

# Przeprowadzenie badań rurociągu stalowego DN800 i DN1200 pod kątem stwierdzenia konieczności zastosowania ochrony czynnej ww. rurociągów

## MPWiK S.A. Kraków

Wykonanie pomiarów i przygotowanie dokumentacji	Piotr Chodorowski  cert. PN-EN 15257 poziom 1 nr PKO-16-002	
	Michał Osuchowski  cert. PN-EN 15257 poziom 2 nr PKO-16-001	
Opracowanie i analiza wyników	Michał Osuchowski  cert. PN-EN 15257 poziom 2 nr PKO-16-001	

## Spis treści

1.	Informacje ogólne .....	3
1.1.	Zleceniodawca prac .....	3
1.2.	Wykonawca prac .....	3
1.3.	Przedmiot opracowania .....	3
2.	Podstawa opracowania .....	3
3.	Przeprowadzone pomiary, metodyka, wnioski. ....	3
3.1.	Badanie odcinka rurociągu DN1200, lokalizacja Chmieleniec - Bobrzyńskiego - Gronostajowa. ....	3
3.2.	Przeprowadzone pomiary .....	5
3.2.1.	<i>Wykonanie badania rezystancji przejścia do konstrukcji oraz rezystywności gruntu. ....</i>	5
3.2.2.	<i>Przeprowadzenie oceny zagrożenia korozyjnego rozptyłem prądów błędzących z trakcji MPK metodą korelacyjną. ....</i>	6
3.2.3.	<i>Wyniki obróbki statystycznej pomiarów .....</i>	7
3.2.4.	<i>Ocena zagrożenia na podstawie pomiarów korelacyjnych .....</i>	7
3.2.5.	<i>Ocena zagrożenia na podstawie prądu elektrody symulującej .....</i>	8
3.2.6.	<i>Badanie występowania kierunku rozptywu prądów błędzących .....</i>	8
3.2.7.	<i>Wykonanie próbnej polaryzacji odcinka rurociągu z kontrolą zasięgu w punktach dostępowych. ....</i>	11
3.2.8.	<i>Wykonanie próbnej rejestracji dla drenażu prostego. ....</i>	12
3.3.	Badanie odcinka rurociągu DN800, lokalizacja ośrodek „MORD”, przy ulicy Nowohuckiej. ....	13
3.3.1.	<i>Wykonanie badania rezystancji przejścia do konstrukcji oraz rezystywności gruntu. ....</i>	14
3.3.2.	<i>Wykonanie rejestracji potencjału wodociągu .....</i>	15
3.3.3.	<i>Ocena zagrożenia na podstawie prądu elektrody symulującej .....</i>	16
3.3.4.	<i>Badanie występowania prądów błędzących wraz z określeniem rozptywania ich w terenie. ....</i>	16
3.3.5.	<i>Wykonanie próbnej polaryzacji oraz ocena zasięgu tymczasowej stacji ochrony katodowej .....</i>	20
3.4.	Szacowane koszty .....	23
3.4.1.	odcinek rurociągu DN1200, lokalizacja Chmieleniec - Bobrzyńskiego - Gronostajowa .....	23
3.4.2.	odcinek rurociągu DN800, lokalizacja ośrodek „MORD”, przy ulicy Nowohuckiej. ....	23
3.5.	Podsumowanie .....	25
3.5.1.	odcinek rurociągu DN1200, lokalizacja Chmieleniec - Bobrzyńskiego - Gronostajowa .....	25
3.5.2.	odcinek rurociągu DN800, lokalizacja ośrodek „MORD”, przy ulicy Nowohuckiej. ....	26
	Załącznik 1 .....	27

## 1. Informacje ogólne

### 1.1. Zleceniodawca prac

Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji S.A.  
Ul. Senatorska 1  
30-106 Kraków

### 1.2. Wykonawca prac

Atagor Sp. z o.o.  
ul. Władysława Żeleńskiego 70/6  
31-353 Kraków

### 1.3. Przedmiot opracowania

Przedmiotem niniejszego opracowania jest wykonanie badań rurociągu stalowego DN800 i DN1200 pod kątem stwierdzenia konieczności zastosowania ochrony czynnej ww. rurociągów.

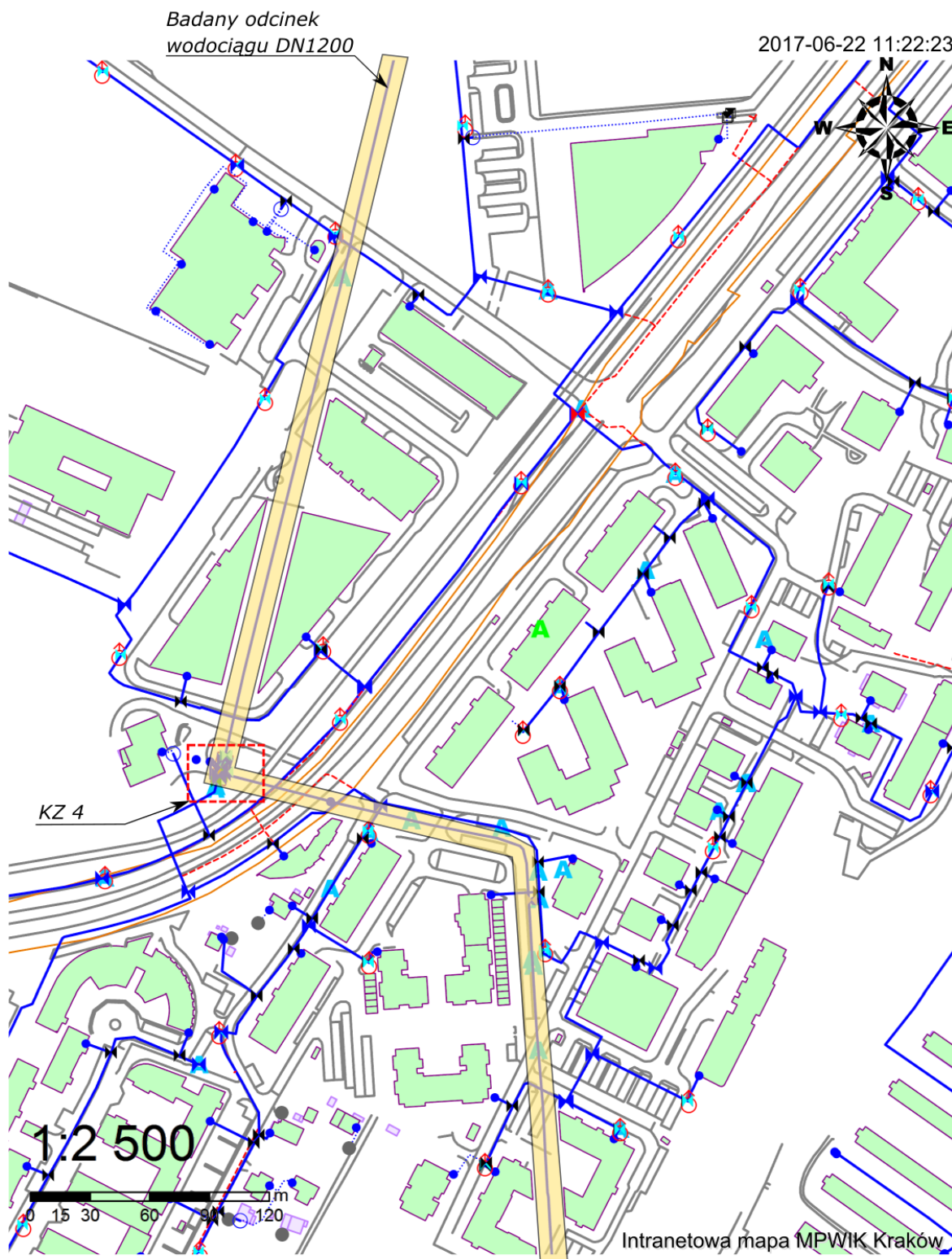
## 2. Podstawa opracowania

- Umowa nr RE160868.
- PN-EN 12954:2004 *Ochrona katodowa konstrukcji metalowych w gruntach lub wodach. Zasady ogólne i zastosowania dotyczące rurociągów, zasady ogólne.*
- PN-EN 13509:2005 *Metody pomiarowe w ochronie katodowej.*
- PN-EN 50162:2006 *Ochrona przed korozją powodowaną przez prądy błądzące z układów prądu stałego.*
- K. Żakowski, *Ochrona Katodowa*, Politechnika Gdańska, Katedra Elektrochemii, Korozji i Inżynierii Materiałowej, Wydział Chemiczny - Gdańsk 2009.
- K. Żakowski, W. Sokólski, *24-hour characteristic of interaction on pipelines of stray currents leaking from tram tractions*, Corrosion Science, Vol. 41 (11/1999), str. 209.
- K. Żakowski, W. Sokólski, *Metoda korelacyjna badania prądów błądzących. Porównanie współczynników asymetrii zmian potencjału*, Ochrona przed Korozją, 7/1997, str. 211.
- W. Dziuba, *Kryteria zagrożenia korozyjnego podziemnych konstrukcji metalowych wskutek oddziaływania prądów błądzących, według EN 50162*, Ochrona przed Korozją, 8/2004, str. 212.
- W. Sokólski, *Metoda korelacyjna badania prądów błądzących: technika ciągle nieznormalizowana*, VII konferencja naukowo-techniczna WSPÓŁCZESNE TECHNOLOGIE PRZECIWKOROZYJNE, Ostróda, 8 -10 maja 2013 r.

## 3. Przeprowadzone pomiary, metodyka, wnioski.

### 3.1. Badanie odcinka rurociągu DN1200, lokalizacja Chmieleniec - Bobrzyńskiego - Gronostajowa.

Przeprowadzona została wizja techniczna terenu wraz z przedstawicielem MPWiK S.A. Kraków w celu określenia możliwego zakresu badań, możliwości technicznych w terenie oraz określenia możliwych punktów dostępowych.



Rysunek 1. Mapa sytuacyjna

**Wstępne wnioski:**

- Obszar leży na torfowiskach - grunty agresywne, o spodziewanych niskich rezystywnościach.
- Dostęp techniczny możliwy jest w komorze KZ-4 MPWiK przy ul. M. Bobrzyńskiego oraz w dwóch punktach potencjałowych.
- Obszar silnie zurbanizowany z bardzo dużą ilością przejść typu chodnik, ścieżka rowerowa, torowisko MPK, droga dwujezdniowa szybkiego ruchu, blokowiska, tereny Uniwersytetu Jagiellońskiego.
- Występowanie awarii wodociągu w okolicy skrzyżowania torów MPK z wodociągiem - teren osiedla Europejskiego - wodociąg pod ul. Bobrzyńskiego przechodzi w tunelu technologicznym bez kontaktu z elektrolitem. Źródłem prawdopodobnych awarii jest trakcja MPK - zgodnie z przeprowadzonym wywiadem środowiskowym problem zaistniał krótko po wybudowaniu i uruchomieniu trasy szybkiego tramwaju do dzielnicy Ruczaj.

**3.2. Przeprowadzone pomiary****3.2.1. Wykonanie badania rezystancji przejścia do konstrukcji oraz rezystywności gruntu.**

Pomiary zostały wykonane z rozstępem elektrod około 3m (4-elektrodowa metoda Wennera).

Pomiary przeprowadzono co około 50m.

- Rezystancja przejścia do wodociągu:  $0,28\Omega$
- Rezystancja przejścia do szyny:  $0,98\Omega$
- Rezystancja obwodu wodociąg-szyna:  $1,22\Omega$ 
  - Pomiary zostały wykonane do ziemi odległej przy pomocy napięcia przemiennego. Należy pamiętać, że ten typ pomiaru obarczony jest błędem oraz uwzględnia każdą infrastrukturę dodatkową, z którą wodociąg jest zwarty elektrolitycznie i galwanicznie.

Z wywiadu środowiskowego wynika, że izolacja jest stara i bitumiczna, brak separacji elektrycznej (infrastruktura dodatkowa, służąca elektrycznemu odizolowaniu odcinków liniowych od pozostałych konstrukcji), liczne niezidentyfikowane doziemienia konstrukcji (między innymi bezpośrednie połączenia wyrównawcze innych obiektów).

l.p.	GPS	Rezystywność [ $\Omega$ m]
1	50°01'08.3388"N 19°53'44.3400"E	89,4
2	50°01'11.5968"N 19°53'44.7036"E	26,8
3	50°01'17.0904"N 19°53'46.8528"E	12,0
4	50°01'22.9589"N 19°53'48.6204"E	23,5
5	50°01'06.9060"N 19°53'47.6916"E	19,0
6	50°01'04.0368"N 19°53'51.5184"E	13,4
7	50°01'00.0552"N 19°53'52.0548"E	45,3

**Wniosek:** grunty mocno agresywne, sprzyjające powstawaniu korozji, nasilające oddziaływania prądów błądzących z trakcji MPK. Do pomiarów wykorzystano miernik rezystywności gruntu MRU-105 prod. Sonel, nr seryjny AC2827.



Rysunek 2. Mapa sytuacyjna z miejscami pomiaru

### 3.2.2. Przeprowadzenie oceny zagrożenia korozyjnego rozptywem prądów błędnych z trakcji MPK metodą korelacyjną.


Wykonano jednoczesną rejestrację następujących parametrów:

- Różnica potencjałów pomiędzy wodociągiem a torami MPK.
- Potencjał wodociągu względem elektrody siarczano-miedziowej.
- Prąd płynący przez przenośną elektrodę symulującą o powierzchni 10 cm<sup>2</sup>.

Pomiary wykonane zostały w miejscu skrzyżowania wodociągu z torami MPK. Połączenie do torów zrealizowano przy odsłoniętej części szyny, przed komorą KZ-4. Punkt potencjałowego połączenia wykonano wewnątrz komory na wodociągu. Rejestracja parametrów wykonana została w okresie 24h z krokiem próbkowania wynoszącym 0,5s. Do pomiarów wykorzystano następujące przyrządy pomiarowe:

- Rejestrator mRA prod. Linstruments, nr seryjny A1066
- Rejestrator mRA prod. Linstruments, nr seryjny A1021



	Przeprowadzenie badań rurociągu stalowego DN800 i DN1200 pod kątem stwierdzenia konieczności zastosowania ochrony czynnej ww. rurociągów MPWiK S.A. Kraków	Strona 7 z 27
		06/2017

### 3.2.3. Wyniki obróbki statystycznej pomiarów

W poniższej tabeli zestawiono wyniki obróbki statystycznej serii pomiarów.  
(wykresy -> patrz Załącznik nr 1)

	Wodociąg - elekt. CSE [V]	Wodociąg - tory [V]	Prąd ES [ $\mu$ A]	Gęstość prądu [ $A/m^2$ ]
Wartość minimalna	-0,8912	-9,9167	-480,65	-0,48
Wartość maksymalna	-0,1163	13,8263	75,00	0,075
Wartość średnia	-0,6024	0,4159	-89,47	-0,089
Dominanta	-0,6257	-0,1369	-70,20	-0,070

Procentowy czas wypływu sumarycznego prądu z elektrody symulującej (polaryzacja anodowa)	99,57%
--	--------

**Wniosek:** stwierdzono wyraźne negatywne oddziaływanie anodowe na wodociągu.

### 3.2.4. Ocena zagrożenia na podstawie pomiarów korelacyjnych

Kształt widma korelacyjnego jest typowy dla oddziaływania prądów błądzących o losowym charakterze zmian. Nachylenie prostej regresji wynoszące 26,31mV/V świadczy o wyraźnym oddziaływaniu trakcji MPK na wodociąg.

W poniższej tabeli zestawiono wartości współczynników stosowanych przy ocenie zagrożenia korozyjnego przy zastosowaniu metody korelacyjnej.  
(wykresy -> patrz Załącznik nr 1)

	Wodociąg - tory MPK
Potencjał stacjonarny	-0,61 V
Wsp. asymetrii potencjału	52%
Wsp. korelacji	0,93

**Wniosek:** na podstawie przeprowadzonych pomiarów można zaobserwować silną korelację między napięciem wodociąg - szyna a potencjałem wodociągu. Wynika z tego, że źródłem prądów błądzących na wodociągu jest trakcja MPK.

Przy ocenie wartości współczynnika asymetrii potencjału zastosowano ogólnie przyjętą klasyfikację:

$\gamma < 30\%$	brak zagrożenia
$30\% \leq \gamma \leq 50\%$	zagrożenie średnie
$\gamma > 50\%$	zagrożenie duże

Na podstawie powyższej klasyfikacji stwierdzono duże zagrożenie korozyjne dla wodociągu.

### 3.2.5. Ocena zagrożenia na podstawie prądu elektrody symulującej

Ocenę zagrożenia korozyjnego na podstawie prądu elektrody symulującej wykonano zgodnie z Załącznikiem D normy PN-EN 50162:2006 *Ochrona przed korozją powodowaną przez prądy błędzące z układów prądu stałego*.

Jako poziom odniesienia przyjęto średni prąd elektrody w godz. 2:45 - 3:00. Wartość poziomu odniesienia wynosi  $-61,21 \mu\text{A}$ .

Jako najmniej korzystną godzinę (z największym obniżeniem prądu elektrody) wytypowano okres 17:00 - 17:15.

W poniższej tabeli zestawiono dopuszczalne kryteria prądowe oraz zmierzone wartości.

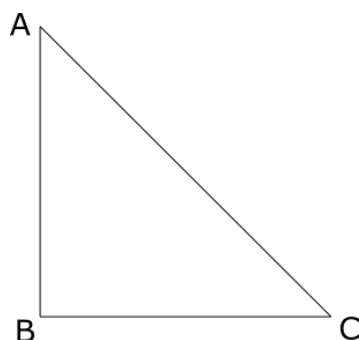
Prąd sondy		Okres występowania w sekundach najniekorzystniejszej godziny		Spełnienie kryterium
% wart. poziomu odniesienia	Obliczona wartość	Zmierzony	Dopuszczalny	
< 70	-42,85	1705	1440	Nie
< 60	-36,73	1740	720	Nie
< 50	-30,61	1763	360	Nie
< 40	-24,49	1780	180	Nie
< 30	-18,36	1788	72	Nie
< 20	-12,24	1794	36	Nie
< 10	-6,12	1795	18	Nie
< 0	0,00	1795	3,6	Nie

Wniosek: Na podstawie wartości z powyższej tabeli można stwierdzić bardzo wysokie zagrożenie korozyjne.

### 3.2.6. Badanie występowania kierunku rozptywu prądów błędzących.

Przeprowadzone zostały rejestracje 3-elektrodowe w celu określenia kierunku rozptywu prądów błędzących w danym terenie. Rejestracje wykonywane były w czasie 10 min z krokiem próbki 16Hz. Układ elektrod wykonany jest w formie trójkąta prostokątnego równoramiennego ABC, gdzie bok AB oraz BC to boki przyprostokątne i mają jednakową długość 10 m. Wynikiem badania jest uśredniona wartość spadku napięcia między elektrodami, która przedstawiona jest w formie dwóch prostopadłych do siebie wektorów - wektor składowy (czerwona strzałka) przedstawia przybliżony kierunek przemieszczania się prądu w elektrolicie.





Rysunek 3. Schemat układu elektrod

- Rejestracja 1, współrzędne GPS: 50° 01'08.1696"N 19° 53'49.4052"E



Rysunek 4. Mapa sytuacyjna



Rysunek 5. Wykres wskazujący kierunek rozptyłu prądów błędzących

**Wniosek:** Czerwona strzałka wskazuje uśredniony kierunek przemieszczania się prądów błędzących. W tym przypadku oznacza to istnienie strefy anodowej na wodociągu w okolicy ulicy Chmieleniec. W tym miejscu pojawiały się już awarie na wodociągu.



### 3.2.7. Wykonanie próbnej polaryzacji odcinka rurociągu z kontrolą zasięgu w punktach dostępnych.

Została wykonana próbna polaryzacja pod zastosowanie drenażu wzmocnionego. Drenaż wzmocniony jest urządzeniem elektrycznym łączącym w sobie cechy drenażu polaryzowanego (jednokierunkowe połączenie galwaniczne z diodą mocy w układzie, dla drenowania prądów błędzących z wodociągu do trakcji MPK) oraz stacji ochrony katodowej. W celu wykonania badania podłączono pod zacisk dodatni przenośnej stacji O.K. szynę kolejową a pod zacisk ujemny wodociąg. Wykonana została rejestracja przedstawiająca zmiany potencjału wodociągu oraz prądu w obwodzie szyna-sok-wodociąg, w trakcie szczytu komunikacyjnego. (wykresy -> patrz Załącznik nr 1)

#### Wyniki zarejestrowane przy próbnej polaryzacji odcinka rurociągu

	Wodociąg - elektroda CSE [V]	Prąd w obwodzie SZYNA-SOK-WODOCIĄG [A]
Wartość minimalna	-1,2341	-0,0111
Wartość maksymalna	-0,3932	25,6444
Wartość średnia	-0,8413	6,3776

Kontrolę zasięgu wykonano w najbliższym dostępnym punkcie ochrony katodowej, zlokalizowanym przy ulicy M. Bobrzyńskiego, około 500m od komory KZ. Nie stwierdzono oddziaływania ochrony katodowej na wskazanym odcinku.

Przykładowe obliczenia przedprojektowe:

- Współczynnik rozptywu prądu  $\alpha$

$$\alpha = \frac{1}{a} * \ln \frac{\Delta E_o}{\Delta E_a}; [m^{-1}]$$

gdzie:

a - zmiana potencjału w szacunkowej odległości 100m, [m]

$\Delta E_o$  - zmiana potencjału w punkcie drenażu (średnio 230mV), [V]

$\Delta E_a$  - zmiana potencjału w odległości 100m, szacunkowo 10mV, [V]

Szacunkowy wynik wynosi 0,023

- Rezystancja wzdłużna  $R_w$  rurociągu na jednostkę długości

$$R_w = \frac{\rho}{\pi(Dz - g) * g}; \left[ \frac{\Omega}{m} \right]$$

gdzie:

$\rho$  - rezystywność stali, przyjęto dla warunków 20°C, 0,37-0,42% węgla =  $171 \times 10^{-9} \Omega m$

Dz - średnica zewnętrzna DN1200

G - grubość ścianki wodociągu DN1200 (przyjęto 1,5cm)

Szacunkowy wynik wynosi  $2,98 \times 10^{-6}$

- rezystancja przejścia rurociągu  $R_{pj}$  (rezystancja przejścia izolacji na jednostkę długości rurociągu)

$$R_{pj} = \frac{R_w}{\alpha^2} ; [\Omega m]$$

Szacunkowy wynik wynosi 0,00305

- jednostkowa rezystancja przejścia powłoki  $R_p$

$$R_p = R_{pj} * \pi * D_z ; [\Omega m^2]$$

gdzie:

$R_p$  - rezystancja przejścia rurociągu

$D_z$  - średnica zewnętrzna DN1200

Szacunkowy wynik wynosi 0,011

- zasięg ochrony katodowej  $L$

$$L = \frac{2}{\alpha} * \ln \frac{\Delta E_{max}}{\Delta E_{min}} ; [m]$$

gdzie:

$\Delta E_{max} = E_{kor} [-0,61] - (-1,1)$ ; [V]

$\Delta E_{min} = E_{kor} [-0,61] - (-0,85)$ ; [V]

Szacunkowy zasięg ochrony katodowej wynosi 45 metrów.

### 3.2.8. Wykonanie próbnej rejestracji dla drenażu prostego.

Zostało wykonane tymczasowe połączenie galwaniczne między wodociągiem a torami MPK w celu określenia wielkości prądu przemieszczającego się w obwodzie. W związku z powyższym zarejestrowano przebieg potencjału wodociągu oraz prądu w obu kierunkach - pomiar trwał w trakcie szczytu komunikacyjnego.

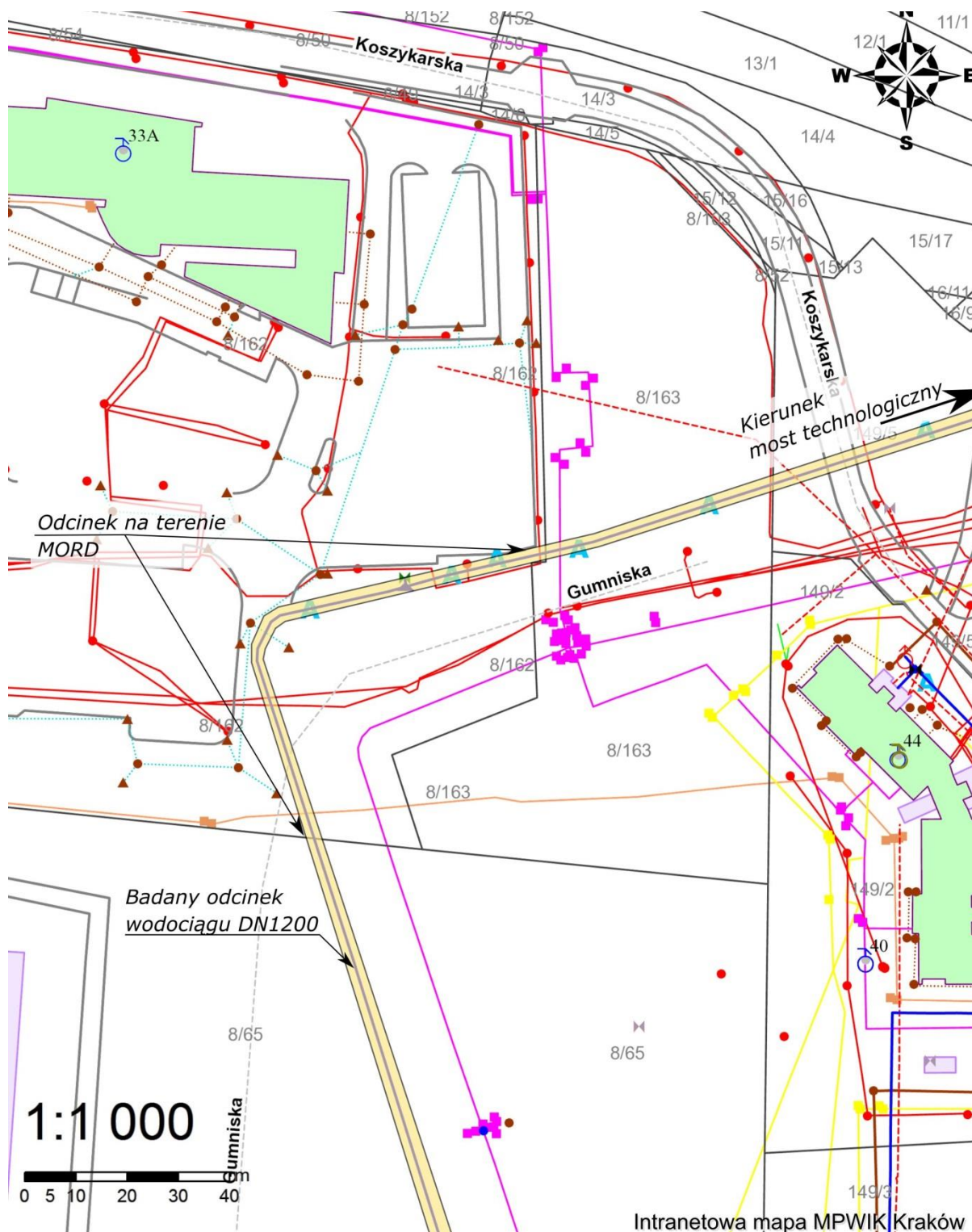
(wykresy -> patrz Załącznik nr 1)

	Wodociąg - elektroda CSE [V]	Prąd drenażowy [A]
Wartość minimalna	-1,8940	-25,0419
Wartość maksymalna	0,4209	20,8100
Wartość średnia	-0,6684	-1,2676

**Wniosek:** prąd w połączeniu galwanicznym poruszał się w obydwu kierunkach - jego szczytowa wartość w obwodzie w trakcie trwania rejestracji wyniosła -25 A. Ujemna polaryzacja oznacza, że prąd poruszał się z wodociągu do torów MPK - w związku z powyższym przewidziany powinien być drenaż zdolny wytrzymać prąd przynajmniej 50A - jest to podyktowane zmiennością oddziaływania prądów błądzących i trudnymi w przewidzeniu zmianami, które MPK raz na czas wprowadza. Zasięg drenażu wzmocnionego wstępnie można oszacować na podstawie powyższych wyliczeń na około 45m - proponowany jest drenaż polaryzowany z wykorzystaniem elementów półprzewodnikowych typu NerDren12. Próg zadziałania występuje przy napięciu rurociąg - szyna: +20 mV.

### 3.3. Badanie odcinka rurociągu DN800, lokalizacja ośrodek „MORD”, przy ulicy Nowohuckiej.

Przeprowadzona została wizja techniczna terenu wraz z przedstawicielem MPWiK S.A. Kraków w celu określenia możliwego zakresu badań, możliwości technicznych w terenie oraz określenia możliwych punktów dostępowych.



Rysunek 8. Mapa sytuacyjna



**Wstępne wnioski:**

- Obszar występowania awarii leży w gruntach agresywnych, o niskich rezystywnościach (tab. poniżej).
- Dostęp techniczny możliwy jest w komorze dostępowej na terenie ośrodka MORD, oraz w komorze mostu technologicznego.
- Obszar średnio zurbanizowany, teren występujących awarii przeważnie stanowi nieużytek zielony.
- Występowanie awarii wodociągu głównie umiejscowione jest przy skrzyżowaniu wodociągu z ciepłociągiem na terenie ośrodka MORD oraz dalszej części rurociągu w stronę wałów rz. Wisły. Wodociąg w dalszym przebiegu znajduje się w nadrzecznym moście technologicznym.
- Źródłem prawdopodobnych awarii są przypuszczalnie prądy błędzące poruszające się wodociągiem, następnie w sposób niekontrolowany przemieszczające się drogą elektrolityczną do ciepłociągu - w efekcie powodując korozję wżerową tylko na wodociągu. Zgodnie z wywiadem środowiskowym problem potwierdza się i istnieje tylko na wodociągu - uzyskane informacje od MPEC odnośnie występowania problemów korozyjnych w tamtym rejonie wskazują na brak problemów z korozją wżerową.

**3.3.1. Wykonanie badania rezystancji przejścia do konstrukcji oraz rezystywności gruntu.**

Pomiary zostały wykonane z rozstępem elektrod około 3m (4-elektrodowa metoda Wennera).

Pomiary przeprowadzono co około 50m.

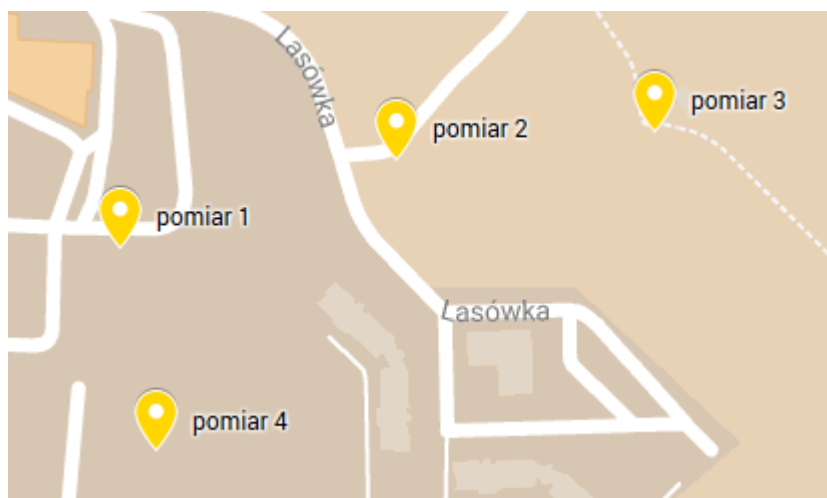
- Rezystancja przejścia dla wodociągu:  $2,35\Omega$
- Rezystancja uziomu tymczasowego:  $1,80\Omega$ 
  - Pomiary zostały wykonane do ziemi odległej przy pomocy napięcia przemiennego. Należy pamiętać, że ten typ pomiaru obarczony jest błędem, oraz uwzględnić każdą infrastrukturę dodatkową, z którą wodociąg jest zwarty elektrolitycznie i galwanicznie.

Z wywiadu środowiskowego wynika, że izolacja jest stara i bitumiczna, brak separacji elektrycznej (infrastruktura dodatkowa, służąca elektrycznemu odizolowaniu odcinków liniowych od pozostałych konstrukcji), lustro wody znajduje się na wysokości wodociągu/ciepłociągu lub wyżej.

l.p.	GPS	Rezystywność [ $\Omega$ m]
1	50°03'01.7464"N 19°59'31.6464"E	24,0
2	50°03'02.8404"N 19°59'36.9924"E	94,0
3	50°03'03.1680"N 19°59'41.9280"E	146,0
4	50°02'59.2080"N 19°59'32.3510"E	55,0

**Wniosek:** grunty mocno agresywne, sprzyjające powstawaniu korozji, nasilające oddziaływania prądów błędzących z trakcji MPK. Do pomiarów wykorzystano miernik rezystywności gruntu MRU-105 prod. Sonel, nr seryjny AC2827.





Rysunek 9. Mapa sytuacyjna z miejscami pomiaru

### 3.3.2. Wykonanie rejestracji potencjału wodociągu

Wykonano jednoczesną rejestrację następujących parametrów:

- Potencjał wodociągu względem elektrody siarczano-miedziowej.
- Prąd płynący przez przenośną elektrodę symulującą o powierzchni 10 cm<sup>2</sup>.

Pomiary zostały wykonane w miejscu możliwego podłączenia do wodociągu - komorze dostępowej na terenie ośrodka MORD. Punkt połączenia potencjałowego wykonano wewnątrz komory na wodociągu. Rejestracja parametrów została wykonana w okresie 24h z krokiem próbkowania wynoszącym 0,5s. Do pomiarów wykorzystano następujące przyrządy pomiarowe:

- Rejestrator mRA prod. Linstruments, nr seryjny A1066
- Rejestrator mRA prod. Linstruments, nr seryjny A1021  
(wykresy -> patrz Załącznik nr 1)

	Wodociąg - elekt. CSE [V]	Prąd ES [μA]	Gęstość prądu [A/m <sup>2</sup> ]
Wartość minimalna	-0,60	-3860,73	-3,86
Wartość maksymalna	-0,52	-2440,02	-2,44
Wartość średnia	-0,56	-3189,40	-3,19
Współczynnik korelacji	-0,99		
Potencjał korozyjny	-0,73		

**Wniosek:** Na wodociągu widoczna jest permanentna strefa anodowa. Szacowany potencjał korozyjny w przypadku zaniku wypływającego prądu z wodociągu wynosi -0,73 V. Wartość potencjału stacjonarnego potwierdza również niezwarła elektroda symulująca (-0,71 V) - w momencie zwarcia wypływa z niej prąd o średniej gęstości ok. 3A powodując wzrost potencjału do średnio -0,56 V.

### 3.3.3. Ocena zagrożenia na podstawie prądu elektrody symulującej

Ocenę zagrożenia korozyjnego na podstawie prądu elektrody symulującej wykonano zgodnie z Załącznikiem D normy PN-EN 50162:2006 Ochrona przed korozją powodowaną przez prądy błądzące z układów prądu stałego.

Jako poziom odniesienia przyjęto średni prąd elektrody w godz. 0:50 - 1:20. Wartość poziomu odniesienia wynosi  $-3243,84 \mu\text{A}$ .

Jako najmniej korzystną godzinę (z największym obniżeniem prądu elektrody) wytypowano okres 07:03 - 07:06.

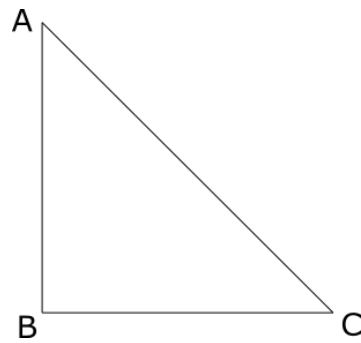
W poniższej tabeli zestawiono dopuszczalne kryteria prądowe oraz zmierzone wartości.

Prąd sondy (% wartości poziomu odniesienia i obliczona wartość)		Okres występowania w sekundach najniekorzystniejszej godziny		Spełnienie kryterium
% wart. poziomu odniesienia	Obliczona wartość	Zmierzony	Dopuszczalny	
< 70	-2270,69	361	1440	Tak
< 60	-1946,30	361	720	Tak
< 50	-1621,92	361	360	Nie
< 40	-1297,54	361	180	Nie
< 30	-973,15	361	72	Nie
< 20	-648,77	361	36	Nie
< 10	-324,38	361	18	Nie
< 0	0,00	361	3,6	Nie

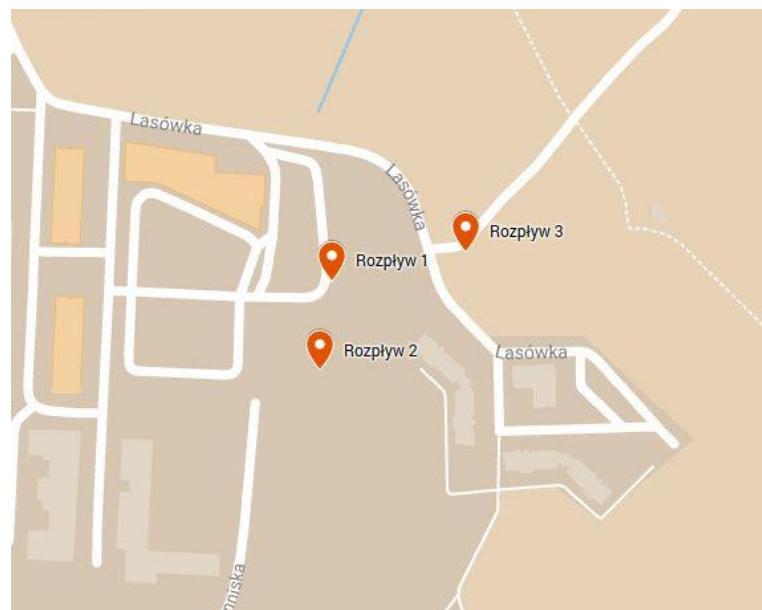
**Wniosek:** Na podstawie wartości z powyższej tabeli można stwierdzić bardzo wysokie zagrożenie korozyjne. Strefa anodowa występuje całą dobę.

### 3.3.4. Badanie występowania prądów błądzących wraz z określeniem rozptywania ich w terenie.

Przeprowadzone zostały rejestracje 3-elektrodowe w celu określenia kierunku rozptywu prądów błądzących w danym terenie. Rejestracje wykonywane były w czasie 10 min z krokiem próbki 16Hz. Układ elektrod wykonany jest w formie trójkąta prostokątnego równoramiennego ABC, gdzie bok AB oraz BC to boki przyprostokątne i mają jednakową długość 10 m. Wynikiem badania jest uśredniona wartość spadku napięcia między elektrodami, która przedstawiona jest w formie dwóch prostopadłych do siebie wektorów - wektor składowy (czerwona strzałka) przedstawia przybliżony kierunek przemieszczania się prądu w elektrolicie.

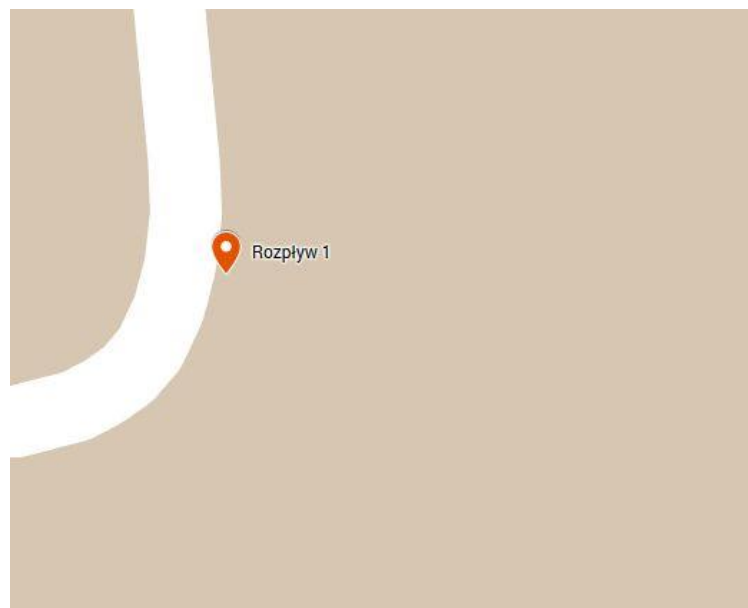


Rysunek 10. Schemat układu elektrod

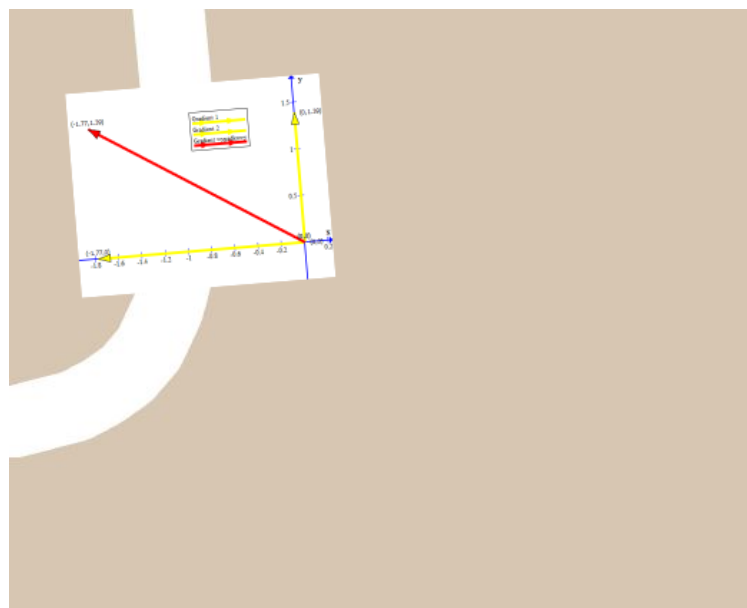


Rysunek 11. Mapka poglądowa

- Rejestracja 1, współrzędne GPS: 50°03'02.2896"N 19°59'33.0792"E



Rysunek 12. Mapa sytuacyjna



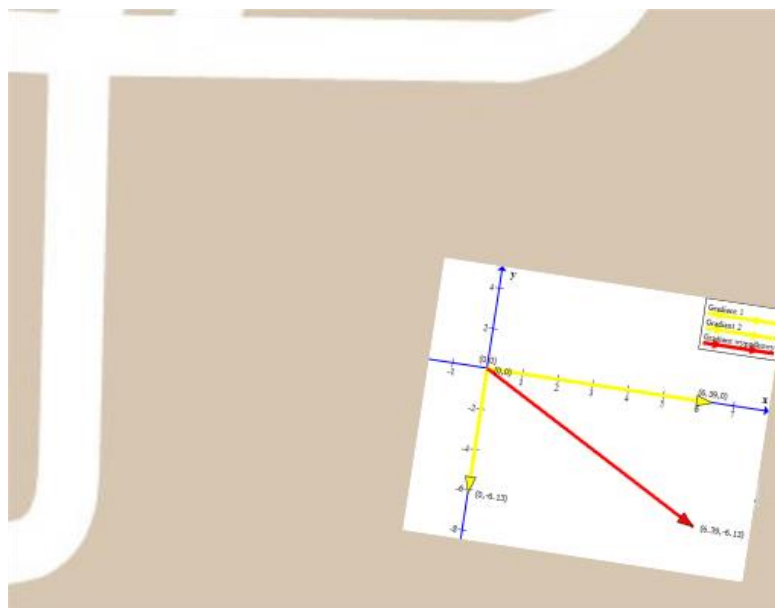
**Rysunek 13. Wykres wskazowy kierunku rozptywu prądów błędnych**

**Wniosek:** Czerwona strzałka wskazuje uśredniony kierunek przemieszczania się prądów błędnych. W tym przypadku oznacza to istnienie strefy anodowej na wodociągu (obszar jednostki MORD). W tym miejscu pojawiały się już awarie na wodociągu.

- Rejestracja 2, współrzędne GPS: 50° 03'00.6192"N 19° 59'32.7192"E



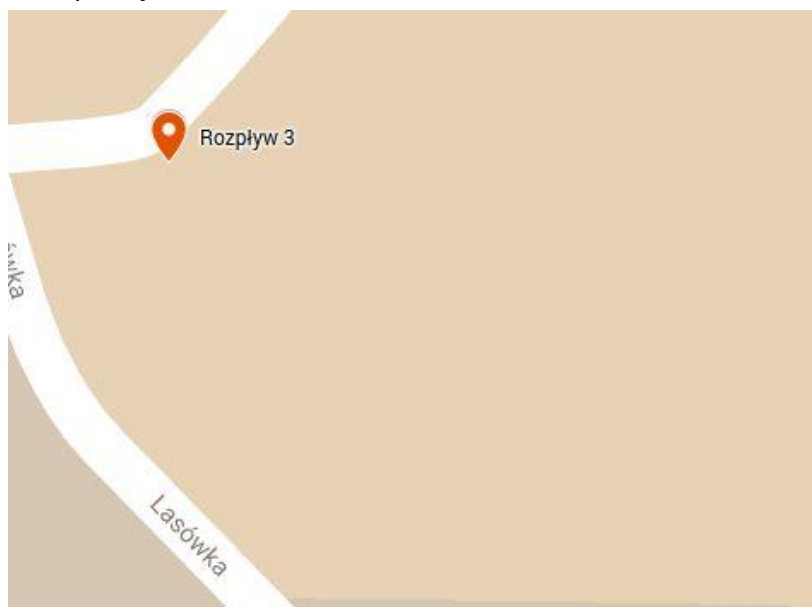
**Rysunek 14. Mapa sytuacyjna**



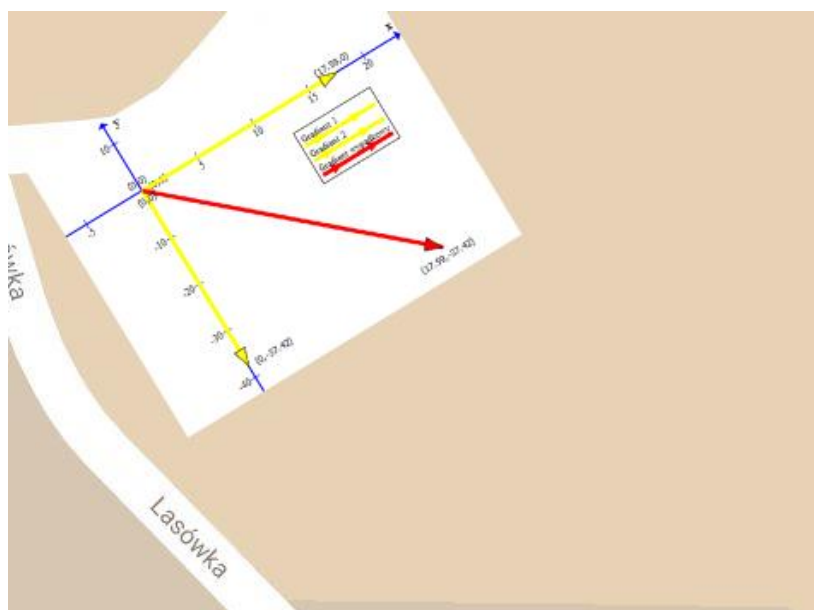
Rysunek 15. Wykres wskazowy kierunku rozptywu prądów błędzących

**Wniosek:** Czerwona strzałka wskazuje uśredniony kierunek przemieszczania się prądów błędzących. W tym przypadku oznacza to istnienie strefy anodowej na wodociągu (obszar jednostki MORD). W tym miejscu pojawiały się już awarie na wodociągu.

- Rejestracja 3, współrzędne GPS: 50° 03'02.8404"N 19° 59'36.9924"E



Rysunek 16. Mapa sytuacyjna



Rysunek 17. Wykres wskazowy kierunku rozptywu prądów błędzących

**Wniosek:** Czerwona strzałka wskazuje uśredniony kierunek przemieszczania się prądów błędzących. W tym przypadku oznacza to istnienie strefy anodowej na wodociągu (przy ul. Lasówka/Koszykarska - w stronę mostu technologicznego). W tym miejscu pojawiały się już awarie na wodociągu.

### 3.3.5. Wykonanie próbnej polaryzacji oraz ocena zasięgu tymczasowej stacji ochrony katodowej

Została wykonana próbna polaryzacja pod zastosowanie stacji ochrony katodowej. Pomiary wykonane zostały w miejscu możliwego podłączenia do wodociągu - komorze dostępowej na terenie ośrodka MORD. Punkt połączenia potencjatomowego oraz prądowego wykonano wewnątrz komory na wodociągu.

Stacja ochrony katodowej pracowała przy parametrach:

Napięcie prostownika: 20V

Prąd z prostownika: 11,8 A

(wykresy -> patrz Załącznik nr 1)

Wyniki zarejestrowane przy próbnej polaryzacji odcinka rurociągu

	Potencjał załączeniowy [V]	Potencjał wyłączeniowy [V]	Gęstość prądu ochrony katodowej [ $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ ]	Gęstość prądów błędzących [ $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ ]
Wartość minimalna	-0,65	-0,61	-137,57	-4367,14
Wartość maksymalna	-0,57	-0,53	1826,17	-2713,46
Wartość średnia	-0,61	-0,56	1147,25	-3698,23



Kontrolę zasięgu wykonano w najbliższym dostępnym punkcie ochrony katodowej, zlokalizowanym przy wejściu do mostu technologicznego, około 200m od komory dostępowej. Stwierdzono oddziaływanie ochrony katodowej na poziomie: potencjał załączeniowy [V]: -0,550 V oraz potencjał wyłączeniowy [V]: -0,535 V.

Przykładowe obliczenia przedprojektowe:

- współczynnik rozptywu prądu  $\alpha$

$$\alpha = \frac{1}{a} * \ln \frac{\Delta E_o}{\Delta E_a}; [m^{-1}]$$

gdzie:

a - zmiana potencjału w odległości 200m, [m]

$\Delta E_o$  - zmiana potencjału w punkcie drenażu ( średnio 50mV), [V]

$\Delta E_a$  - zmiana potencjału w odległości 100m, 15mV [V]

Szacunkowy wynik wynosi 0,006

- rezystancja wzdłużna  $R_w$  rurociągu na jednostkę długości

$$R_w = \frac{\rho}{\pi(Dz - g) * g}; \left[\frac{\Omega}{m}\right]$$

gdzie:

$\rho$  - rezystywność stali, przyjęto dla warunków 20°C, 0,37-0,42% węgla =  $171 \times 10^{-9} \Omega m$

Dz - średnica zewnętrzna DN800

G - grubość ścianki wodociągu DN800 (przyjęto 1,5cm)

Szacunkowy wynik wynosi  $4,45 \times 10^{-6}$

- rezystancja przejścia rurociągu  $R_{pj}$  (rezystancja przejścia izolacji na jednostkę długości rurociągu)

$$R_{pj} = \frac{R_w}{\alpha^2}; [\Omega m]$$

Szacunkowy wynik wynosi 0,12

- jednostkowa rezystancja przejścia powłoki  $R_p$

$$R_p = R_{pj} * \pi * Dz; [\Omega m^2]$$

gdzie:

$R_p$  - rezystancja przejścia rurociągu

Dz - średnica zewnętrzna DN800

Szacunkowy wynik wynosi 0,308

- zasięg ochrony katodowej L

$$L = \frac{2}{\alpha} * \ln \frac{\Delta E_{max}}{\Delta E_{min}}; [m]$$

gdzie:

$\Delta E_{max} = E_{kor} [-0,61] - (-1,1); [V]$

$\Delta E_{min} = E_{kor} [-0,61] - (-0,85); [V]$

Szacunkowy zasięg ochrony katodowej wynosi 375 metrów.

**Wniosek:** z szacunkowych obliczeń wynika, że w przypadku idealnym tzn. brak negatywnych oddziaływań, brak niezidentyfikowanych połączeń do obcych konstrukcji wystarczyłby prąd wielkości około 0,4 A aby przesunąć potencjał wodociągu poniżej wartości -0,85V przyjętej jako bezpiecznej. Przesunięcie w stosunku do potencjału stacjonarnego wyniosłoby około 100mV, co można uznać za wystarczające. Jednakże, w rzeczywistości występuje bardzo silna strefa anodowa z średnią gęstością prądu błędzącego wypływającego z płytki o wartości 3,6 A/m<sup>2</sup>. W trakcie próbnej polaryzacji prąd ochrony katodowej wynosił 11,8 A, co ma też odzwierciedlenie w pomiarach na elektrodzie symulującej 10cm<sup>2</sup> (gęstość średnia na poziomie 1,1 A/m<sup>2</sup>).

W takim przypadku prąd ochrony katodowej musiałby mieć wyższą wartość tzn. około 4,7 A/m<sup>2</sup> aby wyeliminować negatywne oddziaływanie anodowe i zapewnić prawidłową polaryzację na wodociągu. Potencjał korozyjny (obliczeniowy) wynosi -0,73 V. Dodatkowym potwierdzeniem jest pomiar na elektrodzie symulującej Es: -0,70 V. Przeciętny potencjał swobodny wodociągu wynosi -0,55V - co również świadczy o oddziaływaniu anodowym.

W zaistniałej sytuacji wodociąg wymagałby natężenia prądu o szacowanej wartości 50A aby zlikwidować strefę anodową. Rezystancja uziomu tymczasowego (uziemienie słupa energetycznego) wynosiła około 1,7 Ω. W takim przypadku prostownik musiałby pracować z napięciem roboczym ok 85 V. Napięcie robocze oraz obciążenie prądowe w standardowych prostownikach ochrony katodowej nie przekracza z reguły 50V i 20-25A. W związku z powyższym musiałaby powstać instalacja składająca się z 2 prostowników oraz odpowiednio wytrzymałego, o niskiej rezystancji uziomu: ok 0,43 Ω. - możliwy byłby do wykonania przy pomocy dwóch odwiertów o głębokości 15m. W każdym odwiercie zanurzony w zasypce grafitowej (kolumna o wysokości 13m) łańcuch anodowy składający się z 3 anod typu MMO o obciążalności maks. 8A. Odległość między uziomami w terenie około 20 metrów lub większa. Szacuje się, że tak skonstruowana instalacja prawdopodobnie zlikwidowałaby oddziaływanie anodowe.

Rezystywność na głębokości:

- 6 metrów - wynosi 23Ωm
- 10 metrów - wynosi 19,2Ωm
  - Profil glebowy na terenie ośrodka MORD jest prawdopodobnie jednorodny.



Jednakże, stwierdzono również bardzo silne połączenie prawdopodobnie elektrolityczne między wodociągiem a pobliskim ciepłociągiem (spadek między konstrukcjami wynosi 15mV, widoczne oddziaływanie tymczasowej SOK na ciepłociągu). Nowopowstała instalacja mogłaby nie spełnić swojej roli oraz doprowadzić do negatywnego oddziaływania ochrony katodowej na ciepłociąg.

Proponowanym rozwiązaniem jest wykonanie punktu typu PWP między wodociągiem a ciepłociągiem - takie rozwiązanie ma na celu przekierowanie prądów błądzących ze ścieżki elektrolitycznej na elektronową (kabel bocznikujący). Należy pamiętać, że ciepłociąg cały czas jest zagrożony korozją wynikającą z prądów błądzących - natomiast po wykonaniu połączenia, może wzmożnić się oddziaływanie. Należy również pamiętać o przewidzeniu odpowiednio dużego rezystora w celu ograniczenia możliwej nadmiernej polaryzacji obu konstrukcji w punkcie drenażowym.

### 3.4. Szacowane koszty

#### 3.4.1. odcinek rurociągu DN1200, lokalizacja Chmieleniec - Bobrzyńskiego - Gronostajowa.

Materiały do wykonania drenażu:

- NerDren12
- Stała elektroda odniesienia CuSO4
- Elektroda symulująca 10cm<sup>2</sup>
- YKOXs 1x10
- YKOX 1x35
- Przystrzały PIN BRAZING + zestawy do izolacji połączeń Royston Handy-Cap
- Materiały drobne (izolacja, wpust itp.)
  - Szacunkowy koszt 12 000 zł netto

Usługi zewnętrzne:

- Koparka
- Wykonanie przecisku
  - Szacunkowy koszt 6 000 zł netto

SUMA: szacuje się koszt materiałowy wraz z usługami zewnętrznymi w granicy 18 000 zł netto.

Należy pamiętać o kosztach pośrednich: projektowych i wykonawstwa; wynikających z uzyskania uzgodnień z odpowiednimi urzędami, przedsiębiorstwami; odszkodowaniach; rekultywacji terenu itp.

#### 3.4.2. odcinek rurociągu DN800, lokalizacja ośrodek „MORD”, przy ulicy Nowohuckiej.

##### Wariant 1: remont izolacji

Materiał:

- materiał w klasie C30
- Szlaka (piaskowanie)
- Masa wypełniająca Atagor Mastik
- Podpory pod rurociąg
- Materiały pomocnicze
  - Szacunkowy koszt 90 000 zł netto

## Usługi zewnętrzne:

- Piaskarka + sprężarka
- Koparka
- Zagęszczarka
  - Szacunkowy koszt 140 000 zł netto

SUMA: szacuje się koszt materiałowy wraz z usługami zewnętrznymi w granicy 230 000 zł netto.

Należy pamiętać o kosztach pośrednich: projektowych i wykonawstwa; wynikających z uzyskania uzgodnień z odpowiednimi urzędami, przedsiębiorstwami; odszkodowania; zaplecza budowlanego; rekultywacji terenu itp.

Wariant 2: Stacja ochrony katodowej

## Materiał:


- Stacja SOK (panele + osprzęt elektryczny)
- Stała elektroda odniesienia CuSO<sub>4</sub>
- Elektroda symulująca 10cm<sup>2</sup>
- Przystrzały PIN-BRAZING + zestaw do izolacji połączeń Royston Handy-Cap
- Materiały drobne (izolacja, wpust itp.)
- Uziomy anodowe
- Kable YKOX 1x6 oraz 1x35
- Złącze pomiarowo-kablowe
- Linia WLZ
  - Szacunkowy koszt 57 000 zł netto

## Usługi zewnętrzne:

- Koparka
- Odwierty
  - Szacunkowy koszt 35 000 zł netto

SUMA: szacuje się koszt materiałowy wraz z usługami zewnętrznymi w granicy 92 000 zł netto.

Należy pamiętać o kosztach pośrednich: projektowych i wykonawstwa; wynikających z uzyskania uzgodnień z odpowiednimi urzędami, przedsiębiorstwami; odszkodowania; rekultywacji terenu itp.

	Przeprowadzenie badań rurociągu stalowego DN800 i DN1200 pod kątem stwierdzenia konieczności zastosowania ochrony czynnej ww. rurociągów MPWiK S.A. Kraków	Strona 25 z 27
		06/2017

### Wariant 3: Punkt PWP

#### Materiał:

- Szafka elektryczna pod punkt PWP fundamentem
- Stała elektroda odniesienia CuSO<sub>4</sub>
- Elektroda symulująca 10cm<sup>2</sup>
- Kable YKOX 1x6 oraz 1x35
- Przysrząży PIN-BRAZING + zestawy do izolacji połączeń Royston Handy-Cap
  - Szacunkowy koszt 4 500 zł netto

#### Usługi zewnętrzne:

- Koparka
  - Szacunkowy koszt 2 500 zł netto

SUMA: szacuje się koszt materiałowy wraz z usługami zewnętrznymi w granicy 7 000 zł netto.

Należy pamiętać o kosztach pośrednich: projektowych i wykonawstwa; wynikających z uzyskania uzgodnień z odpowiednimi urzędami, przedsiębiorstwami; odszkodowania; rekultywacji terenu itp.

### 3.5. Podsumowanie

#### 3.5.1. odcinek rurociągu DN1200, lokalizacja Chmieleniec - Bobrzyńskiego - Gronostajowa.

Z przeprowadzonych badań wynika, że przy skrzyżowaniu wodociągu z torami trakcji MPK występuje silna strefa anodowa - co też tłumaczy powstające w tamtym miejscu awarie. Proponowane rozwiązanie to zastosowanie ochrony katodowej w formie drenażu elektrycznego. Decyzja o jego wariacie wzmocnionym należy do Inwestora - należy tutaj zaznaczyć szacowany niski zasięg w przypadku zastosowania wariantu z wzmocnieniem. Proponowany drenaż polaryzowany zlokalizowany byłby na terenie wygrodzonym, należącym do MPWiK Kraków - komora KZ-4. Sposób i miejsce przyłączenia należy ustalić z MPK Kraków. Proponowane prowadzenie tras kablowych:

- między terenem komory KZ-4 a torowiskiem przebiega droga rowerowa asfaltowa oraz chodnik z kostki brukowej. W celu zminimalizowania kosztów oraz decyzji administracyjnych sugerowane jest wykonanie przecisku od strony terenu MPWiK Kraków do terenu przy torach lub między torami (wariant z podłączeniem obu torów) na głębokości ok 0,7m. Należy zwrócić szczególną uwagę na infrastrukturę podziemną (kable, żyła wrotna do podstacji). Przewody od drenażu prowadzić na terenie stacji, na głębokości ok 0,5m. W ścianie komory wykonać wpust kablowy, zabezpieczyć przed wnikaniem wilgoci i uszkodzeniami izolacji kabli. Przewody wewnątrz komory ułożyć w korytku kablowym. Podłączenie do wodociągu zrealizować metodą PIN-BRAZING, zaizolować specjalną nakładką Royston Handy-Cap.

### 3.5.2. odcinek rurociągu DN800, lokalizacja ośrodek „MORD”, przy ulicy Nowohuckiej.

Z przeprowadzonych badań wynika, że na terenie jednostki MORD występuje bardzo silna strefa anodowa na wodociągu - co też tłumaczy powstające w tamtym miejscu awarie. Prawdopodobnym źródłem pochodzenia prądów błędzących jest trakcja MPK Kraków na ulicy Lipskiej. Kierunek przepływu prawdopodobnie jest stały, od wodociągu do ciepłociągu, na północ. Miejscem wypływu prądu (strefa anodowa) w tym przypadku znajduje się na wodociągu. Zaleca się rozważenie montażu punktu PWP w uzgodnieniu z MPEC - takie rozwiązanie powinno całkowicie zlikwidować strefę anodową (wypływ prądu ze ścianek wodociągu do elektrolitu). Wariant z instalacją ochrony katodowej lub remontem powłoki wodociągu może stłumić negatywne oddziaływania, jednakże nie wyeliminować ich całkowicie. Decyzja należy do Inwestora.

Proponowane prowadzenie tras kablowych:

- na terenie jednostki MORD znajdują się 2 komory dostępne - do ciepłociągu oraz wodociągu. W obu przypadkach można rozważyć wykonanie wpustów kablowych i prowadzenie okablowania wewnątrz ścian. Izolację wykonać analogicznie - metodą PIN BRAZING wraz zastosowaniem nakładek izolacyjnych Royston Handy-Cap. Dalsze wykopy można wykonać przy pomocy koparki, na głębokości 0,7m. Zaleca się zastosowanie podwójnego okablowania dla wskazanego punktu - kabla prądowego łączącego obie konstrukcje, typu YKOX 1x35mm<sup>2</sup> oraz połączeń potencjałowych typu YKOXs 1x6mm<sup>2</sup>. Dodatkowo warto rozważyć montaż na stałe infrastruktury kontrolnej w komorze wodociągu - stałej elektrody odniesienia oraz elektrody symulującej.



# Załącznik 1

## Wykresy