{V}$.

Uwaga 2. Zależnie od spodziewanej wartości napięcia/prądu w kanałach **K1** i **K2**, pracujących jako mikrowoltomierze/amperomierze/miliamperomierze, należy w programie **mRgui** (cz. II, 3.3.2.2 i 5.4) wybrać $\pm 290\text{mV}$ (rozdzielczość $1\mu\text{V}$) lub $\pm 18\text{mV}$ (rozdzielczość $0.1\mu\text{V}$).

Uwaga 3. W przypadkach, w których nie jest konieczne zastosowanie wewnętrznego przerywacza rejestratora **mR3p**, pokazano dalej na schematach montażowych tylko **mR4**.

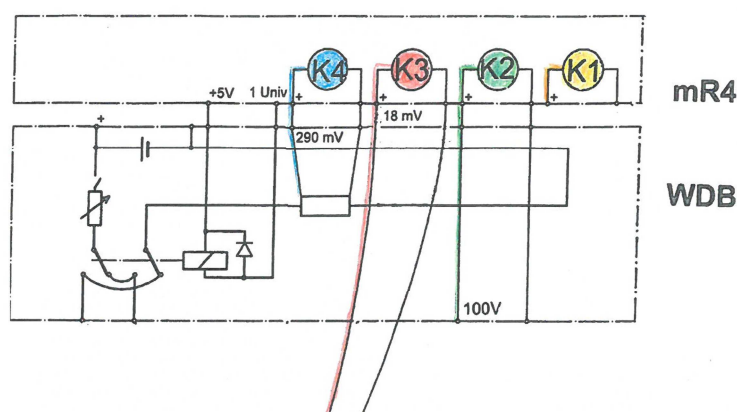
Uwaga 4. Wtyczka **WU(2)** w układzie (2) różni się od wtyczki **WU(1)** nastawami woltomierzy **K4** i **K3**. Dysponując jedną wtyczką **WU** można łatwo zmienić **WU(1)** w **WU(2)** wypinając przewody z zacisków '4' ($\pm 100\text{V}$) kanałów **K4** i **K3** i wpinając je do zacisków '1' ($\pm 10\text{V}$) tych kanałów.

W układzie (2) wtyczka **WU(2)** może w ochronie katodowej służyć m. in. do:

- pomiaru potencjału jak za pomocą wtyczki **WU(1)** (3.1),
- pomiaru prądów błędnych w ziemi (4.1),
- pomiaru oddziaływania ochrony katodowej rurociągu na sąsiednią konstrukcję (4.2),
- pomiaru potencjałów konstrukcji odizolowanych złączem izolującym (4.3),
- kontroli jakości złącza izolującego (4.4),
- badania rezystancji układu rura produktowa – osłona (4.5),
- pomiaru prądu w rurociągu (4.6),
- oceny stanu powłoki rurociągu (4.7).

2.2 Wtyczki dedykowane **WD**

Dedykowane wtyczki **WD** służą do pomiarów specjalistycznych w ochronie katodowej.



Rys. 2.2.1. Rejestrator **mR4** z wtyczką dedykowaną **WDB**.
Wtyczka zawiera własne źródło prądowe i przerywacz.
Schemat uproszczony

Wtyczka **WDB** (rys. 2.2.1) może być stosowana:

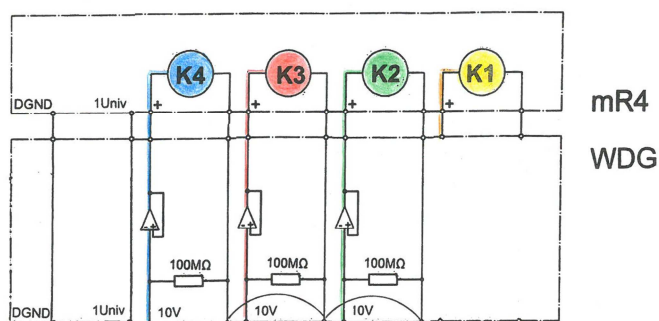
- do kalibracji **Bocznika** rurociągowego (5.1),
- do pomiaru prądu (5.2),
- do badania stanu powłoki rurociągu (5.3),

-do kontroli jakości złącza izolującego (5.4).

Uwaga. W gazownictwie zamiast pojęcia *bocznika rurociągowego* używa się terminu ‘punkt prądowy’, a zamiast pojęcia *kalibracji bocznika* – terminu ‘skalowanie punktu prądowego’.

Wtyczka **WDG** (rys. 2.2.2) może być stosowana:

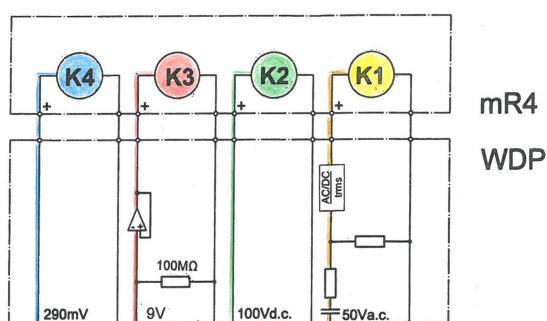
- do pomiaru liniowego Gradientu potencjału i różnic potencjałów – (6.1),
- do pomiaru liniowego potencjałów – (6.2),
- do pomiaru liniowego metodą pomiarowo-ekstrapolacyjną (6.3).



Rys. 2.2.2. Rejestrator **mR4** z wtyczką dedykowaną **WDG** do pomiaru potencjału i gradientów.
Każdy kanał **K2**, **K3**, **K4** o rezystancji wewnętrznej 100Ω ..
Schemat uproszczony

Wtyczka **WDP** (rys. 2.2.3) może być stosowana:

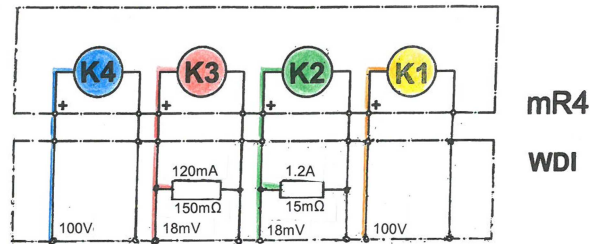
- do pomiaru napięcia Przemiennego (7.1),
- do korelacji potencjału i napięcia (7.2),
- do pomiaru liniowego metodą potencjałową (7.3),
- do pomiaru prądu (7.4).



Rys. 2.2.3. Rejestrator **mR4** z wtyczką dedykowaną **WDP** do pomiaru sygnałów a.c. i d.c.
W kanale **K3** rezystancja wewnętrzna 100Ω ..
Schemat uproszczony

Wtyczka **WDI** (rys. 2.2.4) dedykowana do pomiarów małych prądów **I** może zawierać boczniki pomiarowe dobrane według potrzeb użytkownika, np. o zakresach: 3A, 2.5A, 2A, 1.8A, 1.5A, 1.2A, 1A, 0.8A, 0.6A, 0.45A, 0.36A, 0.3A, 0.25A,

0.225A, 0.21A, 0.2A, 150mA, 120mA, 100mA, 80mA, 72mA, 50mA, 18mA, 11.25mA, 1.8mA, 180 μ A.

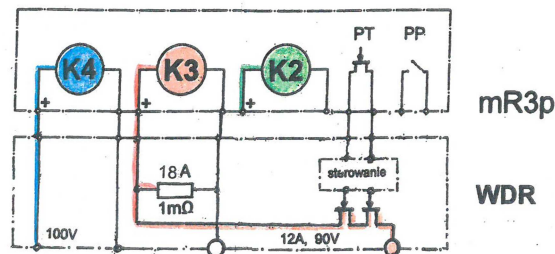


Rys. 2.2.4 Rejestrator **mR4** z wtyczką dedykowaną **WDI** do pomiaru sygnałów prądowych, tu przykładowo z bocznikami o zakresach **K2**: 3A, 6m Ω , **K3**: 0.6A, 30m Ω . Schemat uproszczony

Uwaga. Dzięki bardzo dużej rozdzielczości pomiaru jest możliwe stosowanie boczników o niewielkiej rezystancji wewnętrznej, dzięki czemu pomiar prądu nie powoduje istotnych zakłóceń.

Wtyczka **WDR** (rys. 2.2.5) zasilana z zewnątrz, zawiera sterowany przez rejestrator **mR3p** przerywacz, produkowany w wersjach (do wyboru):

- 12A, 90V,
- 16A, 50V,
- 25A, 20V.



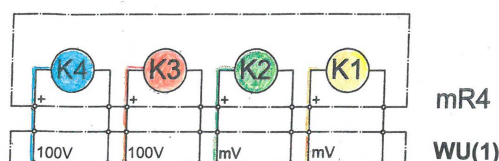
Rys. 2.2.5. Rejestrator **mR3p** z wtyczką dedykowaną **WDR** do przerywania prądu. Schemat uproszczony

Inne wtyczki **WD** w opracowaniu.

Niektóre wtyczki dedykowane **WD** – inaczej niż uniwersalne – przyłącza się do rejestratora kablem zakończonym złączem D-SUB DB25/F. Wejścia są na stałe przypisane odpowiednim kanałom i zakresom pomiarowym. Identyfikację kanałów ułatwiają przypisane im kolory.

Na życzenie mogą być wykonane wtyczki **WD** dostosowane do indywidualnych potrzeb.

3 ZASTOSOWANIA WTYCZKI UNIWERSALNEJ WU(1)



Rys. 3. Rejestrator **mR4** i wtyczka **WU(1)** w układzie (1).
Schemat uproszczony

3.1 Potencjał rurociągu

Kontrola potencjału jest badaniem podstawowym, które w znacznym stopniu umożliwia ocenę stanu rurociągu i urządzeń ochrony katodowej. Pomiar można wykonać wszędzie, gdzie na powierzchnię ziemi wyprowadzono kable do pomiaru potencjału rurociągu: w stacjach pomiarowych **P** (z użyciem elektrody odniesienia przenośnej), **PE** (z użyciem elektrody odniesienia stałej), **PDE** (wyposażonej w przewody drenażowe, z użyciem elektrody odniesienia stałej) i innych (1.20).

3.1.1 Pomiar potencjału załączeniowego

Cel pomiaru: Kontrola działania ochrony katodowej.

Cel pomiaru: Kontrola działania ochrony katodowej.

Potencjał załączeniowy E_{ON} mierzony w kolejnych stacjach pomiarowych daje pewien pogląd co do stanu ochrony katodowej oraz stanu powłoki izolacyjnej rurociągu. Jeśli podczas poprzednich pomiarów wykonanych jedną z metod eliminujących spadek napięcia IR , np. wyłączeniową (3.1.2) lub intensywną (6) stwierdzono spełnienie kryteriów ochrony katodowej i zmierzony potencjał załączeniowy E_{ON} spełnia warunek

$$E_{ON} \leq E'_{ON},$$

gdzie E'_{ON} – zmierzony wcześniej potencjał załączeniowy, to można przyjąć, że ochrona katodowa jest nadal zapewniona.

Wykonując pomiary należy jako regułę przyjąć kontrolę działania elektrody stałej. W tym celu należy użyć dodatkową elektrodę przenośną (rys. 3.1.1a, 3.1.1b).

Uwaga. W podanych dalej przykładach dla uproszczenia pominięto kontrolę działania elektrod stałych.

Pomiar potencjału załączeniowego E_{ON} należy wykonywać raz na rok we wszystkich stacjach pomiarowych badanego rurociągu [ST-IGG-0602, tabl. 6(1)].

Parametr mierzony:

- potencjał załączeniowy E_{ON} (V1/**K4**), elektroda stała,
- potencjał załączeniowy E_{ON} (V2/**K3**), elektroda przenośna.

Układ zewnętrzny i nastawy:

- w stacji SOK załączony roboczy prąd ochrony,
- przerywacz prądu zbędny,
- krok zapisu 1/2s,
- czas trwania pomiaru do kilku minut.

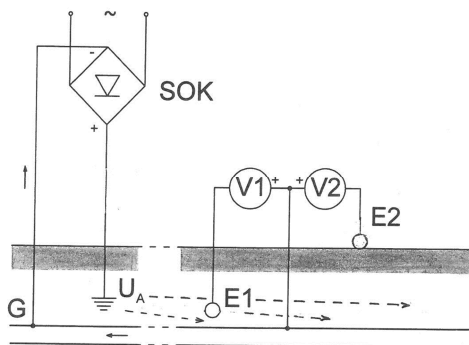
Spodziewane wyniki:

- potencjał załączeniowy E_{ON} (V1/K4) do ok. $-2,5V$, elektroda stała,
- potencjał załączeniowy E_{ON} (V2/K3) do ok. $-2,5V$, elektroda przenośna.

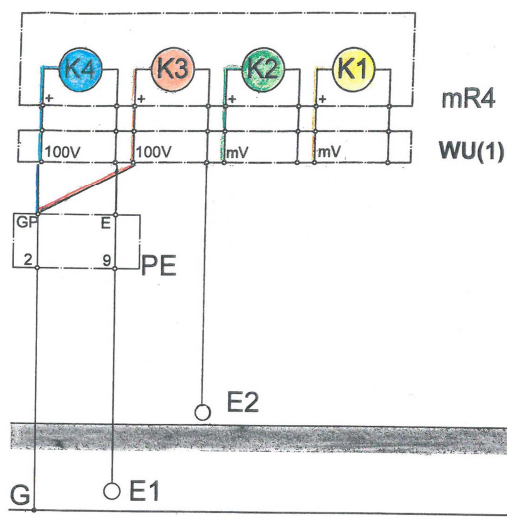
Uwaga. W rejonach oddziaływania prądów błędnych potencjał może zmieniać się w większych granicach chwilami może przybierać nawet wartości dodatnie.

Schematy:

- ideowy rys. 3.1.1a,
- montażowy rys. 3.1.1b.



Rys. 3.1.1a. Pomiar potencjału załączeniowego.
Elektroda przenośna dla kontroli elektrody stałej.
Schemat ideowy



Rys. 3.1.1b. Pomiar potencjału w stacji PE.
Elektroda przenośna dla kontroli elektrody stałej.

Sprzęt:

-przenośna elektroda odniesienia	szt. 1,
-tablet lub telefon	szt. 1,
-rejestrator mR4/mR3p	szt. 1,
-wtyczka uniwersalna WU(1)	szt. 1.

Informacja:

- PN-EN 12954:2001. *Ochrona katodowa konstrukcji metalowych w gruntach lub w wodach. Zasady ogólne i zastosowania dotyczące rurociągów*, 4.2, 10.3.3.2,
- PN-EN 13509:2006. *Metody pomiarowe w ochronie katodowej*, 4.4.1,
- ST-IGG-0602:2009. *Standard Techniczny. Ochrona przed korozją zewnętrzną stalowych gazociągów lądowych. Projektowanie, budowa i użytkowanie*, 6.7,
- CEOCOR. *Pomiary w ochronie katodowej przed korozją. Poradnik*, 2.1, 2.7.1.1,
- Marek Fiedorowicz. *Ochrona katodowa – potencjały konstrukcji*. Ochrona przed Korozją, 8/2012, s. 340,
- Marek Fiedorowicz, Michał Jagiełło. *Problemy z wyznaczaniem potencjału w nieszczelnościach rurociągu*, Ochrona przed Korozją, 8/2004, s. 195.

3.1.2 Pomiar potencjału wyłączeniowego

Cel pomiaru: Kontrola działania i ocena skuteczności ochrony katodowej.

Potencjał wyłączeniowy E_{OFF} dostarcza więcej informacji o stanie i skuteczności ochrony katodowej rurociągu niż sam potencjał załączeniowy. Potencjał wyłączeniowy jest średnim potencjałem polaryzacji wszystkich odsłoniętych miejsc metalowej konstrukcji, mających styczność z elektrolitem w glebie. Mówiąc w skrócie – jest potencjałem wszystkich defektów powłoki (nieszczelności, porów i in.). Im mniejsza rezystancja przejścia defektu, tym większy jest jego udział w potencjale wypadkowym. Przy założeniu, że defekty mają podobny kształt i są usytuowane w gruncie o takiej samej rezystywności, największy udział w potencjale E_{OFF} będą miały defekty największe.

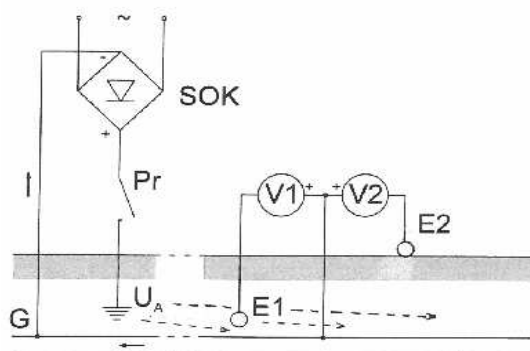
$$E_{OFF} = \frac{\sum \frac{E_i}{R_i}}{\sum \frac{1}{R_i}}$$

W przypadku relatywnie krótkich rurociągów, ułożonych w jednorodnym gruncie, potencjał wyłączeniowy może być więc niekiedy tożsamy z potencjałem polaryzacji E_{IRfree} , który występuje w potencjałowym kryterium ochrony i może służyć do oceny skuteczności ochrony katodowej. Można wówczas przyjąć, że ochrona jest skuteczna [ST-IGG-0602, 6.2], gdy potencjał wyłączeniowy E_{OFF} jest bardziej ujemny od potencjału ochrony E_p ($E_{OFF} \leq E_p$).

Pomiar potencjału wyłączeniowego należy wykonać co dwa lata we wszystkich stacjach pomiarowych badanego rurociągu [ST-IGG-0602, tabl. 6 (5)].

Parametry mierzone:

- potencjały załączeniowe i wyłączeniowe
.E(V1/K4), elektroda stała,
.E(V2/K3), elektroda przenośna.



Rys. 3.1.2a. Pomiar potencjału wyłączeniowego (czynny przerywacz).
Elektroda przenośna służy do kontroli elektrody stałej.
Schemat ideowy

Układ zewnętrzny i nastawy:

- załączony prąd ochrony, OFF = np. 1s, (OFF + ON) = np. 5s,
- krok zapisu 1/8s,
- czas trwania pomiaru do kilku minut.

Spodziewane wyniki:

- potencjał E(V1/K4) do ok. -2,5V, E_{OFF} od ok. -0,5 V do -1,2 V, elektroda stała,
- potencjał E(V2/K3) do ok. -2,5V, E_{OFF} od ok. -0,5 V do -1,2 V, elektroda przenośna.

Uwaga. W rejonach oddziaływania prądów błędnych potencjał może zmieniać się w większych granicach.

Schematy:

- ideowy rys. 3.1.2a,
- montażowy rys. 3.1.1b.

Sprzęt:

- | | |
|---|---------|
| -przenośna elektroda odniesienia | szt. 1, |
| -tablet lub telefon | szt. 1, |
| -rejestrator mR4/mR3p | szt. 1, |
| -wtyczka uniwersalna WU(1) | szt. 1, |
| -przerywacz (niezbędny w stacjach SOK bez wbudowanego systemu przerywania prądu) | szt. 1. |

Informacja:

-PN-EN 12954:2001. *Ochrona katodowa konstrukcji metalowych w gruntach lub w wodach. Zasady ogólne i zastosowania dotyczące rurociągów*, 4.2, 10.3.3.2,

- PN-EN 13509:2006. *Metody pomiarowe w ochronie katodowej*, 4.4.2,
- ST-IGG-0602:2009. *Standard Techniczny. Ochrona przed korozją zewnętrzną stalowych gazociągów lądowych. Projektowanie, budowa i użytkowanie*, 6.2,
- CEOCOR. *Pomiary w ochronie katodowej przed korozją. Poradnik*, 2.1, 2.3.3, 2.7.1.2,
- Marek Fiedorowicz. *Ochrona katodowa – potencjały konstrukcji*. Ochrona przed Korozją, 8/2012, s. 340,
- Marek Fiedorowicz, Michał Jagiełło. *Problemy z wyznaczaniem potencjału w nieszczelnościach rurociągu*, Ochrona przed Korozją, 8/2004, s. 195.

3.2 Prądy błędzące pochodzenia trakcyjnego

Cel pomiaru: Ocena oddziaływania trakcyjnych prądów błędzących na chroniony rurociąg.

Badania wykonuje się w miejscach, w których można się spodziewać prądów błędzących, przede wszystkim na skrzyżowaniach i zbliżeniach do zelektryfikowanych torów kolejowych i torów tramwajowych.

Pomiar należy wykonać raz na rok [ST-IGG-0602, tabl. 6 (2)]. Jednym parametrem mierzonym jest potencjał rurociągu E , a drugim napięcie U . Zależnie od sytuacji można mierzyć napięcie:

- rurociąg – tor (3.2.1),
- ziemia bliska rurociągu – tor (3.2.2),
- ziemia bliska toru – ziemia daleka toru (3.2.3).

3.2.1 Stacja pomiarowa w pobliżu toru

W pobliżu toru w stacji **P** lub **PE** jednoczesny pomiar potencjału E rurociągu i napięcia U między rurociągiem a torem.

Parametry mierzone:

- potencjał E (V1/**K4**),
- napięcie U (V2/**K3**).

Układ zewnętrzny i nastawy:

- stacja **SOK** załączona (normalne warunki eksploatacji),
- do stopki szyny przewód podłączyć specjalnym zaciskiem szynowym,
- krok zapisu 1/2s,
- czas trwania pomiaru w okresie największego natężenia ruchu

(PN-EN 50162:2006, 5.2.3),

.dla kolei co najmniej 24h (dla pełnej oceny oddziaływania jeden tydzień),

.dla tramwajów co najmniej 1h (dla pełnej oceny oddziaływania 24h).

Uwaga 1. Czas trwania pomiaru powyżej 8h może wymagać zewnętrznego zasilania rejestratora.

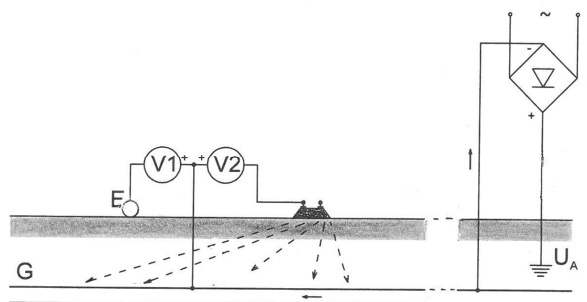
Spodziewane wyniki:

-potencjał E (V1/K4) od ok. +1 do ok. -5V,
 -napięcie U (V2/K3) do \pm kilkunastu V, na niektórych liniach kolejowych
 nawet rzędu $\pm 100V$.

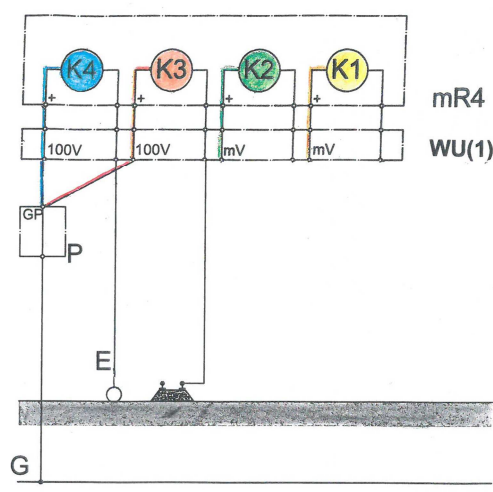
Uwaga 2. Obserwacja korelacji $E = f(U)$ ułatwia ocenę wyniku.

Schematy:

- ideowy rys. 3.2.1a,
- montażowy rys. 3.2.1b.



Rys. 3.2.1a. Badanie oddziaływanie prądów błędnych pochodzenia trakcyjnego w pobliżu toru.
 Schemat ideowy



Rys. 3.2.1b. Badanie oddziaływania prądów błędnych w pobliżu toru.
 Schemat montażowy

Sprzęt:

- przenośna elektroda odniesienia 1 szt.,
- zacisk szynowy (*Prądy błędzące*, s. 167) 1 szt.,
- tablet lub telefon 1 szt.,
- rejestrator **mR4/mR3p** 1 szt.,
- wtyczka uniwersalna **WU(1)** 1 szt.,
- zasilacz zewnętrzny, jeśli przewidywany czas pomiaru
 przekracza 8h 1 szt.

Informacja:

- PN-EN 12954:2001. *Ochrona katodowa konstrukcji metalowych w gruntach lub w wodach. Zasady ogólne i zastosowania dotyczące rurociągów*, 4.2, 10.3.3.2,
- PN-EN 13509:2006. *Metody pomiarowe w ochronie katodowej*, 4.2,
- PN-EN 50122-2:2011. *Zastosowania kolejowe. Urządzenia stacjonarne. Bezpieczeństwo elektryczne, uziemianie i sieć powrotna. Część 2: Środki ochrony przed skutkami prądów błędzących powodowanych przez systemy trakcji prądu stałego*, 10,
- PN-EN 50162:2006. *Ochrona przed korozją powodowaną przez prądy błędzące z układów prądu stałego*, 5.2, zał. B, zał. E,
- ST-IGG-0602:2009. *Standard Techniczny. Ochrona przed korozją zewnętrzną stalowych gazociągów lądowych. Projektowanie, budowa i użytkowanie*, 6.5, 9.4.1,
- CEOCOR. *Pomiary w ochronie katodowej przed korozją. Poradnik*, 2.7.2, 7.2.2,
- Władysław Dziuba. *Sieć powrotna i prądy błędzące*, 6.2.1, 6.3.1, 6.3.2,
- Marian Hanasz. *Upływność izolacji jako czynnik oceny zagrożenia konstrukcji podziemnych przez prądy błędzące*. *Ochrona przed Korozją 2/1994*, s. 25,
- Wojciech Sokólski. *Metoda korelacyjna badania prądów błędzących – technika ciągle nieznormalizowana*. *Ochrona przed Korozją 8/2013*, s. 320,
- Wojciech Sokólski. *Korozja rurociągów stalowych pod wpływem oddziaływań*. *Ochrona przed Korozją 8/2014*, s. 293.

3.2.2 Rurociąg w pobliżu toru

Gdy rurociąg jest usytuowany w pobliżu toru, gdzie nie ma stacji pomiarowej, niezbędne są dwa rejestratory. Należy w najbliższej stacji jednym rejestratorem mierzyć potencjał E_1 rurociągu, a drugim rejestratorem synchronicznie mierzyć potencjał E_2 toru w stosunku do ziemi dalekiej toru (w kierunku rurociągu).

Parametry mierzone:

- potencjał E_1 rurociągu (V1/**K4**), (rys. 3.1.1b) – rejestrator nr 1,
- potencjał E_2 toru (V2/**K4**), (rys. 3.2.2b) – rejestrator nr 2.

Układ zewnętrzny i nastawy:

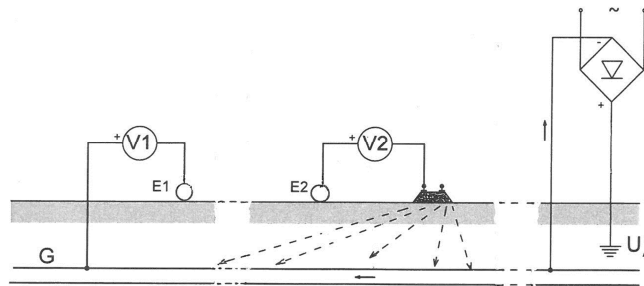
- stacja **SO**K załączona (normalne warunki zasilania),
- rejestrator nr 1 mierzy potencjał E_1 (V1/**K4**) rurociągu w najbliższej stacji pomiarowej **P**,
- rejestrator nr 2 mierzy potencjał E_2 (V2/**K4**) – ziemia daleka toru,
- do stopki szyny przewód podłączyć specjalnym zaciskiem szynowym,
- krok zapisu 1/2s,
- czas trwania pomiaru w okresie największego natężenia ruchu

(PN-EN 50162:2006, 5.2.3),

.dla kolei co najmniej 24h, dla pełnej oceny oddziaływania jeden tydzień,

.dla tramwajów: co najmniej 1h, dla pełnej oceny oddziaływania 24h.

Uwaga 1. Czas trwania pomiaru powyżej 8h może wymagać zewnętrznego zasilania rejestratora.



Rys. 3.2.2a. Badanie oddziaływanie prądów błędnych pochodzenia trakcyjnego.
Stacja P daleko od toru.
Schemat ideowy

Spodziewane wyniki:

- potencjał E_1 rurociągu (V1/K4) od ok. +1 do ok. -5V (rejestrator nr 1),
- potencjał E_2 toru(V2/K4) do \pm kilkunastu V (rejestrator nr 2).

Uwaga 2. Na podstawie tych wyników po zakończeniu pomiaru można zbadać korelację:

$$E = f(U),$$

gdzie:

$$E = E_1,$$

$$U = E_2 \quad \text{lub} \quad U = E_1 - E_2.$$

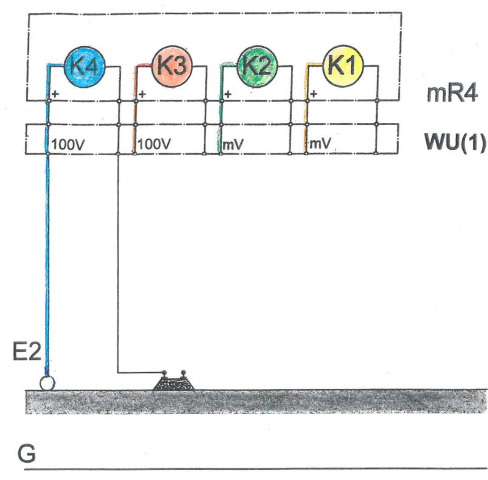
Schematy:

-ideowy rys. 3.2.2a,

-montażowe

.rys. 3.1.1b (rejestrator nr 1),

.rys. 3.2.2b (rejestrator nr 2).



Rys. 3.2.2b. Badanie oddziaływania prądów błędnych pochodzenia trakcyjnego.
Rejestrator nr 2 mierzy potencjału toru (ziemia daleka).

Sprzęt:

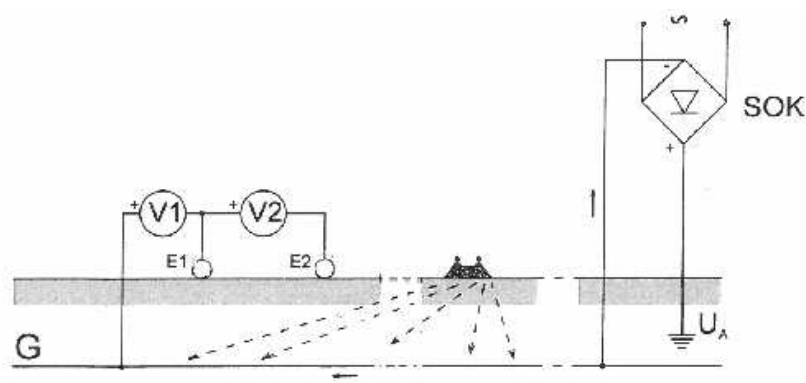
-przenośna elektroda odniesienia	2 szt.,
-zacisk szynowy (<i>Prądy błędzące</i> , s. 167)	1 szt.,
-tablet lub telefon	1 szt.,
-rejestratory mR4/mR3p	2 szt.,
-wtyczka uniwersalna WU(1)	2 szt.,
-zasilacz zewnętrzny, jeśli przewidywany czas pomiaru przekracza 8h	2 szt.

Informacja:

p. 3.2.1.

3.2.3 Rurociąg narażony na oddziaływanie odległego toru

Gdy na potencjał rurociągu wpływa odległy tor zelektryfikowany, należy zmierzyć potencjał E_1 w stacji pomiarowej, jednocześnie mierząc różnicę potencjałów $\Delta E = E_1 - E_2$ w maksymalnej możliwej do realizacji długości w kierunku prostopadłym do tego toru.



Rys. 3.2.3a. Badanie oddziaływania prądów błędzących pochodzących od odległego toru. Pomiar potencjału rurociągu i różnicy potencjałów ziemi w kierunku toru. Schemat ideowy

Parametry mierzone:

- potencjał E_1 rurociągu (V1/**K4**),
- różnica potencjałów ziemi $E_1 - E_2 = \Delta E$ (V2/**K3**).

Układ zewnętrzny i nastawy:

- stacja **SOK** załączona,
- między elektrodami E1 i E2 największa możliwa odległość w kierunku prostopadłym do toru,
- krok zapisu 1/2s,
- czas trwania pomiaru w okresie największego natężenia ruchu (PN-EN 50162:2006, 5.2.3)

.dla kolei co najmniej 24h, dla pełnej oceny oddziaływania jeden tydzień,

.dla tramwajów co najmniej 1h, dla pełnej oceny oddziaływania 24h.

Uwaga 1. Czas trwania pomiaru powyżej 8h może wymagać zewnętrznego zasilania rejestratora.

Spodziewane wyniki:

-potencjał E_1 (V1/K4) od ok. 0 V do ok. -3V,

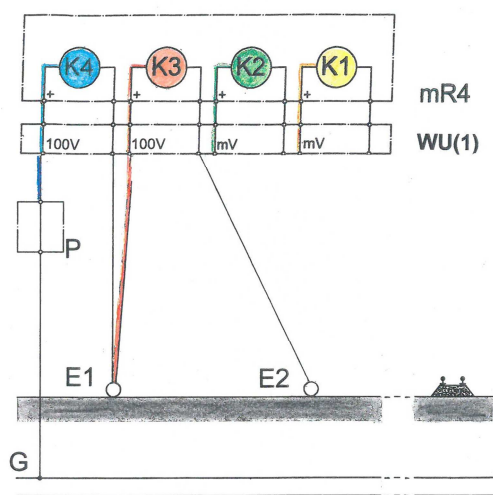
-różnica potencjałów $E_1 - E_2 = \Delta E$ (V2/K3) do $\pm 2V$.

Uwaga 2. Obserwacja korelacji $E = f(\Delta E)$ ułatwia ocenę wyniku.

Schematy:

-ideowy rys. 3.2.3a,

-montażowy rys. 3.2.3b.



Rys. 3.2.3b. Badanie oddziaływania prądów błędnych pochodzącego od odległego toru.
Pomiar potencjału rurociągu i różnicy potencjałów w ziemi.
Schemat montażowy

Sprzęt:

-przenośna elektroda odniesienia 2 szt.,

-tablet lub telefon 1 szt.,

-rejestrator **mR4/mR3p** 1 szt.,

-wtyczka uniwersalna **WU(1)** 1 szt.,

-zasilacz zewnętrzny, jeśli przewidywany czas pomiaru przekracza 8h) 1 szt.

Informacja:

Jak 3.2.1.

3.2.4 Pomiar prądu w symulowanym defekcie powłoki izolacyjnej

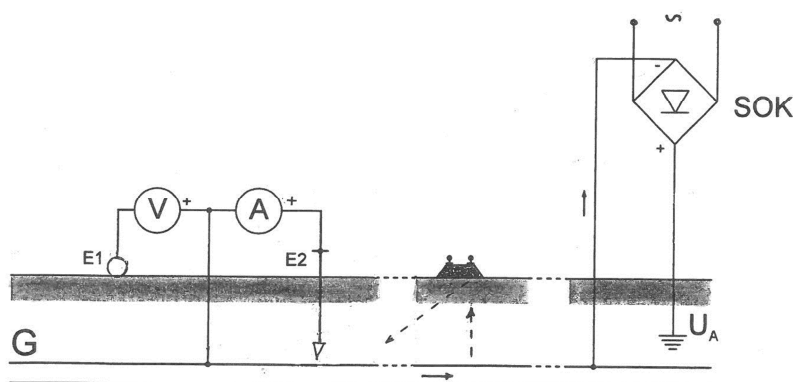
Oddziaływanie prądu błędного na rurociąg podziemny można zbadać w sposób podany w normie PN-EN 50162, zał. D). Za pomocą sondy w postaci izolowanej szpilki stalowej o gołym ostrzu, wbitej w grunt na głębokość rurociągu

mierzy się w tym celu potencjał rurociągu E_1 i jednocześnie płynący w ziemi prąd I . Ostrze symuluje defekt powłoki.

Przy dłuższej rejestracji, potrzebnej do spolaryzowania szpilki, można wykorzystać trzeci kanał pomiarowy do pomiaru potencjału E_{IRfree} (odłączeniowego). W obwodzie ze szpilką trzeba zamontować przerywacz (np. **mR3p**), za przerywaczem należy od strony szpilki podłączyć kanał do pomiaru potencjału szpilki za pomocą drugiej elektrody. Zamiast szpilki można też używać na stałe zakopanego czujnika.

Parametry mierzone:

- potencjał E_1 rurociągu (V/**K4**),
- prąd I (A/**K2**).



Rys. 3.2.4a. Pomiar prądu w ziemi wg PN-EN 50126.
Prąd I wpływa do sondy.
Schemat ideowy

Układ zewnętrzny i nastawy:

- stacja **SOK** załączona (normalne warunki eksploatacji),
- dla **K2** wybrać w **mRgui** zakres 18mV,
- krok zapisu 1/2s,
- czas trwania pomiaru w okresie największego natężenia ruchu

(PN-EN 50162:2006, 5.2.3)

.dla kolei co najmniej 24h, pełna ocena oddziaływania jeden tydzień,

.dla tramwajów: co najmniej 1h, pełna ocena oddziaływania 24h.

Uwaga 1. Czas trwania pomiaru powyżej 8h może wymagać zewnętrznego zasilania rejestratora.

Uwaga 2. Wykonanie pomiaru ułatwia zastosowanie wtyczki dedykowanej **WDI** (8.1).

Spodziewane wyniki:

- potencjał E_1 (V/**K4**) od ok. +1 do ok. -5V ,
- prąd I (A/**K2**) do ± 10 mA.

Uwaga 3. Wynik pomiaru umożliwia obserwację korelacji $E = f(I)$.

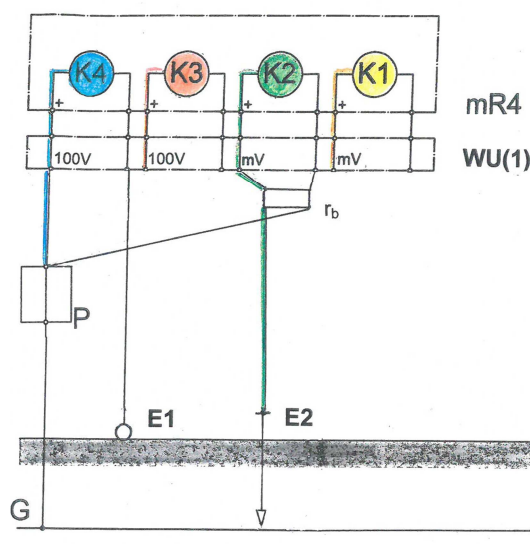
Schematy:

- ideowy rys. 3.2.4a,

-montażowy rys. 3.2.4b.

Sprzęt:

-bocznik r_b : 18mA, 1.0 Ω	1 szt.,	
-przenośna elektroda odniesienia	1 szt.,	
-sonda stalowa izolowana (PN-EN 50162:2006, zał. D)		1 szt.,
-tablet lub telefon	1 szt.,	
-rejestrator mR4/mR3p	1 szt.,	
-wtyczka uniwersalna WU(1)	1 szt.,	
-zasilacz zewnętrzny,		
jeśli przewidywany czas pomiaru przekracza 8h	1 szt.	



Rys. 3.2.4b. Pomiar prądu w ziemi wg PN-EN 50126.
Sonda stalowa E2 wbita na głębokość rurociągu.
Schemat montażowy

Informacja:

PN-EN 50162:2006. *Ochrona przed korozją powodowaną przez prądy błądzące z układów prądu stałego*, zał. D

3.3 Stacja ochrony katodowej SOK ze źródłem zewnętrznym

Cel pomiaru: Kontrola działania stacji SOK.

Pomiar należy wykonać w następujących warunkach:

- stacja wyłączona,
- stacja załączona
 - praca potencjostatyczna (stała wartość nastawionego potencjału E),
 - praca galwanostatyczna (stała wartość nastawionego prądu I).

Uwaga 1. W zależności od rozwiązania należy sprawdzić działanie w warunkach (a) lub (a + b).

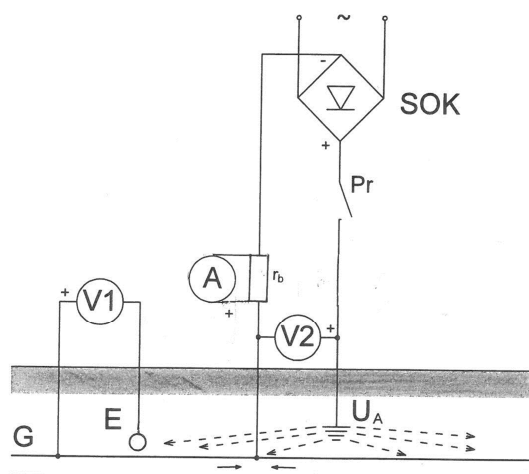
Stacje **SOK** nie dozorowane (nie monitorowane) zdalnie należy kontrolować co najmniej co dwa miesiące [ST-IGG-0602, 14.5.1].

Parametry mierzone:

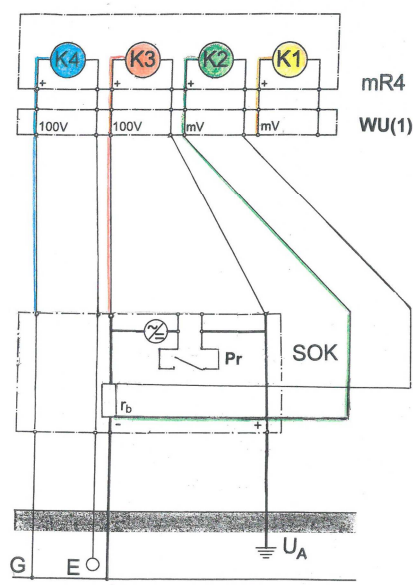
- potencjał załączeniowy i wyłączeniowy (V1/**K4**) rurociągu,
- napięcie U (V2/**K3**) na zaciskach wyjściowych stacji,
- prąd wyjściowy I (A/**K2**).

Układ zewnętrzny i nastawy:

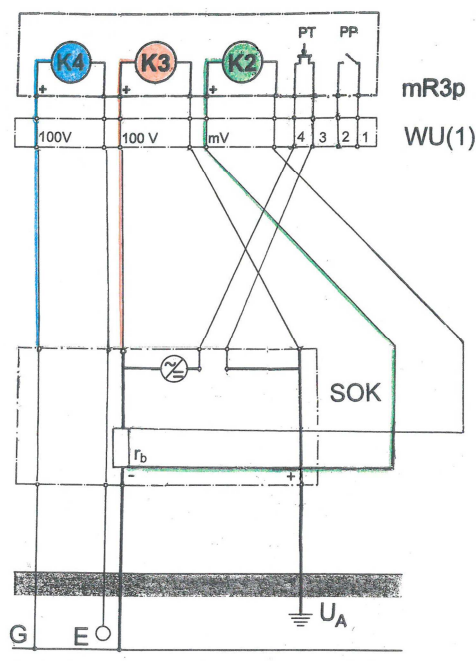
- wprowadzić dla **K2** (290mV) w **mRgui** (cz. II, 3.3.2.2 i 5.4) parametry wbudowanego bocznika pomiarowego stacji (A, mV),
- praca potencjostaticzna/galwanostaticzna,
- krok zapisu 1/2s,
- czas trwania kilkanaście minut,
- przerywacz OFF = np. 1s, (OFF + ON) = np. 5s.



Rys. 3.3a. Pomiar kontrolny w stacji ochrony katodowej **SOK**.
Schemat ideowy



Rys. 3.3b. Pomiar kontrolny rejestratorem **mR4**
w stacji ochrony katodowej **SOK** z wbudowanym przerywaczem.
Schemat montażowy



Rys. 3.3c. Pomiar kontrolny rejestratorem **mR3p**
w stacji ochrony katodowej **SOK** z wykorzystaniem przerywacza rejestratora.
Schemat montażowy

Spodziewane wyniki:

- potencjał E (V1/**K4**) do ok. $-2,5V$,
- napięcie wyjściowe U (V2/**K3**) do $60V$,
- prąd I (A/**K2**) od $1mA$ do $25A$.

Uwaga 2. Ocenę ułatwia obserwacja korelacji $E = f(U)$ i $E = f(I)$.

Sprzęt:

- przerywacz zewnętrzny szt. 1,
- tablet lub telefon szt. 1,
- rejestrator **mR4** lub **mR3p** szt. 1,
- wtyczka uniwersalna **WU(1)** szt. 1.

Schematy:

- ideowy rys. 3.3a,
- montażowy rys. 3.3b (rejestrator **mR4** i przerywacz zewnętrzny),
rys. 3.3c (wykorzystanie przerywacza rejestratora **mR3p**),
rys. 3.3d (rejestrator **mR3p** sterujący przerywaczem

we wtyczce **WDI**).

Informacja:

- PN-EN 13509:2005. *Metody pomiarowe w ochronie katodowej*, 4.4,

-ST-IGG-0602:2009. *Standard Techniczny. Ochrona przed korozją zewnętrzną stalowych gazociągów lądowych. Projektowanie, budowa i użytkowanie*, 14.5.1, 14.6.2,

-Wojciech Sokólski. *Metoda korelacyjna badania prądów błędzących – technika ciągle nieznormalizowana*, *Ochrona przed Korozją* 8/2013, s. 320.

3.4 Stacja drenażu polaryzowanego SDP

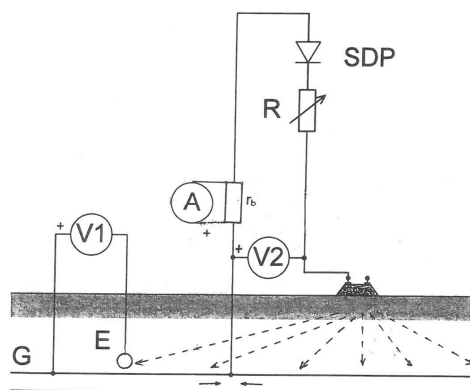
Cel pomiaru: Kontrola działania stacji **SDP**.

Prąd I w stacji drenażu **SDP** może mieścić się w granicach od paru amperów do 100A. Zależy to w znacznym stopniu od stanu powłoki rurociągu badanego, stanu obcej konstrukcji (torowiska kolei elektrycznej) i jej potencjału E w stosunku do ziemi.

Stacje drenażu polaryzowanego **SDP** nie dozorowane (nie monitorowane) zdalnie należy kontrolować raz w miesiącu (ST-IGG-0602, 14.5.3).

Parametry mierzone:

- potencjał E (V1/**K4**) rurociągu,
- napięcie U (V2/**K3**) między rurociągiem a torem,
- prąd wyjściowy I (A/**K2**).

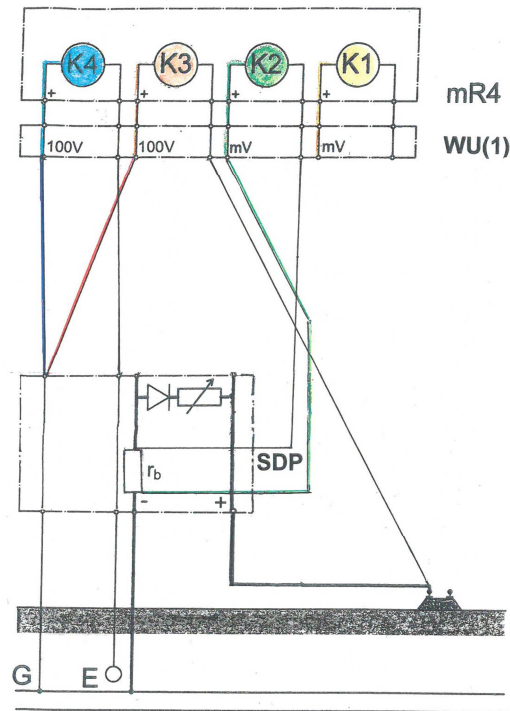


Rys. 3.4a. Pomiar kontrolny w stacji drenażu polaryzowanego **SDP**.
Schemat ideowy

Układ zewnętrzny i nastawy:

- pomiar w dwóch fazach
 - .stacja **SDP** wyłączona,
 - .stacja **SDP** załączona,
- wprowadzić dla **K2** (290mV) w *mRgui* (cz. II, 3.3.2.2 i 5.4) parametry wbudowanego bocznika pomiarowego stacji (A, mV),
- sprawdzić prawidłowość przyłączenia do szyny przewodów drenażu i pomiaru napięcia U (V2/**K3**),
- odległość punktu przyłączenia przewodu pomiaru napięcia od stałego punktu drenażu $\geq 1\text{m}$,
- stacja **SOK** wyłączona,
- krok zapisu 1/2s,

- czas trwania pomiaru w okresie największego natężenia ruchu (PN-EN 50162, 5.2.3),
- .dla kolei co najmniej 24h, dla pełnej oceny oddziaływania jeden tydzień,
- .dla tramwajów: co najmniej 1h, dla pełnej oceny oddziaływania 24h.



Rys. 3.4b. Pomiar kontrolny w stacji drenażu polaryzowanego **SDP**.
Schemat montażowy

- Uwaga 1. Aby sprawdzić, czy **SDP** działa, wystarczy pomiar kilkuminutowy (**SDP** OFF/ON), w którym napięcie przybierze wartości (+) i (-).
- Uwaga 2. Czas trwania pomiaru powyżej 8h może wymagać zewnętrznego zasilania rejestratora.
- Uwaga 3. Nie należy zmieniać nastaw rezystorów **SDP** przed wykonaniem pomiaru.

Spodziewane wyniki:

- potencjał E (V1/**K4**) do -2V, niekiedy nawet do -5V,
- napięcie U (V2/**K3**) do $\pm 20V$ i więcej,
- prąd I (A/**K2**) nawet do 100A.

Uwaga 4. Ocenę pracy **SDP** bardzo ułatwia obserwacja korelacji $E = f(U)$ i $E = f(I)$.

Uwaga 5. Wynik pomiaru może świadczyć o potrzebie zmiany nastaw rezystorów **SDP**.

Schematy:

- ideowy rys. 3.4a,
- montażowy rys. 3.4b.

Sprzęt:

- zacisk szynowy (*Prądy błędzące*, s. 167) szt. 1,

-tablet lub telefon	szt. 1,
-rejestrator mR4/mR3p	szt. 1,
-wtyczka uniwersalna WU(1)	szt. 1,
-zasilacz zewnętrzny,	
jeśli przewidywany czas pomiaru przekracza 8h	szt. 1.

Informacja:

-ST-IGG-0602:2009. *Standard Techniczny. Ochrona przed korozją zewnętrzną stalowych gazociągów lądowych. Projektowanie, budowa i użytkowanie*, 14.5.3, 14.6.2,

-Marian Hanasz. *Upływność izolacji jako czynnik oceny zagrożenia konstrukcji podziemnych przez prądy błędzące*. Ochrona przed Korozją 2/1994, s. 25,

-Wojciech Sokółski. *Metoda korelacyjna badania prądów błędzących – technika ciągle nieznormalizowana*, Ochrona przed Korozją 8/2013, s. 320,

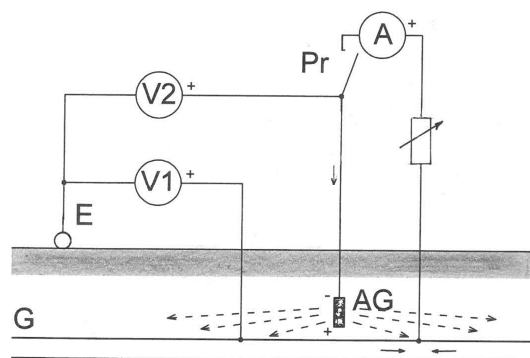
-Wojciech Sokółski. *Inteligentny drenaż elektryczny – koncepcja i realizacja*, Ochrona przed Korozją 5/2014, s. 195.

3.5 Stacja anod galwanicznych SAG

Cel pomiaru: Kontrola działania stacji anod galwanicznych **SAG**.

Anody galwaniczne (AG) stosuje się m. in. do ochrony rurociągów o wysokiej jakości powłoki. Ochrona może okazać się niewystarczająca w razie znacznego pogorszenia stanu izolacji lub zużycia materiału anod.

Stacje anod galwanicznych należy kontrolować co sześć miesięcy [ST-IGG-0602, 14.5.2].



Rys. 3.5a. Stacja anod galwanicznych SAG.
Schemat ideowy

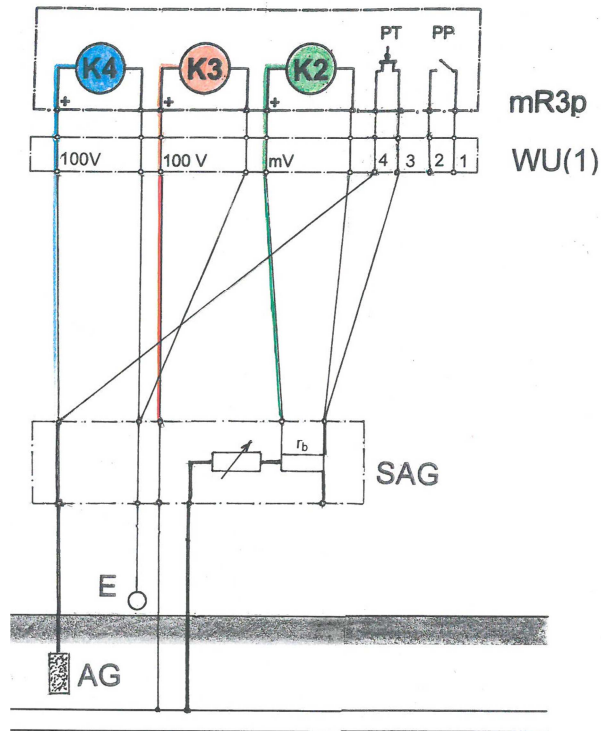
Parametry mierzone:

- potencjał anody załączeniowy i wyłączeniowy
. E_{ON} i E_{OFF} (V2/**K4**),
- potencjał rurociągu załączeniowy i wyłączeniowy
. E_{ON} i E_{OFF} (V1/**K3**),
- prąd ochrony I (A/**K2**).

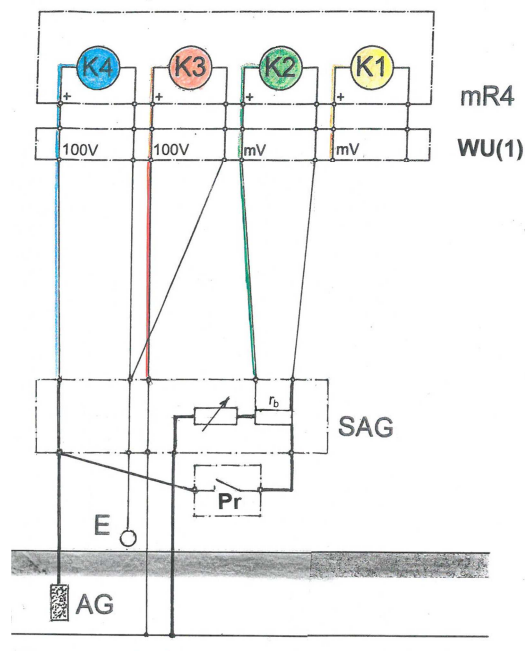
Układ zewnętrzny i nastawy:

- dla **K2** wybrać w **mRgui** wybrać zakres 18mV,
- przerywacz OFF = np. 1s, (OFF + ON) = np. 5s,
- czas trwania pomiaru: kilka minut,
- krok zapisu 1/2s.

Uwaga. Wykonanie pomiaru ułatwia zastosowanie wtyczki dedykowanej **WDI** (8.1).



Rys. 3.5b. Pomiar kontrolny rejestratorem **mR3p** w stacji anod galwanicznych **SAG** z wykorzystaniem przerywacza **PT** rejestratora.
Schemat montażowy



Rys. 3.5c. Pomiar kontrolny rejestratorem **mR4** w stacja anod galwanicznych **SAG**
z wykorzystaniem przerywacza zewnętrznego Pr.
Schemat montażowy

Spodziewane wyniki:

- potencjał rurociągu E_G (V1/**K3**) do $-1.5V$,
- potencjał anody E_A (V2/**K4**) do $-1.5V$,
- prąd I (A/**K2**) od ok. 0,01mA do ok. 10mA.

Schematy:

- ideoowy rys. 3.5a,
- montażowy rys. 3.5b (rejestrator **mR4** i przerywacz zewnętrzny),
- montażowy rys. 3.5c (wykorzystanie przerywacza rejestratora **mR3p**).

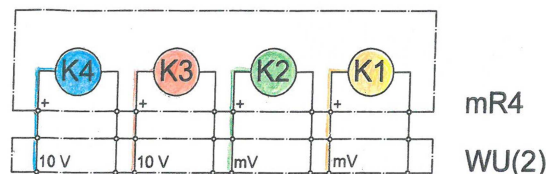
Sprzęt:

- | | |
|---|---------|
| -przenośna elektroda odniesienia | szt. 1, |
| -bocznik pomiarowy r_b : 18mA, 1.0Ω | szt. 1, |
| -tablet lub telefon | szt. 1, |
| -rejestrator mR4 lub mR3p | szt. 1, |
| -wtyczka uniwersalna WU(1) | szt. 1, |
| -przerywacz | szt. 1. |

Informacja:

- ST-IGG-0602:2009. *Standard Techniczny. Ochrona przed korozją zewnętrzną stalowych gazociągów lądowych. Projektowanie, budowa i użytkowanie*, 9.3, 14.5.2,
- Marek Fiedorowicz, Michał Jagiełło. *Dlaczego warto zabezpieczać podziemne rurociągi stalowe powłokami izolacyjnymi wysokiej jakości*, Ochrona przed Korozją 8/2009, s. 323,
- Marek Fiedorowicz, Michał Jagiełło. *Obliczenia ochrony katodowej rurociągu pokrytego powłoką izolacyjną o wysokim poziomie szczelności realizowanej za pomocą anod galwanicznych*, Ochrona przed Korozją 8/2014, s. 280,
- Marek Markiewicz, Paweł Stochaj. *Ochrona katodowa zbiorników za pomocą anod galwanicznych*, Nafta-Gaz czerwiec 2010, s. 493.

4 ZASTOSOWANIA WTYCZKI UNIWERSALNEJ WU(2)



Rys. 4a. Rejestrator **mR4** i wtyczka **WU(2)** w układzie (2).
Schemat uproszczony

4.1 Prądy ziemne

Cel pomiaru: Wykrycie prądów ziemnych (trakcyjnych, tellurycznych lub innego pochodzenia).

Cztery elektrody odniesienia: E_W , E_E i E_N , E_S rozstawione parami prostopadle w kierunkach WE i NS wyznaczają kierunek i zwrot składowych prądu. Kierunki par elektrod można wyznaczyć za pomocą GPS wbudowanego w rejestratorze **mR4/mR3p**. Na podstawie wyników pomiaru $\Delta U_{WE} \sim I_{WE}$ i $\Delta U_{NS} \sim I_{NS}$ w dalszej analizie (poza zakresem tego opracowania) można przedstawić graficznie kierunek i zwrot prądu wypadkowego. Prądy ziemne to najczęściej prądy błądzące pochodzenia trakcyjnego, lecz mogą to być również prądy telluryczne lub prądy generowane przez obce układy ochrony katodowej, układy spawalnicze, stacje elektroenergetyczne i podobne obiekty.

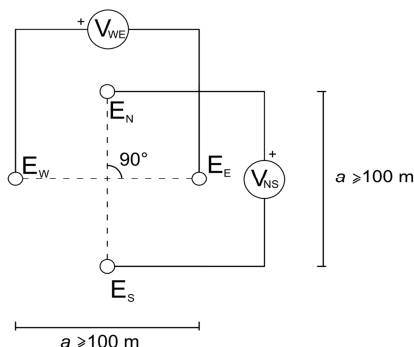
Pomiar wykonuje się w miarę potrzeby.

Parametry mierzone:

-potencjały

.równoleżnikowe $E_W - E_E = \Delta E_{WE}$ ($V_{WE}/K4$),

.południkowe $E_N - E_S = \Delta E_{NS}$ ($V_{NS}/K3$).

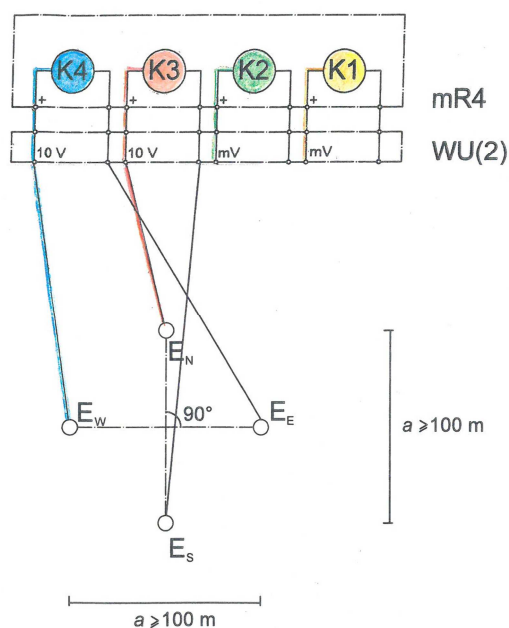


Rys. 4.1a. Badanie pola geoelektrycznego.
Schemat ideowy

Układ zewnętrzny i nastawy:

-elektrody przenośne w jednakowej odległości, $a \geq 100m$,

- prądy trakcyjne, krok zapisu stały 1/2s,
 - prądy telluryczne, krok zapisu zmienny, np. poniżej granicy anomalii 600s, powyżej granicy anomalii 1s,
 - czas trwania pomiaru prądów tellurycznych: stała obserwacja.
 - czas trwania pomiaru prądów trakcyjnych w okresie największego natężenia ruchu (PN-EN 50162, 5.2.3)
 - .kolej – co najmniej 24h, dla pełnej oceny oddziaływania jeden tydzień,
 - .tramwaje – co najmniej 1h, dla pełnej oceny oddziaływania 24h.
- Uwaga. Czas trwania pomiaru powyżej 8h może wymagać zewnętrznego zasilania rejestratora.



Rys. 4.1b. Badanie pola geoelektrycznego.
Schemat montażowy

Spodziewane wyniki:

- ΔE_{WE} ($V_{WE}/K4$), miliwołty,
- ΔE_{NS} ($V_{NS}/K3$), miliwołty.

Schematy:

- ideowy rys. 4.1a,
- montażowy rys. 4.1b.

Sprzęt:

- elektrody szpilkowe 4 szt.,
- GPS (wbudowany w rejestratorze, dołączyć antenę) 1 szt.,
- tablet lub telefon 1 szt.,
- rejestrator **mR4/mR3p** 1 szt.,
- wtyczka uniwersalna **WU(2)** 1 szt.

Informacja:

- Władysław Dziuba. *Sieć powrotna i prądy błędzące*, s. 155,

-Heinrich Brasse, Andreas Junge. *Einfluß erdmagnetischer Variationen auf den kathodischen Schutz von Rohrleitungen* (Badania wpływu wariacji geomagnetycznych na ochronę katodową rurociągów), gwf-gas/erdgas H4/1984, s. 194, rys. 1.

4.2 Oddziaływanie ochrony katodowej rurociągu na sąsiednią konstrukcję

Cel pomiaru: Ocena wzajemnego oddziaływania rurociągu i obcej konstrukcji.

Ochrona katodowa rurociągu własnego może powodować przesunięcie potencjału sąsiednich obcych konstrukcji. Może też zdarzyć się sytuacja odwrotna, kiedy ochrona katodowa obcej konstrukcji spowoduje przesunięcie potencjału badanego rurociągu. W obu przypadkach niezbędna jest kontrola, czy przesunięcie mieści się w dopuszczalnych granicach (PN-EN 50162, tabl. 1). W skrajnych okolicznościach może mieć miejsce zwarcie metaliczne obu konstrukcji.

W celu wyrównania potencjału E_G (V1/K4) rurociągu i potencjału E_K (V2/K3) sąsiedniej konstrukcji stosuje się zazwyczaj wbudowany na stałe rezystor regulacyjny R o odpowiednio dobranej obciążalności (PN-EN 50162, 7.8.5).

Uwaga 1. Przed wykonaniem pomiaru nie zmieniać nastawy rezystora R.

Pomiar należy wykonać w stacjach wyrównania potencjałów **PWP** badanego rurociągu co dwa lata [ST-IGG-0602, tabl. 6(6)].

Parametry mierzone:

-potencjały

. E_G (V1/**K4**) rurociągu,

. E_K (V2/**K3**) konstrukcji,

-prąd I (A/**K2**) między rurociągiem a konstrukcją.

Układ zewnętrzny i nastawy:

-prąd ochrony załączony, OFF = np. 1s, (OFF + ON) = np. 5s,

-wprowadzić dla **K2** (18mV) w *mRgui* (cz. II, 3.3.2.2 i 5.4) parametry

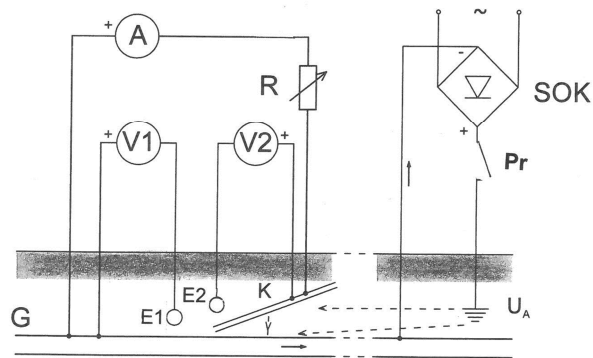
bocznika pomiarowego (A, mV),

-krok zapisu 1/8s,

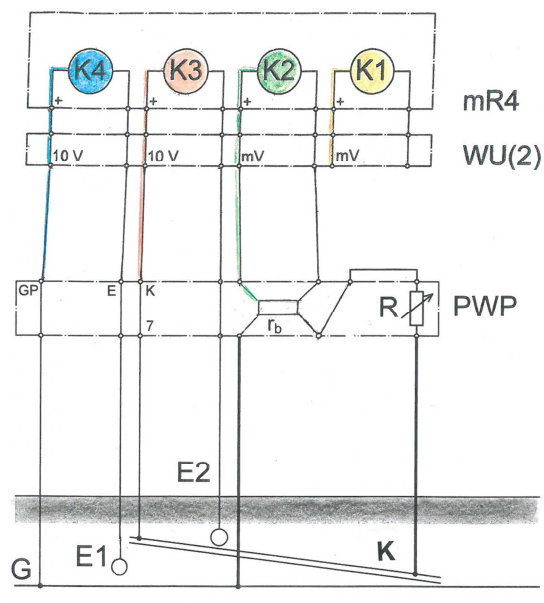
-przerywacz,

-czas trwania pomiaru: kilka cykli przerywania, w razie zauważenia anomalii dłużej.

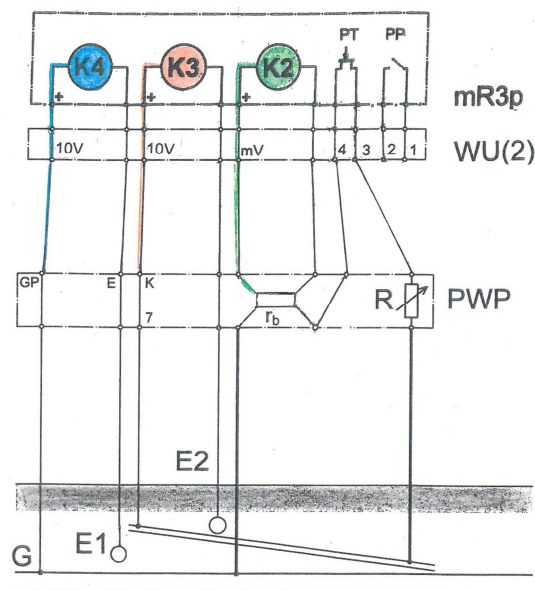
Uwaga 2. Wykonanie pomiaru ułatwia zastosowanie wtyczki dedykowanej **WDI** (8.2.1).



Rys. 4.2a. Badanie wzajemnego oddziaływania ochrony katodowej rurociągu i sąsiedniej konstrukcji **K**.
Schemat ideowy



Rys. 4.2b. Badanie wzajemnego oddziaływania ochrony katodowej rurociągu i sąsiedniej konstrukcji **K** z zastosowaniem rejestratora **mR4**. Czynnny przerywacz w stacji **SOK**.
Schemat montażowy



Rys. 4.2c. Badanie wzajemnego oddziaływania ochrony katodowej rurociągu i sąsiedniej konstrukcji K z zastosowaniem wewnętrznego przerywacza rejestratora **mR3p**.
Schemat montażowy

Spodziewane wyniki:

- potencjał E_G (V1/**K4**) do ok. $-2,5V$,
- potencjał E_K (V2/**K3**) do ok. $-2,5V$,
- prąd I (A/**K2**) do 1A.

Uwaga 3. Przesunięcie potencjału konstrukcji, na którą działa ochrona katodowa rurociągu $E_{ON} - E_{OFF}$, powinno się mieścić w granicach dopuszczalnych. Jeżeli jest inaczej, należy odpowiednio nastawić rezystor regulacyjny R.

Schematy:

- ideowy rys. 4.2a,
- montażowy (rejestrator **mR4**) rys. 4.2b.

Sprzęt:

- bocznik pomiarowy r_b : 1A, $18m\Omega$ 1 szt.,
- elektroda odniesienia przenośna (dla kontroli działania elektrody stałej) 1 szt.,
- tablet lub telefon 1 szt.,
- rejestrator **mR4** 1 szt.,
- wtyczka uniwersalna **WU(2)** 1 szt.,
- przerywacz zewnętrzny (w razie użycia rejestratora **mR4**) 1 szt.

Informacja:

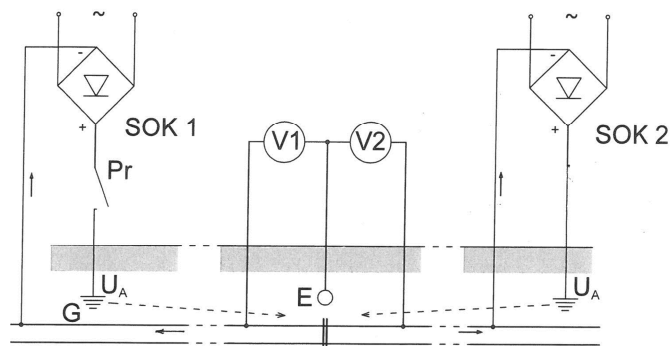
- PN-EN 50162:2006. *Ochrona przed korozją powodowaną przez prądy błędzące z układów prądu stałego*, 6, 7.8.5, tabl. 1,
- ST-IGG-0602:2009. Standard Techniczny. *Ochrona przed korozją zewnętrzną stalowych gazociągów lądowych. Projektowanie, budowa i użytkowanie*, 7, tabl. 6 (6),
- CEOCOR. *Pomiary w ochronie katodowej przed korozją*. Poradnik SEP i COSIW, Warszawa 2010, 5, 7.2.

4.3 Badanie złącza izolującego/monobloku. Pomiar potencjałów

Cel pomiaru: Kontrola stanu złącza izolującego/monobloku z powierzchni ziemi.

Jedną z metod badania złącza izolującego/monobloku jest pomiar potencjałów E_{ON} i E_{OFF} po obu jego stronach. Jeżeli rurociąg z obu stron złącza jest chroniony katodowo, to cykle przerywania ochrony katodowej powinny być asynchroniczne, alternatywnie należy przerywać prąd ochrony tylko po jednej stronie złącza (rys. 4.3a.).

Pomiar należy wykonać co dwa lata w stacjach pomiarowych **PM** badanego rurociągu [ST-IGG-0602, tabl. 6 (7)].



Rys. 4.3a. Pomiar potencjałów na monobloku/złączu izolującym.
Schemat ideowy

Parametry mierzone:

-potencjały ON/OFF

. E_1 (V1/**K4**) po stronie **SOK 1**,

. E_2 (V2/**K3**) po stronie **SOK 2**.

Układ zewnętrzny i nastawy:

-cykle przerywania powinny być asynchroniczne lub należy wyłączyć przerywacz w jednej stacji,

-krok zapisu 1/8s,

-czas trwania pomiaru: kilka cykli przerywania.

Spodziewane wyniki:

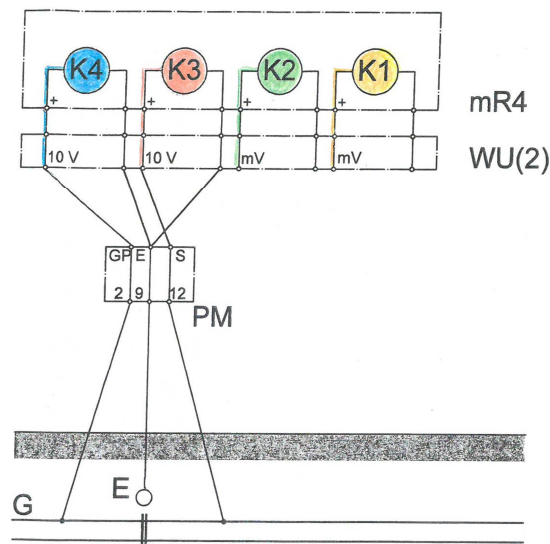
-potencjał E_1 (V1/**K4**) do -2.5 V,

-potencjał E_2 (V2/**K3**) do -2.5 V.

Jeśli nie widać zmian potencjału rurociągu/konstrukcji za złączem izolującym podczas przerywanej pracy ochrony katodowej rurociągu ($E_{ON} = E_{OFF}$), to prawdopodobnie złącze jest sprawne [ST-IGG-0602, 8.1.2]. Przesunięcie potencjału w fazie ON w kierunku wartości ujemnych może świadczyć o tym, że złącze izolujące nie jest w pełni sprawne, wykazuje zbyt małą rezystancję wzdłużną i część prądu ochrony katodowej przepływa przez złącze. Jednakowe potencjały po obu stronach złącza mogą świadczyć o zwarcie lub przebiciu złącza.

Uwaga. Zmierzone oddziaływanie ochrony katodowej na rurociąg/konstrukcję za

złączem izolującym nie musi być spowodowane niesprawnością złącza. W razie wątpliwości należy zbadać stan złącza (4.4.1 i 4.4.2). Korozja rurociągu w pobliżu złącza może świadczyć o wypływie prądu bocznikującego złącze [PN-EN 50162, 8.3.7].



Rys. 4.3b. Pomiar potencjałów na monobloku/złączu izolującym w stacji **PM**.
Schemat montażowy

Schematy:

- ideowy rys. 4.3a,
- montażowy rys. 4.3b.

Sprzęt:

- tablet lub telefon szt.1,
- rejestrator **mR4/mR3p** szt.1,
- wtyczka uniwersalna **WU(2)** szt. 1,
- przerywacz (w stacjach **SOK**,
bez wbudowanego systemu przerywania prądu) szt. 1.

Informacja:

- PN-EN 13509:2005. *Metody pomiarowe w ochronie katodowej*, 6.2, zał. K,
- ST-IGG-0601:2008. *Standard Techniczny. Ochrona przed korozją zewnętrzną stalowych gazociągów lądowych. Wymagania funkcjonalne i zalecenia*, 9,
- ST-IGG-0602:2009. *Standard Techniczny. Ochrona przed korozją zewnętrzną stalowych gazociągów lądowych. Projektowanie, budowa i użytkowanie*, 8.1.2.

4.4 Badanie sprawności złącza izolującego/monobloku

Cel pomiaru: Ocena stanu złącza izolującego/monobloku .

Gdy wcześniej wykonane badanie (4.3) wskazuje, że złącze izolujące może nie być sprawne, to należy przeprowadzić dalsze badania. Ułatwia to zainstalowana w pobliżu stacja pomiarowa (punkt pomiarowy) typu **PMDIs**.

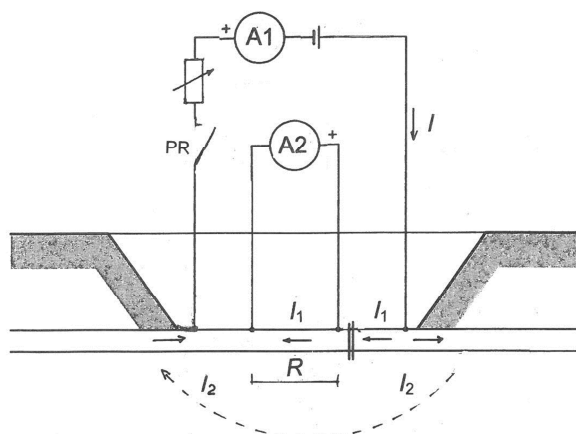
Jeżeli taka stacja nie została zainstalowana, należy odkryć rurociąg po obu stronach złącza i wykalibrować *bocznik rurociągowy* – w gazownictwie zwany *odcinkiem pomiaru spadku napięcia* (5.1).

Alternatywnie rezystancję bocznika można wyznaczyć obliczeniowo znając średnicę rurociągu, długość tego odcinka i grubość ścianki. Mimo niewielkiej dokładności może to być wystarczające do oceny stanu złącza.

4.4.1 Pomiar prądu skrośnego złącza izolującego

Dokładniejsze wyniki można uzyskać za pomocą badania, które polega na wymuszeniu przepływu prądu skrośnego przez złącze. Część prądu I źródła jako prąd skrośny I_1 płynie przez złącze, a druga część – prąd I_2 – zamyka się przez ziemię (rys. 4.4.1a).

Zasilając przewodami prądowymi wykalibrowany (5.1) bocznik rurociągowy o znanej rezystancji R można zmierzyć prąd I_1 . Przenośne źródło zasilania i przerywacz (rys. 4.4.1b) umożliwią eliminację wolnozmiennych prądów błądzących, które mogłyby zakłócić pomiar. Alternatywnie można zastosować rejestrator **mR3p** z przerywaczem, wtyczką dedykowaną **WDI** i przenośnym źródłem zasilania.



Rys. 4.4.1a. Pomiar prądu skrośnego złącza izolującego.
Schemat ideowy

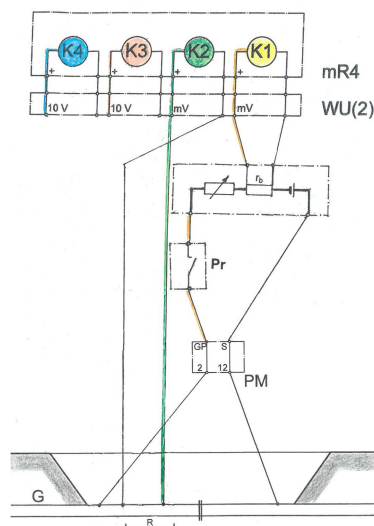
Parametry mierzone:

- prąd zasilający I (A1/**K1**),
- prąd skrośny I_1 (A2/**K2**).

Układ zewnętrzny i nastawy:

- stacje **SOK** z obu stron wyłączone,
- zasiłić układ z akumulatora 6V, 1.3Ah,
- regulacja obciążenia,
- przerywacz OFF = np. 1s, (OFF + ON) = np. 5s,
- dla **K1** wybrać w **mRgui** zakres 18mV,
- dla **K2** wybrać w **mRgui** zakres 18mV,
- wpisać znaną wartość rezystancji R bocznika rurociągowego,
- krok zapisu 1/8s,
- czas trwania: kilka cykli przerywania.

Uwaga. Wykonanie pomiaru ułatwia zastosowanie wtyczki dedykowanej **WU(2)** (8.5).



Rys. 4.4.1b. Pomiar prądu skośnego złącza izolującego za pomocą rejestratora **mR4** z dodatkowym przerywaczem.
Schemat montażowy

Spodziewane wyniki:

- prąd I (A1/**K1**) do 1A,
- prąd I_1 (A2/**K2**) od 0 do 1A.

Uwaga. Jeśli nie uda się wymusić prądu ($I \approx 0$), to znaczy, że nie płynie prąd skośny ($I_1 = 0$). Złącze jest w dobrym stanie i zapewne nie jest bocznikowane: $I_2 \approx 0$.

Jeśli prąd skośny $I_1 = 0$, lecz udało się wymusić prąd $I > 0$, to złącze jest bocznikowane (4.4.2).

Schematy:

- ideowy rys. 4.4.1a,
- montażowy rys. 4.4.1b.

Sprzęt:

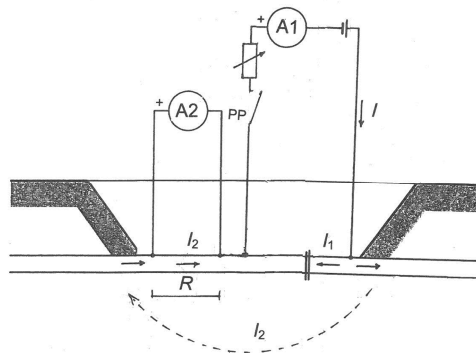
- akumulator 6V, 1.3Ah szt. 1,
- przerywacz szt. 1,
- rezystor regulacyjny szt. 1,
- bocznik pomiarowy r_b : 1.0A, 18m Ω szt. 1,
- tablet lub telefon szt. 1,
- rejestrator **mR4** szt. 1,
- wtyczka uniwersalna **WU(2)** szt. 1.

Informacja:

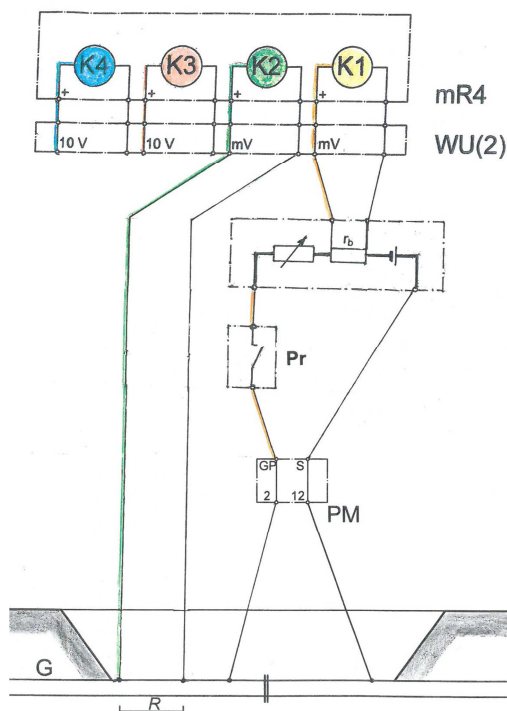
- PN-EN 13509:2005. *Metody pomiarowe w ochronie katodowej*, zał. K, rys. K1.

4.4.2 Pomiar prądu bocznikującego złącze

Jeżeli badanie złącza wg 4.4.1 wskazuje, że przy prądzie źródła $I \neq 0$, a prąd skrośny $I_1 = 0$, to zapewne przez ziemię może płynąć prąd $I_2 > 0$ bocznikujący złącze. Aby to zbadać należy wykonać pomiar prądu I_2 (rys. 4.4.2a).



Rys..4.4.2a. Pomiar prądu bocznikującego złącze izolujące.
Schemat ideowy



Rys..4.4.2a.Pomiar prądu bocznikującego złącze izolujące.
Schemat montażowy

Parametry mierzone:

- prąd zasilający I (A1/K1),
- prąd bocznikujący I_2 (A2/K2).

Układ zewnętrzny i nastawy:

- stacje **SOK** z obu stron wyłączone,
- zasilić układ z akumulatora 6V, 1.3Ah,

- regulacja obciążenia,
- przerywacz OFF = np. 1s, (OFF + ON) = np. 5s,
- dla **K1** wybrać w *mRgui* zakres 18mV,
- dla **K2** wybrać w *mRgui* zakres 18mV,
- wpisać znaną wartość rezystancji R bocznika rurowego,
- krok zapisu 1/8s,
- czas trwania: kilka cykli przerywania.

Uwaga. Wykonanie pomiaru ułatwia zastosowanie wtyczki dedykowanej **WDI(2)** (8.5).

Spodziewane wyniki:

- prąd I (A1/**K1**) do 1A,
- prąd I_1 (A2/**K2**) od 0 do 1A.

Schematy:

- ideowy rys. 4.4.2a,
- montażowy rys. 4.4.2b.

Sprzęt:

- | | |
|---|---------|
| -akumulator 6V, 1.3Ah | szt. 1, |
| -przerywacz | szt. 1, |
| -rezystor regulacyjny | szt. 1, |
| -bocznik pomiarowy r_b : 1.0A, 18m Ω | szt. 1, |
| -tablet lub telefon | szt. 1, |
| -rejestrator mR4 | szt. 1, |
| -wtyczka uniwersalna WU(2) | szt. 1. |

Informacja:

- PN-EN 13509:2005. *Metody pomiarowe w ochronie katodowej*, zał. K, rys. K1.

4.5 Rury osłonowe

Rury osłonowe są stosowane na skrzyżowaniach z innymi obiektami infrastruktury (drogi i szlaki kolejowe) przede wszystkim w celu zabezpieczenia rurowości przed uszkodzeniami mechanicznymi. Rura osłonowa utrudnia ochronę katodową rurowości wewnątrz osłony i ocenę skuteczności ochrony, utrudnia też ocenę szczelności powłoki izolacyjnej rurowości ochrony katodowej rurowości wewnątrz osłony. Z tego powodu stosowanie rur osłonowych powinno być ograniczone do przypadków niezbędnych.

Najczęściej osłona jest rurą stalową pokrytą powłoką izolacyjną. Rura pokryta powłoką powinna być uziemiona w celu zapewnienia dopływu prądu ochrony do ewentualnych defektów rury produktowej. Narażenie korozyjne rury produktowej wewnątrz osłonowej zależy od konstrukcji rury osłonowej i wypełnienia przestrzeni między rurami.

Przeźród między rurami może zawierać wypełniacze elektrolityczne lub izolujące, często jest po prostu wypełniona powietrzem. Wypełnienie trwałym

materiałem izolującym wyklucza narażenie korozyjne. Wypełnienie elektrolityczne na bazie cementu lub piasku zapewnia dopływ prądu ochrony do rury produktowej.

W przestrzeni wypełnionej powietrzem ma miejsce korozja atmosferyczna, której ochrona katodowa nie jest w stanie przeciwdziałać. Szybkość korozji, z jaką trzeba się liczyć jest wówczas na tyle mała, że potencjalny ubytek korozyjny jest niegroźny z technicznego punktu widzenia. Jeżeli jednak przestrzeń ta pod wpływem czynników zewnętrznych wypełni się wodą, to w wyniku działania makroogniw korozyjnych szybkość korozji wzrośnie.

Ochrona katodowa zazwyczaj skutecznie kontroluje tego rodzaju defekty. Dlatego należy badać nowo powstałe układy rura produktowa – rura osłonowa, umyślnie wypełniając przestrzeń między rurami wodą i polaryzując wewnętrzny odcinek rury produktowej.

W przedstawionych dalej metodach pomiarowych CEOCOR trzeba zwrócić uwagę na to, że wymagają one oddzielnych przewodów prądowych i napięciowych. Jeżeli jednym przewodem będzie płynął prąd, napięcie i potencjał (mierzone za pomocą tego samego przewodu), to wyniki pomiaru będą zafałszowane o spadek napięcia w przewodzie. W niektórych pomiarach jest wymagane połączenie z obydwoma końcami rury.

4.5.1 Badanie układu rura produktowa – rura osłonowa według wytycznych CEOCOR

Cel pomiaru: Kontrola separacji rury produktowej od rury osłonowej.

Rura produktowa połączona galwanicznie z rurą osłonową nie jest chroniona. Wytyczne CEOCOR *Ostony* (p. Informacja) zalecają kontrolę, która polega na wykonaniu pomiarów:

- potencjałów rury produktowej E_G i rury osłonowej E_R (4.5.1.1),
- rezystancji uziemienia rury osłonowej R_R (4.5.1.2),
- rezystancji układu rura produktowa – rury osłonowej R_{GR} (4.5.1.3),
- prądu zwarcia w układzie rura produktowa – rury osłonowej I_{zwGR} (4.5.1.4),
- zasilania próbnego ze źródła zewnętrznego układu rura produktowa – rury osłonowej I_{GR} (4.5.1.5).

Stwierdzone w układzie rura produktowa – rura osłonowa zwarcie można zlokalizować:

- metodą pomiaru potencjału (4.5.1.6),
- metodą gradientów (4.5.1.7).

Pomiar należy wykonać co dwa lata [ST-IGG-0602, tabl. 6(8)].

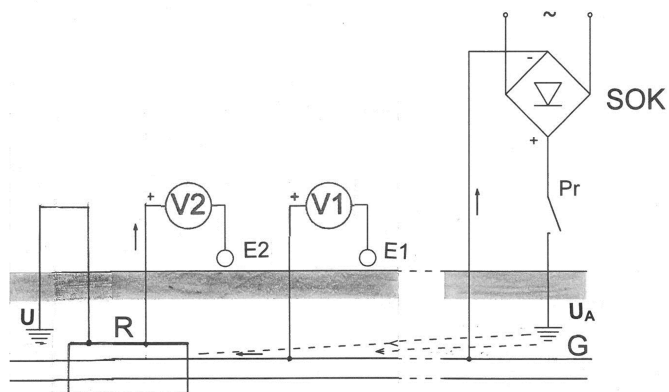
Uwaga. Rozpatrzono tu tylko przypadek uziemionej rury osłonowej izolowanej. Nieuziemioną rurę izolowaną należy prowizorycznie uziemić. W wykazach sprzętu nie uwzględniono materiału uziomu prowizorycznego.

4.5.1.1 Pomiar potencjału E_G rury produktowej i potencjału E_R rury osłonowej

Warunki według wytycznych CEOCOR *Ośłony* 5.1.1.

Parametry mierzone:

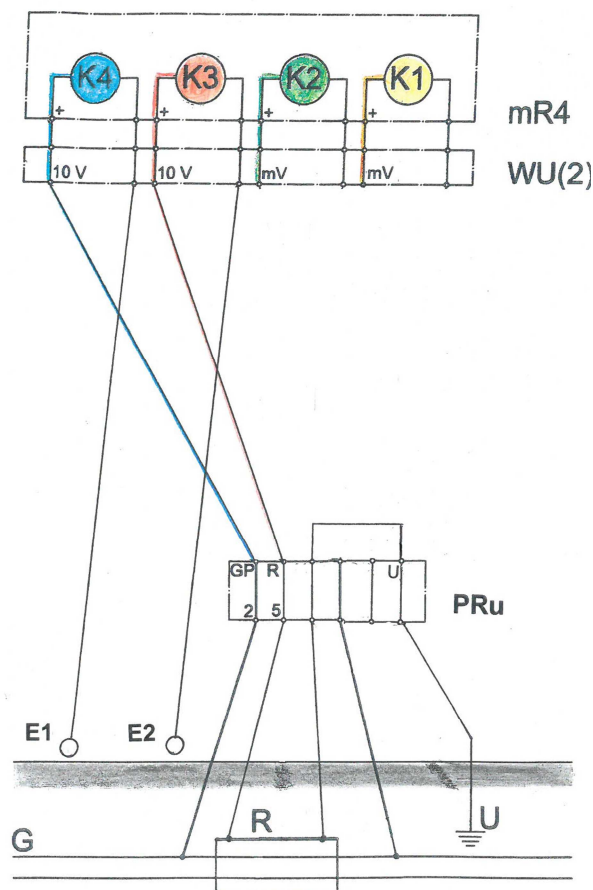
- potencjał rury produktowej E_G (V1/K4),
- potencjał rury osłonowej E_R (V2/K3).



Rys. 4.5.1.1a. Pomiar potencjału E_G rury produktowej i potencjału E_R rury osłonowej.
Schemat ideowy

Układ zewnętrzny i nastawy:

- elektrody pomiarowe
 - .E1 nad osią rury produktowej,
 - .E2 nad osią rury osłonowej.
- prąd ochrony załączony, OFF = np. 1s, (OFF + ON) = np. 5s,
- krok zapisu 1/8s,
- czas trwania pomiaru kilka do kilkunastu cykli, w przypadku prądów błędnych odpowiednio dłużej.



Rys. 4.5.1.1b. Pomiar potencjału E_G rury produktowej i potencjału E_R osłony.
Schemat montażowy

Uwaga 1. Powtórzyć pomiar przesuwając elektrody, kolejno o 20 i 40m, równoległe do osi rury osłonowej.

Spodziewane wyniki:

- potencjał E_G (V1/**K4**) od ok. -0.1V do -1.5V,
- potencjał E_R (V2/**K3**) od ok. -0.1V do -1.5V.

Uwaga 2. Potencjały w przybliżeniu równe mogą świadczyć o zwarciu rury produktowej z osłoną.

Schematy:

- ideowy rys. 4.5.1.1a,
- montażowy rys. 4.5.1.1b.

Sprzęt:

- przenośne elektrody odniesienia szt. 2,
- tablet lub telefon szt. 1,
- rejestrator **mR4/mR3p** szt. 1,
- wtyczka uniwersalna **WU(2)** szt. 1,
- przerywacz (konieczny w stacjach **SOK** bez wbudowanego systemu przerywania prądu) szt. 1.

Informacja:

-ST-IGG-0601:2008. *Standard Techniczny. Ochrona przed korozją zewnętrzną stalowych gazociągów lądowych. Wymagania funkcjonalne i zalecenia*, 7,

-ST-IGG-0602:2009. *Standard Techniczny. Ochrona przed korozją zewnętrzną stalowych gazociągów lądowych. Projektowanie, budowa i użytkowanie*, 11.4, tabl. 6 (8),

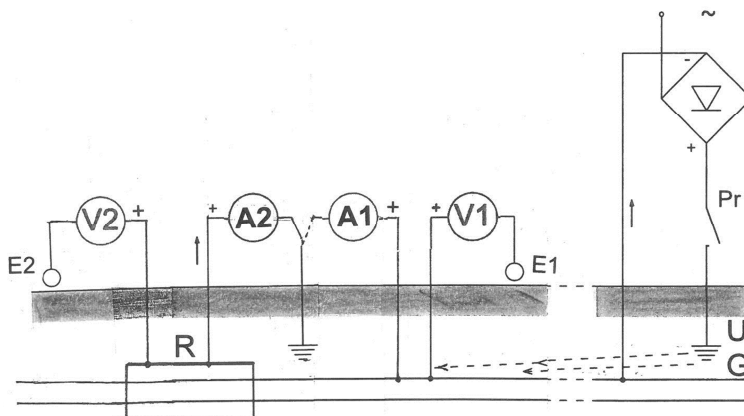
-CEOCOR 2007. *Mantelrohre. Ausführung, Prüfung und Sanierung von Kreuzungen erdverlegten Rohrleitungen mit Verkehrswegen. Leitfaden* (Rury osłonowe. Wykonanie, sprawdzanie i naprawa rurociągów ułożonych w gruncie na skrzyżowaniach z drogami. Wytyczne), dalej: *Ostony*, 5.1.1,

-Marek Fiedorowicz. *Zaskakujące przykłady z praktyki pomiarowej ochrony katodowej rurociągów*), *Ochrona przed Korozją* 8/2011, s. 500.

4.5.1.2 Pomiar rezystancji uziemienia R_G rury produktowej i R_R rury osłonowej metodą techniczną

Informację o nieszczelności izolacji rury produktowej G na odcinku ułożonym w rurze osłonowej R i obecności elektrolitu w przestrzeni między rurami, umożliwia pomiar różnicy prądu $I_{ON} - I_{OFF}$ płynącego między uziomem i rurą R, konieczna jest zatem przerywana praca SOK. Do obliczeń potrzebna jest również składowa omowa czyli różnica potencjałów $E_{ON} - E_{OFF}$.

Norma CEOCOR (*Ostony* 5.1.2) zaleca wykonanie pomiaru omomierzem, lecz bardziej dokładny wynik można uzyskać stosując metodę techniczną przy użyciu rejestratora **MR4**.



Rys. 4.5.1.2a. Pomiar rezystancji R_G uziemienia rury produktowej i R_R rury osłonowej. Schemat ideowy

By oszacować wielkość nieszczelności należy oddzielnie zmierzyć rezystancję uziomu R_U .

Uziom należy przyłączyć kolejno, najpierw do rury produktowej G, a następnie do rury osłonowej R. Należy mierzyć prąd I_G płynący do rury produktowej G i prąd I_R płynący do rury osłonowej R.

- A. Gdy w chwili ON natężenie prądu $I_R = I_G$, to rura osłonowa **R** jest zwarta z rurą produktową **G**, a więc rezystancja między nimi $R_{RG} = 0$.
- B. W chwili OFF prąd I_R nie popłynie, jeśli potencjał uziomu będzie taki sam, jak rury osłonowej $I_R = 0$.
- C. Gdy w chwili OFF po przyłączeniu uziomu do rury osłonowej **R** popłynie prąd I_R wskutek różnicy potencjałów pomiędzy defektami powłoki tej rury, a uziomem, to znaczy, że rura osłonowa R nie jest zwarta z produktową G, a więc $R_{RG} \neq 0$.
- D. W chwili ON z rury osłonowej do produktowej popłynie prąd

$$I_R = \frac{(E_R - E_G)}{R_{RG} + R_U}$$

Na tej podstawie można obliczyć rezystancję R_{RG} . Przyjmując prawdopodobną rezystywność elektrolitu w przestrzeni między rurami oraz wymaganą gęstość prądu ochrony można oszacować wielkość nieszczelności oraz ocenić, czy są one skutecznie chronione katodowo.

Parametry mierzone:

- potencjał rury produktowej E_G (V1/**K4**),
- potencjał rury osłonowej E_R (V2/**K3**),
- prąd uziemienia rury produktowej I_G (A1/**K1**),
- prąd uziemienia rury osłonowej I_R (A2/**K2**).

Parametry obliczane:

- rezystancja rura osłonowa – rura produktowa:

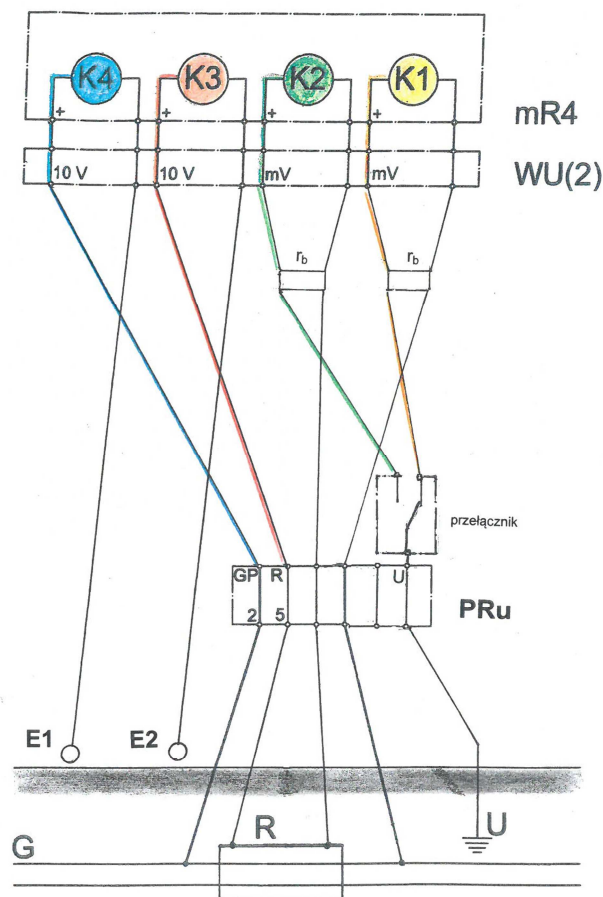
$$R_{RG} = \frac{(E_R - E_G) - I_R \cdot R_U}{I_G}$$

Układ zewnętrzny i nastawy:

- oddzielnie zmierzyć rezystancję uziomu R_U ,
 - przyłączyć stały uziom rury osłonowej do rury produktowej (przełącznik dwupołożeniowy),
 - dla **K1** i **K2** wybrać w **mRgui** zakres 18mV,
 - prąd ochrony załączony, OFF = np. 1s, (OFF + ON) = np. 5s,
 - krok zapisu 1/8s,
 - czas trwania: do kilkunastu cykli ON/OFF w każdym położeniu przełącznika,
- w przypadku prądów błędnych dłużej.

Uwaga 1. Uziom należy łączyć kolejno, najpierw z rurą produktową i następnie z rurą osłonową (rys. 4.5.1.2a).

Uwaga 2. Wykonanie pomiaru ułatwia zastosowanie wtyczki dedykowanej **WDI**.



Rys. 4.5.1.2b. Pomiar rezystancji R_G uziemienia rury produktowej.
Kanał **K1** dołączony do zacisku **U**.

W celu pomiaru uziemienia R_R rury osłonowej odłączyć kanał **K1** i dołączyć do **U** kanał **K2**.
Schemat montażowy

Spodziewane wyniki:

- potencjał E_G (V1/**K4**) do ok. $-2V$,
- potencjał E_R (V2/**K3**) do ok. $-2V$,
- prąd I_G (A1/**K1**) od 1mA do 100mA,
- prąd I_R (A2/**K2**) od 1mA do 100mA.

Schematy:

- ideowy rys. 4.5.1.2a,
- montażowy rys. 4.5.1.2b.

Sprzęt:

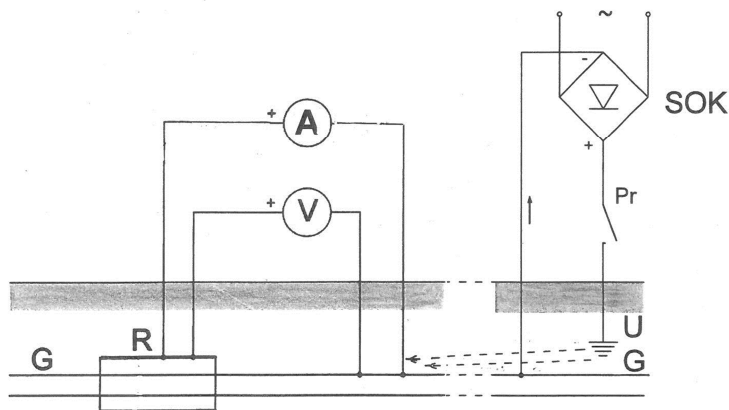
- przełącznik dwupołożeniowy szt. 1,
- przenośne elektrody odniesienia szt. 2,
- tablet lub telefon szt. 1,
- rejestrator **mR4** szt. 1,
- wtyczka uniwersalna **WU(2)** szt. 1,
- boczniki pomiarowe r_b : 100mA, 180m Ω szt. 2,
- przerywacz, konieczny w stacjach **SOK** bez wbudowanego systemu przerywania prądu) szt. 1.

Informacja:

CEOCOR *Ostony* 5.1.2.

4.5.1.3 Pomiar rezystancji R_{GR} rura produktowa – rura osłonowa metodą techniczną

Uwaga 1. CEOCOR *Ostony* 5.1.2 zaleca wykonanie tego pomiaru omomierzem, lecz dokładniejszy wynik można uzyskać stosując rejestrator **mR4**.



Rys. 4.5.1.3a. Pomiar rezystancji R_{GR} rura produktowa – rura osłonowa.
Schemat ideowy

Parametry mierzone:

- różnica potencjałów U_{GR} (V, **K4**),
- prąd I_{GR} (A, **K2**).

Parametr obliczany:

$$\text{-rezystancja } R_{GR} = \frac{U_{GR}}{I_{GR}}$$

Układ zewnętrzny i nastawy:

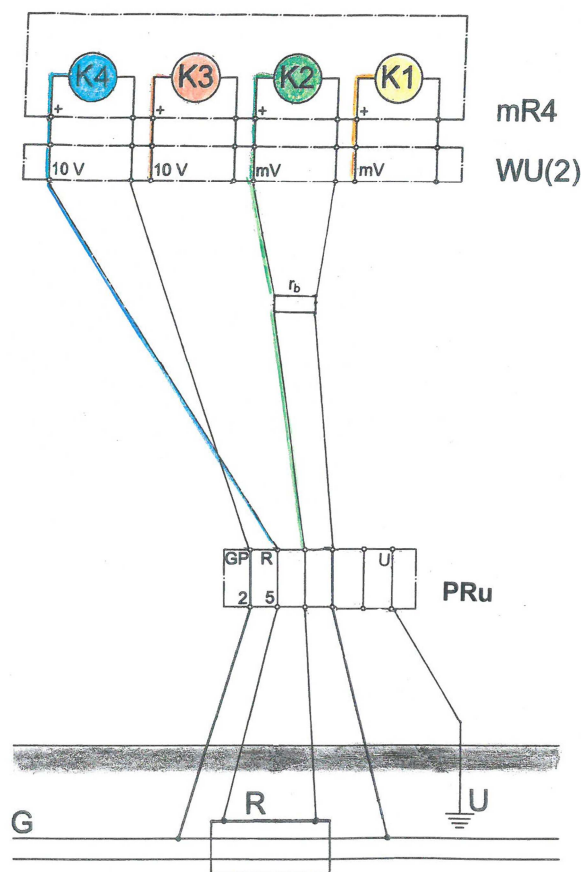
- dla **K2** wybrać w programie **mRgui** zakres 18mV,
- prąd ochrony załączony, OFF = np. 1s, (OFF + ON) = np. 5s,
- uziom U_R odłączony,
- krok zapisu 1/8s,
- czas trwania kilka do kilkunastu cykli, w przypadku prądów błądzących dłużej.

Uwaga 2. Wykonanie pomiaru ułatwia zastosowanie wtyczki dedykowanej **WDI** (8.1.3).

Spodziewane wyniki:

- różnica potencjałów U_{GR} (V, **K4**) do 1V,
- prąd I_{GR} (A, **K2**) do 100mA.

Uwaga 3. Rezystancja $R_{GR} < 0.5\Omega$ świadczy o zwarciu rury produktowej z osłonową.



Rys. 4.5.1.3b. Pomiar rezystancji R_{GR} rura produktowa – rura osłonowa..
Schemat montażowy

Schematy:

- ideowy rys. 4.5.1.3a,
- montażowy rys. 4.5.1.3b.

Sprzęt:

- tablet lub telefon szt. 1,
- rejestrator **mR4/mR3p** szt. 1,
- wtyczka uniwersalna **WU(2)** szt. 1,
- bocznik pomiarowy r_b : 100mA, 180m Ω szt. 1,
- przerywacz (konieczny w stacjach **SOK**,
bez wbudowanego systemu przerywania prądu) szt. 1.

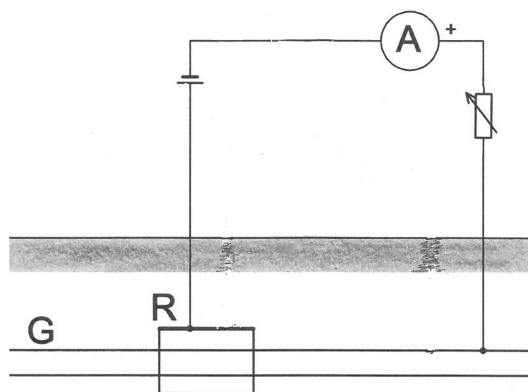
Informacja:

CEOCOR *Ostony*, 5.1.3.

4.5.1.4 Pomiar prądu zwarcia w układzie rura produktowa – rura osłonowa

Pomiar zaleca się wykonać po montażu rury osłonowej, przed dołączeniem układu do rurociągu, wg CEOCOR *Ostony* 5.1.4 i 5.1.5. Dane obwodu, w którym zostanie wykonany pomiar (napięcie i pojemność, akumulatora, nastawa rezystora regulacyjnego) mogą w przyszłości ułatwić ocenę stanu układu. Z tego powodu wyniki należy przechowywać.

Należy zastosować zewnętrzne źródło zasilania (akumulator). Zmierzyć prąd zwarcia samego układu pomiarowego (źródło, rezystor, bocznik prądowy). Jeżeli po dołączeniu kabli do rury produktowej i rury osłonowej popłynie prąd o wartości stanowiącej nieznaczną część prądu zwarcia źródła, to można uważać, że obie rury są od siebie odizolowane.



Rys. 4.5.1.4a. Pomiar prądu zwarcia I_{GR} . Uziom U_R odłączony.
Schemat ideowy

Parametr mierzony:

-prąd zwarcia I_{GR} (A, **K2**).

Układ zewnętrzny i nastawy:

-akumulator 6V, 1.3Ah,

-rezystor regulacyjny,

-dla **K2** wybrać w **mRgui** zakres 18mV,

-stacja **SOK** wyłączona,

- badanie układu rura produktowa – rura osłonowa przed dołączeniem do rurociągu (bezpośrednio po montażu),

-uziom rury osłonowej odłączony,

-krok próbkowania 1/8s,

-czas trwania: kilkanaście sekund.

Uwaga 1. Wykonanie pomiaru ułatwia zastosowanie wtyczki dedykowanej **WDI** (8.2.3).

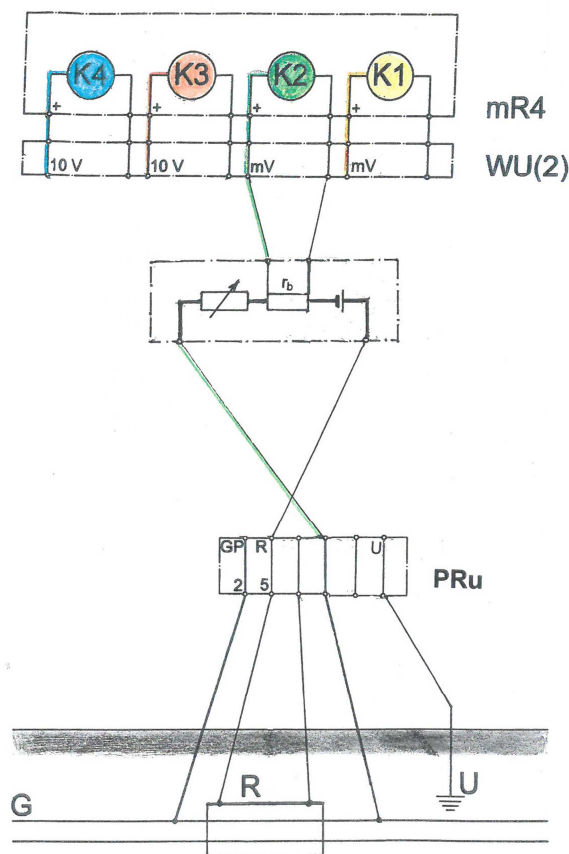
Spodziewane wyniki:

-prąd zwarcia I_{GR} (A, **K2**) do kilkunastu A.

Schematy:

-ideowy rys. 4.5.1.4a,

-montażowy rys. 4.5.1.4b.



Rys. 4.5.1.4b. Pomiar prądu zwarcia I_{GR} . Uziom U_R odłączony.
Schemat montażowy

Sprzęt:

-akumulator 6V, 1.3Ah	szt. 1,
-rezystor regulacyjny	szt. 1,
-bocznik pomiarowy r_b : 18A, 1m Ω	szt. 1,
-tablet lub telefon	szt. 1,
-rejestrator mR4/mR3p	szt. 1,
-wtyczka uniwersalna WU(2)	szt. 1.

Informacja:

CEOCOR *Ostony*, 5.1.4 i 5.1.5.

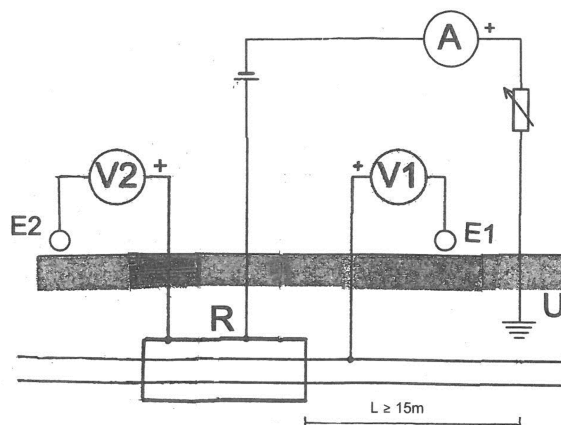
4.5.1.5 Zasilanie próbne układu rura produktowa – osłona

Celem tego pomiaru jest porównanie przesunięcia potencjału rury osłonowej z przesunięciem potencjału rury produktowej (CEOCOR *Ostony* 5.1.6). Jeżeli obie rury są od siebie izolowane, to potencjał rury osłonowej powinien być wyraźnie bardziej dodatni od potencjału rury produktowej. Jeżeli występuje zwarcie, to potencjały rur przesuwają się podobnie.

W celu przesunięcia potencjału niezbędne jest dodatkowe źródło zasilania oraz prowizoryczny uziom anodowy U_A , usytuowany w znacznej odległości (tu: $L = 15\text{m}$) od badanego układu.

Parametry mierzone:

- potencjał rury produktowej E_G (V1/K4),
- potencjał rury osłonowej E_R (V2/K3),
- prąd pobierany ze źródła prądowego I (A/K2).



Rys. 4.5.1.5a. Zasilanie próbne układu rura produktowa – osłona.
Schemat ideowy

Układ zewnętrzny i nastawy:

- uziom rury osłonowej odłączony,
- stacja **SOK** wyłączona,
- instalacja prowizorycznego uziomu anodowego U_A w odległości $L \geq 15m$,
- akumulator 6V, 1.3Ah,
- dla **K2** wybrać w **mRgui** zakres 18mV,
- krok zapisu 1/8s,
- czas trwania: kilkanaście sekund.

Uwaga 1. Wykonanie pomiaru ułatwia zastosowanie wtyczki dedykowanej **WDI** (8.2.4).

Spodziewane wyniki:

- potencjał E_G (V1/K4) do ok. -2.5V,
- potencjał E_R (V2/K3) do ok. -2.5V,
- prąd I (A/K2) od 1 do 10A.

Uwaga 2. Nierówność potencjałów $E_R \gg E_G$ świadczą o rezystancji $R_{GR} > 0$.

Schematy:

- ideowy rys. 4.5.1.5a,
- montażowy rys. 4.5.1.5b.

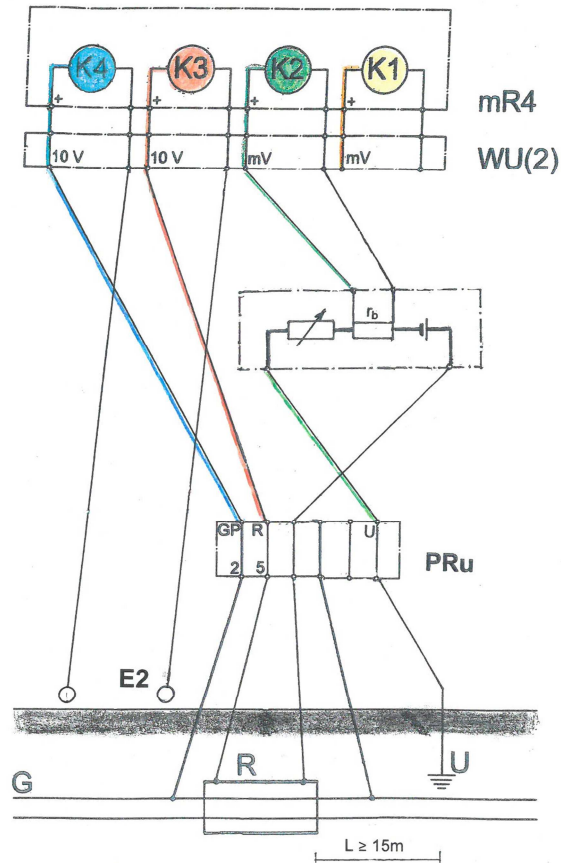
Sprzęt:

- | | |
|------------------------------------|---------|
| -przenośne elektrody odniesienia | szt. 2, |
| -prowizoryczny uziom anodowy U_A | szt. 1, |
| -akumulator 6V, 1.3Ah | szt. 1, |
| -rezystor regulacyjny | szt. 1, |

- bocznik pomiarowy r_b : 18A, 1m Ω szt. 1,
- tablet lub telefon szt. 1,
- rejestrator **mR4/mR3p** szt. 1,
- wtyczka **WU(2)** szt. 1.

Informacja:

CEOCOR *Ostony*, 5.1.6.



Rys. 4.5.1.5b. Zasilanie próbne układu rura produktowa – osłona.
Schemat montażowy

4.5.1.6 Lokalizacja zwarcia metodą pomiaru różnic potencjałów (CEOCOR, 5.1.8).

Miejsce, w którym występuje zwarcie stwierdzone między rurą osłonową i produktową można zlokalizować według CEOCOR, 5.1.8 obliczając odległość L_2 i L_3 defektu od krawędzi rury osłonowej (rys. 4.5.1.6a) na podstawie zależności:

$$\frac{E_1}{L_1} = \frac{E_2}{L_2} = \frac{E_3}{L_3}$$

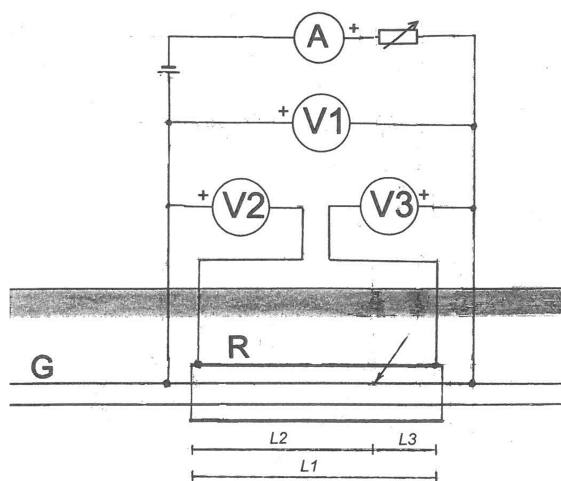
Parametry mierzone:

- różnica potencjałów E_1 (V1/**K1**),
- różnica potencjałów E_2 (V2/**K3**),
- różnica potencjałów E_3 (V3/**K4**),
- prąd źródła I (A/**K2**).

Układ zewnętrzny i nastawy:

- stacja **SOK** wyłączona,
- akumulator 6V, 1.3Ah,
- rezystor regulacyjny,
- dla **K2** wybrać w *mRgui* zakres 18mV,
- znana dokładna długość rury osłonowej,
- K3** i **K4** dołączone do krawędzi rury osłonowej (p. schemat),
- krok zapisu 1/8s,
- czas trwania kilka minut.

Uwaga. Wykonanie pomiaru ułatwia zastosowanie wtyczki dedykowanej **WDI** (8.3.1).



Rys.4.5.1.6a. Lokalizacja zwarcia metodą pomiaru potencjałów
Schemat ideowy

Spodziewane wyniki:

- różnica potencjałów E_1 (V1/**K1**) ok. 100mV,
- różnica potencjałów E_2 (V2/**K3**) ok. 100mV,
- różnica potencjałów E_3 (V3/**K4**) ok. 100mV,
- prąd I (A/**K2**) od 0.1 do 1A.

Schematy:

- ideowy rys. 4.5.1.6a,
- montażowy rys. 4.5.1.6b.

Sprzęt:

- | | |
|---|---------|
| -akumulator 6V, 1.3Ah | szt. 1, |
| -rezystor regulacyjny | szt. 1, |
| -bocznik pomiarowy r_b : 1A, 18m Ω | szt. 1, |
| -rezystor regulacyjny | szt. 1, |
| -wyłącznik | szt. 1, |
| -tablet lub telefon | szt. 1, |

-rejestrator **mR4**

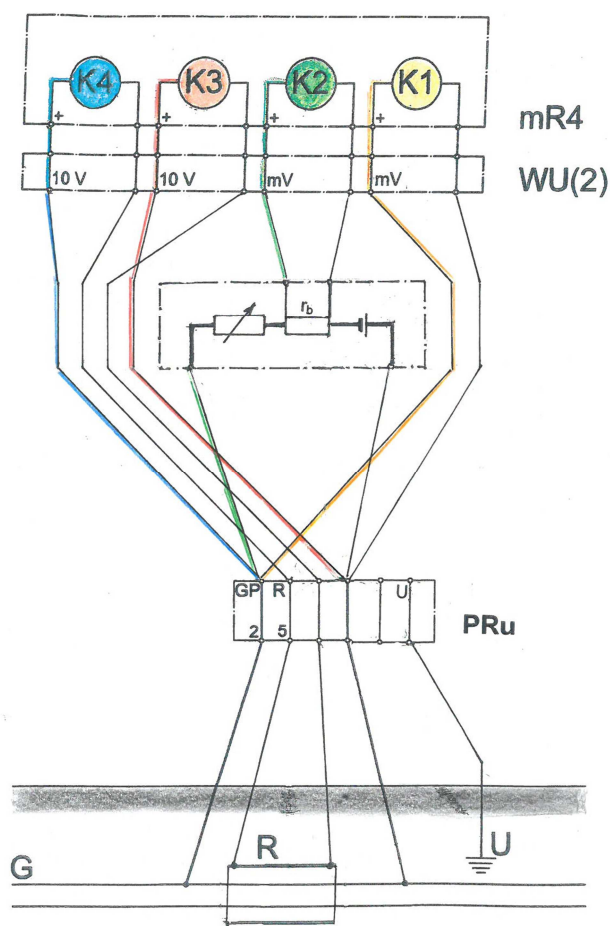
szt. 1,

-wtyczka **WU(2)**

szt. 1.

Informacja:

CEOCOR *Ostłony*, 5.1.8.



Rys.4.5.1.6b. Lokalizacja zwarcia metodą pomiaru potencjałów
Schemat montażowy

4.5.2 Badanie układu rura produktowa – osłona, wg wskazówek NACE

Cel pomiaru: Kontrola separacji rury transportowej od stalowej rury osłonowej.

Norma NACE SP0200 przyjmuje (3.2.5), że rury osłonowe dla uniknięcia ekranowania rury produktowej są nieizolowane (gołe). Mimo to tutaj, zgodnie z praktyką przyjęto, że rury osłonowe są izolowane, a ekranowania unika się dołączając do nich uziom.

W normie podano metody kontroli separacji:

- pomiar potencjałów rury produktowej i osłony (4.5.2.1),
- pomiar rezystancji rura produktowa – osłona (4.5.2.2),
- depolaryzacja rury osłonowej (4.5.2.3).

4.5.2.1 Pomiar potencjału E_G rury produktowej i potencjału E_R rury osłonowej

Norma przedstawia zasady tego badania. Elektroda odniesienia powinna być usytuowana nad rurą produktową w pobliżu krańca rury osłonowej, lecz nie nad nią (NACE SP0200, rys. B1). Jeżeli $E_G \neq E_R$, to separację rury produktowej od osłonowej można uważać za wystarczającą.

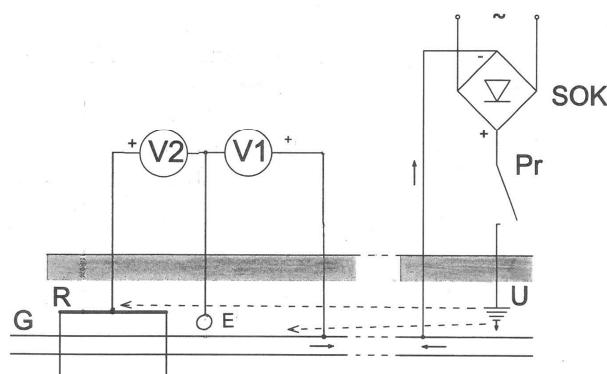
Gdy $E_G - E_R \approx 200\text{mV}$, to norma zaleca kontynuowanie badania (4.5.2.2).

Uwaga. Norma zaleca wykonanie pomiaru w dwóch procedurach:

- bez przerywacza,
- z przerywaczem.

Różnica $\Delta E = E_G - E_R < 100\text{mV}$ świadczy o zwarciu.

Pomiar co dwa lata [ST-IGG-0602, tabl. 6 (8)] w stacjach pomiarowych **PRE**.



Rys. 4.5.2.1a. Pomiar potencjałów rurociągu i rury osłonowej wg NACE.
Schemat ideowy

Parametry mierzone:

- potencjał rury produktowej E_G (V1/K4),
- potencjał rury osłonowej E_R (V2/K3).

Parametr obliczany:

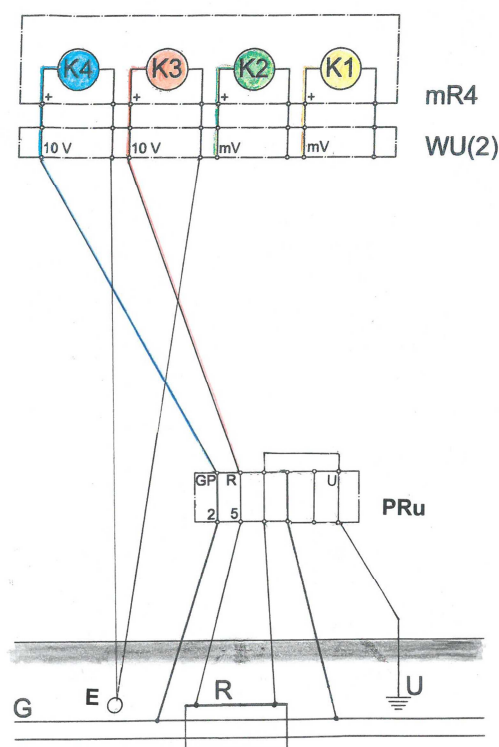
- różnica potencjałów $\Delta E = E_G - E_R$.

Układ zewnętrzny i nastawy:

- prąd ochrony załączony,
- załączony przerywacz prądu, OFF = np. 1s, (OFF + ON) = np. 5s,
- krok zapisu 1/8s,
- czas trwania kilka minut.

Spodziewane wyniki OFF/ON:

- potencjał E_G (V1/K4) do -2.5 V ,
 - potencjał E_R (V2/K3) do -2.5 V .
- Zwarcie, gdy $E_G - E_R = \Delta E < 0.1\text{V}$.



Rys. 4.5.2.1b. Pomiar potencjałów rurociągu i rury osłonowej w stacji **PRE** wg NACE.
Schemat montażowy

Schematy:

- ideowy rys. 4.5.2.1a,
- montażowy rys. 4.5.2.1b.

Sprzęt:

- | | |
|------------------------------|---------|
| -tablet lub telefon | szt. 1, |
| -rejestrator mR4/mR3p | szt. 1, |
| -wtyczka WU(2) | szt. 1, |
| -przerywacz | szt. 1. |

Informacja:

-ST-IGG-0601:2008. *Standard Techniczny. Ochrona przed korozją zewnętrzną stalowych gazociągów lądowych. Wymagania funkcjonalne i zalecenia*, 7,

-ST-IGG-0602:2009. *Standard Techniczny. Ochrona przed korozją zewnętrzną stalowych gazociągów lądowych. Projektowanie, budowa i użytkowanie*, 11.4, tabl. 6 (8),

-NACE SP0200-2008. *Standard Practice. Steel-cased Pipeline Practices* (Wskazówki normatywne. Wskazówki dotyczące rurociągów w stalowych rurach osłonowych), dalej: NACE SP0200, B1.

4.5.2.2 Pomiar rezystancji wewnętrznej układu rura produktowa – osłona

Norma przedstawia zasady tego badania na rys. B2 (norma).

Prąd ochrony należy wyłączyć. Niezbędne jest zewnętrzne źródło zasilania. Pomiar należy wykonać, gdy różnica potencjałów między rurą produktową, a osłoną wynosi

$$\Delta E_{GR} = E_G - E_R < 100\text{mV}$$

Należy zmierzyć różnicę potencjałów:

$$\Delta E_{GR'OFF} = E_{G'OFF} - E_{R'OFF}$$

między rurociągiem a rurą osłonową przy wyłączonym źródle prądowym, a następnie powtórzyć pomiar przy źródle załączonym

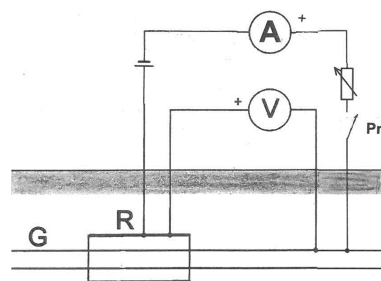
$$\Delta E_{GR'ON} = E_{G'ON} - E_{R'ON}$$

Iloraz różnicy $\Delta E_{GR'OFF} - \Delta E_{GR'ON}$ i prądu I jest równy rezystancji R_{GR} między rurą transportową a rurą osłonową:

$$R_{GR} = \frac{\Delta E_{GR'OFF} - \Delta E_{GR'ON}}{I}$$

Rezystancja $R_{GR} \leq 0.01\Omega$ świadczy o zwarciu.

Pomiar należy wykonać co dwa lata [ST-IGG-0602, tabl.6(8)] w stacjach pomiarowych **PRE**.



Rys. 4.5.2.2a. Pomiar rezystancji rurociąg – rura osłonowa wg NACE.
Schemat ideowy

Parametry mierzone:

- różnica potencjałów $(E_G - E_R) = \Delta E_{GR}$ (V/**K4**),
- prąd źródła prądowego I (A/**K2**) $\approx 1\text{A}$.

Parametr obliczany:

- rezystancja R_{GR} .

Układ zewnętrzny i nastawy:

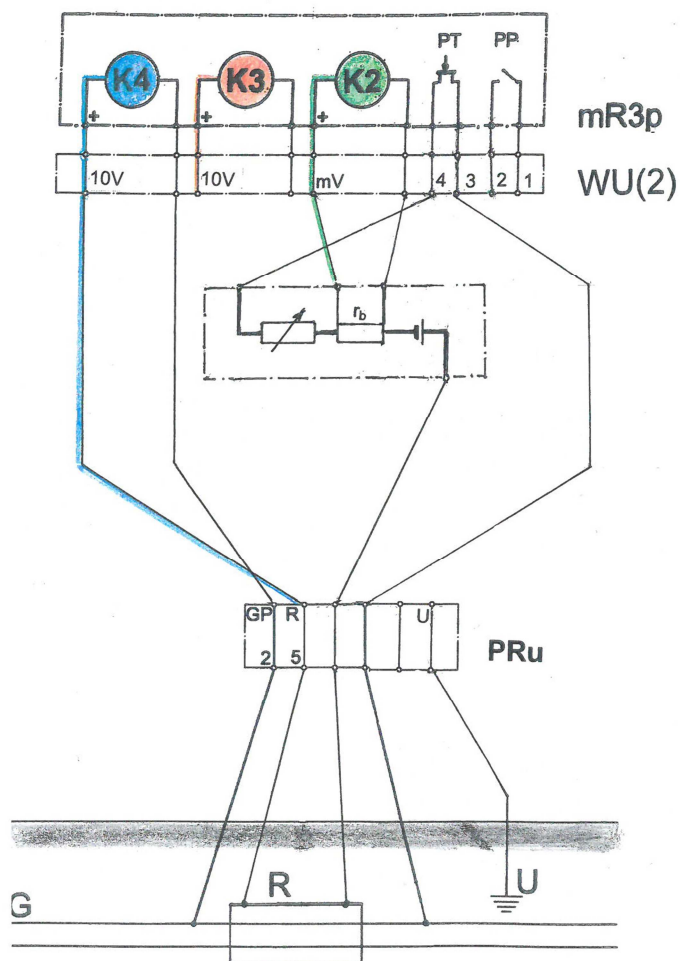
- prąd ochrony wyłączony,
- czynny przerywacz PT rejestratora **mR3p**, OFF = np. 1s, (OFF + ON) = np. 5s,
- źródło zasilania 6V, 1.3Ah,
- różnica potencjałów ΔE (V/**K4**),
- dla **K2** wybrać w **mRgui** zakres 18mV,

- krok zapisu 1/2s,
- czas trwania kilka cykli.

Uwaga. Wykonanie pomiaru ułatwia zastosowanie wtyczki dedykowanej **WDI** (8.4.1).

Spodziewane wyniki:

- różnica potencjałów ΔE (V/**K4**) do 1V,
- prąd I (A/**K2**) do 1A.



Rys. 4.5.2.2b. Pomiar rezystancji rurociąg – rura osłonowa z wykorzystaniem przerywacza **mR3p**.
Schemat montażowy

Schematy:

- ideowy rys. 4.5.2.2a,
- montażowy rys. 4.5.2.2b.

Sprzęt:

- źródło zasilania 6V, 1.3Ah,
- rezystor regulacyjny,
- bocznik pomiarowy 1A, 18mΩ,
- tablet lub telefon,
- rejestrator **mR3p**,

-wtyczka uniwersalna **WU(2)**.

Informacja:

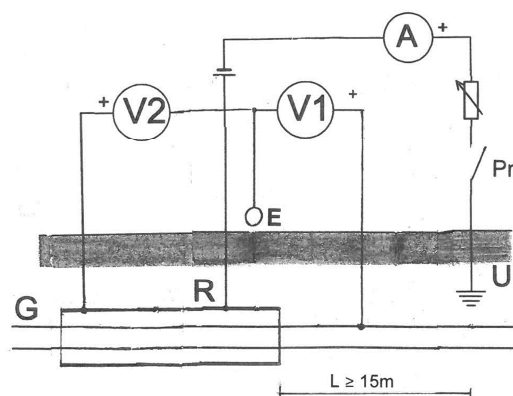
p. 4.5.2.1, NACE SP0200 B2.

4.5.2.3 Depolaryzacja rury osłonowej

Zgodnie z wytycznymi NACE SP0200, 5 separację rury produktowej od osłonowej można zbadać przez odprowadzenie ładunku (depolaryzację) rury osłonowej.

Pomiar ma na celu sprawdzenie różnicy potencjałów E_{GR} między rurą produktową a osłonową (NACE SP0200, 5). Jeśli ta różnica jest wyraźna, to rury są galwanicznie separowane.

W tym celu należy zainstalować prowizoryczny uziom anodowy U_A w odległości $L \geq 15m$ od badanego układu i podłączyć do niego źródło zasilania (rys. 4.5.2.3a). Przenośną elektrodę odniesienia należy ustawić w osi rury produktowej w pobliżu krawędzi rury osłonowej.



Rys. 4.5.2.3a. Kontrola separacji przez depolaryzację osłony.

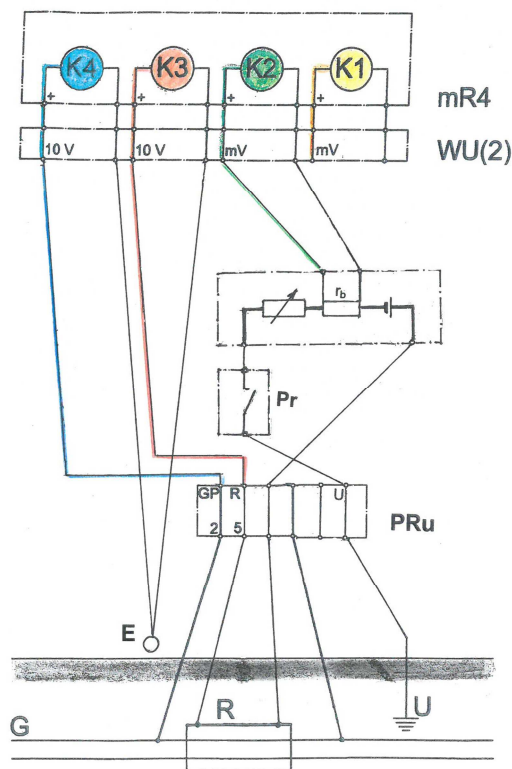
Schemat ideowy

Depolaryzację należy prowadzić stopniowo, odprowadzając niewielki ładunek elektryczny – norma proponuje 0.1A przez 1...2 minut (OFF = 60...120s), po czym należy zmierzyć potencjał rury produktowej E_G i osłonowej E_R . Następnie należy procedurę powtórzyć co najmniej trzy razy. Niezbędna wartość odprowadzanego ładunku zależy od wymiarów rury osłonowej i warunków miejscowych.

Jeżeli rura osłonowa jest zwarta z produktową, to oba potencjały, E_G i E_R , podczas kolejnych kroków przesuwać się będą w kierunku dodatnim, a różnica $\Delta E = E_G - E_R$ będzie malała. Jeżeli zwarcia nie ma, potencjał rury produktowej E_G zmieni się tylko nieznacznie, mimo bardzo dużego przesunięcia potencjału E_R .

Parametry mierzone:

- potencjał E_G (V1/**K4**) rury produktowej w stosunku do ziemi dalekiej,
- potencjał E_R (V2/**K3**) rury osłonowej w stosunku do ziemi dalekiej,
- prąd źródła I (A/**K2**).



Rys. 4.5.2.3b. Kontrola separacji przez depolaryzację osłony.
Schemat montażowy

Układ zewnętrzny i nastawy:

- źródło zasilania 6V, 1.3Ah,
- przerywanie prądu wyłącznikiem ręcznie, kolejno:
 - .OFF = 60 ... 120s, ON (podnieść I o 0.1A),
 - .OFF = 60 ... 120s, ON (podnieść I o 0.1A),
 - .OFF = 60 ... 120s, ON (podnieść I o 0.1A).

Uwaga 1. Wartość 0.1A orientacyjna.

- dla **K2** wybrać w *mRgui* zakres 18mV,
- elektroda odniesienia w osi rury produktowej, w pobliżu krawędzi rury osłonowej,
- pro wizoryczny uziom anodowy, odległość $L \geq 15m$,
- krok zapisu 1/2s,
- czas trwania rzędu pół godziny.

Uwaga 2. Wykonanie pomiaru ułatwia zastosowanie wtyczki dedykowanej **WDI** (8.4.2).

Spodziewane wyniki:

- potencjał E_G (V1/**K4**) do 1V,
- potencjał E_R (V2/**K3**) do 1V,
- prąd źródła I (A/**K2**) do 1A.

Schematy:

- ideowy rys. 4.5.2.3a,

-montażowy 4.5.2.3b.

Sprzęt:

-źródło zasilania 6V, 1.3Ah	szt. 1,	
-materiał do wykonania prowizorycznego uziomu anodowego		szt. 1,
-bocznik pomiarowy r_b : 1A, 18m Ω	szt. 1,	
-wyłącznik ręczny	szt. 1,	
-przenośna elektroda odniesienia	szt. 1,	
-tablet lub telefon	szt. 1,	
-rejestrator mR4/mR3p	szt. 1,	
-wtyczka uniwersalna WU(2)	szt. 1.	

Informacja:

p. 4.5.2.1, NACE SP0200 5.

4.6 Pomiar prądu i potencjału rurociągu wtyczką **WU(2)**

Cel pomiaru: Wyznaczenie parametrów umożliwiających obliczenie jednostkowej rezystancji powłoki.

Pomiar w stacjach pomiarowych **PIs** lub **PIsE** prądu I w rurociągu oraz potencjału E pozwala ocenić jakość jego powłoki. W stacjach **PIs** w celu pomiaru potencjału należy zastosować elektrodę przenośną.

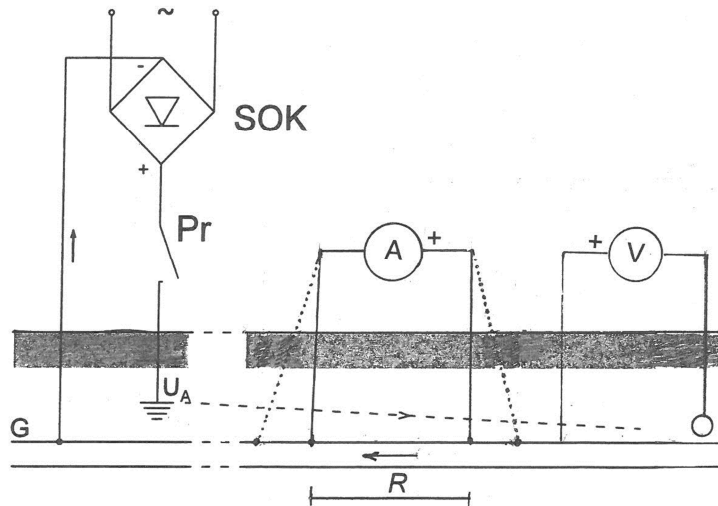
Pomiar prądu polega na wyznaczeniu spadku napięcia na rezystancji R bocznika. W rurociągu prąd płynie przez pewien odcinek wcześniej skalibrowany (5.1) jako bocznik o znanej rezystancji R . W programie **mRgui** (cz. II, 3.3.2.2 i 5.4) należy wprowadzić w odpowiednich kontrolkach tę znaną wartość rezystancji R lub stosowaną w gazownictwie stałą skalowania C .

W przypadku rurociągów pokrytych powłokami gorszej jakości pomiary potencjałów rurociągu należy wykonywać względem przenośnych elektrod odniesienia usytuowanych na ziemi odniesienia.

W razie wątpliwości co do stanu układu pomiarowego lub wyniku pomiaru prądu I_1 (A/**K2**) w rurociągu (rys. 4.6a – linia ciągła, rys. 4.6b – zaciski GP i GP₃₀), warto dodatkowo dołączyć te same przewody pomiarowe do obwodu prądowego (rys. 4.6a – linia przerywana, rys. 4.6b – zaciski GD i GD₃₀) i ponownie wykonać pomiar prądu. Jeśli wyniki obu pomiarów są podobne, to można uznać, że układ pomiarowy jest w dobrym stanie. Aby wyeliminować wpływ obcych prądów płynących w rurociągu oraz wpływ napięć kontaktowych do obliczeń przyjmuje się różnicę prądów ON – OFF:

$$I = I_{ON} - I_{OFF}.$$

Pomiar należy wykonać w stacjach pomiarowych **PIs** lub **PIsE** na początku eksploatacji nowego rurociągu, a następnie powtarzać raz na rok [ST-IGG-0602, tabl. 6 (16)].



Rys. 4.6a. Pomiar prądu na rezystancji R_{30} bocznika rurociągowego i pomiar kontrolny w obwodzie drenażowym (linia kropkowana). Schemat ideowy

Parametry mierzone:

- prąd I_1 (A/**K2**) w obwodzie pomiaru potencjału,
- prąd I_2 (A/**K2**) w obwodzie prądowym,
- potencjał E (V/**K4**).

Układ zewnętrzny i nastawy:

- dla **K2** wybrać w **mRgui** zakres 18mV,
- wpisać znaną wartość rezystancji R bocznika rurociągowego lub stałą skalowania C w **K2**,
- krok zapisu 1/8s,
- czas trwania: 10' do 15'.

Uwaga 1. W przypadku wysokiej jakości powłoki zaleca się wykonanie pomiaru metodą impulsową przy zwiększonym prądzie polaryzacji (pogłębionej polaryzacji), należy stosować wówczas krótki impuls ON = np. 0.4...1s i długi czas przerwy OFF = 5...10s.

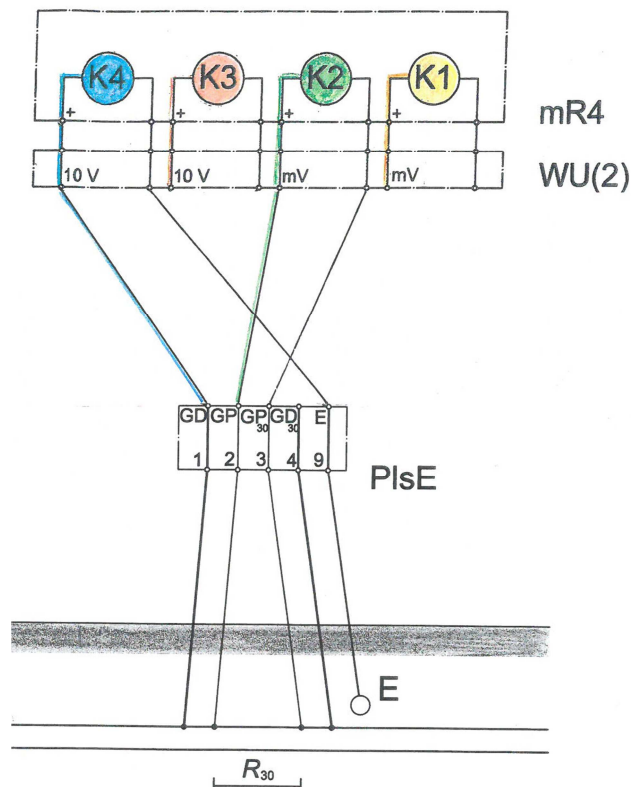
Spodziewane wyniki:

- potencjał (V/**K4**) ok. -1,5 V.
- prąd I_1 (A/**K2**) \approx prąd I_2 (A/**K2**), od ok. 0.1 mA do ~5A.

Uwaga 2. Przy podwyższonym prądzie polaryzacji potencjał (V/**K4**) do ok. -10V.

Schematy:

- ideowy rys. 4.6a,
- montażowy rys. 4.6b.



Rys. 4.6b. Pomiar potencjału i prądu (R_{30} – rezystancja bocznika rurociągowego).
Schemat montażowy

Sprzęt:

- | | |
|--|---------|
| -przenośna elektroda odniesienia (tylko w stacjach PIs) | szt. 1, |
| -tablet lub telefon | szt. 1, |
| -rejestrator mR4/mR3p | szt. 1, |
| -wtyczka uniwersalna WU(2) | szt. 1, |
| -przerwyacz, konieczny w stacjach SOK
bez wbudowanego systemu przerywania prądu) | szt. 1. |

Informacja:

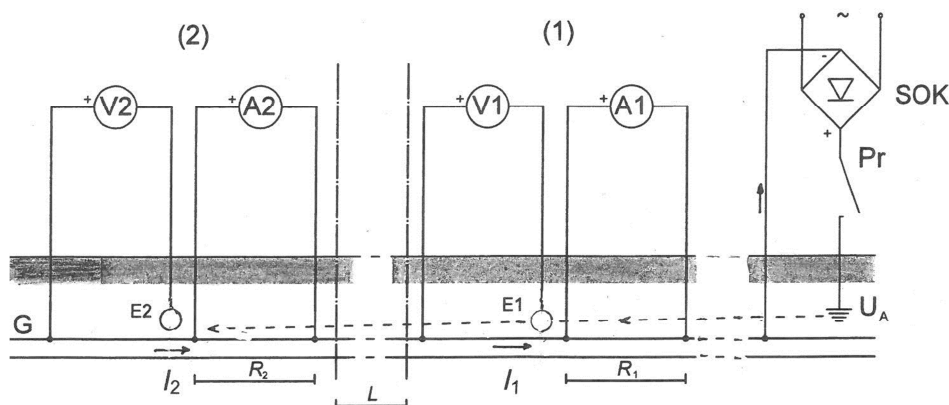
- PN-EN 13509:2005. *Metody pomiarowe w ochronie katodowej*, 6, zał. I, rys. I.2,
- ST-IGG-0602:2009. *Standard Techniczny. Ochrona przed korozją zewnętrzną stalowych gazociągów lądowych. Projektowanie, budowa i użytkowanie*, zał. F 3.3,
- NACE TM0102-2002. *Standard Test Method. Measurement of Protective Coating Electrical Conductance on Underground Pipelines* (Normatywna metoda badawcza. Pomiar konduktancji powłok ochronnych na rurociągach podziemnych), dalej: NACE TM0102, zał. A, rys. A1,
- CEOCOR. *Pomiary w ochronie katodowej przed korozją. Poradnik*, 3.1,
- Marian Hanasz. *Pomiar prądu w ocenie powłoki rurociągu. Ochrona przed Korozją* 8/2009, s. 309.

4.7 Ocena jakości powłoki na podstawie pomiaru prądów i potencjałów w sąsiednich stacjach pomiarowych przy użyciu wtyczek WU(2)

Cel pomiaru: Ocena jakości powłoki .

W celu oceny jakości powłoki należy wyznaczyć jej jednostkową rezystancję między dwiema sąsiednimi stacjami pomiarowymi **PIsE**. Należy w tym celu zmierzyć w nich prąd I oraz potencjał załączeniowy E_{ON} i wyłączeniowy E_{OFF} (4.6). Gdy występują prądy ziemne (błądzące i telluryczne), pomiar należy wykonać dwoma rejestratorami pracującymi synchronicznie w sąsiednich stacjach. Sposób obliczenia rezystancji jednostkowej w bibliografii.

Pomiar należy wykonać w stacjach pomiarowych **PIs** lub **PIsE** na początku eksploatacji nowego rurociągu, a następnie powtarzać raz na rok [ST-IGG-0602, tabl. 6 (16)].



Rys. 4.7a. Ocena stanu powłoki izolacyjnej.
Synchroniczny pomiar potencjałów i prądów w dwóch sąsiednich stacjach:
PIsE (1) – bocznik o rezystancji R_1 – i **PIsE (2)** – bocznik o rezystancji R_2 .
Schemat ideowy

Parametry mierzone w sąsiednich stacjach, kolejno lub synchronicznie:

- w stacji (1)
 - .potencjał E_1 ($V1/K4$),
 - .prąd I_1 ($A1/K2$),
- w stacji (2)
 - .potencjał E_2 ($V2/K4$),
 - .prąd I_2 ($A2/K2$).

Parametry obliczane:

- prąd skośny powłoki I (mA),
- gęstość prądu skośnego J ($\mu A/m^2$),
- rezystancja powłoki R_{CO} (Ω),
- rezystancja jednostkowa powłoki r_{CO} (Ωm^2).

Układ zewnętrzny i nastawy:

- podwyższony prąd ochrony (pogłębiona polaryzacja),

- w stacjach **PIsE(1)** i **PIsE(2)** dla **K2** wybrać w **mRgui** zakres 18mV oraz znane wartości rezystancji R boczników rurociągowych (cz. II, 3.3.2.2 i 5.4),
- synchroniczna praca rejestratorów w stacjach **PIsE(1)** i **PIsE(2)**,
- krok zapisu 1/8s,
- czas trwania pomiaru 10' do 15'.

Uwaga 2. W przypadku rurociągów o wysokiej szczelności powłoki zaleca się wykonanie pomiaru metodą impulsową: krótki impuls ON = 0.4...1s i długi czas przerwy OFF = 5...10s.

Spodziewane wyniki:

- w stacjach **PIsE(1)** i **PIsE(2)**
 - .potencjał E_1 (V1/**K4**) do -1.5V,
 - .prąd I_1 (A1/**K2**) od 0.1A do ~5A.

Uwaga 3. Przy podwyższonym prądzie ochrony potencjał (V/**K4**) do ok. -10V.

Schematy:

- ideowy rys. 4.6a, 4.7a,
- montażowy rys. 4.6b.

Sprzęt:

- przenośne elektrody odniesienia (tylko w stacjach **PIs**) 2 szt.,
- tablet lub telefon 1 ÷ 2 szt.,
- rejestrator **mR4/mR3p** 2 szt.,
- wtyczka uniwersalna **WU(2)** 2 szt.,
- przerywacz **pR1** lub inny (konieczny w stacji **SOK** bez wbudowanego systemu przerywania prądu) 1 szt.

Informacja:

p. 4.6.

5 ZASTOSOWANIA WTYCZKI *WDB* DEDYKOWANEJ DO POMIARU PRĄDU W RUROCIĄGU

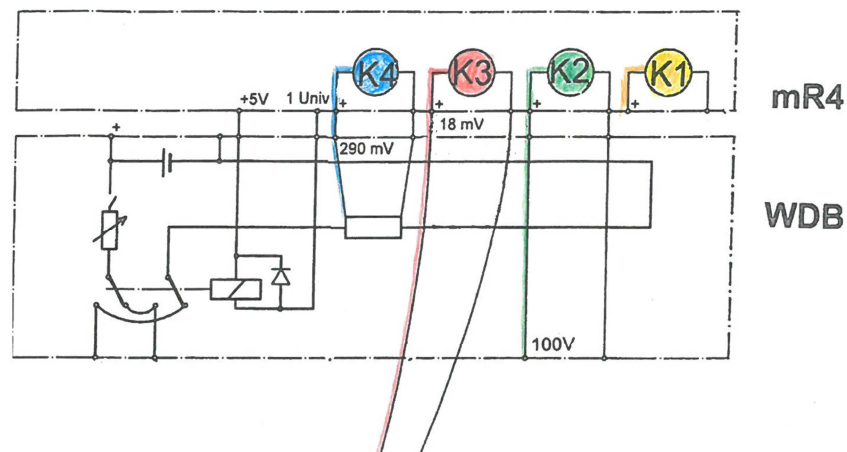
Prąd w rurociągu mierzy się w stacjach pomiarowych **PIs** lub **PIsE** metodą *pośrednią* polegającą na pomiarze spadku napięcia na znanej rezystancji R bocznika rurociągowego, którym jest wcześniej skalibrowany wybrany odcinek rurociągu (punkt prądowy). Wtyczka **WDB** ułatwia i kalibrację, i pomiar prądu.

5.1 Kalibracja bocznika rurociągowego (punktu prądowego)

Cel pomiaru: Wyznaczenie rezystancji R jako bocznika rurociągowego.

Długość bocznika rurociągowego powinna być tak dobrana, by zapewnić wymaganą dokładność pomiaru. W zależności od średnicy rurociągu oraz natężenia prądu ochrony (polaryzacji) stosuje się odcinki pomiarowe o długości od 10 do 90m.

W rurociągach o wysokiej szczelności powłoki (rezystancja jednostkowa $r_{co} \geq 10^8 \Omega m^2$) mierzone prądy mogą być rzędu zaledwie ułamka mA. Żeby zmierzyć prąd o takim natężeniu bocznik musiałby mieć długość kilkuset m. Dlatego należy stosować polaryzację pogłębioną, impulsową.



Rys. 5. Rejestrator **mR4** z wtyczką dedykowaną **WDB** z własnym źródłem i przełącznikiem prądu.
Schemat uproszczony

Kalibracja polega na jednoczesnym pomiarze spadku napięcia na boczniku i prądu w boczniku. Służy do tego wtyczka **WDB** zaopatrzona we własne źródło prądowe 1A, które zasila układ pomiarowy.

Po połączeniu układu (rys. 5.1b) należy nastawić potencjometrem wtyczki prąd pomiarowy $I_p = 1A$, po czym zainicjować procedurę kalibracji przez aktywację kontrolki 'Rb' w programie **mRgui** (cz. II, 5.4). Przełącznik wewnątrz wtyczki zmienia wtedy pięć razy krokiem $\sim 1/s$ kierunek prądu pomiarowego $I_p \approx 1A$ pobieranego z wewnętrznego źródła prądowego (rys. 5.1a).

Zmiany kierunku mają na celu eliminację wpływu wartości nieznanego prądu I_x , który może płynąć w rurociągu.

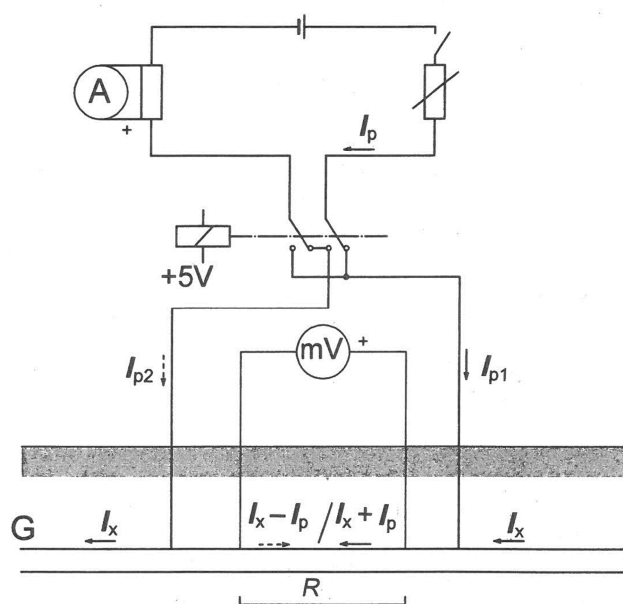
Uwaga 1. Tym nieznanym prądem – lub jego częścią – może również być prąd ochrony. Na czas kalibracji nie trzeba go koniecznie wyłączać, co stanowi dużą zaletę tego rozwiązania.

Kiedy przez bocznik rurociągowy R płynie prąd I_{p1} zgodny z kierunkiem nieznanego prądu I_x , to zmierzony przez miliwoltomierz (mV) spadek napięcia ΔU_1 na boczniku R wynosi:

$$\Delta U_1 = (I_x + I_{p1}) \cdot R$$

Kiedy przez bocznik rurociągowy R płynie prąd $-I_{p2}$ w kierunku przeciwnym do nieznanego prądu I_x , to zmierzony przez miliwoltomierz (mV) spadek napięcia ΔU_1 na boczniku R wynosi:

$$\Delta U_2 = (I_x - I_{p2}) \cdot R$$



Rys. 5.1a. Kalibracja bocznika rurociągowego R .
Działanie wtyczki **WDB**.
Schemat ideowy

Oznaczenia:

- I_x -nieznany prąd w rurociągu, nie ulegający zmianie w chwili pomiaru,
- I_p -nastawiony programowo w **WDB** prąd pomiarowy $\sim 1A$,
- I_{p1} -prąd pomiarowy zgodny z kierunkiem prądu I_x ,
- I_{p2} -prąd pomiarowy o kierunku przeciwnym prądowi I_x ,
- R_{30} -rezystancja bocznika rurociągowego (o długości 30 m),
- ΔU -spadek napięcia na boczniku μV .

Przyjmuje się, że w czasie wymuszonej programowo zmiany kierunku prądu pomiarowego I_p nieznaną prąd I_x nie zdąży zmienić swej wartości. Dla pewności układ automatycznie pięciokrotnie mierzy spadki napięcia, po czym dla poprawy jakości średniej dwie wartości skrajne są programowo odrzucane, a z pozostałych trzech, na podstawie wyżej podanych równań, zostaje obliczona i automatycznie zaprezentowana rezystancja R bocznika rurociągowego (cz. II):

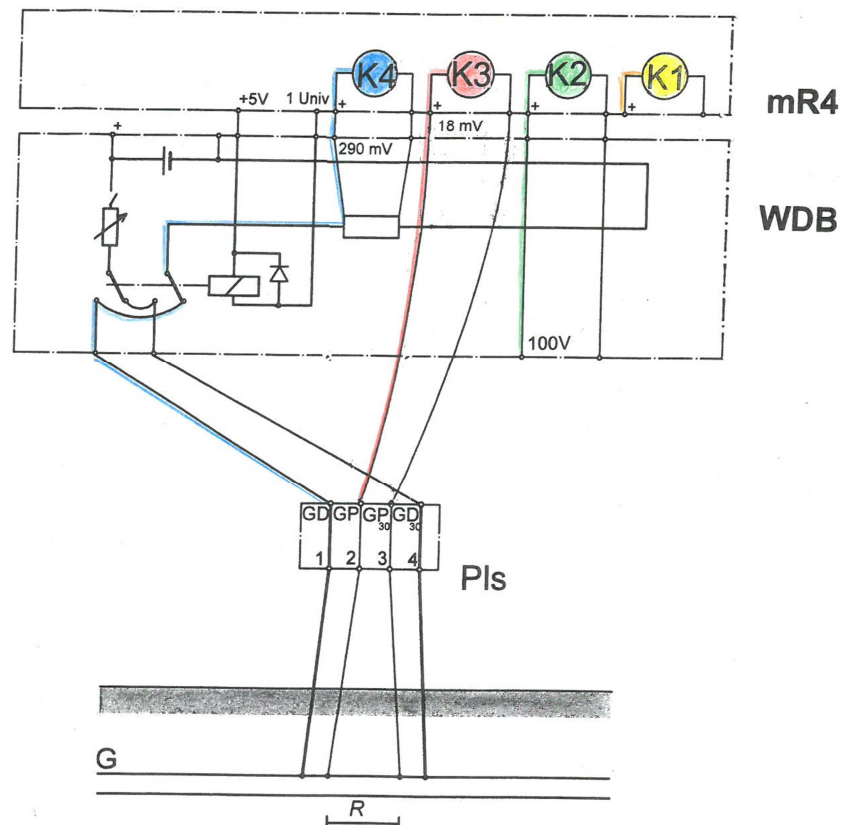
$$R = \frac{\Delta U_1 - \Delta U_2}{I_{p1} + I_{p2}} [\Omega]$$

oraz stosowana w gazownictwie stała skalowania

$$C = \frac{1}{R}$$

Parametry mierzone:

- spadek napięcia na boczniku ΔU (mV/**K3**),
- prąd pomiarowy I_p (A/**K4**).



Rys. 5.1b. Kalibracja bocznika rurociągowego.
Schemat montażowy

Parametry obliczane:

- rezystancja bocznika R [$\mu\Omega$],
- stała skalowania $C \left[\frac{\text{mA}}{\mu\text{V}} \right]$

Układ zewnętrzny i nastawy:

- upewnić się, czy bateria wtyczki **WDB** jest naładowana,
- wyłączenie prądu ochrony nie jest konieczne,
- nastawić prąd źródła wtyczki **WDB** I_p (A/**K4**) potencjometrem $\approx 1\text{A}$,
- włączyć procedurę kalibracji (**mRgui**, cz. II, 5.4),
- czas trwania pół minuty.

Spodziewane wyniki:

- spadek napięcia ΔU (V/**K3**) do ok. 1000 μ V.
- prąd pomiarowy I_p (A/**K4**) ~ 1 A,
- rezystancja bocznika R do ok. 1000 $\mu\Omega$.

Uwaga 2. Po pomiarze należy potencjometrem wtyczki **WDB** otworzyć obwód źródła prądu, żeby je uchronić przed wyładowaniem.

Schematy:

- ideowy rys. 5.1a,
- montażowy rys. 5.1b.

Sprzęt:

- tablet lub telefon,
- rejestrator **mR4/mR3p**,
- wtyczka dedykowana **WDB**.

Informacja:

- PN-EN 13509:2005. *Metody pomiarowe w ochronie katodowej*, 6, zał. I, rys. I.2,
- ST-IGG-0602:2009. *Standard Techniczny. Ochrona przed korozją zewnętrzną stalowych gazociągów lądowych. Projektowanie, budowa i użytkowanie*, zał. F 3.3,
- NACE TM0102-2002. *Standard Test Method. Measurement of Protective Coating Electrical Conductance on Underground Pipelines* (Normatywna metoda badawcza. Pomiar konduktancji powłok ochronnych na rurociągach podziemnych), dalej: NACE TM0102, zał. A, rys. A1,
- CEOCOR. *Pomiary w ochronie katodowej przed korozją. Poradnik*, 3.1,
- Marian Hanasz. *Pomiar prądu w ocenie powłoki rurociągu. Ochrona przed Korozją* 8/2009, s. 309.

5.2 Pomiar prądu i potencjału rurociągu wtyczką **WDB**

Cel pomiaru: Wyznaczenie parametrów umożliwiających obliczenie jednostkowej rezystancji powłoki.

Pomiar w stacjach pomiarowych **PIs** lub **PIsE** prądu I w rurociągu oraz potencjału E pozwala ocenić jakość jego powłoki. W stacjach **PIs** w celu pomiaru potencjału należy zastosować elektrodę przenośną.

Pomiar prądu polega na wyznaczeniu spadku napięcia na rezystancji R bocznika. Wtyczka **WDB** bardzo ułatwia kalibrację rezystancji R (5.1). Warto ją wykonać każdorazowo przed pomiarem prądu, unikając błędu pomiarowego wskutek sezonowych różnic temperatury i zmian rezystancji bocznika (rurociągu) między chwilą wyznaczenia rezystancji, a chwilą pomiaru. Rezystancja stali zmienia się o ok. 0,6%/1K, więc ma to duże znaczenie przy małym natężeniu prądu. Po kalibracji należy potencjometrem wtyczki **WDB** otworzyć obwód źródła prądu, żeby uchronić je przed wyładowaniem i odłączyć przewody kanału **K4** od zacisków GD i

GD₃₀. Jeżeli z jakichś względów nie zamierza się wykonać kalibracji, należy przed pomiarem wprowadzić w programie **mRgui** (cz. II, 5.4) w odpowiednich kontrolkach znaną wartość rezystancji bocznika rurociągowego R lub stałą skalowania C .

W przypadku rurociągów pokrytych powłokami gorszej jakości pomiary potencjałów rurociągu należy wykonywać względem przenośnych elektrod odniesienia usytuowanych na ziemi odniesienia.

W razie wątpliwości co do stanu układu pomiarowego lub wyniku pomiaru prądu I_1 (A/**K3**) w rurociągu (rys. 5.2a – linia ciągła, rys. 5.2b – zaciski GP i GP₃₀), warto dodatkowo dołączyć te same przewody pomiarowe do obwodu prądowego (rys. 5.2a – linia przerywana, rys. 5.2b – zaciski GD i GD₃₀) i ponownie wykonać pomiar prądu. Jeśli wyniki obu pomiarów są podobne, to można uznać, że układ pomiarowy jest w dobrym stanie. Aby wyeliminować wpływ obcych prądów płynących w rurociągu oraz wpływ napięć stykowych do obliczeń przyjmuje się różnicę prądów ON – OFF:

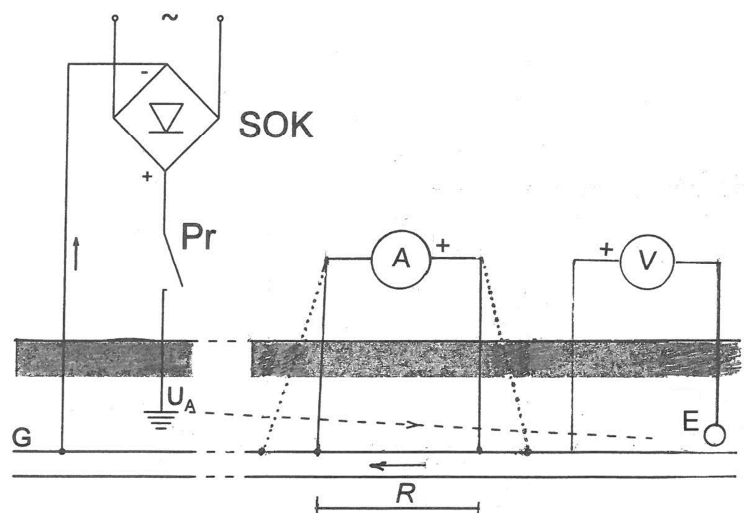
$$I = I_{ON} - I_{OFF}$$

Pomiar należy wykonać w stacjach pomiarowych **PIs** lub **PIsE** na początku eksploatacji nowego rurociągu, a następnie powtarzać raz na rok [ST-IGG-0602, tabl. 6 (16)].

Parametry mierzone:

- potencjał E (V/**K2**),
- prąd I_1 (A/**K3**) w obwodzie pomiarowym,
- prąd I_2 (A/**K3**) w obwodzie prądowym (w razie wątpliwości).

Uwaga 1. Po wykonaniu pomiaru tych samych parametrów w sąsiedniej stacji, można obliczyć parametry powłoki odcinka między nimi.

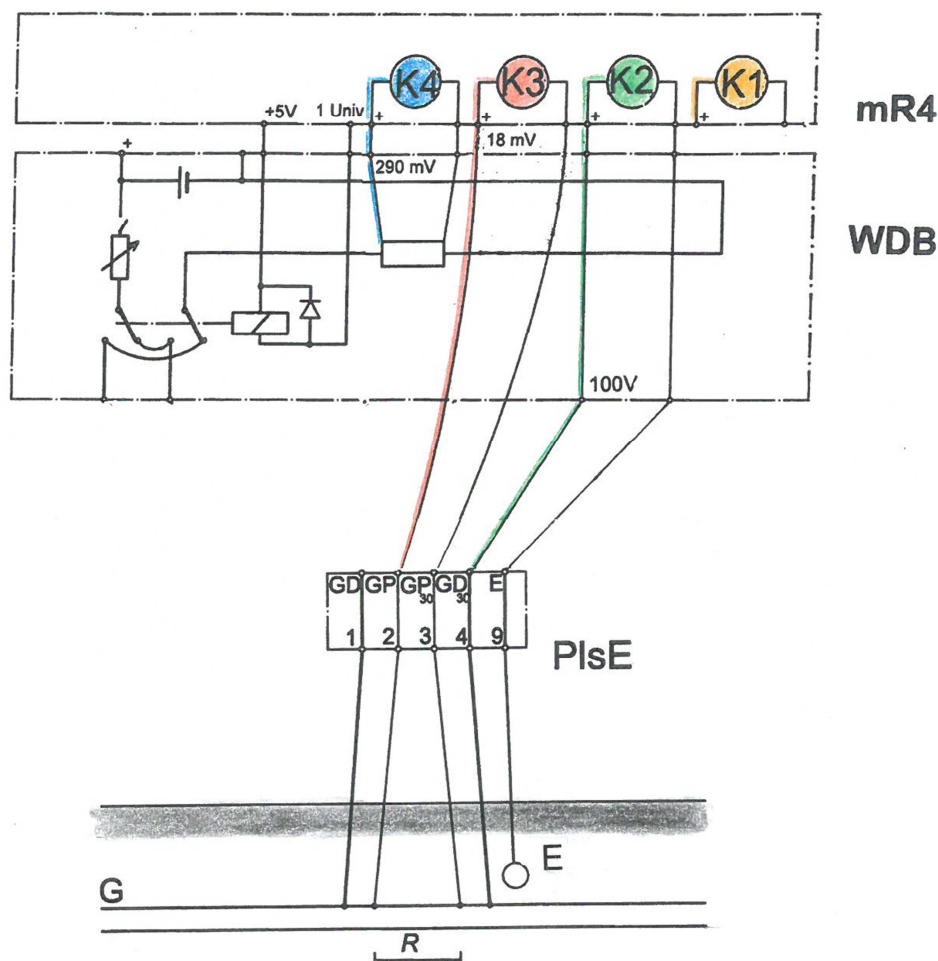


Rys. 5.2a. Pomiar potencjału i prądu w rurociągu na rezystancji R bocznika rurociągowego. Pomiar kontrolny w obwodzie drenażu linia kropkowana. Schemat ideowy

Układ zewnętrzny i nastawy:

- upewnić się, czy bateria wtyczki **WDB** jest naładowana (niezbędne przed kalibracją),
- podwyższony prąd ochrony (polaryzacja pogłębiona),
- wpisać znaną wartość rezystancji R bocznika rurociągowego lub stałą skalowania w **K3**,
- po pomiarze prądu I_1 w obwodzie pomiarowym wykonać dla sprawdzenia stanu układu pomiarowego pomiar prądu w obwodzie drenażowym I_2 (A/**K3**) (na rys. 5.2b nie pokazano),
- krok zapisu 1/8s,
- czas trwania: 10' do 15'.

Uwaga 2. W przypadku wysokiej jakości powłoki zaleca się wykonanie pomiaru metodą impulsową: krótki impuls ON = 0.4...1s i długi czas przerwy OFF = 5...10s.



Rys. 5.2b. Pomiar w rurociągu potencjału i prądu na rezystancji R bocznika rurociągowego.
Schemat montażowy

Spodziewane wyniki:

- potencjał (V/**K2**) ok. -1.5V.
- prąd I_1 (A/**K3**) \approx prąd I_2 (A/**K3**), od 0.1A do \sim 5A.

Uwaga 3. Przy podwyższonym prądzie ochrony potencjał (V/**K2**) ok. -10V.

Schematy:

- ideowy rys. 5.2a,
- montażowy rys. 5.2b.

Sprzęt:

-tablet lub telefon	szt. 1,
-rejestrator mR4/mR3p	szt. 1,
-wtyczka dedykowana WDB	szt. 1,
-przerywacz, konieczny w stacji SOK bez wbudowanego systemu przerywania prądu	szt. 1.

Informacja:

p. 5.1.

5.3 Ocena jakości powłoki na podstawie pomiaru prądów i potencjałów w dwóch sąsiednich stacjach pomiarowych przy użyciu wtyczki WDB

Cel pomiaru: Ocena jakości powłoki .

W celu oceny jakości powłoki należy wyznaczyć jej jednostkową rezystancję między dwiema sąsiednimi stacjami pomiarowymi **PIsE**. Należy w tym celu zmierzyć w nich prąd I oraz potencjał załączeniowy E_{ON} i wyłączeniowy E_{OFF} (5.2). Gdy występują prądy ziemne (błądzące i telluryczne), pomiar należy wykonać dwoma rejestratorami pracującymi synchronicznie w sąsiednich stacjach. Sposób obliczenia rezystancji jednostkowej w bibliografii.

Pomiar należy wykonać w stacjach pomiarowych **PIs** lub **PIsE** na początku eksploatacji nowego rurociągu, a następnie powtarzać raz na rok [ST-IGG-0602, tabl. 6 (16)].

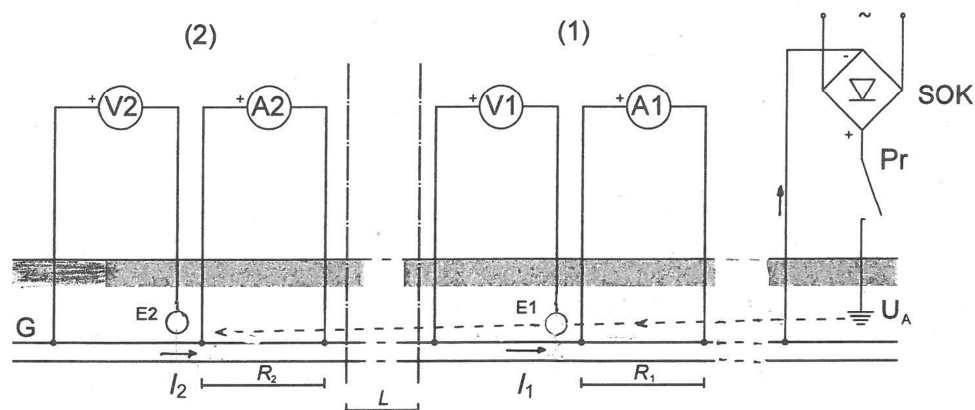
Parametry mierzone w sąsiednich stacjach, kolejno lub synchronicznie:

w stacji (1)

- potencjał E_1 (V1/**K2**),
- prąd I_1 (A1/**K3**),

w stacji (2)

- potencjał E_2 (V2/**K2**),
- prąd I_2 (A2/**K3**).



Rys. 5.3a. Ocena stanu powłoki izolacyjnej.
 Synchroniczny pomiar potencjałów i prądów w dwóch sąsiednich stacjach:
PIsE (1) – bocznik o rezystancji R_1 – i **PIsE (2)** – bocznik o rezystancji R_2 .
 Schemat ideowy

Parametry obliczane:

- prąd skrośny powłoki I (mA),
- gęstość prądu skrośnego J ($\mu\text{A}/\text{m}^2$),
- rezystancja powłoki R_{CO} (Ω),
- rezystancja jednostkowa powłoki r_{CO} (Ωm^2).

Układ zewnętrzny i nastawy:

- upewnić się, czy bateria wtyczki **WDB** jest naładowana (niezbędne do kalibracji),

Uwaga 1. Po kalibracji należy potencjometrem wtyczki **WDB** otworzyć obwód źródła prądu, żeby je uchronić przed wyładowaniem.

- podwyższony prąd ochrony (polaryzacja pogłębiona),

Uwaga 2. W przypadku wysokiej jakości powłoki zaleca się wykonanie pomiaru metodą impulsową: krótki impuls ON = 0.4...1s i długi czas przerwy OFF = 5...10s.

- w stacjach **PIsE (1)** i **PIsE (2)** wpisać w **K3** znane wartości rezystancji R boczników rurociągowych lub stałe skalowania,
- synchroniczna praca rejestratorów w stacjach (1) i (2),
- krok zapisu 1/8s,
- czas trwania: 10' do 15'.

Spodziewane wyniki pomiaru:

- w stacjach **PIsE (1)** i **PIsE (2)**
 - .potencjały E ($V1/K2$) i ($V2/K2$) ok. -1V,
 - .prądy I ($A1/K3$) i ($A2/K3$) do 1A.

Uwaga 3. Przy podwyższonym prądzie ochrony potencjał ($V/K2$) do ok. -10V.

Schematy:

- ideowy rys. 5.3a,
- montażowy rys. 5.2b (ważny dla obu stacji **PIsE(1)** i **PIsE(2)**).

Sprzęt:

-przenośne elektrody odniesienia (tylko w stacjach PIs)	2 szt.,
-tablet lub telefon, co najmniej	1 szt.,
-rejestrator mR4/mR3p	2 szt.,
-wtyczka dedykowana WDB	2 szt.,
-przerywacz (konieczny w stacji SOK bez wbudowanego systemu przerywania prądu)	1 szt.

Informacja:

p. 4.6

6 ZASTOSOWANIA WTYCZKI *WDG* DEDYKOWANEJ DO POMIARÓW LINIOWYCH

Defekty powłoki i ścianki rurociągów bada się *intensywnie*, czyli – zgodnie ze znaczeniem tego słowa – bardzo gęsto. Stosowanych jest kilka metod pomiarowych, dla których tu przyjęto roboczo wspólną nazwę *pomiarów liniowych*:

- metoda *gradientów dc* (DCVG)¹,
- metoda *potencjałowa* (IFO)²,
- metoda *pomiarowo-ekstrapolacyjna* (CIS, CISP)³,
- metoda Pearsona (metoda gradientów potencjału a.c.),
- metoda indukcyjna (metoda zasilania prądem o częstotliwości akustycznej),
- metoda badania porowatości wysokim napięciem przed zasypaniem wykopu,
- metoda ultradźwiękowa (tłok inteligentny wewnątrz rurociągu).

Najczęściej w badaniach zasypanych rurociągów stosuje się pierwsze trzy z wymienionych metod. Można w nich z powodzeniem używać rejestratorów **mR4/mR3p**.

Metoda gradientów, w skrócie DCVG (6.1) umożliwia lokalizację defektów powłoki badanego rurociągu, jednak nie informuje o zagrożeniu korozyjnym. Można jednak wykryć obecność prądów błędzących (PN-EN 50162, 5.21).

Metoda potencjałowa (6.2), znana też pod nazwą IFO, polega na pomiarze potencjału nad rurociągiem. W Niemczech jest stosowana zbliżona metoda *addycyjna*, która polega na pomiarze potencjału w najbliższej stacji **P**, po czym przenosząc elektrody dodaje się różnice zmierzonych potencjałów (CEOCOR. *Pomiary w ochronie katodowej przed korozją. Poradnik*, s. 48 i nast.). Dzięki temu można uniknąć kłopotliwego rozciągania kabla pomiarowego. W Polsce metody tej się nie stosuje ze względu na powszechne występowanie prądów błędzących d.c. pochodzenia kolejowego. W Niemczech nie jest to problemem, bo trakcja kolejowa jest zasilana prądem przemiennym.

Metoda pomiarowo-ekstrapolacyjna (6.3) jest kombinacją metod IFO + DCVG (ST-IGG-0602, 6.3), w której lokalizuje się defekty i od razu mierzy w nich potencjały.

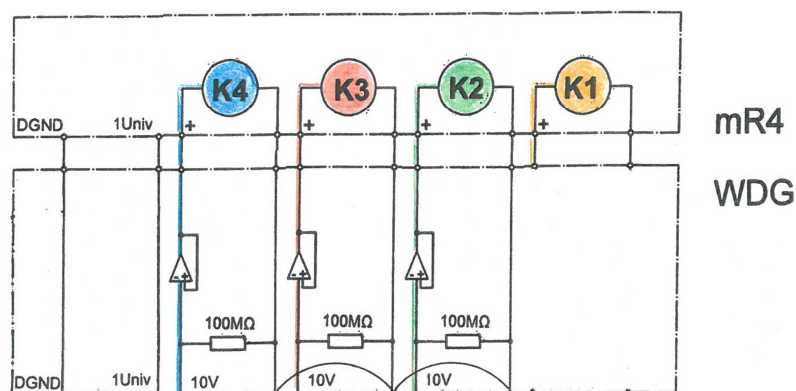
Stosowanie tych metod ułatwia dedykowana wtyczka **WDG** (rys.6a). Bardzo znaczna rezystancja wejścia 100MΩ umożliwia pomiar potencjału w gruntach o wysokiej rezystywności, w szczególności w jej bardzo wysuszonej warstwie zewnętrznej (humus). Wtyczka wybornie spełnia wysokie wymagania metrologiczne stawiane pomiarom liniowym: na zakresie $\pm 10V$ rozdzielczość

¹ **DCVG** – *Direct Current Voltage Gradient* – gradient napięcia prądu stałego.

² **IFO** – *Intensive Fehlstellenortung* – intensywne umiejscowienie defektów.

³ **CIS** – *Close Interval Survey* – pomiar w małych odległościach, **CISP** – *Close Interval Potential Survey* – pomiar potencjału w małych odległościach.

wynosi $10\mu\text{V}$. Wbudowany odbiornik GPS umożliwia pozycjonowanie defektu z dokładnością do paru metrów. Różnicę potencjałów elektrod dzięki funkcji kompensacji (cz. II, 5.2) można ograniczyć do 0.25mV .



Rys. 6. Rejestrator **mR4** z wtyczką dedykowaną **WDG** do pomiaru potencjału i gradientów potencjału. Rezystancja wewnętrzna kanałów **K2**, **K3**, **K4** wynosi $100\text{M}\Omega$.
Schemat uproszczony

W każdym kroku pomiarowym stawia się przenośne elektrody odniesienia w odpowiedniej odległości. Pomiary usprawnia zamontowanie elektrod w specjalnych, przeznaczonych do tego uchwytach **UE**.

Każdy kanał pomiarowy pełni stałą, ściśle określoną funkcję, dlatego należy stosować podane dalej układy połączeń. Identyfikację kanałów pomiarowych, elektrod i uchwytów ułatwiają przypisane im kolory:

-**UEP**: Uchwyt Elektrody główny z Przyciskiem akceptacji pomiaru nad osią rurociągu, **AGND** – czarny, masa analogowa, elektroda pierwsza (środkowa) **E1** + kanał **K2** – zielony (połączenie z rurociągiem)

-**UEL**: Uchwyt Elektrody Lewy), elektroda boczna lewa **E2** + kanał **K3** – czerwony,

-**UER**: Uchwyt Elektrody pRawy), elektroda boczna prawa **E3** + kanał **K4** – niebieski.

Uwaga 1. Kanał **K1** – żółty nie jest wykorzystany.

Uwaga 2. Oznaczenia 'lewy', 'prawy' zaleca się odnieść do stałego kierunku przepływu medium w rurociągu. Ekipa pomiarowa może iść w tym samym lub w przeciwnym kierunku, natomiast elektrody i uchwyty niezależnie od tego powinny pozostać po tej samej stronie rurociągu.

Kierownik ekipy obsługuje uchwyt **UEP** i jest wyposażony w notebook lub tablet. Z każdym krokiem pomiarowym na ekranie pojawiają się dane odnoszące się do aktualnego miejsca pomiaru, co umożliwia wpis komentarza do pamięci rejestratora, np. domiaru względem szczegółów terenowych. Każdorazowe użycie przycisku akceptu w uchwycie elektrody **UEP** – lub przycisku na ekranie notebooka powoduje zapis w pamięci rejestratora następujących danych:

-numer kroku,

- wskazanie czynnych kanałów,
- znaki i wartości ON zmierzone [V] w K2,
- znaki i wartości ON zmierzone [V] w K3,
- znaki i wartości ON zmierzone [V] w K4,
- data i czas gg:mm:ss,00 pomiaru ON,
- znaki i wartości OFF zmierzone [V] w K2,
- znaki i wartości OFF zmierzone [V] w K3,
- znaki i wartości OFF zmierzone [V] w K4,
- data i czas gg:mm:ss,00 pomiaru OFF,
- oznaczenie punktu startu lub zmiany kierunku rurociągu,
- odległość od ostatniej stacji pomiarowej [m],
- długość i szerokość geograficzna punktu pomiaru (GPS),
- komentarz.

6.1 Lokalizacja defektów powłoki metodą gradientów (DCVG)

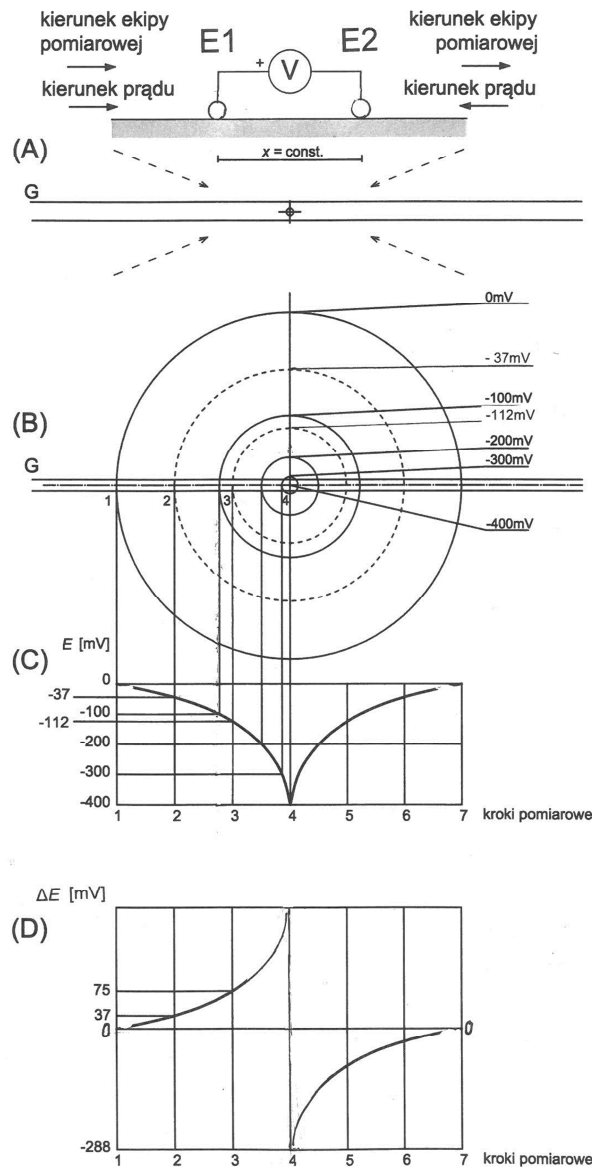
Lokalizację defektu powłoki umożliwia pomiar potencjału pola elektrycznego generowanego przez prąd ochrony. Jak wiadomo, natężenie pola w miarę oddalania od źródła maleje odwrotnie proporcjonalnie do kwadratu odległości. Natężenia pola nie można zmierzyć bezpośrednio, natomiast można zmierzyć proporcjonalny do natężenia pola potencjał.

Miejsca geometryczne jednakowego potencjału można wyobrazić sobie jako okręgi kół, nazywane *liniami ekwipotencjalnymi* (rys. 6.1-B).

Poszukując centrum defektu, które jest źródłem pola i wspólnym środkiem okręgów linii ekwipotencjalnych, mierzy się na powierzchni ziemi różnice potencjałów pomiędzy punktami przyłożenia elektrod pomiarowych. Te różnice, o ile są mierzone wzdłuż linii sił pola, są wielkościami wektorowymi, które charakteryzuje wartość, kierunek, zwrot (strzałka wskazuje wartość większą) i punkt zaczepienia - są to tzw. gradienty potencjału.

Ze względu na odwrotną do odległości proporcjonalność potencjału okręgi kół (linie ekwipotencjalne) zagęszczają się w kierunku *centrum* defektu. Zmieniający się potencjał tworzy przestrzenny kielich, inaczej *lej potencjałowy* (rys. 6.1-C), czasem nazywany niesłusznie 'stożkiem' potencjałowym lub napięciowym. Jest to nazwa myląca, ponieważ tworząca stożka jest linią prostą, tu zaś widać krzywą ($1/r^2$).

Należy pamiętać, że na powierzchni ziemi mierzy się *de facto* rzut gradientu potencjału i wyznacza rzut centrum defektu. Zbliżając się do centrum defektu wzdłuż linii sił pola, tzn. przykładając elektrody pomiarowe wzdłuż rurociągu (6.1.1), obserwuje się wzrost gradientów (rys. 6.1-D). W samym centrum gradienty zmieniają znak i po niej znowu rosną. Zmiana znaku po przejściu centrum wynika stąd, że prąd ochrony I_p wprawdzie nadal wpływa *DO* centrum defektu, ale teraz kroki pomiarowe *OD* centrum się oddalają.



Rys. 6.1. Defekt powłoki. Potencjały i gradienty potencjału. Prąd ochrony wpływa do defektu.

Oznaczenia:

- (A) Elektrody ustawione wzdłuż rurociągu. Przekrój
- (B) Linie ekwipotencjalne pola elektrycznego defektu. Widok z góry
- (C) Lej potencjału E defektu. Przekrój
- (D) Gradient potencjału ΔE w rejonie defektu

Jeżeli defekt nie jest chroniony i prąd z niego wypływa, kroki pomiarowe zbliżają się DO centrum w kierunku przeciwnym do prądu płynącego OD defektu. Po przejściu centrum zachodzi zmiana znaku, bo teraz kroki pomiarowe i prąd zmierzają w tym samym kierunku.

Podobna metoda polega na przykładaniu dwóch elektrod pomiarowych poprzecznie w stosunku do rurociągu, jedną nad jego osią rurociągu, a drugą równoległe w pewnej odległości (6.1.2). W tym przypadku mierzy się różnice

potencjałów, które nie są gradientami (rys. 6d), aczkolwiek powszechnie są tak nazywane.

Przedstawiony tu idealny obraz może w praktyce ulec modyfikacji, np. gdy defekt ma kształt podłużny, a nie zbliżony do koła lub wskutek zmiany poziomu posadowienia rurociągu. Jeżeli w gruncie płyną prądy zmieniające się w czasie, np. pochodzenia trakcyjnego, to należy stosować metody specjalne (6.3.3).

Krok pomiarowy, to znaczy odległość między kolejnymi miejscami przyłożenia elektrod powinien być w zasadzie jednakowy, rzędu paru metrów. Jego długość należy dostosować do warunków lokalnych (rezystywności gruntu, jakości powłoki, głębokości posadowienia rurociągu). Ze względu na nieliniowość różnic potencjałów (gradientów) w pobliżu centrum defektu krok należy zagęścić. Uwaga. Krok pomiarowy ekipy, krok zapisu (nastawa rejestratora) i krok przerywania prądu ochrony (nastawa przerywacza) to zupełnie różne parametry pomiaru.

Przerywanie prądu ochrony jest bez względu na wybraną metodę niezbędne w celu wyeliminowania wpływu na wynik pomiaru obcych pól elektrycznych oraz błędów elektrod.

Odległość między elektrodami powinna być zawsze stała, a ich wzajemnej pozycji nie należy zmieniać.

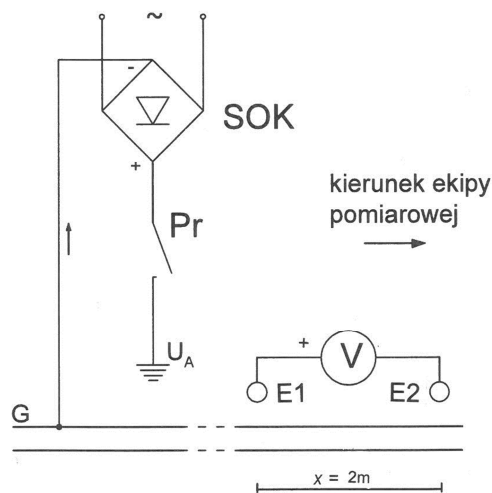
Gdy defekt został usytuowany pośrodku pomiędzy elektrodami, różnica potencjałów spada do zera. Po takiej wstępnej lokalizacji należy wyznaczyć ściśle centrum defektu zmniejszając odległość między elektrodami do ok. 1...2m i mierząc gradienty wzdłuż i w poprzek osi rurociągu. Centrum defektu wskazuje punkt na powierzchni ziemi pośrodku pomiędzy elektrodami, nad którym gradient zmierzony wzdłuż i w poprzek osi jest równy zeru.

W ostatniej fazie pomiaru należy jedną elektrodę ustawić dokładnie w centrum defektu, drugą - prostopadle do rurociągu w odległości 10m, najpierw z jednej, potem z drugiej strony. Wartość gradientu zmierzonego nad defektem (w powiązaniu z innymi wielkościami – głębokością ułożenia rurociągu, rezystywnością gruntu w miejscu defektu i in.) pozwala na przeprowadzenie oceny i klasyfikacji zlokalizowanych defektów.

6.1.1 Badanie rurociągów o powłoce z nielicznymi nieszczelnościami (elektrody wzdłuż rurociągu)

Cel pomiaru: Lokalizacja defektów.

Ekipa pomiarowa przemieszcza się po osi rurociągu i mierzy gradient potencjału w jednym kanale rejestratora (V/K^2) między dwiema elektrodami **E1** i **E2** (rys. 6.1.1a). Ta metoda ma na celu tylko lokalizację pojedynczych defektów, jest najłatwiejsza do wykonania, najszybsza i najtańsza, lecz nie daje możliwości oceny skuteczności ochrony w defektach.



Rys. 6.1.1a. Lokalizacja defektów nad trasą rurociągu.
Schemat ideowy

Elektroda **E1** połączona jest z zaciskiem (+) rejestratora (rys. 6.1.1a-A) i znajduje się w stałej odległości ok. 10m za elektrodą **E2**. Kolejne pomiary wykonuje się przemieszczając obie elektrody o stały krok (zwykle ok. 2 m). W miarę zbliżania się do defektu mierzona wartość bezwzględna gradientu rośnie. Gdy elektroda **E1** znajdzie się nad defektem, wartość bezwzględna gradientu osiąga maksimum. W miarę oddalania się od defektu gradient będzie malał.
Uwaga. Ten sposób lokalizacji defektów jest stosowany, gdy w powłoce rurociągu występują nieliczne, z rzadka rozsiane defekty.

Parametry mierzone:

- gradient potencjału $\Delta E_{ON}, \Delta E_{OFF}$ (V/**K2**),
- odległość od poprzedniej stacji pomiarowej,
- pozycja GPS,
- czas GPS.

Układ zewnętrzny i nastawy:

- prąd ochrony załączony, OFF = np. 1s, (OFF + ON) = np. 5s,

Uwaga. W celu lokalizacji małych defektów polaryzacja pogłębiona (podnieść prąd ochrony), ON = 0.4...1s, OFF = 5...10s,

- odległość między elektrodami wg wskazówek j.w.,
- GPS czynny (antena),
- czynny kanał **K2**,
- krok zapisu 1/8s,
- krok pomiarowy rzędu 1...2m.

Spodziewane wyniki:

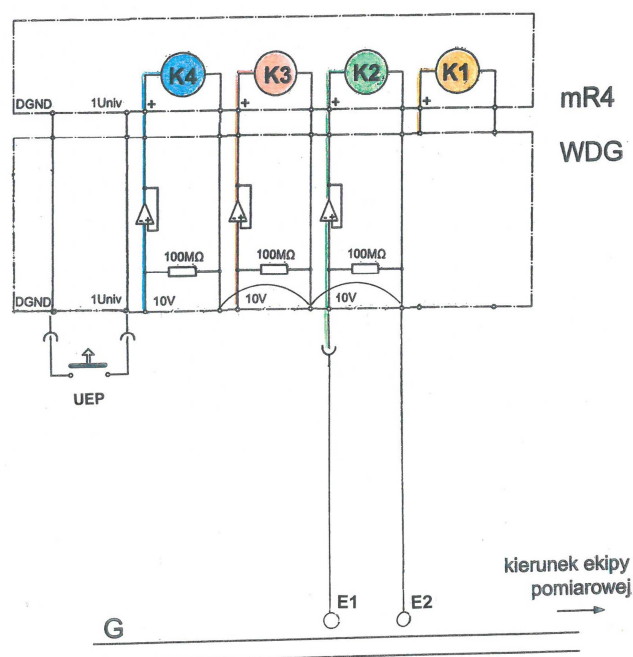
- gradient potencjału ΔE (V/**K2**), \pm kilka do kilkuset mV,
- lokalizacja defektów (GPS), opis trasy.

Schematy:

- ideowy 6.1.1a,
- montażowy 6.1.1b,
- ekipa pomiarowa 6.1.1c.

Sprzęt:

- lokalizator konstrukcji podziemnych szt. 1,
- przenośna elektroda odniesienia Cu/CuSO₄ - **E1** w uchwycie **UEP** szt. 1,
- z przyciskiem szt. 1,
- elektroda **E2** j.w., w dowolnym uchwycie **UE** szt. 1,
- tablet (Windows) szt. 1,
- rejestrator **mR4/mR3p** szt. 1,
- wtyczka dedykowana **WDG** szt. 1,
- przerwywacz konieczny w stacji **SOK**, szt. 1.
- bez wbudowanego systemu przerywania prądu)



Rys. 6.1.1b. Lokalizacja defektów nad trasą rurociągu.
Kolor uchwytu elektrody **E2** dowolny.
Schemat montażowy

Informacja:

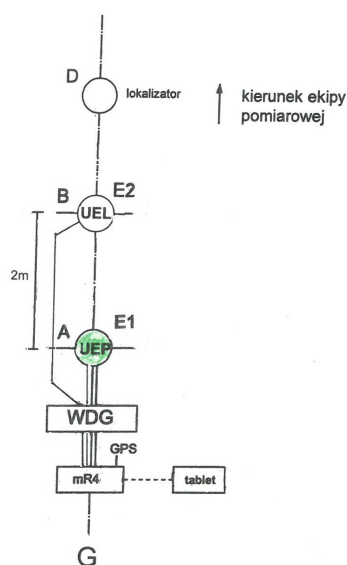
- PN-EN 13509:2005. *Metody pomiarowe w ochronie katodowej*, 4.4.2.3, tabl. 1.2, zał. zał. B, C, D, F,
- ST-IGG-0602:2009. *Standard Techniczny. Ochrona przed korozją zewnętrzną stalowych gazociągów lądowych. Projektowanie, budowa i użytkowanie*, 6.3, tabl. 6(16),
- NACE SP0207-2007. *Standard Practice. Performing Close-Interval Potential*

Surveys and DC Surface Potential Gradient Surveys on Buried or Submerged Metallic Pipelines (Wskazówki normatywne. Badanie metodami liniowymi potencjału i gradientu potencjału d.c. na powierzchni ziemi podziemnych lub podwodnych rurociągów metalowych), 11,

-NACE SP0502-2008. *Standard Practice. Pipeline External Corrosion Direct Assessment Methodology* (Wskazówki normatywne. Metodyka bezpośredniej oceny korozji zewnętrznej rurociągów) A,

-CEOCOR. *Pomiary w ochronie katodowej przed korozją. Poradnik. SEP i COSIW*, Warszawa 2010, 2.4,

-Marek Fiedorowicz. *Ochrona katodowa – potencjały konstrukcji*, Ochrona przed Korozją 8/2012, s. 340.



Rys. 6.1.1c. Lokalizacja defektów nad trasą rurociągu.
Schemat ekipy pomiarowej

Oznaczenia:

A – kierownik ekipy:

- UEP** – uchwyt elektrody **E1** z przyciskiem akceptacji (w ręku),
- rejestrator **mR4/mR3p** (w futerale u boku),
- wtyczka **WDG**,
- tablet (z przodu),

B – operator uchwytu **UE** elektrody **E2**

D – operator lokalizatora rurociągu

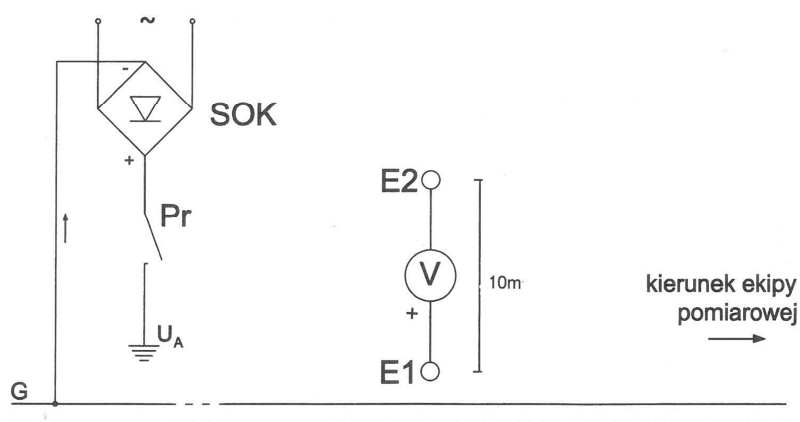
Uwaga. Kolor uchwytu **UE** elektrody **E2** dowolny (tu **UEL**), ponieważ wynik pomiaru nie służy do dalszych obliczeń.

6.1.2 Badanie rurociągów z powłoką porowatą lub z licznymi nieszczelnościami (elektrody prostopadle do rurociągu)

Cel: Lokalizacja liczących defektów.

Ekipa pomiarowa przemieszcza się wzdłuż trasy rurociągu i mierzy różnice potencjału w kanale rejestratora (V/**K2**) między dwiema elektrodami **E1** i **E2**. Wykrycie gęsto rozsianych defektów powłoki ułatwia ustawienie elektrod prostopadłe w stosunku do osi rurociągu (rys. 6.1.2a). **E1** znajduje się nad osią rurociągu, a **E2** prostopadle do niej w odległości $x = 10m$.

Po wstępnym zlokalizowaniu defektu należy ustalić usytuowanie jego centrum i zmierzyć gradient prostopadły z jednej i drugiej strony.



Rys. 6.1.2a. Lokalizacja defektów prostopadle do rurociągu.
Schemat ideowy

Lokalizację defektów powłoki wykonuje się raz w roku na całej długości rurociągu [ST-IGG-0602, tabl. 6 (16)].

Parametry mierzone:

- różnice potencjału ΔE_{ON} , ΔE_{OFF} (V/K²),
- odległość od poprzedniej stacji pomiarowej,
- pozycja GPS,
- czas GPS.

Układ zewnętrzny i nastawy:

- prąd ochrony załączony, OFF = np. 1s, (OFF + ON) = np. 5s,

Uwaga. W celu lokalizacji małych defektów polaryzacja pogłębiona (podnieść prąd ochrony), ON = 0.4...1s, OFF = 5..10s,

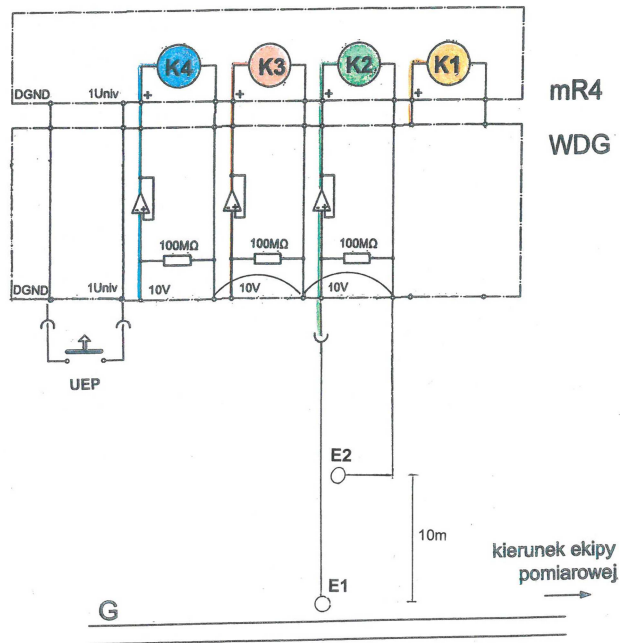
- odległość między elektrodami $x = 10m$,
- GPS czynny (antena),
- czynny kanał K²,
- krok zapisu 1/8s,
- krok pomiarowy 1... 2m.

Spodziewane wyniki:

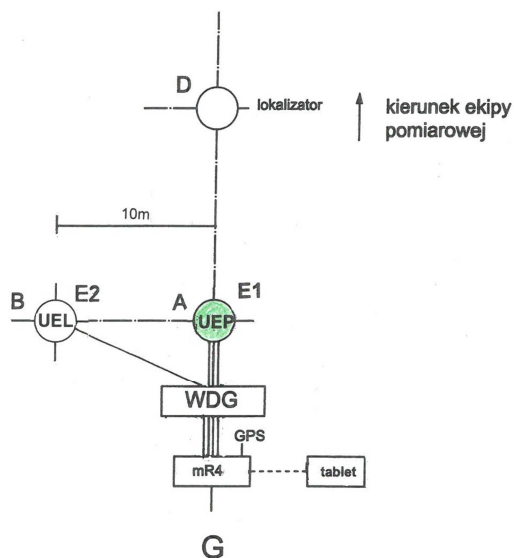
- gradient potencjału ΔE (V/K²), \pm kilka do kilkuset mV,
- lokalizacja defektów (GPS, opis trasy).

Schematy:

- ideowy 6.1.2a,
- montażowy 6.1.2b,
- ekipa pomiarowa 6.1.2c.



Rys. 6.1.2b. Lokalizacja defektów prostopadle do rurociągu.
Schemat montażowy



Rys. 6.1.2c. Lokalizacja defektów prostopadle do rurociągu.
Schemat ekipy pomiarowej

Oznaczenia:

A – kierownik ekipy:

- UEP** – uchwyt elektrody **E1** z przyciskiem akceptacji (w ręku),
- rejestrator **mR4/mR3p** (w futerale u boku),
- wtyczka **WDG**,
- tablet (z przodu),

B – operator uchwytu **UE** elektrody **E2**,

D – operator lokalizatora rurociągu

Uwaga. Kolor uchwytu **UE** dowolny (tu: **UEL**), ponieważ wynik pomiaru nie służy do dalszych obliczeń.

Sprzęt:

-lokalizator konstrukcji podziemnych	szt. 1,
-przenośna elektroda odniesienia Cu/CuSO ₄ - E1 w uchwycie UEP z przyciskiem	szt. 1,
-elektroda E2 j.w., w dowolnym uchwycie UE	szt. 1,
-tablet (Windows)	szt. 1,
-rejestrator mR4/mR3p	szt. 1,
-wtyczka dedykowana WDG	szt. 1,
-przerwywacz konieczny w stacji SOK	szt. 1,
bez wbudowanego systemu przerywania prądu	szt. 1.

Informacja:

p. 6.1.1.

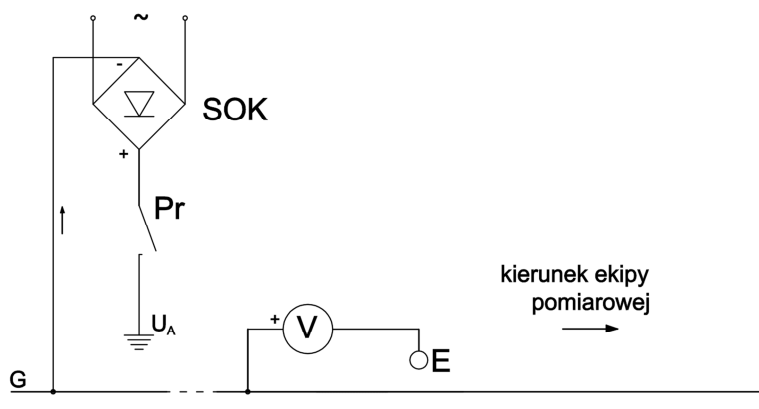
6.2 Metoda potencjałowa (IFO)

Cel: Wyznaczenie potencjału w defektach powłoki wzdłuż rurociągu.

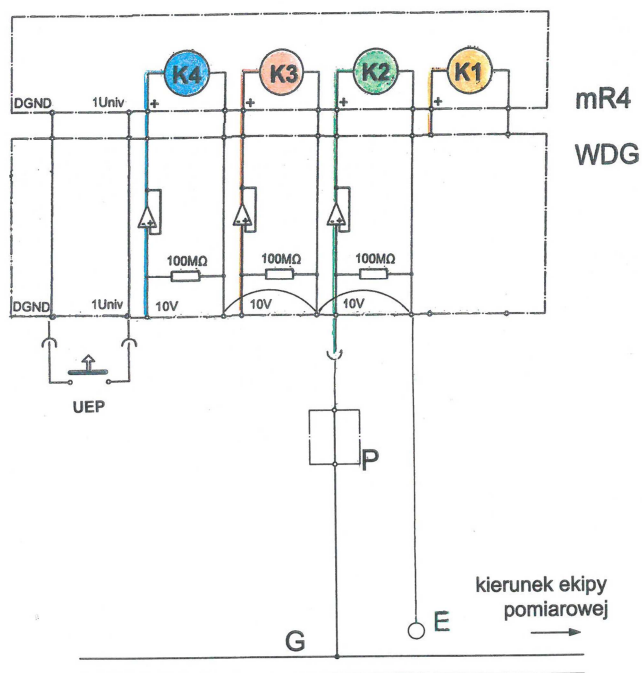
Metodę potencjałową stosuje się w celu określenia poziomu ochrony katodowej na całej długości rurociągu. Czasem używa się jej jako drugiego etapu badań po przeprowadzeniu lokalizacji defektów (6.1), np. jeśli lokalizację defektów prowadzono przy pogłębionej polaryzacji. Zasadniczo metoda ta może być stosowana na rurociągach nie poddanych oddziaływaniom prądów błędnych

Potencjał rurociągu wyniesiony z najbliższej stacji pomiarowej **P** rozciągniętym wzdłuż trasy kablem mierzy się nad osią rurociągu w niewielkich odległościach (małe kroki pomiarowe). Zagrożone korozją mogą być miejsca, gdzie potencjał zmierzony E_{OFF} jest większy od potencjału ochrony $E_{OFF} > E_p$. Obecność defektu powłoki objawiać się będzie zmianami potencjałów E_{ON} i E_{OFF} rurociągu podobnymi do zmian gradientów potencjału wg rys. 6.1.

Pomiar wykonuje się w miarę potrzeby [ST-IGG-0602, tabl. 6(14)].



Rys. 6.2a. Pomiar metodą potencjałową.
Schemat ideowy



Rys. 6.2b. Pomiar metodą potencjałową.
Schemat montażowy

Parametry mierzone:

- potencjał E (V/**K2**),
- odległość od poprzedniej stacji pomiarowej,
- pozycja GPS,
- czas GPS.

Układ zewnętrzny i nastawy:

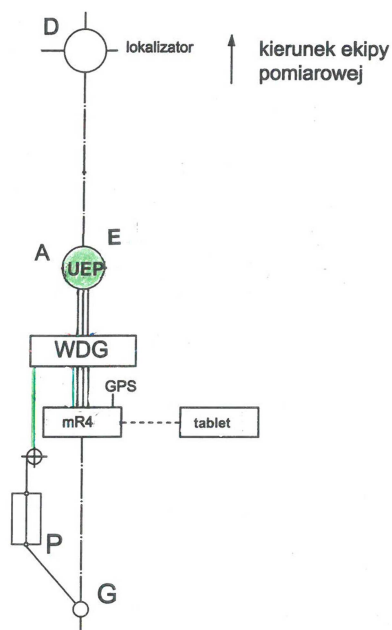
- potencjał rurociągu E_{ON} , E_{OFF} (V/**K2**) wyniesiony kablem rozciągniętym od ostatniej stacji pomiarowej P,
- prąd ochrony załączony, np. OFF = 1s, (OFF + ON) = 5s,
- GPS czynny (antena),
- czynny kanał **K2**,
- krok zapisu 1/8s,
- krok pomiarowy 1m.

Spodziewane wyniki OFF/ON:

- potencjał E (V/**K2**) do \pm kilku woltów,
- lokalizacja miejsc pomiaru (GPS, opis trasy).

Schematy:

- ideowy 6.2a,
- montażowy 6.2b,
- ekipa pomiarowa 6.2c.



Rys. 6.2c. Pomiar metodą potencjałową.
Schemat ekipy pomiarowej

Oznaczenia:

A – kierownik ekipy:

- UEP** – uchwyt elektrody **E1** z przyciskiem akceptacji (w rękę),
- rejestrator **mR4/mR3p** (w futerale u boku),
- wtyczka **WDG**,
- tablet (z przodu),
- bęben kablowy w nosidle na plecach,

D – operator lokalizatora rurociągu

Sprzęt:

-lokalizator konstrukcji podziemnych	szt. 1,
-kabel na bębnie, z nosidłem na plecy	szt. 1,
-przenośna elektroda odniesienia Cu/CuSO ₄	
w uchwycie UEP z przyciskiem	szt. 1,
-tablet (Windows)	szt. 1,
-rejestrator mR4/mR3p	szt. 1,
-wtyczka dedykowana WDG	szt. 1,
-przerywacz konieczny w stacji SOK	
bez wbudowanego systemu przerywania prądu	szt. 1.

Informacja:

-PN-EN 13509:2005. *Metody pomiarowe w ochronie katodowej*, 4.4, tabl. 1, zał. zał. C,

-NACE SP0207-2007. *Standard Practice. Performing Close-Interval Potential Surveys and DC Surface Potential Gradient Surveys on Buried or Submerged Metallic Pipelines* 7,

-NACE SP0502-2008. *Standard Practice. Pipeline External Corrosion Direct Assessment Methodology A*,

-CEOCOR. *Pomiary w ochronie katodowej przed korozją. Poradnik. SEP i COSIW, Warszawa 2010, 2.4,*

-Marek Fiedorowicz. *Ochrona katodowa – potencjały konstrukcji, Ochrona przed Korozją 8/2012, s. 340.*

6.3 Metoda pomiarowo-ekstrapolacyjna

Metoda pomiarowo-ekstrapolacyjna jest kombinacją metody gradientów (6.1) i metody potencjałowej (6.2). Jej trochę niewygodna nazwa wynika stąd, że łączy wyniki pomiaru z obliczeniem potencjału E_{IRfree} .

Potencjał ten jest bliski, lecz nie równy potencjałowi polaryzacji E_{pol} :

$$E_{IRfree} \approx E_{pol}$$

Ekipa pomiarowa w kolejnych krokach pomiarowych mierzy potencjał E_1 wyniesiony kablem z ostatniej stacji pomiarowej nad oś rurociągu jak w metodzie potencjałowej. Jednocześnie, jak w metodzie różnic potencjałów, mierzy w odległości $x = 10m$ prostopadle do rurociągu różnice potencjałów ΔE z jednej lub z obu stron rurociągu. Pomiar gradientu z jednej strony z reguły wystarcza, gdy w rejonie pomiaru prądy z obcych źródeł wywołujące spadki napięcia IR nie występują (6.3.1).

Natomiast w polu oddziaływania prądów błędnych w rejonie pomiaru różnica potencjału po jednej stronie rurociągu wzrasta o tyle, o ile po drugiej stronie maleje. Synchronicznie mierząc różnice potencjałów po obu stronach rurociągu można wyeliminować wpływ prądów obcych. W tym celu pomiar wykonuje się trzema elektrodami i mierzy się wtedy po jednej stronie ΔE_2 , a po drugiej ΔE_3 (6.3.2). Jeśli nie ma pewności, że w rejonie pomiaru nie występują spadki napięcia pochodzące z obcych źródeł należy przeprowadzać pomiar różnic potencjałów z obu stron rurociągu.

Większa od zera bezwzględna wartość różnicy potencjałów $|\Delta E|$ świadczy o wkroczeniu w obszar stożka potencjałowego defektu powłoki.

6.3.1 Dwie elektrody prostopadle do rurociągu, gdy nie występują prądy z obcych źródeł

Cel pomiaru: Ocena stanu ochrony katodowej.

Elektrodę (środkową) **E1** należy ustawić nad osią rurociągu, drugą (tu: po stronie lewej) elektrodę boczną **E2** prostopadle do rurociągu w odległości $x = 10m$ od elektrody środkowej.

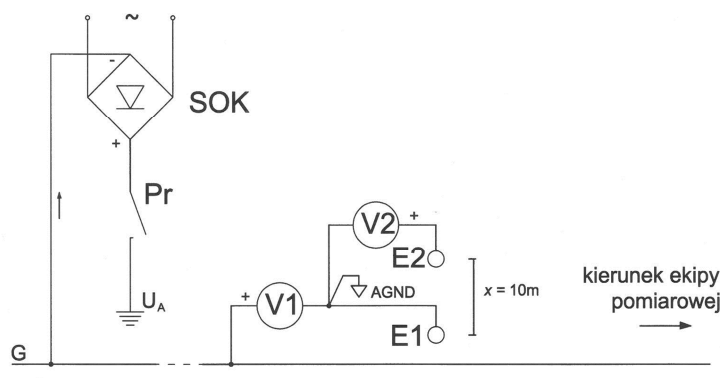
Z każdym krokiem rejestrator mierzy wartość potencjału E (V1/**K2**) i różnicę potencjałów ΔE (V2/**K3**) oraz pozycję GPS.

Po stwierdzeniu centrum defektu należy w celu dokładnej lokalizacji ustawić parę elektrod prostopadle do rurociągu również po przeciwnej jego stronie – rys.6.1.1a (B). Jedna elektroda powinna być umieszczona w osi.

Po lokalizacji centrum defektu i potwierdzeniu kontrolką na ekranie tabletu, gdy wartość $\Delta E_{\text{OFF}} > 0$ i $(\Delta E_{1\text{ON}} - \Delta E_{1\text{OFF}}) > 0$, rejestrator automatycznie oblicza i wyświetla na ekranie tabletu wartość potencjału E_{IRfree} w defekcie:

$$E_{\text{IRfree}} = E_{1\text{OFF}} - \frac{\Delta E_{\text{OFF}}}{\Delta E_{\text{ON}} - \Delta E_{\text{OFF}}} (E_{1\text{ON}} - E_{1\text{OFF}})$$

Pomiar wykonuje się na całej długości rurociągu, w miarę potrzeby [ST-IGG-0602, tabl. 6(16)].



Rys. 6.3.1a. Pomiar intensywności z użyciem 2 elektrod.
Schemat ideowy

Parametry mierzone:

- potencjał E (V1/**K2**),
- różnica potencjałów ΔE (V2/**K3**),
- odległość od poprzedniej stacji pomiarowej,
- pozycja GPS,
- czas GPS.

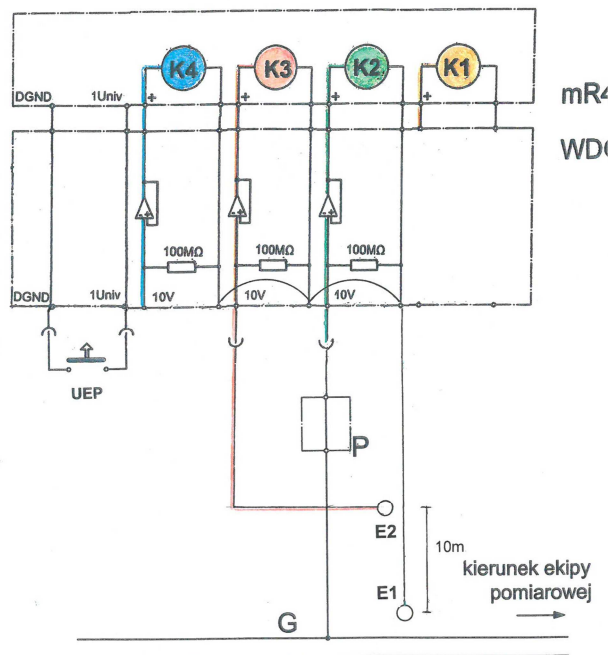
Parametr obliczany: E_{IRfree} .

Układ zewnętrzny i nastawy:

- potencjał rurociągu wyniesiony kablem rozciągniętym od ostatniej stacji pomiarowej **P**,
- prąd ochrony załączony OFF = np. 1s, (OFF+ON) = np. 5s,
- GPS czynny (antena),
- czynne kanały **K2** i **K3**,
- krok zapisu 1/8s,
- krok pomiarowy 1m.

Spodziewane wyniki:

- potencjał E (V1/**K2**) $\sim 1,5$ V
- różnica potencjałów ΔE (V2/**K3**) kilka do kilkuset mV,
- lokalizacja miejsc pomiaru (GPS, opis trasy).



Rys. 6.3.1b. Pomiary intensywne z użyciem 2 elektrod.
Schemat montażowy

Schematy:

- ideowy 6.3.1a,
- montażowy 6.3.1b,
- ekipa pomiarowa 6.3.1c.

Sprzęt:

- lokalizator konstrukcji podziemnych szt. 1,
- kabel na bębnie, z nosidłem na plecach szt. 1,
- przenośna elektroda odniesienia Cu/CuSO₄ - **E1** w uchwycie **UEP** z przyciskiem szt. 1,
- przenośna elektroda **E2** jw., w uchwycie **UEL** szt. 1,
- tablet (Windows) szt. 1,
- rejestrator **mR4/mR3p** szt. 1,
- wtyczka dedykowana **WDG** szt. 1,
- przerywacz konieczny w stacji **SOK** bez wbudowanego systemu przerywania prądu szt. 1.

Informacja:

- PN-EN 13509:2005. *Metody pomiarowe w ochronie katodowej*, 4.4.2.3, zał. F,
- ST-IGG-0602:2009. *Standard Techniczny. Ochrona przed korozją zewnętrzną stalowych gazociągów lądowych. Projektowanie, budowa i użytkowanie*, 6.3; tabl. 6 (14),

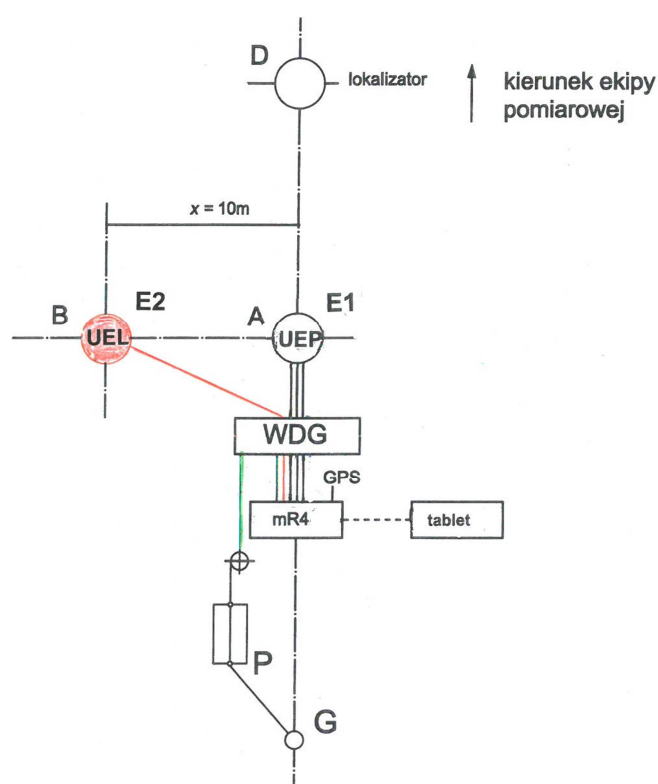
-NACE SP0207-2007. *Standard Practice. Performing Close-Interval Potential Surveys and DC Surface Potential Gradient Surveys on Buried or Submerged Metallic Pipelines*, 7, 8,

-NACE SP0502-2008. *Standard Practice. Pipeline External Corrosion Direct Assessment Methodology*, A,

-CEOCOR. *Pomiary w ochronie katodowej przed korozją. Poradnik. SEP i COSIW*, Warszawa 2010, 2.4,

-Marek Fiedorowicz, Michał Jagiełło. *Problemy z wyznaczaniem polaryzacji w nieszczelnościach powłoki podziemnego rurociągu*, Ochrona przed Korozją 8/2004, s. 195,

-Marek Fiedorowicz. *Ochrona katodowa – potencjały konstrukcji*, Ochrona przed Korozją 8/2012, s. 340.



Rys. 6.3.1c. *Pomiary intensywne z użyciem 2 elektrod. Schemat ekipy pomiarowej.*

Oznaczenia:

A – kierownik ekipy:

-**UEP** – uchwyt elektrody **E1** z przyciskiem akceptacji (w ręku),

-rejestrator **mR4/mR3p** (w futerale u boku),

-wtyczka **WDG**,

-tablet (z przodu),

-bęben kablowy w nosidle na plecach,

B – operator uchwytu **UEL** elektrody **E2**;

D – operator lokalizatora rurociągu

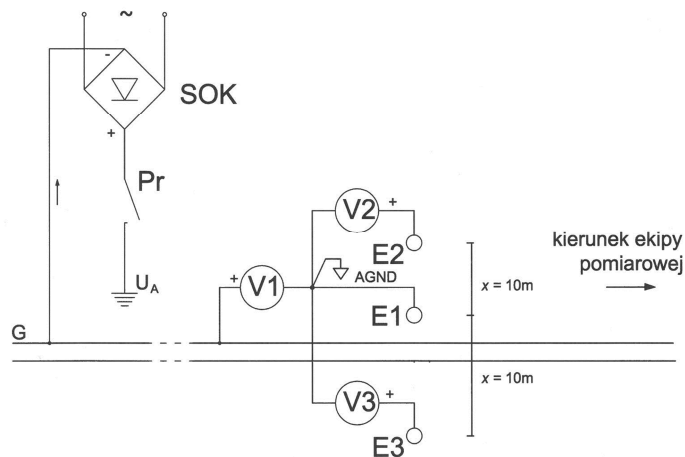
6.3.2 Pomiary z użyciem trzech elektrod, gdy występują prądy z obcych źródeł

Cel pomiaru: Ocena powłoki o niskiej jakości izolacji w rejonie występowania prądów obcych.

Tę metodę stosuje się, gdy rurociąg znajduje się w polu oddziaływania prądów błądzących, które w rejonie pomiaru powodują wzrost różnic potencjałów po jednej stronie rurociągu o tyle, o ile po drugiej stronie je zmniejszają. Dzięki temu synchroniczny pomiar różnic potencjałów po obu stronach rurociągu eliminuje wpływ prądów obcych na wynik.

Jeśli stożek napięciowy wywołany przez źródło obcych prądów, np. trakcję elektryczną, uziom anodowy SOK obcej konstrukcji, itp. w rejonie pomiarów ma kształt nieliniowy, to wyniki pomiarów intensywnych, nawet wykonanych metodą trzelektrodową, będą zafałszowane. Skuteczność ochrony katodowej w takim rejonie może być w sposób właściwy oceniona jedynie za pomocą czujników korozymetrycznych lub sond symulujących.

Elektroda środkowa **E1** służy do pomiaru potencjału E_1 (V1/K2) w osi rurociągu, wyniesionego ze stacji pomiarowej rozciągniętym kablem; elektroda boczna **E2** z lewej strony w odległości $x = 10\text{m}$ prostopadłe do osi rurociągu służy do pomiaru różnic potencjałów $\Delta E_2 = E_2 - E_1$ (V2/K3); elektroda boczna **E3** z prawej strony w tej samej odległości $x = 10\text{m}$ do pomiaru różnic potencjałów $\Delta E_3 = E_3 - E_1$ (V3/K4).



Rys. 6.3.2a. Pomiary intensywne z użyciem 3 elektrod.
Schemat ideowy

Prawidłowy wynik zmierzonych wartości $E_{1\text{ON}}$, $E_{1\text{OFF}}$, $\Delta E_{2\text{ON}}$, $\Delta E_{2\text{OFF}}$, $\Delta E_{3\text{ON}}$, $\Delta E_{3\text{OFF}}$ zaakceptowany przyciskiem w uchwycie **UEP** zostaje zapisany w pamięci rejestratora. Po lokalizacji centrum defektu i potwierdzeniu kontrolką na ekranie tabletu, gdy wartość $\Delta E_{\text{OFF}} > 0$ i $(\Delta E_{\text{ON}} - \Delta E_{\text{OFF}}) > 0$, rejestrator automatycznie oblicza i wyświetla na ekranie wartość potencjału E_{IRfree} w defekcie:

$$E_{\text{IRfree}} = E_{1\text{OFF}} - \frac{\Delta E_{2\text{OFF}} + \Delta E_{3\text{OFF}}}{(\Delta E_{2\text{ON}} + \Delta E_{3\text{ON}}) - (\Delta E_{2\text{OFF}} + \Delta E_{3\text{OFF}})} (E_{1\text{ON}} - E_{1\text{OFF}})$$

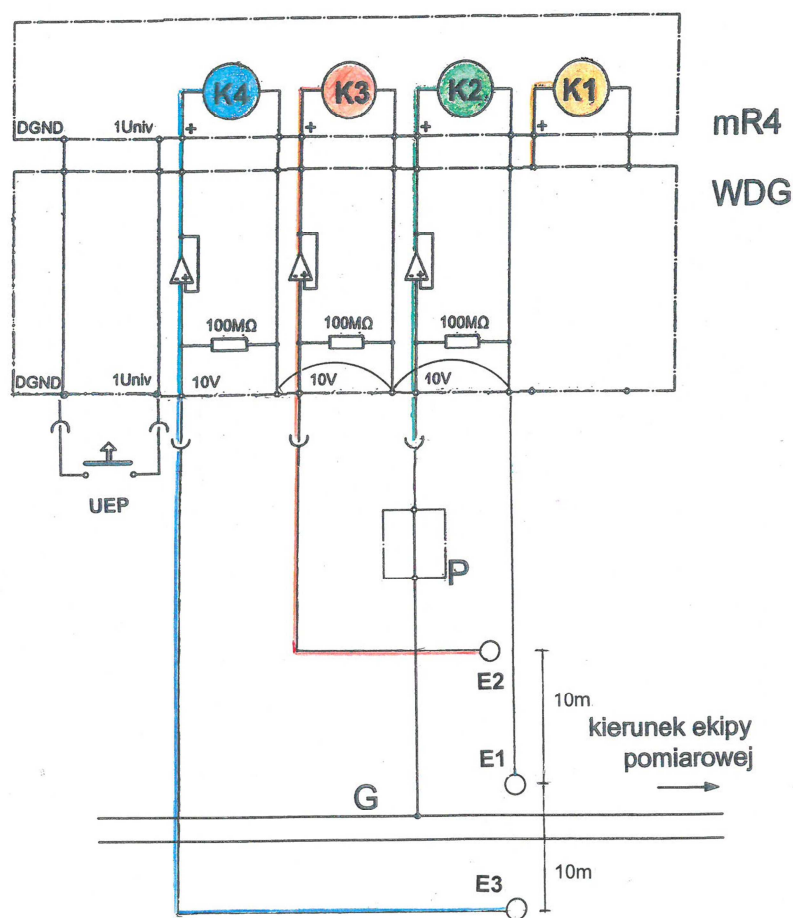
Pomiar wykonuje się w miarę potrzeby [ST-IGG-0602, tabl. 6(14)], na całej długości rurociągu.

Parametry mierzone:

- potencjał E_1 (V1/K2),
- różnica potencjałów ΔE_2 (V2/K3),
- różnica potencjałów ΔE_3 (V3/K4),
- odległość od poprzedniej stacji pomiarowej,
- pozycja GPS,
- czas GPS.

Parametr obliczany:

$-E_{IRfree}$.



Rys. 6.3.2b. Pomiar intensywny z użyciem 3 elektrod.
Schemat montażowy

Układ zewnętrzny i nastawy:

- potencjał rurociągu wyniesiony kablem rozciągniętym od ostatniej stacji pomiarowej P,
- prąd ochrony załączony, OFF = np.1s, (OFF + ON) = np. 5s,
- GPS czynny (antena),
- czynne kanały K2, K3 i K4,

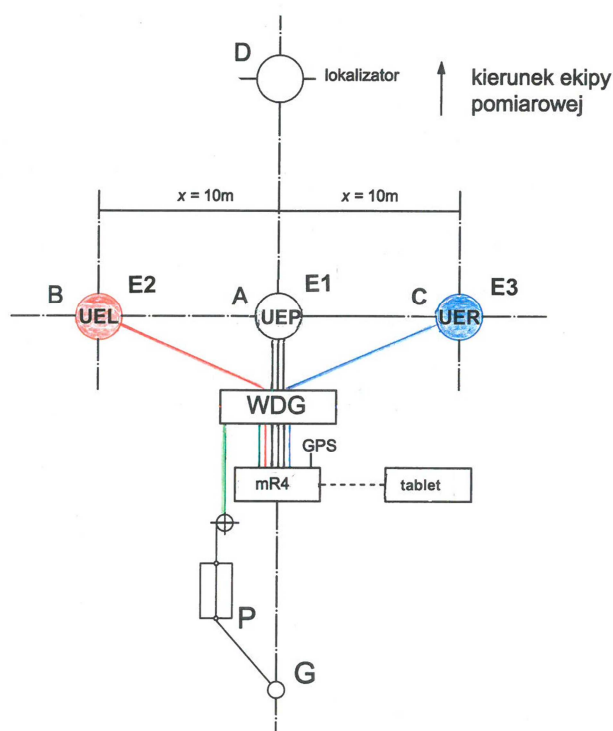
- krok zapisu 1/8s,
- krok pomiarowy 1...2m.

Spodziewane wyniki OFF/ON:

- potencjał E_1 (V1/**K2**) ~ 1,5 V
- różnica potencjałów ΔE_2 (V2/**K3**) kilka do kilkuset mV,
- różnica potencjałów ΔE_3 (V3/**K4**) kilka do kilkuset mV,
- lokalizacja miejsc pomiaru (GPS, opis trasy).

Schematy:

- ideowy 6.3.2a,
- montażowy 6.3.2b,
- ekipa pomiarowa 6.3.2c.



Rys. 6.3.2c. Pomiar intensywny z użyciem 3 elektrod.
Schemat ekipy pomiarowej

Oznaczenia:

A – kierownik ekipy:

- UEP** – uchwyt elektrody **E1** z przyciskiem akceptacji (w ręku),
- rejestrator **mR4/mR3p** (w futerale u boku),
- wtyczka **WDG**,
- tablet (z przodu),
- bęben kablowy w nosidle na plecach,

B – operator uchwytu **UEL** elektrody **E2**,

C – operator uchwytu **UER** elektrody **E3**,

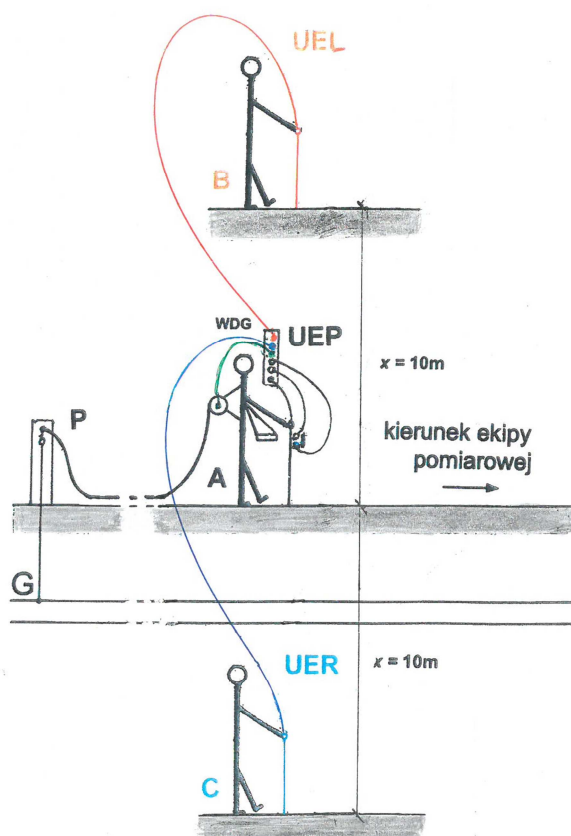
D – operator lokalizatora rurociągu.

Sprzęt:

- lokalizator konstrukcji podziemnych szt. 1,
 - kabel na bębnie, z nosidłem na plecy szt. 1,
 - przenośna elektroda odniesienia Cu/CuSO₄ - **E1** w uchwycie **UEP** z przyciskiem szt. 1,
 - przenośna elektroda **E2** j.w., w uchwycie **UEL** szt. 1,
 - przenośna elektroda **E3** j.w., w uchwycie **UER** szt. 1,
 - tablet (Windows) szt. 1,
 - rejestrator **mR4/mR3p** szt. 1,
 - wtyczka dedykowana **WDG** szt. 1,
 - przerywacz konieczny w stacji **SOK** szt. 1,
- bez wbudowanego systemu przerywania prądu szt. 1.

Informacja:

p. 6.3.1.

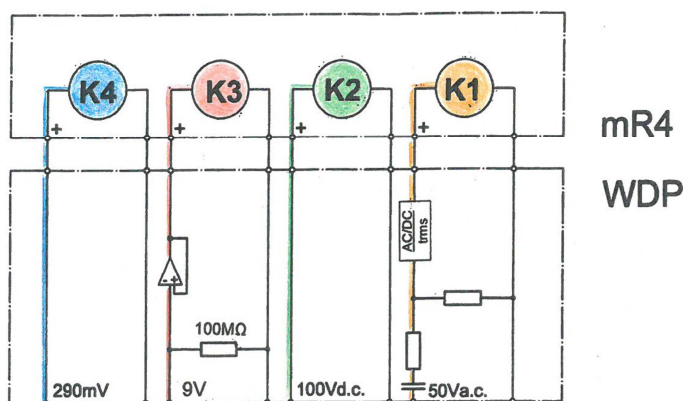


Rys. 6.3.2d. Pomiary intensywne z użyciem 3 elektrod.
Układ połączeń wtyczki **WDG** rejestratora **mR4** z rurociągiem i elektrodami.
Oznaczenia jak rys 6.3.2c

7 ZASTOSOWANIA WTYCZKI WDP DO POMIARU SYGNAŁÓW NAPIĘCIA PRZEMIENNEGO I NIEKTÓRYCH INNYCH POMIARÓW SPECJALNYCH

Wtyczka dedykowana **WDP** (rys. 7) umożliwia:

- badanie sygnałów napięcia przemiennego, **K1** – 50V a.c. (7.1),
- pomiar napięcia, **K2**– 100V d.c. (7.2),
- pomiar potencjału, **K3** – 9V, 100MΩ (7.3),
- pomiar prądu w rurociągu, **K4** – 290mV (7.4).



Rys. 7. Wtyczka dedykowana **WDP** do pomiaru sygnałów napięcia przemiennego. Schemat uproszczony

7.1 Pomiar napięcia przemiennego przy użyciu wtyczki WDP

Cel pomiaru: Ocena wartości napięcia U_{ac} generowanego w rurociągu.

Napięcie przemienne U_{ac} może pojawić się w rurociągach położonych w pobliżu stacji i napowietrznych linii wysokiego napięcia. Zjawiska krótkotrwałe (przebiecia, przetężenia) występujące w tych obiektach mogą oddziaływać na rurociągi i związane z nimi obiekty, co jest niebezpieczne dla ludzi i zwierząt i może być przyczyną uszkodzeń. Z tego względu niezbędne jest stosowanie odpowiedniej ochrony przepięciowej potencjalnie zagrożonych konstrukcji w postaci ochronników i uziomów, jak również specjalnych procedur (1.18).

Izolowane elektrycznie konstrukcje podziemne należy uważać za urządzenia, które podczas normalnego użytkowania mogą znaleźć się pod napięciem niebezpiecznym. Z tego powodu powinny je obsługiwać osoby o odpowiednich kwalifikacjach.

Uwaga 1. Jako dopuszczalne napięcie dotyku należy przyjąć wg normy PN-EN 15280: 2013 - *Ocena prawdopodobieństwa wystąpienia na zakopanych rurociągach korozji wywołanej prądem przemiennym stosowana do rurociągów chronionych katodowo* powołuje (8.1.1) normę PN-EN 61010-1:2010 *Wymagania bezpieczeństwa dotyczące elektrycznych przyrządów pomiarowych* (6.3.1), która za niebezpieczne uważa przekroczenie poziomu napięciowego:

- w normalnych warunkach
 - .napięcie przemiennie (a.c.) 33V r.m.s., 46.7V szczytowe,
 - .napięcie stałe (d.c.) 70V,
- w miejscach mokrych
 - .napięcie przemiennie (a.c.) 16V r.m.s., 22.6V szczytowe,
 - .napięcie stałe (d.c.) 35V.

Uwaga 2. Napięcia przemiennie pomiędzy rurociągiem a ziemią na poziomie bezpiecznym z punktu widzenia użytkownika mogą stwarzać zagrożenie korozją a.c.

Długotrwałe, korozyjny charakter mogą mieć sygnały napięcia U_{ac} typu indukcyjnego od napowietrznych linii wysokiego napięcia, i typu przewodnościowego, np. od pobliskich uziomów stacji elektrycznych. Znaczący sygnał U_{ac} może być wyniesiony w rurociągach o wysokiej jakości powłoki daleko od miejsca, w którym został wygenerowany. Wartość sygnału pochodzenia indukcyjnego zależy od natężenia prądu w linii wysokiego napięcia, odległości między przewodami fazowymi a rurociągiem, rezystancji powłoki, rezystywności gruntu i głębokości usytuowania rurociągu w gruncie. Ze względu na dobową i sezonową zmienność obciążeń linii wysokiego napięcia pomiar sygnału U_{ac} należy prowadzić co najmniej przez 24h w okresie reprezentatywnym.

Pomiar sygnału U_{ac} można wykonać w miejscach wyprowadzenia na powierzchnię ziemi potencjału rurociągu, np. w stacjach pomiarowych **P**. Przenośną elektrodę odniesienia należy umieścić w obszarze ziemi dalekiej, powyżej 20m od badanej konstrukcji. Wynik pomiaru informuje o wartości sygnału U_{ac} , a nie o zagrożeniu korozyjnym, które może, lecz nie musi być jego konsekwencją. W razie zauważenia znaczącej wartości U_{ac} należy przeprowadzić dalsze badania, np. za pomocą elektrod symulujących, sond lub czujników korozymetrycznych. Istotna jest także informacja o rezystywności gruntu na głębokości ułożenia rurociągu.

W ten sposób można sprawdzić (zmierzyć lub oszacować), czy gęstość prądu J_{ac} w ewentualnych defektach powłoki rurociągu mieści się w granicach dopuszczalnych $J_{ac} \leq 20A/m^2$ (ST-IGG- 0601, 6.4.1).

Uwaga 3. Norma europejska dopuszcza $I_{ac} \leq 30A/m^2$ (PN-EN 15280, 7).

Pomiar sygnału napięcia przemiennego U_{ac} należy wykonać, jeżeli w pobliżu rurociągu (w odległości do ok. 1000 m) usytuowane są obiekty elektroenergetyczne wysokiego napięcia. Pomiar z użyciem elektrody symulującej (8) należy przeprowadzić w razie stwierdzenia sygnału

- na całej długości rurociągu $U_{ac} \geq 10V$,
- na odcinku rurociągu w gruncie o rezystywności $\rho < 25\Omega m$, gdy

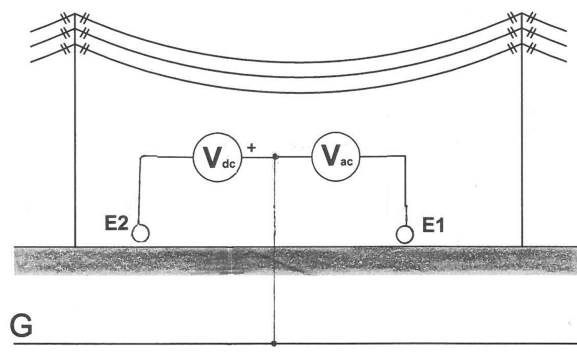
$U_{ac} \geq 4V$.

Uwaga 4. Należy brać pod uwagę rezystywność gruntu na głębokości ułożenia rurociągu.

Jednocześnie należy mierzyć potencjał d.c. elektrodą przeniśną (w osi rurociągu).

Parametr mierzony:

- napięcie przemiennie U_{ac} ($V_{ac}/K1$),
- potencjał E_{dc} ($V_{dc}/K2$)



Rys. 7.1a. Pomiar sygnału napięcia przemiennego U_{ac} w pobliżu linii wysokiego napięcia (elektroda przeniśna).
Schemat ideowy

Układ zewnętrzny i nastawy:

- informacja o obiekcie i reprezentatywnym obciążeniu pobliskiego układu energoelektrycznego WN (stacja, linia) wymaga porozumienia z właściwą dyspozycją mocy,
- elektroda przeniśna w obszarze ziemi dalekiej rurociągu, powyżej 20m,
- krok zapisu 1/2s,
- pomiar chwilowy lub
- rejestracja co najmniej 24h (w rejonie, w którym zmierzono maksymalną wartość U_{ac} lub jeśli z analizy trasy linii WN względem rurociągu wynika, że pojawi się tam najsilniejsze oddziaływanie).

Spodziewane wyniki:

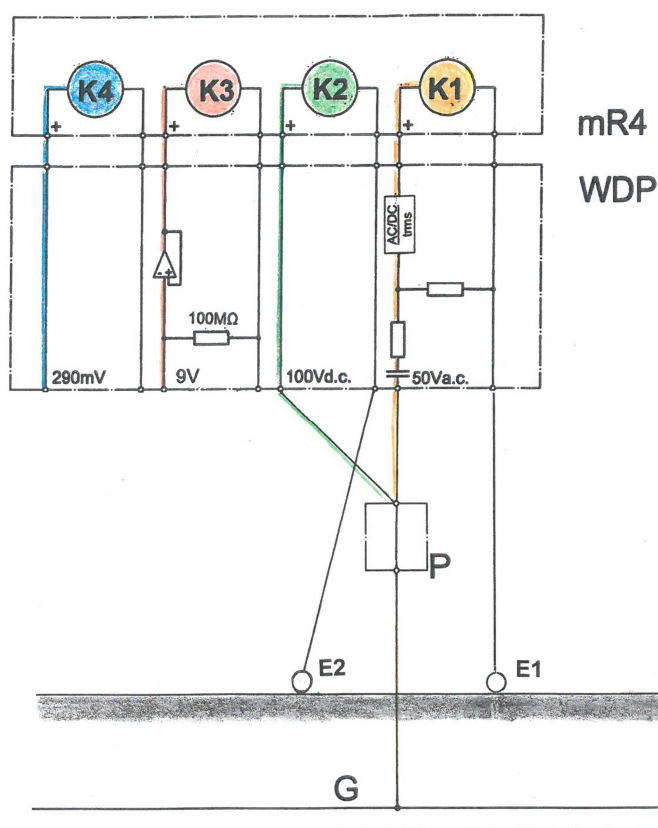
- wartość skuteczna napięcia przemiennego U_{ac} ($V_{ac}/K1$) do 50V,
- potencjał E_{dc} ($V_{dc}/K2$) do -2V.

Schematy:

- ideowy rys. 7.1a,
- montażowy rys. 7.1b.

Sprzęt:

- | | |
|----------------------------------|---------|
| -przeniśna elektroda odniesienia | szt. 1, |
| -tablet lub telefon | szt. 1, |
| -rejestrator mR4/mR3p | szt. 1, |
| -wtyczka dedykowana WDP | szt. 1. |



Rys. 7.1b. Pomiar sygnału napięcia przemiennego U_{ac} w rurociągu (elektroda przenośna).
Schemat montażowy

Informacja:

-PN-EN 15280:2013-12. *Ocena prawdopodobieństwa wystąpienia korozji zakopanych rurociągów wywołanej prądem przemiennym – Zastosowania do rurociągów chronionych katodowo*, 6, 7, 8, zał. zał. A, F,

-PN-EN 61010-1:2010 *Wymagania bezpieczeństwa dotyczące elektrycznych przyrządów pomiarowych*, 6.3.1,

-ST-IGG-0601:2008. *Standard Techniczny. Ochrona przed korozją zewnętrzną stalowych gazociągów lądowych. Wymagania funkcjonalne i zalecenia*, 6.4,

-ST-IGG-0602:2009. *Standard Techniczny. Ochrona przed korozją zewnętrzną stalowych gazociągów lądowych. Projektowanie, budowa i użytkowanie*, 6.6, 14.5.5, 14.6.3, zał. zał. D, E,

-CEOCOR, *Pomiary w ochronie katodowej przed korozją. Poradnik*. SEP i COSIW, Warszawa 2010, 8,

-Marek Fiedorowicz, Michał Jagiełło. *Korozja prądu przemiennopiętrowego a ochrona katodowa podziemnych rurociągów*, *Ochrona przed Korozją* 8/2007, s. 331,

-Wojciech Machczyński, Wojciech Sokólski. *Oddziaływania indukcyjne linii elektroenergetycznych wysokiego napięcia na gazociągi – część I*, *Ochrona przed Korozją* 8/2005, s. 267,

-Wojciech Sokółski, Wojciech Machczyński, J. Rozwadowski. *Oddziaływania indukcyjne linii elektroenergetycznych wysokiego napięcia na gazociągi – część II*, Ochrona przed Korozją 8/2006, s. 244,

-W. Solarz, M. Kościuk. *Analiza oddziaływań przemiennoprądowych na wschodnim odcinku gazociągu tranzytowego Jamał – Europa*, Ochrona przed Korozją 8/2014, s. 304.

7.2 Pomiar oddziaływania prądów błędzących pochodzenia trakcyjnego przy użyciu wtyczki WDP

Cel pomiaru: Ocena oddziaływania trakcyjnych prądów błędzących na chroniony rurociąg.

Badania należy wykonać w miejscach, w których można się spodziewać prądów błędzących, przede wszystkim na skrzyżowaniach i zbliżeniach do zelektryfikowanych torów kolejowych i torów tramwajowych. Warunki i sposób pomiaru omówiono w 3.2.

Pomiar wykonuje się raz na rok [ST-IGG-0602, tabl. 6(2)].

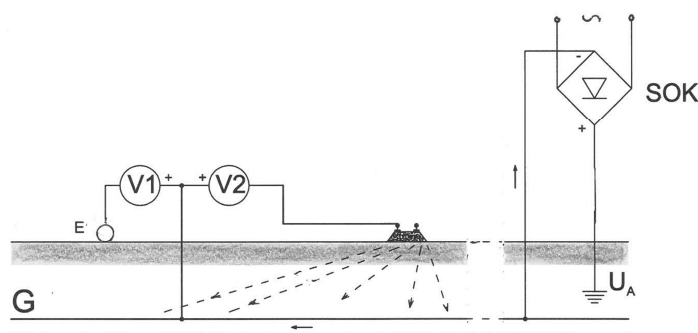
Parametry mierzone:

-potencjał rurociągu E (V1/K3),

-napięcie U (V2/K2)

.rurociąg – tor (3.2.1),

.ziemia bliska toru – ziemia daleka toru (3.2.3).



Rys. 7.2a. Badanie oddziaływanie prądów błędzących pochodzenia trakcyjnego.
Schemat ideowy

Układ zewnętrzny i nastawy:

-stacja **SOK** załączona,

-do stopki szyny przewód podłączyć specjalnym zaciskiem szynowym,

-krok zapisu 1/2s,

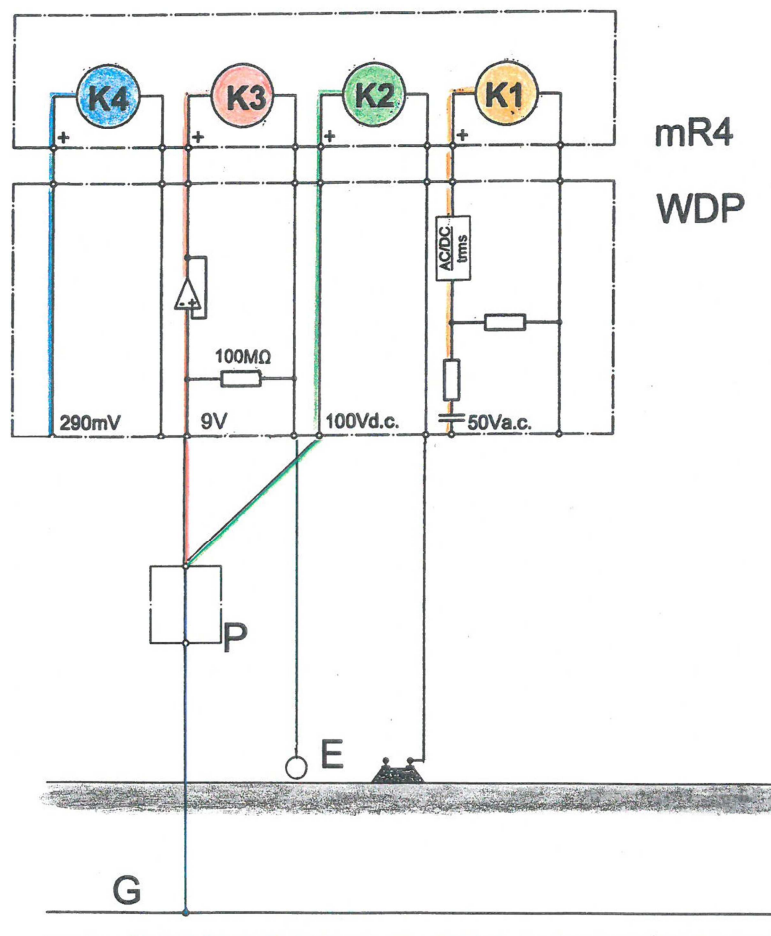
-czas trwania pomiaru w okresie największego natężenia ruchu (PN-EN 50162, 5.2.3)

.dla kolei co najmniej 24h dla pełnej oceny oddziaływania jeden

tydzień,

.dla tramwajów: co najmniej 1h, dla pełnej oceny oddziaływania 24h.

Uwaga 1. Czas trwania pomiaru powyżej 8h może wymagać zewnętrznego zasilania rejestratora.



Rys. 7.2b. Badanie oddziaływania prądów błędnych pochodzenia trakcyjnego przy użyciu wtyczki **WDP**.
Schemat montażowy

Spodziewane wyniki:

- potencjał E (V1/**K3**) od ok. +1 do ok. -5V,
- napięcie U (V2/**K2**) do \pm kilkunastu V, na niektórych liniach kolejowych nawet rzędu 100V.

Uwaga 2. Obserwacja korelacji $E = f(U)$ ułatwia ocenę wyniku.

Schematy:

- ideoowy rys. 7.2a,
- montażowy rys. 7.2b.

Sprzęt:

- przenośna elektroda odniesienia
- (w stacjach pomiarowych **P** niewyposażonych w elektrodę stałą) 1 szt.,
- zacisk szynowy (*Prądy błędzące*, s. 167) 1 szt.,
- tablet lub telefon 1 szt.,
- rejestrator **mR4/mR3p** 1 szt.,
- wtyczka dedykowana **WDP** 1 szt.,

-zasilacz zewnętrzny,
jeśli przewidywany czas pomiaru przekracza 8h 1 szt.

Informacja:

-PN-EN 50162:2006. *Ochrona przed korozją powodowaną przez prądy błędzące z układów prądu stałego*, 5.2, zał. B, zał. E,

-ST-IGG-0602:2009. *Standard Techniczny. Ochrona przed korozją zewnętrzną stalowych gazociągów lądowych. Projektowanie, budowa i użytkowanie*, 6.5, 9.4,

-Władysław Dziuba. *Sieć powrotna i prądy błędzące*, 6.2.1, 6.3.1, 6.3.2.

-Marian Hanasz. *Upływność izolacji jako czynnik oceny zagrożenia konstrukcji podziemnych przez prądy błędzące*. *Ochrona przed Korozją 2/1994*, s. 25,

-Wojciech Sokólski. *Metoda korelacyjna badania prądów błędzących – technika ciągle nieznormalizowana*. *Ochrona przed Korozją 8/2013*, s. 320,

-Wojciech Sokólski. *Korozja rurociągów stalowych pod wpływem oddziaływań*. *Ochrona przed Korozją 8/2014*, s. 293.

7.3 Intensywny pomiar metodą potencjałową (IFO) przy użyciu wtyczki WDP

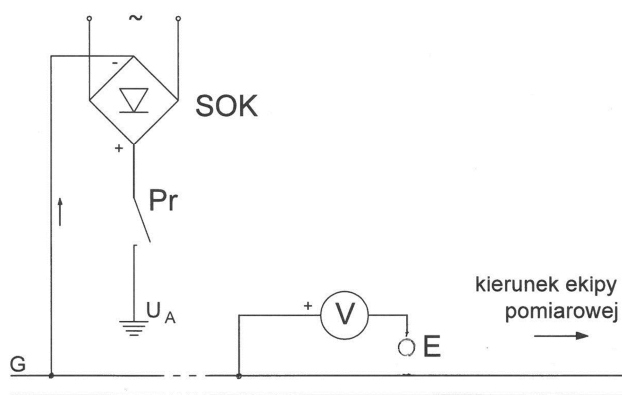
Cel: Wyznaczenie potencjału w defektach powłoki wzdłuż rurociągu.

Metodę potencjałową stosuje się w celu określenia poziomu ochrony katodowej na całej długości rurociągu. Czasem używa się jej jako drugiego etapu badań po przeprowadzeniu lokalizacji defektów (6.1), np. jeśli lokalizację defektów prowadzono przy pogłębionej polaryzacji.

Warunki i sposób pomiaru omówiono w 6.2.

Potencjał rurociągu wyniesiony z najbliższej stacji pomiarowej **P** rozciągniętym wzdłuż trasy kablem mierzy się nad osią rurociągu w niewielkich odległościach (małe kroki pomiarowe). Zagrożone korozją mogą być miejsca, gdzie potencjał E jest większy od potencjału ochrony $E > E_p$. O defekcie powłoki świadczą zmiany potencjału, które mogą być wynikiem zmian gęstości skrośnego prądu ochrony.

Pomiar wykonuje się w miarę potrzeby [ST-IGG-0602, tabl. 6(14)].



Rys. 7.3a. Wyznaczenie potencjału w defektach powłoki wzdłuż rurociągu.
Schemat ideowy

Parametry mierzone:

- potencjał E (V/**K3**),
- odległość od poprzedniej stacji pomiarowej,
- pozycja GPS,
- czas GPS.

Układ zewnętrzny i nastawy:

- potencjał rurociągu E (V/**K3**) wyniesiony kablem rozciągniętym od ostatniej stacji pomiarowej **P**,
- prąd ochrony załączony, OFF = np. 1s, (OFF + ON) = np. 5s,
- GPS czynny (antena),
- czynny kanał **K3**,
- krok zapisu 1/8s,
- krok pomiarowy 1m,
- organizacja ekipy pomiarowej jak rys. 6.2c.

Spodziewane wyniki OFF/ON:

- potencjał E (V/**K3**) kilkanaście do kilkuset mV, w rejonie prądów błądzących do (\pm) kilku woltów,
- lokalizacja miejsc pomiaru (GPS, opis trasy).

Schematy:

- ideowy 7.3a,
- montażowy 7.3b,
- ekipa pomiarowa 6.2c.

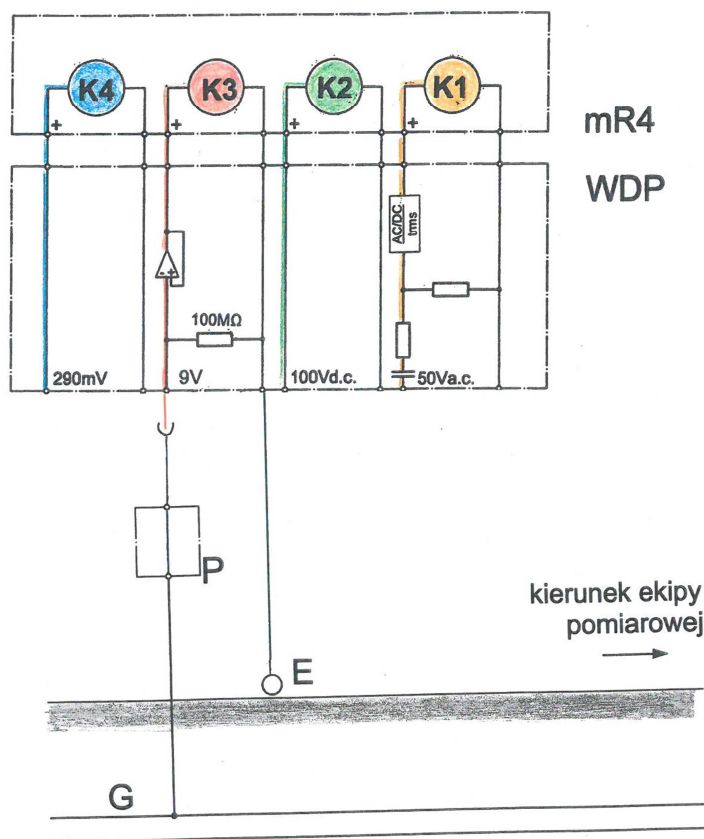
Sprzęt:

- lokalizator konstrukcji podziemnych szt. 1,
- przenośna elektroda odniesienia Cu/CuSO₄ w uchwycie **UEP** z przyciskiem szt. 1,
- tablet (Windows) szt. 1,
- rejestrator **mR4/mR3p** szt. 1,
- wtyczka dedykowana **WDP** szt. 1,
- przerywacz, konieczny w stacji **SOK** bez wbudowanego systemu przerywania prądu szt. 1.

Informacja:

- PN-EN 13509:2005. *Metody pomiarowe w ochronie katodowej*, 4.4, tabl. 1, zał. C,
- NACE SP0207-2007. *Standard Practice. Performing Close-Interval Potential Surveys and DC Surface Potential Gradient Surveys on Buried or Submerged Metallic Pipelines*, 7,
- NACE SP0502-2008. *Standard Practice. Pipeline External Corrosion Direct Assessment Methodology*, A,

-CEOCOR. *Pomiary w ochronie katodowej przed korozją. Poradnik*. SEP i COSIW, Warszawa 2010, 2.4,
 -Marek Fiedorowicz. *Ochrona katodowa – potencjały konstrukcji*, Ochrona przed Korozją 8/2012, s. 340.



Rys. 7.3b. Wyznaczenie potencjału w defektach powłoki wzdłuż rurociągu.
 Schemat montażowy

7.4 Kontrola stacji drenażu polaryzowanego SDP

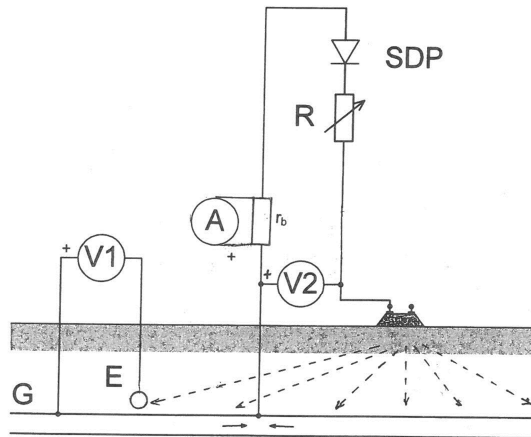
Cel pomiaru: Kontrola działania stacji **SDP**.

Warunki i sposób pomiaru omówiono w 3.4. Natężenie prądu drenażu I zależy w znacznym stopniu od stanu powłoki rurociągu badanego, stanu torowiska i jego potencjału E w stosunku do ziemi.

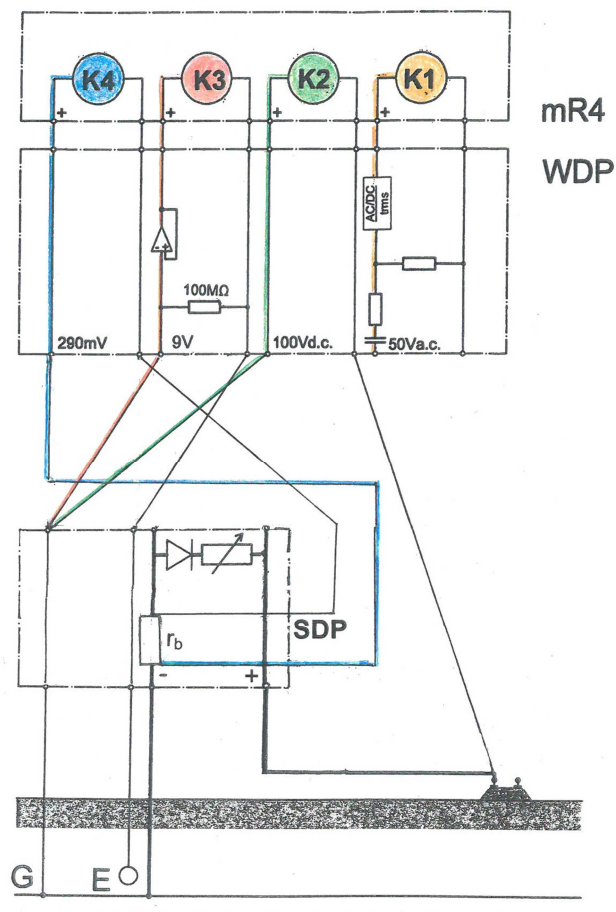
Stacje drenażu polaryzowanego **SDP** nie dozorowane (nie monitorowane) zdalnie należy kontrolować raz na miesiąc (ST-IGG-0602, 14.5.3).

Parametry mierzone:

- potencjał E (V1/**K3**) rurociągu,
- napięcie U (V2/**K2**) między rurociągiem a torem,
- prąd wyjściowy I (A/**K4**).



Rys. 7.4a. Pomiar kontrolny w stacji drenażu polaryzowanego **SDP**
Schemat ideowy



Rys. 7.4b. Pomiar kontrolny w stacji drenażu polaryzowanego **SDP**.
Schemat montażowy

Układ zewnętrzny i nastawy:

- pomiar w dwóch fazach
 - .stacja **SDP** wyłączona,
 - .stacja **SDP** załączona,
- wprowadzić dla prądu I (A/**K4**) w *mRgui* (cz. II, 5.4) parametry bocznika prądowego stacji,
- podłączyć do stopki szyny specjalnym zaciskiem szynowym,
- sprawdzić prawidłowość połączenia z szyną przewodów drenażu i pomiaru napięcia U (V2/**K2**),
- odległość podłączenia przewodu pomiaru napięcia od punktu drenażu $\geq 1\text{m}$,
- stacja **SOK** wyłączona,
- krok zapisu 1/2s,
- czas trwania pomiaru w okresie największego natężenia ruchu (PN-EN 50162, 5.2.3)

.dla kolei co najmniej 24h, dla pełnej oceny oddziaływania jeden tydzień,

.dla tramwajów: co najmniej 1h, dla pełnej oceny oddziaływania 24h.

Uwaga 1. Dla sprawdzenia, czy **SDP** działa, wystarczy pomiar kilkuminutowy (**SDP** OFF/ON), w którym napięcie przybierze wartości (+) i (-).

Uwaga 2. Czas trwania pomiaru powyżej 8h może wymagać zewnętrznego zasilania rejestratora.

Uwaga 3. Nie należy zmieniać nastaw rezystorów **SDP** przed wykonaniem pomiaru.

Uwaga 4. Ocenę pracy **SDP** bardzo ułatwia obserwacja korelacji $E = f(U)$ i $E = f(I)$.

Spodziewane wyniki:

- potencjał E (V1/**K3**), do -2V , niekiedy nawet do -5V ,
- napięcie U (V2/**K2**), do $\pm 20\text{V}$ i więcej,
- prąd wyjściowy I (A/**K4**), nawet do 100A.

Uwaga 5. Ocenę wyników ułatwia obserwacja korelacji $E = f(U)$ i $E = f(I)$.

Uwaga 6. Wynik pomiaru może świadczyć o potrzebie zmiany nastaw rezystorów **SDP**.

Schematy:

- ideowy rys. 7.4a,
- montażowy rys. 7.4b.

Sprzęt:

- zacisk szynowy (Prądy błądzące, s. 167) szt. 1,
- tablet lub telefon szt. 1,
- rejestrator *mR4/mR3p* szt. 1,
- wtyczka dedykowana **WDP** szt. 1,
- zasilacz zewnętrzny, jeśli przewidywany czas pomiaru przekracza 8h, szt. 1.

Informacja:

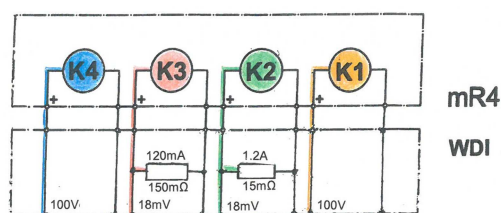
-ST-IGG-0602:2009. *Standard Techniczny. Ochrona przed korozją zewnętrzną stalowych gazociągów lądowych. Projektowanie, budowa i użytkowanie*, 14.5.3, 14.6.2,

-Wojciech Sokółski. *Metoda korelacyjna badania prądów błędzących – technika ciągle nieznormalizowana*, OpK 8/2013, s. 320.

8 ZASTOSOWANIA WTYCZKI *WDI* DO POMIARU NATĘŻENIA PRĄDU

Wtyczki *WDI* służą do dokładnych pomiarów prądów poniżej 3A, generowanych przez ogniwa o niewielkiej sile elektromotorycznej w obwodach o dużej rezystancji. Wtyczki wykonuje się na zamówienie. Niezbędne zakresy (spodziewany prąd maksymalny) należy podać według potrzeb. Stosownie do tego precyzyjne boczники pomiarowe o mocy 1W są montowane w kanałach pomiarowych przeznaczonych do pomiaru prądu.

Kanały **K1** i **K4** mogą służyć do pomiarów potencjałów i napięć: zakresy $\pm 10V$, rozdzielczość $10 \mu V$. Kanały **K2** i **K3** – pomiar prądu, zakresy: $\pm 18mV$, rozdzielczość napięciowa $1 \mu V$.



Rys. 8. Wtyczka dedykowana *WDI* wyposażona w boczniki prądowe **K2**: 3A, 6mΩ; **K3**: 0.6A, 30mΩ (przykład) **K1**: 10V; **K4**: 10V

W przypadku wykorzystania kanałów **K1** i **K4** do pomiarów napięciowych można w czasie rzeczywistym obliczać:

- rezystancję metodą techniczną U_x / I_y ,
- przewodność I_x / U_y ,
- moc $I_x \times U_y$.

Można też wykonywać inne złożone obliczenia. Służą do tego odpowiednie funkcje przewidziane w programie *mRgui*.

Wtyczka może współpracować z rejestratorami *mR4* i *mR3p*.

Obudowa wtyczki uniwersalnej. Możliwe jest wykonanie wtyczek do pomiarów większych prądów w innych obudowach, wyposażonych w odpowiednie zaciski prądowe.

Dalej podano przykłady zastosowań wtyczki *WDI* w pomiarach związanych z ochroną katodową.

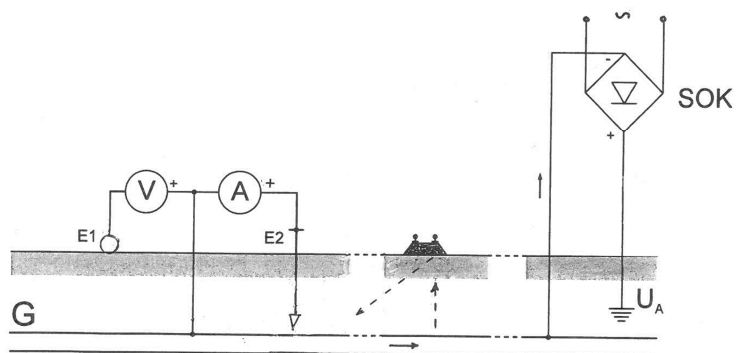
8.1 Pomiar prądu w ziemi

Cel pomiaru: Badanie oddziaływania prądu błędzającego

Pomiar polega na jednoczesnym wyznaczeniu potencjału rurociągu E_1 i płynącego w ziemi prądu I (PN-EN 50126, zał. D), za pomocą sondy w postaci izolowanej szpilki stalowej o gołym ostrzu, wbitej w grunt na głębokość rurociągu (3.2.4).

Parametry mierzone:

- potencjał E_1 rurociągu (V/**K4**),
- prąd I (A/**K2**).



Rys. 8.1a. Pomiar prądu w ziemi wg PN-EN 50126.
Prąd I wpływa do sondy.
Schemat ideowy

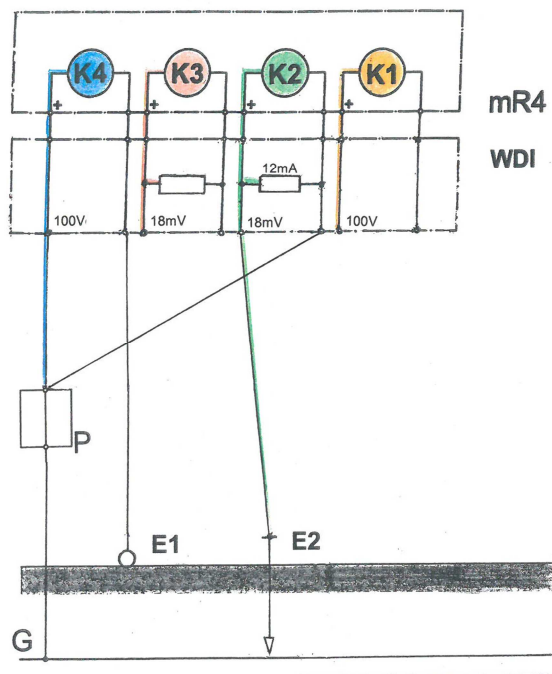
Układ zewnętrzny i nastawy:

- stacja **SOK** załączona (normalne warunki eksploatacji),
- dla **K2** wybrać w **mRgui** zakres 18mV,
- krok zapisu 1/2s,
- czas trwania pomiaru w okresie największego natężenia ruchu (PN-EN 50162:2006, 5.2.3)

.dla kolei co najmniej 24h, pełna ocena oddziaływania jeden tydzień,

.dla tramwajów: co najmniej 1h, pełna ocena oddziaływania 24h.

Uwaga 1. Czas trwania pomiaru powyżej 8h może wymagać zewnętrznego zasilania rejestratora.



Rys. 8.1b. Pomiar prądu w ziemi wg PN-EN 50126 za pomocą wtyczki **WDI(1)**.
Sonda stalowa E2 wbita na głębokość rurociągu.
Schemat montażowy

Spodziewane wyniki:

- potencjał E_1 (V/K4) od +1 do ok. -5V,
- prąd I (A/K2) do ok. 10mA.

Uwaga 2. Pomiar umożliwia obserwację korelacji $E = f(I)$.

Schematy:

- ideowy rys. 8.1a,
- montażowy rys. 8.1b.

Sprzęt:

- przenośna elektroda odniesienia 1 szt.,
- sonda stalowa izolowana (PN-EN 50162:2006, zał. D) 1 szt.,
- tablet lub telefon 1 szt.,
- rejestrator **mR4/mR3p** 1 szt.,
- wtyczka dedykowana **WDI**, bocznik 18mA, 1.0Ω 1 szt.,
- zasilacz zewnętrzny,
(jeśli przewidywany czas pomiaru przekracza 8h) 1 szt.

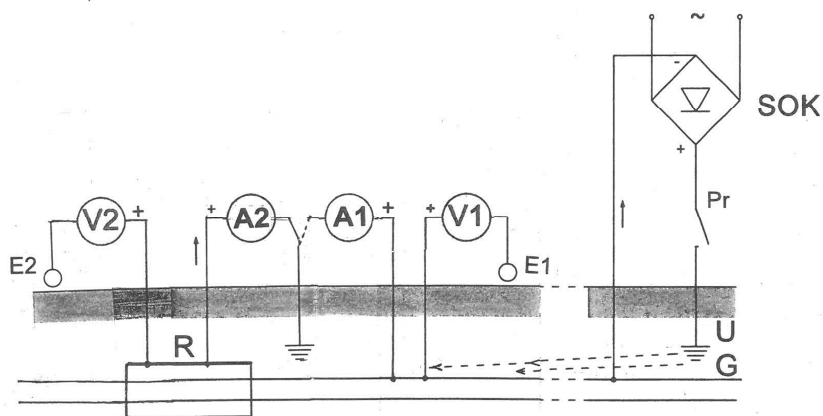
Informacja:

- PN-EN 50162:2006. *Ochrona przed korozją powodowaną przez prądy błędzące z układów prądu stałego*, 5.2.3, zał. B, zał. E,
- ST-IGG-0602:2009. *Standard Techniczny. Ochrona przed korozją zewnętrzną stalowych gazociągów lądowych. Projektowanie, budowa i użytkowanie*, 6.5, 9.4,
- CEOCOR. *Pomiary w ochronie katodowej przed korozją. Poradnik*. SEP i COSIW Warszawa 2010, 2.7.2, 7.2.2,
- Władysław Dziuba. *Sieć powrotna i prądy błędzące*, Instytut Elektrotechniki, Warszawa 1995,
- Marian Hanasz. *Upływność izolacji jako czynnik oceny zagrożenia konstrukcji podziemnych przez prądy błędzące*. Ochrona przed Korozją 2/1994, s. 25,
- Wojciech Sokólski. *Metoda korelacyjna badania prądów błędzących – technika ciągle nieznormalizowana*. Ochrona przed Korozją 8/2013, s. 320,
- Wojciech Sokólski. *Korozja rurociągów stalowych pod wpływem oddziaływań*. Ochrona przed Korozją 8/2014, s. 293.

8.2 Badanie rury produktowej wewnątrz rury osłonowej metodą techniczną

Cel pomiaru: Ocena stanu powłoki

Informację o nieszczelności izolacji rury produktowej G na odcinku ułożonym w rurze osłonowej R i obecności elektrolitu w przestrzeni między rurami, umożliwia pomiar różnicy prądu $I_{ON} - I_{OFF}$ płynącego między uziomem i rurą R, konieczna jest zatem przerywana praca SOK. Do obliczeń potrzebna jest również składowa omowa czyli różnica potencjałów $E_{ON} - E_{OFF}$.



Rys. 8.2a. Pomiar rezystancji R_G uziemia rury produktowej i R_R rury osłonowej.
Schemat ideowy

Norma CEOCOR (Osłony 5.1.2) zaleca wykonanie pomiaru omomierzem, lecz bardziej dokładny wynik można uzyskać stosując metodę techniczną przy użyciu rejestratora **mR4** (4.5.1.2). By oszacować wielkość nieszczelności należy oddzielnie zmierzyć rezystancję uziomu R_U .

- A Uziom należy przyłączyć kolejno, najpierw do rury produktowej **G**, a następnie do rury osłonowej **R**. Należy mierzyć prąd I_G płynący do rury produktowej **G** i prąd I_R płynący do rury produktowej **R**.
- B Gdy w chwili ON natężenie prądu $I_R = I_G$, to rura osłonowa **R** jest zwarta z rurą produktową **G**, a więc rezystancja między nimi $R_{RG} = 0$.
- C Jeśli potencjał uziomu będzie taki sam, jak rury osłonowej, to w chwili OFF prąd I_R nie popłynie: $I_R = 0$.
- D Gdy w chwili OFF po przyłączeniu uziomu do rury osłonowej **R** popłynie prąd I_R wskutek różnicy potencjałów pomiędzy defektami powłoki tej rury, a uziomem, to znaczy, że rura osłonowa **R** nie jest zwarta z produktową **G**, a więc $R_{RG} \neq 0$.

W chwili ON z rury osłonowej do produktowej popłynie prąd

$$I_R = \frac{(E_R - E_G)}{R_{RG} + R_U}$$

Na tej podstawie można obliczyć rezystancję R_{RG} . Przyjmując prawdopodobną rezystywność elektrolitu w przestrzeni między rurami oraz wymaganą gęstość prądu ochrony można oszacować wielkość nieszczelności oraz ocenić, czy są skutecznie chronione katodowo.

Parametry mierzone:

- potencjał rury produktowej E_G (V1/**K4**),
- potencjał rury osłonowej E_R (V2/**K1**),
- prąd uziemia rury produktowej I_G (A1/**K2**),
- prąd uziemia rury osłonowej I_R (A2/**K3**).

Parametry obliczane:

-rezystancja rury osłonowa – rura produktowa:

$$R_{RG} = \frac{(E_R - E_G) - I_R \cdot R_U}{I_G}$$

Układ zewnętrzny i nastawy:

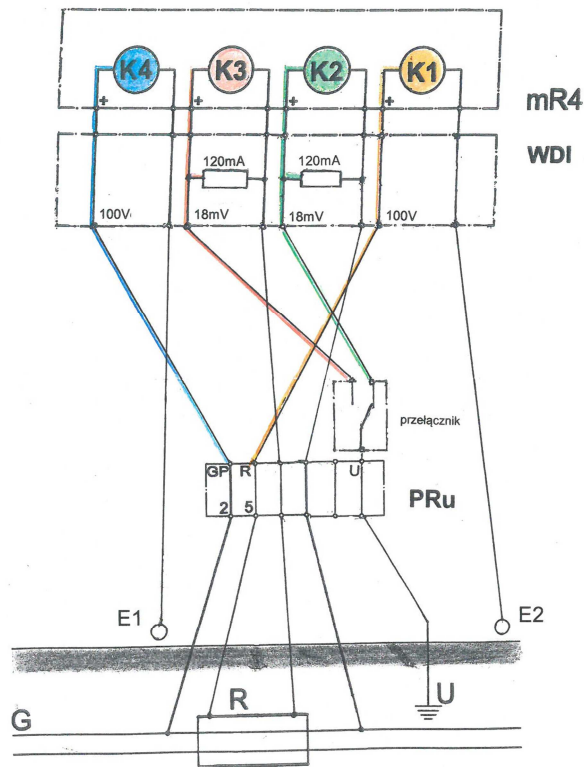
-przyłączyć stały uziom rury osłonowej do rury produktowej (przełącznik dwupołożeniowy),

-dla **K2** i **K3** wybrać w *mRgui* zakres 18mV,

-prąd ochrony załączony, OFF = np. 1s, (OFF + ON) = np. 5s,

-krok zapisu 1/8s,

-czas trwania: do kilkunastu cykli ON/OFF w każdym położeniu przełącznika, w przypadku prądów błędnych dłużej.



Rys. 8.2b. Pomiar rezystancji R_G uziemienia rury produktowej.

Kanał **K2** dołączony do zacisku U.

W celu pomiaru rezystancji uziemienia R_R rury osłonowej należy odłączyć kanał **K2** i dołączyć do U kanał **K2**.

Schemat montażowy

Spodziewane wyniki:

-potencjał E_G (V1/**K4**) do ok. -2V,

-potencjał E_R (V2/**K1**) do ok. -2V,

-prąd I_G (A1/**K2**) od ok. 1mA do ok. 100mA,

-prąd $I_R(A2/K3)$ od ok. 1mA do ok. 100mA.

Schematy:

- ideowy rys. 8.2a,
- montażowy rys. 8.2b.

Sprzęt:

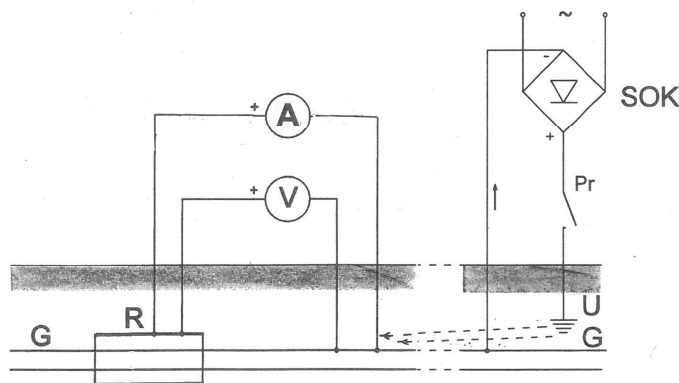
-przełącznik dwupołożeniowy	szt. 1,
-przenośne elektrody odniesienia	szt. 2,
-tablet lub telefon	szt. 1,
-rejestrator mR4	szt. 1,
-wtyczka dedykowana WDI , 2 boczniaki 100mA, 180mΩ	szt. 1,
-przerywacz (konieczny w stacjach SOK bez wbudowanego systemu przerywania prądu)	szt. 1.

Informacja:

p. 4.5.1.1, 4.5.1.2 oraz CEOCOR 2007. *Mantelrohre. Ausführung, Prüfung und Sanierung von Kreuzungen erdverlegten Rohrleitungen mit Verkehrswegen. Leitfaden*, 5.1.2.

8.3 Pomiar rezystancji rura produktowa – rura osłonowa metodą techniczną

Cel pomiaru: Ocena izolacji między rurami



Rys. 8.3a. Pomiar rezystancji R_{GR} rura produktowa – rura osłonowa. Schemat ideowy

Wykonanie pomiaru zgodnie z CEOCOR *Ostony* 5.1.3. (4.5.1.3)

Parametry mierzone:

- różnica potencjałów U_{GR} (V, **K4**),
- prąd I_{GR} (A, **K2**).

Parametr obliczany:

-rezystancja $R_{GR} = \frac{U_{GR}}{I_{Gr}}$

Układ zewnętrzny i nastawy:

- dla **K2** wybrać w programie *mRgui* zakres 18mV (1.9),
- prąd ochrony załączony, OFF = np. 1s, (OFF + ON) = np. 5s,
- uziom U_R odłączony,
- krok zapisu 1/8s,
- czas trwania kilka do kilkunastu cykli, w przypadku prądów błędnych dłużej.

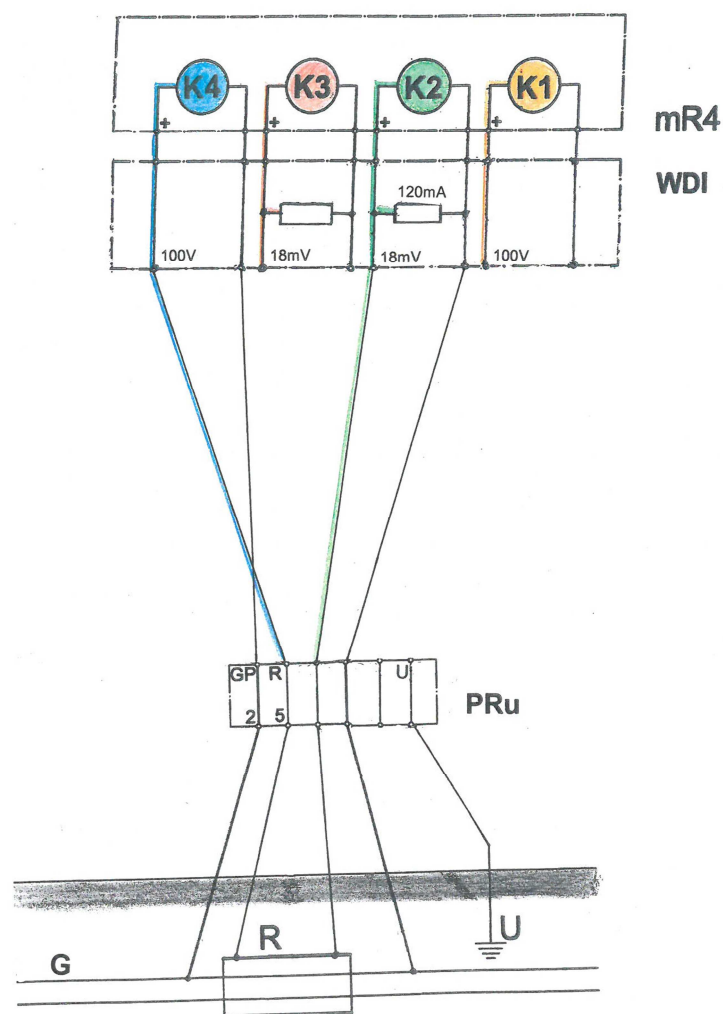
Spodziewane wyniki:

- różnica potencjałów U_{GR} (V, **K4**) do ok. 1V,
- prąd I_{GR} (A, **K2**) do ok. 100mA.

Uwaga. Rezystancja $R_{GR} < 0.5\Omega$ świadczy o zwarciu układu rura produktowa – osłona.

Schematy:

- ideowy rys. 8.3a,
- montażowy rys. 8.3b.



Rys. 8.3b. Pomiar rezystancji R_{GR} rura produktowa – rura osłonowa..

Sprzęt:

-tablet lub telefon	szt. 1,
-rejestrator mR4/mR3p	szt. 1,
-wtyczka dedykowana WDI , bocznik 100mA, 180mΩ	szt. 1,
-przerywacz (konieczny w stacjach SOK , bez wbudowanego systemu przerywania prądu)	szt. 1.

Informacja:

-ST-IGG-0601:2008. *Standard Techniczny. Ochrona przed korozją zewnętrzną stalowych gazociągów lądowych. Wymagania funkcjonalne i zalecenia*, 7,

-ST-IGG-0602:2009. *Standard Techniczny. Ochrona przed korozją zewnętrzną stalowych gazociągów lądowych. Projektowanie, budowa i użytkowanie*, 1.4, tabl. 6 (8),

-Marek Fiedorowicz. *Zaskakujące przykłady z praktyki pomiarowej ochrony katodowej rurociągów*, Ochrona przed Korozją 8/2011, s. 500,

-CEOCOR *Ostony*, 5.1.1.

8.4 Oddziaływanie ochrony katodowej rurociągu na sąsiednią konstrukcję

Cel pomiaru: Ocena wzajemnego oddziaływania rurociągu i obcej konstrukcji (4.2).

Należy badać różnicę potencjałów między obu obiektami i sprawdzać, czy mieści się w dopuszczalnych granicach PN-EN 50162 tabl. 1. W skrajnym przypadku może mieć miejsce styczność metaliczna obu konstrukcji (zwarcie).

Uwaga 1. Przed wykonaniem pomiaru nie zmieniać nastawy rezystora R.

Pomiar należy wykonać w stacjach wyrównania potencjałów **PWP** badanego rurociągu co dwa lata [ST-IGG-0602, tabl. 6(6)].

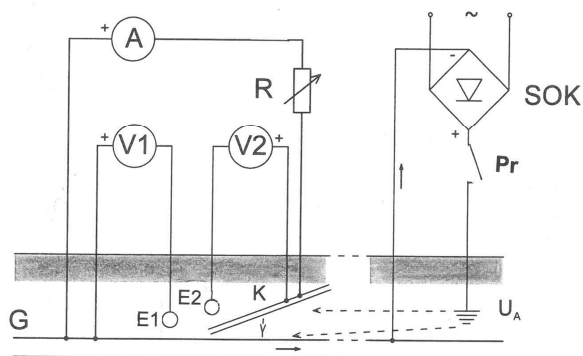
Parametry mierzone:

-potencjały

E_G (V1/**K4**) rurociągu,

E_K (V2/**K1**) konstrukcji,

-prąd I (A/**K2**) między rurociągiem a konstrukcją.



Rys. 8.4a. Badanie wzajemnego oddziaływania ochrony katodowej rurociągu i pobliskiej konstrukcji **K**.

Schemat ideowy

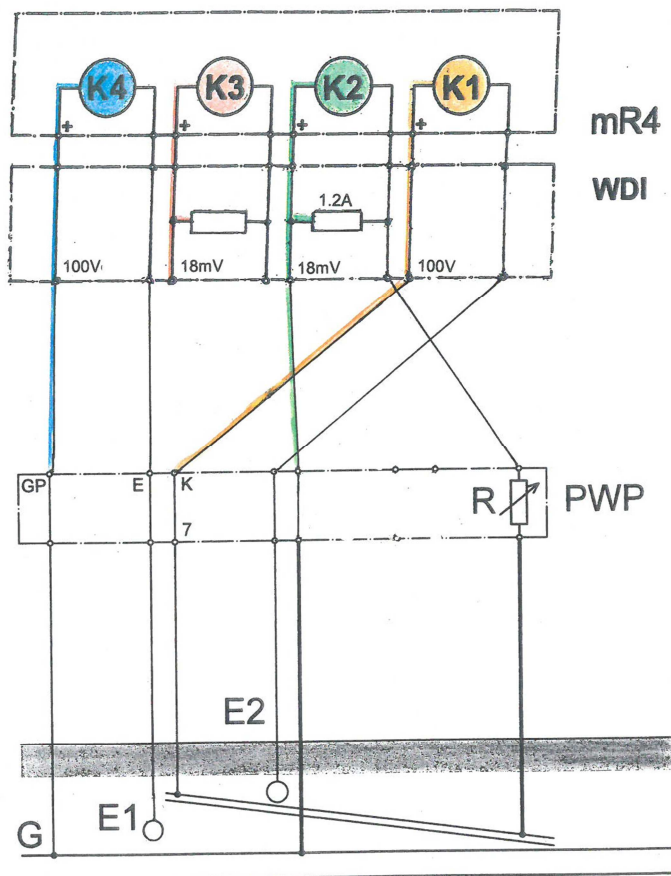
Układ zewnętrzny i nastawy:

- prąd ochrony załączony, OFF = np. 1s, (OFF + ON) = np. 5s,
- dla **K2** wybrać w **mRgui** zakres 18mV,
- krok zapisu 1/8s,
- czas trwania pomiaru kilka cykli przerywania; w razie zauważenia anomalii dłużej.

Spodziewane wyniki:

- potencjał E_G (V1/**K4**) do ok. -2.5V,
- potencjał E_K (V2/**K1**) do ok. -2.5V,
- prąd I (A/**K2**) do ok. 1A.

Uwaga 2. Przesunięcie potencjału konstrukcji, na którą działa ochrona katodowa rurociągu, powinno się mieścić w granicach dopuszczalnych. Rezystor regulacyjny **R** umożliwia odpowiednie nastawienie prądu wyrównawczego.



Rys. 8.4b. Badanie wzajemnego oddziaływania ochrony katodowej rurociągu i pobliskiej konstrukcji **K**. Rejestrator **mR4** i przerywacz zewnętrzny. Schemat montażowy

Schematy:

- ideowy rys. 8.4a,
- montażowy rys. 8.4b.

Sprzęt:

-elektroda odniesienia przenośna (dla kontroli działania elektrod stałych)	1 szt.,
-tablet lub telefon	1 szt.,
-rejestrator mR4	1 szt.,
-wtyczka dedykowana WDI , bocznik 1.0A, 18mΩ	1 szt.,
-przerywacz zewnętrzny (w stacji SOK bez wbudowanego systemu przerywania prądu)	1 szt.

Informacja:

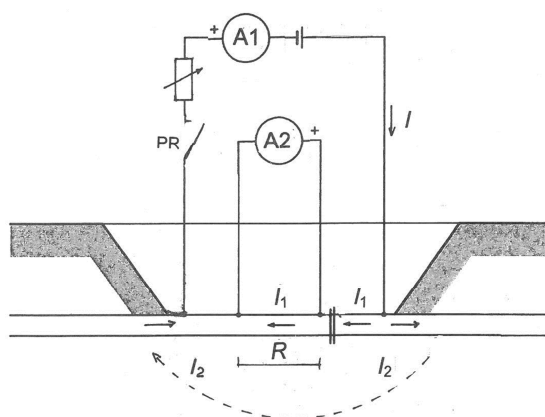
- PN-EN 50162:2006. *Ochrona przed korozją powodowaną przez prądy błędzące z układów prądu stałego*, 6, 7.8.5, tabl. 1,
- ST-IGG-0602:2009. *Standard Techniczny. Ochrona przed korozją zewnętrzną stalowych gazociągów lądowych. Projektowanie, budowa i użytkowanie*, 7, tabl. 6 (6),
- CEOCOR. *Pomiary w ochronie katodowej przed korozją. Poradnik*. SEP i COSIW, Warszawa 2010, 5, 7.2.

8.5 Badanie jakości złącza izolującego/monobloku

Cel pomiaru: Ocena stanu złącza izolującego/monobloku (4.3 i 4.4).

Gdy wcześniej wykonane badanie (4.3) wskazuje, że złącze izolujące może nie być sprawne, to należy przeprowadzić dalsze badania. Umożliwi je zainstalowana przy złączu stacja pomiarowa (punkt pomiarowy) typu **PMDIs**. Jeżeli taka stacja nie została zainstalowana, należy odkryć rurociąg po obu stronach złącza i wykalibrować *bocznik rurociągowy* – w gazownictwie zwany *odcinkiem pomiaru spadku napięcia* (5.4).

Najbardziej jednoznaczne wyniki można uzyskać za pomocą badania, które polega na wymuszeniu przepływu prądu skośnego przez złącze i pomiarze prądu na boczniku rurociągowym (spadku napięcia na odcinku rurociągu). Część prądu I źródła jako prąd skośny I_1 płynie przez złącze, a druga część – prąd I_2 – zamyka się przez ziemię (rys. 8.2.2a).



Rys. 8.5a. Pomiar prądu skośnego złącza izolującego.
Schemat ideowy

Zasilając przewodami drenażowymi wykalibrowany bocznik rurowciągowy o znanej rezystancji R można zmierzyć prąd I_1 . Źródło zasilania w postaci akumulatora z przerywaczem (rys. 8.2.2b) umożliwia eliminację wolnozmiennych prądów błądzących, które mogłyby zakłócić pomiar.

Parametr mierzony:

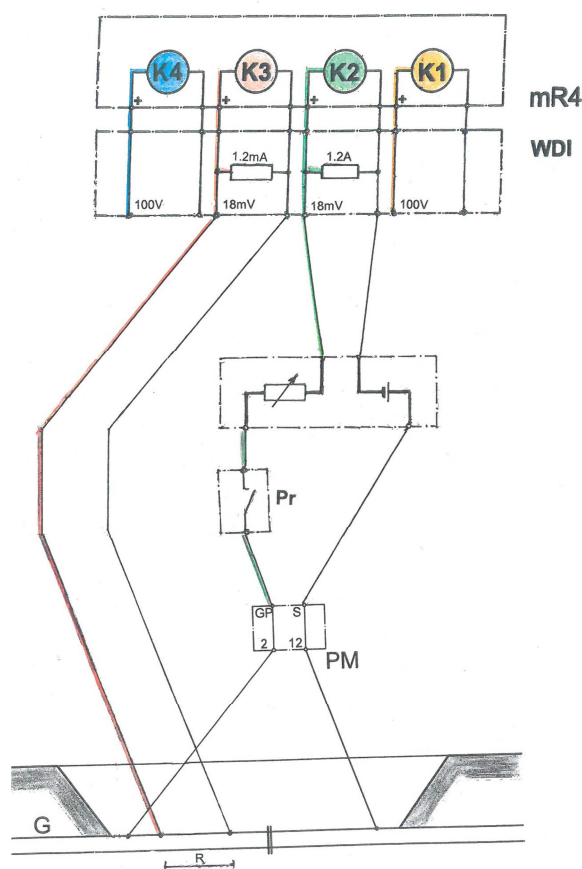
- prąd zasilający I (A2/**K2**),
- prąd skośny I_1 (A1/**K3**).

Układ zewnętrzny i nastawy:

- stacje **SOK** po obu stronach złącza wyłączzone,
- zasilić układ z akumulatora 6V, 1,3Ah (regulacja obciążenia, przerywacz OFF = np. 1s, (OFF + ON) = np. 5s,

Uwaga 2. W przypadku wysokiej jakości powłoki zaleca się wykonanie pomiaru metodą impulsową: krótki impuls ON = 0.4...1s i długi czas przerwy OFF = 5...10s.

- dla **K2** wybrać w **mRgui** zakres 18mV,
- dla **K3** wybrać w **mRgui** zakres 18mV, wpisać znaną wartość rezystancji R bocznika rurowciągowego.
- krok zapisu 1/8s,
- czas trwania: kilka cykli.



Rys. 8.5b. Pomiar prądu skośnego złącza izolującego.
Schemat montażowy

Spodziewane wyniki:

- prąd I (A2/**K2**) do 1A,
- prąd I_1 (A1/**K3**) do 1mA.

Schematy:

- ideowy rys. 8.5a,
- montażowy rys. 8.5b.

Sprzęt:

- źródło prądowe 6V, 1.3Ah szt. 1,
- tablet lub telefon szt. 1,
- rejestrator **mR4/mR3p** szt. 1,
- wtyczka dedykowana **WDI**, bocznik 1.0A, 18mΩ szt. 1.

Informacja:

- PN-EN 13509:2005. *Metody pomiarowe w ochronie katodowej*, zał. K.

8.6 Pomiar rezystancji wewnętrznej układu rura produktowa – rura osłonowa

Pomiar (SP0200 B2) należy wykonać, gdy różnica potencjałów między rurą produktową, a osłoną wynosi

$$\Delta E = E_G - E_R < 100\text{mV}$$

Prąd ochrony należy wyłączyć. Niezbędne jest zewnętrzne źródło zasilania.

Należy zmierzyć różnicę potencjałów $\Delta E_{\text{OFF}} = (E_G - E_R)_{\text{OFF}}$ między rurociągiem a rurą osłonową przy wyłączonym zasilaniu, a następnie powtórzyć pomiar przy zasilaniu załączonym $\Delta E_{\text{ON}} = (E_G - E_R)_{\text{ON}}$. Iloraz różnicy $\Delta E_{\text{OFF}} - \Delta E_{\text{ON}}$ i prądu I jest równy rezystancji R_{GR} między rurą transportową a rurą osłonową:

$$R_{\text{GR}} = \frac{\Delta E_{\text{OFF}} - \Delta E_{\text{ON}}}{I}$$

Rezystancja $R_{\text{GR}} \leq 0.01\Omega$ świadczy o zwarceniu.

Pomiar należy wykonać co dwa lata [ST-IGG-0602, tabl.6(8)] w stacjach pomiarowych **PRE**.

Parametry mierzone:

- różnica potencjałów $(E_G - E_R) = \Delta E$ (V/**K4**),
- prąd źródła prądowego I (A/**K2**) $\approx 1\text{A}$.

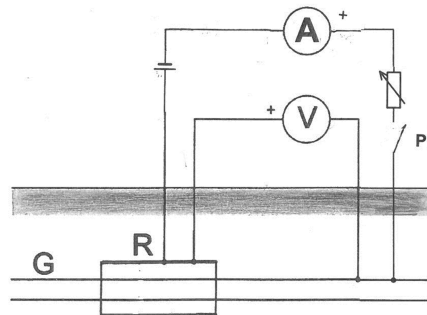
Parametr obliczany:

- rezystancja R_{GR} .

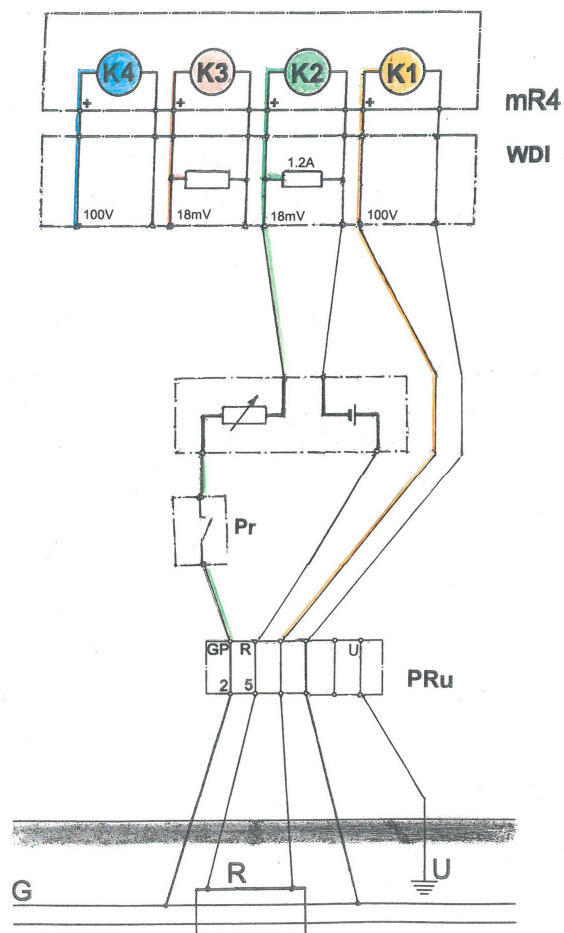
Układ zewnętrzny i nastawy:

- goła rura osłonowa,
- prąd ochrony wyłączony,
- czynny przerywacz PT rejestratora **mR3p**,

- źródło zasilania 6V, 1.3Ah, OFF = np. 1s, (OFF + ON) = np. 5s,
- różnica potencjałów ΔE (V/**K4**),
- dla **K2** wybrać w **mRgui** zakres 18mV,
- krok zapisu 1/2s,
- czas trwania kilka cykli.



Rys. 8.6a. Pomiar rezystancji rurociąg – rura osłonowa wg NACE.
Schemat ideowy



Rys. 8.6b. Pomiar rezystancji rurociąg – rura osłonowa.
Schemat montażowy

Spodziewane wyniki OFF/ON (2/s):

- różnica potencjałów ΔE (V/**K4**) do 1V,
- prąd I (A/**K2**) do 1A.

Schematy:

- ideowy rys. 8.7a,
- montażowy rys. 8.7b.

Sprzęt:

- źródło zasilania 6V, 1.3Ah szt. 1,
- tablet lub telefon szt. 1,
- rejestrator **mR3p** szt. 1,
- wtyczka dedykowana **WDI**, bocznik 1A, 18m Ω szt. 1.

Informacja:

p. 4.5.2.1, NACE SP0200 B2.

8.7 Depolaryzacja osłony

Pomiar ma na celu sprawdzenie różnicy potencjałów E_{GR} między rurą produktową a osłonową (SP0200, 5). Wyrażna różnica świadczy o separacji galwanicznej rur.

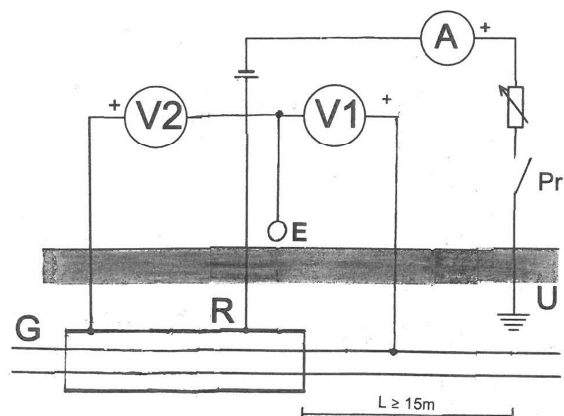
Należy zainstalować prowizoryczny uziom anodowy U_A w odległości od badanego układu $L \geq 15m$ i podłączyć do niego źródło zasilania (rys. 8.4.2a). Przenośną elektrodę odniesienia należy ustawić w osi rury produktowej w pobliżu krawędzi rury osłonowej.

Depolaryzację należy prowadzić stopniowo, odprowadzając z rury osłonowej niewielki ładunek elektryczny – norma proponuje 0.1A przez 1...2 minut. Prąd należy przerwać, po czym należy zmierzyć potencjały OFF rury produktowej E_G i osłony E_R . Tę procedurę należy powtórzyć co najmniej trzy razy, stosując większe ładunki (0.2, 0.3A). Niezbędna wartość odprowadzanego ładunku zależy od wymiarów osłony i warunków miejscowych. 10A powinno zapewnić wyraźne przesunięcie potencjału.

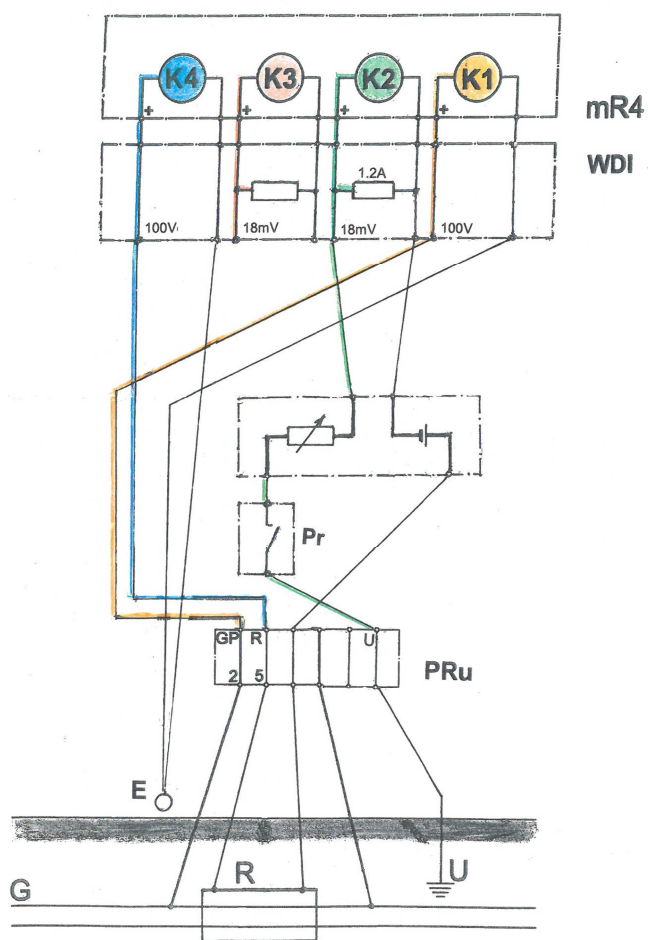
Jeżeli osłona jest zwarta, to oba potencjały, E_G i E_R , podczas kolejnych kroków przesuwać się będą w kierunku dodatnim, a różnica $\Delta E = E_G - E_R$ będzie malała. Jeżeli zwarcia nie ma, potencjał rury produktowej E_G zmieni się tylko nieznacznie, mimo bardzo dużego przesunięcia potencjału E_R .

Parametry mierzone:

- potencjał E_G (V1/**K4**) rury produktowej,
- potencjał E_R (V2/**K3**) rury osłonowej,
- prąd źródła I (A/**K2**).



Rys. 8.7a. Kontrola separacji przez depolaryzację osłony.
Schemat ideowy



Rys. 8.7b. Kontrola separacji przez depolaryzację osłony.
Schemat montażowy

Układ zewnętrzny i nastawy:

-źródło prądowe 1A, 5V,

-przerywanie prądu wyłącznikiem ręcznie:

.OFF = 60 ... 120s, ON (podnieść I o 0.1A),

.OFF = 60 ... 120s, ON (podnieść I o 0.1A),

.OFF = 60 ... 120s, ON (podnieść I o 0.1A).

Uwaga. Wartość 0.1A orientacyjna.

- dla **K2** wybrać w **mRgui** zakres 18mV,
- elektroda odniesienia w osi rury produktowej, w pobliżu krawędzi rury osłonowej,
- prowizoryczny uziom anodowy, w odległości $L \geq 15m$,
- krok zapisu 1/8s,
- czas trwania rzędu pół godziny.

Spodziewane wyniki:

- potencjał E_G (V1/**K4**) do 1V,
- potencjał E_R (V2/**K3**) do 1V,
- prąd źródła I (A/**K2**) do 1A.

Schematy:

- ideowy rys. 8.8a,
- montażowy 8.8b.

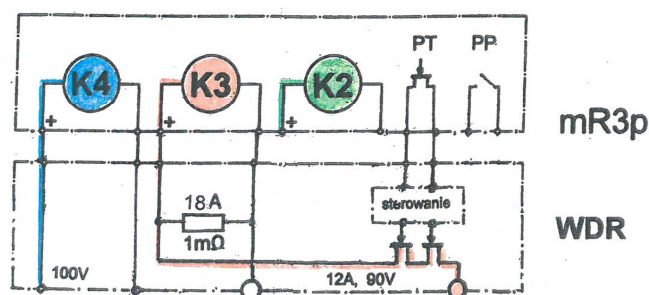
Sprzęt:

- | | |
|---|---------|
| -źródło zasilania 6V, 1.3Ah | szt. 1, |
| - prowizoryczny uziom anodowy | szt. 1, |
| -bocznik pomiarowy 16mΩ, 1A | szt. 1, |
| -przenośna elektroda odniesienia | szt. 1, |
| -tablet lub telefon | szt. 1, |
| -rejestrator mR4 | szt. 1, |
| -wtyczka dedykowana WDI , bocznik 1A, 18mΩ | szt. 1. |

Informacja:

p. 4.5.2.1, NACE SP0200, 5.

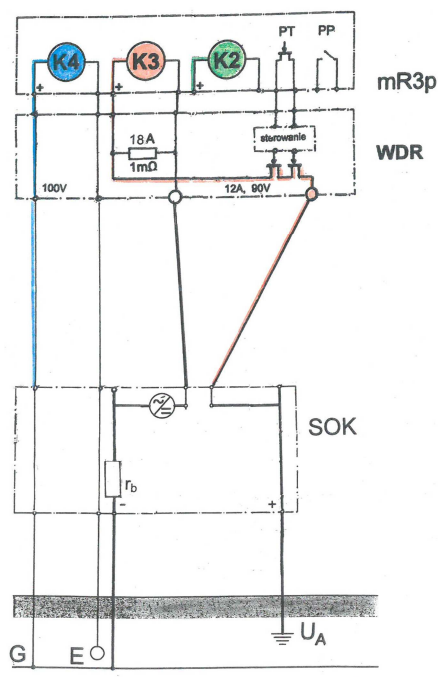
9 PRZERYWANIE PRĄDU WTYCZKĄ WDR WE WSPÓŁPRACY Z REJESTRATOREM *mR3p*



Rys. 9. Rejestrator *mR3p* z wtyczką dedykowaną WDR do przerywania dużych prądów

Przerywanie prądu jest jednym z procesów typowych w ochronie katodowej rurociągów. Prądy ochrony w rurociągach o powłokach niskiej szczelności mogą osiągać znaczne wartości, rzędu kilkunastu i więcej amperów d.c., przy czym wymaga się czasem nawet 10 cykli przerwań w ciągu minuty. Praktycznie eliminuje to stosowanie do tych celów typowych styczników prądu stałego, których trwałość układów ruchomych wynosi około 10^7 cykli.

Rejestratory *mR3p*, zamiast kanału pomiarowego *K1*, w który jest wyposażony bliźniaczy rejestrator *mR4*, posiadają dwa kanały *PT* i *PP*, jednak ich zdolność łączeniowa jest ograniczona i wynosi dla *PT*: 2A (maksymalny prąd) i 30V (maksymalne napięcie przerwy), a dla *PP*: 0,5A (maksymalny prąd) i 30V (maksymalne napięcie przerwy).



Rys. 3.3d. Pomiar kontrolny w stacji ochrony katodowej SOK. Wtyczka dedykowana WDR zawiera przerywacz sterowany przez rejestrator *mR3p*. Schemat montażowy

Przerywanie większych prądów umożliwia wyposażona w klucz tranzystorowy wtyczka dedykowana **WDR** [4], którą zgodnie z wybranym czasem cykli i przerw steruje rejestrator **mR3p**, zapewniając synchronizację z GPS. Wtyczka posiada zdolność łączeniową 12A dla prądu ciągłego; zdolność łączeniowa dla 80% wypełnienia czasowego wynosi $\pm 14A$, dla 50% $\pm 16A$, dla 20% $\pm 18A$. Maksymalne napięcie przerwy wynosi 90V.

Kanał **K3** umożliwia pomiar przerywanego prądu (rys. 4). Jednocześnie można mierzyć w kanale **K4** napięcie lub potencjał w zakresie $\pm 100V$, obserwując kształt i napięcie przerwy.

Na zamówienie są dostępne przerywacze o większej zdolności łączeniowej: 16A/50V i 25A/20V.

10 ZASTOSOWANIA WTYCZKI WDS DO KONTROLI ELEKTRODY SYMULUJĄCEJ

(w opracowaniu)

10 MATERIAŁY INFORMACYJNE

10.1 Zalecenia normatywne

-PN-EN 12954:2001, *Ochrona katodowa konstrukcji metalowych w gruntach lub w wodach. Zasady ogólne i zastosowania dotyczące rurociągów*

-PN-EN 13509:2005, *Metody pomiarowe w ochronie katodowej*

-PN-EN 15280:2013-12, *Ocena prawdopodobieństwa wystąpienia korozji zakopanych rurociągów wywołanej prądem przemiennym – Zastosowania do rurociągów chronionych katodowo*

-PN-EN 50122-2:2011, *Zastosowania kolejowe – Urządzenia stacjonarne – Bezpieczeństwo elektryczne, uziemianie i sieć powrotna – Część 2: Środki ochrony przed skutkami prądów błędzących powodowanych przez systemy trakcji prądu stałego*

-PN-EN 50162:2006, *Ochrona przed korozją powodowaną przez prądy błędzące z układów prądu stałego*

-PN-HD 60364-4-41:2009, *Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 4-41: Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa – Ochrona przed porażeniem*

-PN-EN 61010-1:2010, *Wymagania bezpieczeństwa dotyczące elektrycznych przyrządów pomiarowych*

-ST-IGG-0601:2008, *Standard Techniczny. Ochrona przed korozją zewnętrzną stalowych gazociągów lądowych. Wymagania funkcjonalne i zalecenia*

-ST-IGG-0602:2009, *Standard Techniczny. Ochrona przed korozją zewnętrzną stalowych gazociągów lądowych. Projektowanie, budowa i użytkowanie*

-CEOCOR, *Pomiary w ochronie katodowej przed korozją. Poradnik. SEP i COSIW, Warszawa 2010 (Oryginał: CEOCOR. Leitfaden der Meßtechnik für den Kathodischem Korrosionsschutz, Wien 1994)*

-CEOCOR 2007, *Mantelrohre. Ausführung, Prüfung und Sanierung von Kreuzungen erdverlegten Rohrleitungen mit Verkehrswegen. Leitfaden (Rury osłonowe. Wykonanie, sprawdzanie i naprawa rurociągów ułożonych w gruncie na skrzyżowaniach z drogami. Wytyczne, Bruxelles, 2007)*

-NACE TM0102-2002, *Standard Test Method. Measurement of Protective Coating Electrical Conductance on Underground Pipelines (Normatywna metoda badawcza. Pomiar konduktancji powłok ochronnych na rurociągach podziemnych)*

-NACE SP0200-2008, *Standard Practice. Steel-cased Pipeline Practices (Wskazówki dotyczące rurociągów w stalowych rurach osłonowych)*

-NACE SP0207-2007, *Standard Practice. Performing Close-Interval Potential Surveys and DC Surface Potential Gradient Surveys on Buried or Submerged Metallic Pipelines (Wskazówki normatywne. Badanie wzdłużne potencjału i gradientu potencjału d.c. na powierzchni ziemi podziemnych lub podwodnych rurociągów metalowych)*

-NACE SP0502-2008, *Standard Practice. Pipeline External Corrosion Direct Assessment Methodology* (Wskazówki normatywne. Metodyka bezpośredniej oceny korozji zewnętrznej rurociągów)

10.2 Instrukcje

-L.INSTRUMENTs, *Rejestrator pomiarowy czterokanałowy mR4 i rejestrator pomiarowy trójkanałowy z przerywaczem mR3p*

.Część I. Obsługa

.Część II. Program *mRgui*

.Część III. Zastosowania w ochronie katodowej przed korozją

.Część IV. Wyposażenie pomocnicze

10.3 Wydawnictwa zwarte

-Władysław Dziuba, *Sieć powrotna i prądy błędzące*, Instytut Elektrotechniki, Warszawa 1995

-*Ochrona elektrochemiczna przed korozją*, Praca zbiorowa, red. Jerzy Ostaszewicz. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne Warszawa 1991

-Wojciech Sokólski, *Ochrona katodowa stalowych konstrukcji podziemnych (wiadomości podstawowe)*. Dodatek do miesięcznika INPE, zesz. 25, czerwiec 2009.

10.4 Artykuły (alfabetycznie)

-Heinrich Brasse, Andreas Junge, *Einfluß erdmagnetischer Variationen auf den kathodischen Schutz von Rohrleitungen* (Badania wpływu wariacji geomagnetycznych na ochronę katodową rurociągów), *gwf-gas/erdgas* H4/1984, s. 125

-Marek Fiedorowicz, *Ochrona katodowa – potencjały konstrukcji*, *Ochrona przed Korozją* 8/2012, s. 340

-Marek Fiedorowicz, Michał Jagiełło, *Problemy z wyznaczaniem polaryzacji w nieszczelnościach powłoki podziemnego rurociągu*, *Ochrona przed Korozją* 8/2004, s. 195

-Marek Fiedorowicz, Michał Jagiełło, *Korozja przeniennoprądowa a ochrona katodowa podziemnych rurociągów*, *Ochrona przed Korozją* 8/2007, s. 331

-Marek Fiedorowicz, Michał Jagiełło, *Dlaczego warto zabezpieczać podziemne rurociągi stalowe powłokami izolacyjnymi wysokiej jakości*, *Ochrona przed Korozją* 8/2009, s. 327

-Marek Fiedorowicz, Michał Jagiełło, *Zaskakujące przykłady z praktyki pomiarowej ochrony katodowej rurociągów*, *Ochrona przed Korozją* 8/2011, s. 500

-Marek Fiedorowicz, Michał Jagiełło, *Specyficzna ochrona przed prądami błędzącymi d.c. rurociągu pokrytego powłoką izolacyjną o wysokim poziomie szczelności*, *Ochrona przed Korozją* 8/2013

- Marek Fiedorowicz, Michał Jagiełło, *Obliczenia ochrony katodowej rurociągu pokrytego powłoką izolacyjną o wysokim poziomie szczelności realizowanej za pomocą anod galwanicznych*, *Ochrona przed Korozją* 8/2014, s. 280
- Marian Hanasz, *Upływność izolacji jako czynnik oceny zagrożenia konstrukcji podziemnych przez prądy błędzące*, *Ochrona przed Korozją* 2/1994 s. 25
- Marian Hanasz, *Pomiar prądu w ocenie powłoki rurociągu*, *Ochrona przed Korozją* 8/2009, s. 309
- Wojciech Machczyński, Wojciech Sokólski, *Oddziaływania indukcyjne linii elektroenergetycznych wysokiego napięcia na gazociągi – część I*, *Ochrona przed Korozją* 8/2005, s. 26
- Marek Markiewicz, Paweł Stochaj, *Ochrona katodowa zbiorników za pomocą anod galwanicznych*, *Nafta-Gaz*, czerwiec 2010, s. 493
- Wiesław Solarz, Mikołaj Kościuk, *Analiza oddziaływań przemienno prądowych na wschodnim odcinku gazociągu tranzytowego Jamał – Europa*, *Ochrona przed Korozją* 8/2014
- Wojciech Sokólski, Wojciech Machczyński, J. Rozwadowski, *Oddziaływania indukcyjne linii elektroenergetycznych wysokiego napięcia na gazociągi – część II*, *Ochrona przed Korozją* 8/2006, s. 244
- Wojciech Sokólski, Jezmar Jankowski, Jacek Rozwadowski, *Ocena skuteczności ochrony katodowej – propozycja metody instrumentalnej*, *Ochrona przed Korozją* 5/2012, s. 229
- Wojciech Sokólski, *Skutki błędnych projektów i niefachowego wykonawstwa ochrony katodowej zakopanych konstrukcji metalowych*, *Ochrona przed Korozją* 8/2012, s. 353
- Wojciech Sokólski, *Ochrona przeciwkorozyjna konstrukcji podziemnych za pomocą drenażu elektrycznego w świetle norm europejskich*, *Ochrona przed Korozją* 5/2013, s. 243
- Wojciech Sokólski, *Metoda korelacyjna badania prądów błędzących – technika ciągle nieznormalizowana*, *Ochrona przed Korozją* 8/2013, s. 320
- Wojciech Sokólski, *Inteligentny drenaż elektryczny – koncepcja i realizacja*, *Ochrona przed Korozją* 5/2014, s. 195
- Wojciech Sokólski, *Korozja rurociągów stalowych pod wpływem oddziaływań elektrycznych*, *Ochrona przed Korozją* 8/2014