

mgr inż. Maciej Markiewicz

## Wykorzystanie wyników pomiarów prądów przepływających pomiędzy rurociągiem a ziemią do oceny zagrożenia korozyjnego i skuteczności ochrony katodowej rurociągów

### 1. Wstęp.

Pomiary elektryczne na metalowych konstrukcjach stykających się z elektrolitem glebowym lub wodnym wykonuje się w celu uzyskania informacji o zagrożeniu konstrukcji korozją powodowaną przez prądy błędzące, jak również celem dokonania oceny skuteczności ochrony katodowej konstrukcji. Pomiary z kresu zagrożenia oddziaływaniem prądów błędzących wykonuje się najczęściej w związku z analizą przyczyn uszkodzeń korozyjnej konstrukcji względnie w związku z zamiarem podjęcia działań profilaktycznych na konstrukcji, co do której istnieje podejrzenie, że może być narażona na korozyjne skutki prądów błędzących.

Podstawowym, a często jedynym pomiarem wykonywanym rurowo we wszystkich wymienionych okolicznościach jest pomiar potencjału konstrukcji względem elektrody odniesienia umieszczonej w otaczającym elektrolicie.

W przypadku konstrukcji trwale spolaryzowanej katodowo pomiar potencjału wykonany w sposób pozwalający na porównanie zmierzonej wartości z potencjałowym kryterium ochrony t.j. pomiar z wyłączeniem polaryzacji omowej, jest wystarczający do oceny skuteczności ochrony katodowej.

Natomiast w badaniach zagrożenia korozyjnego konstrukcji prądami błędzącymi stosowanie metod pomiaru potencjału z wyeliminowaniem polaryzacji omowej jest nieprzydatne. Lokalizacja stref anodowych i katodowych na podstawie wartości potencjałów konstrukcji jest bowiem tym łatwiejsza im bardziej zmierzone wartości potencjałów różnią się od wartości potencjałów spoczynkowych.

Wartość potencjału konstrukcji bardziej ujemna od wartości jej potencjału spoczynkowego świadczy o istnieniu w danym miejscu i w danym czasie strefy katodowej na konstrukcji. Natomiast wartość potencjału konstrukcji bardziej dodatnia od wartości jej potencjału spoczynkowego świadczy o istnieniu w danym miejscu i w danym czasie strefy anodowej na konstrukcji. Identyfikacja rodzaju strefy jest łatwa jeżeli można porównać wartość potencjału zmierzoną w danym miejscu w warunkach oddziaływania prądów błędzących z wartością potencjału spoczynkowego zmierzoną podczas okresowego wyłączenia źródła prądów błędzących. Ten drugi pomiar jest jednak w praktyce niemożliwy w przypadku kolei państwowych. Natomiast w przypadku tramwajów i kolei przemyślowych można skorzystać z nocnej przerwy w ruchu. Względy natury techniczno-organizacyjnej powodują jednak, że w praktyce pomiary tego rodzaju są wykonywane rzadko.

Wartość potencjału spoczynkowego konstrukcji zależy od stanu powierzchni metalu, jakości pokrycia antykorozyjnego oraz rodzaju elektrolitu stykającego się z konstrukcją. Wartości potencjałów spoczynkowych stalowych konstrukcji podziemnych mieszczą się w zakresie od około  $-0,35$  V do  $-0,80$  V względem elektrody  $\text{Cu}/\text{CuSO}_4$ . Najmniej ujemne wartości potencjału

ukcji  
yeli-  
ja  
aków  
ne  
oczym-  
war-  
dany  
Na-  
od  
i w  
koci.  
anać  
od-  
zynko-  
w  
ozli-  
ram-  
erwy  
ą  
rzadku.  
y od  
o  
ar-  
ziem-  
wzglę-  
ku

mierzy się na konstrukcjach skorodowanych, porzabionych pokry-  
cia antykorozyjnego, a także na konstrukcjach znajdujących się  
w gruntach lekkich, dobrze naponietrzonych. Natomiast najbar-  
dziej ujemne wartości potencjałów występują na konstrukcjach no-  
wych, nieskorodowanych, dobrze izolowanych, a także na konstruk-  
cjach umieszczonych w gruntach ciężkich, nieprzepuszczalnych.

Zmiany wartości prądu błędzącego oddziałującego na  
konstrukcję znajdują tym większe odbicie w zmianach wartości  
polaryzacji omowej, a tym samym potencjału konstrukcji, im  
lepiej jakości jest pokrycie ochronne konstrukcji. Ilość równo-  
legle połączonych szczelin w pokryciu w miejscu pomiaru jest ste-  
dy niewielka, tym samym ich wypadkowa rezystancja jest duża i po-  
laryzacja omowa osiąga znaczne wartości. Jeżeli zaś konstrukcja  
jest źle izolowana, posiada liczne i duże nieszczelności, to  
gęstość prądu na ich powierzchni jest mała, podobnie jak ich  
wypadkowa rezystancja i polaryzacja omowa nie osiąga dużych  
wartości.

Znaczne zróżnicowanie wartości potencjałów spoczynkowych  
oraz możliwość niezauważenia udziału polaryzacji omowej w mie-  
rzonej wartości potencjału utrudniają identyfikację stref ano-  
dowych i katodowych na konstrukcji. Przy potencjale nowego sta-  
lowego rurociągu wahającym się w zakresie np. od -0,62 do  
-0,64V względem elektrody Cu/CuSO<sub>4</sub>, może w danym miejscu ist-  
nieć trwała strefa anodowa. Natomiast potencjał starego rurociągu  
wahający się w granicach np. od -0,38V do -0,58V może oznaczać  
określoną występującą strefę katodową w danym miejscu rurociągu,  
przy potencjale spoczynkowym -0,38V. Aby się nie pomylić w identy-  
fikacji stref należy przyjmować szeroki margines bezpieczeństwa.

W praktyce oznacza to, że strefę anodową można przyporządkować potencjałom mniej ujemnym od  $-0,35$  V względem elektrody  $\text{Cu}/\text{CuSO}_4$ , a strefę katodową - potencjałom bardziej ujemnym od  $-0,75$  V. Wartości potencjałów stalowej konstrukcji mieszczące się w zakresie od  $-0,35$  do  $-0,75$  V nie nadają się do jednoznacznej interpretacji i jako takie nie mogą być wystarczającą podstawą oceny zagrożenia korozyjnego konstrukcji prądami błędzącymi. Celowym staje się wówczas pomiar drugiej wielkości elektrycznej, tj. prądu błędzącego wpływającego do lub wypływającego z konstrukcji. Często dodatkowe informacje o zagrożeniu korozyjnym prądami błędzącymi można uzyskać z wyników pomiarów różnicy potencjałów konstrukcja - szyna trakcji elektrycznej.

## 2. Metodyka pomiarów i interpretacja wyników pomiarów prądu wpływającego do lub wypływającego z konstrukcji.

Do pomiaru prądu wpływającego do lub wypływającego z podziemnej konstrukcji, np. stalowego izolowanego rurociągu wykorzystywano przenośne elektrody symulacyjne te same, które stosuje się w pomiarach potencjałów konstrukcji wykonywanych z ograniczeniem polaryzacji omowej /1, 2/. Ustawiając elektrodę symulacyjną na powierzchni ziemi i łącząc ją z rurociągiem poprzez mikroamperomierz, umieszcza się na powierzchni ziemi fikcyjny defekt w pokryciu ochronnym konstrukcji. Powierzchnia defektu jest równa powierzchni płytki elektrody symulacyjnej. Płytkę tę, wykonaną z tego samego materiału co chroniona konstrukcja, jest umieszczona w tworzywie izolacyjnym w ten sposób, że tylko jedna płaska kołowa jej powierzchnia jest odizolowana. Powierzchnią tą płytka styka się z elektrolitem w pobliżu

chronionej konstrukcji, z którą jest połączona przewodem elektrycznym. Podlega więc tym samym oddziaływaniom zewnętrznym prądów /ochrony katodowej i błądzących/, którym podlega konstrukcja. W przypadku konstrukcji podziemnych najczęściej stosuje się elektrody symulacyjne o powierzchniach płytek 1, 10 względnie 1,5 ; 15 cm<sup>2</sup>.

Na Rys. 1 przedstawiono 3 sytuacje pomiarowe jakie występują w układzie płytka elektrody symulacyjnej - ziemia - rurociąg.

W sytuacji 1a prąd mierzony mikroamperomierzem jest tylko prądem obciążenia ogniwa elektrochemicznego, którego elektrodami są: powierzchnia płytki elektrody symulacyjnej oraz suma defektów w pokryciu ochronnym rurociągu położonych w pobliżu miejsca pomiaru. Określenie "pobliże" jest względne, bowiem im mniejsza rezystywność gruntu tym bardziej odległe nieszczelności składają się na elektrodę "rurociągową".

Wartość prądu płytka elektrody - rurociąg określa zależność:

$$i_{p-g} = \frac{U - U_e}{R_u + R_e + R_m + R_l} = \frac{U - U_e}{\sum R} \quad //1/$$

gdzie:

$U$  - potencjał rurociągu względem elektrody  $Cu/CuSO_4$ ,

$U_e$  - potencjał płytki elektrody symulacyjnej względem elektrody  $Cu/CuSO_4$ ,

$R_u$  - rezystancja uziemienia rurociągu,

$R_e$  - rezystancja uziemienia płytki elektrody symulacyjnej,

$R_m$  - rezystancje wewnętrzne miernika prądu,

$R_1$  - rezystancja przewodów łączących.

Bezpośrednio po ustąpieniu elektrody na powierzchni śluzki potencjał płytki jest zwykle mniej ujemny od potencjału rurociągu, płytka jest więc katodą, rurociąg anodą, a prąd ognia płynie w kierunku zaznaczonym na Rys. 1. Płytkę, która ma powierzchnię gładką, czystą i wyszlifowaną, szybko polaryzuje się ujemnie i po czasie 15 - 20 minut nierzadko przyjmuje potencjał bardziej ujemny od potencjału rurociągu, stając się anodą ognia. Prąd zmienia wówczas kierunek i płynie od rurociągu do płytki. Moment zmiany zniesienia wartości potencjału płytki towarzyszą momentalnie zmiany prądu ognia zgodnie z zależnością /1/. Potencjał płytki stabilizuje się na ogół w czasie od 15 minut do 1 godziny. Pó tym czasie prąd  $i_{p-g} = const.$

Zakończenie monotonicznego przebiegu  $i_{p-g} = f(t)$  /rys. 1b i c/ jest dowodem oddziaływania prądu błędzącego na płytke elektrody a tym samym na rurociąg w danym miejscu. Prąd w obwodzie jest wówczas prądem wypadkowym:  $i_{p-g} + i_{bp}$ . Możliwe są 2 sytuacje:

- a/ o kierunku przepływu prądu płytka elektrody symulacyjnej - rurociąg nadal decyduje różnica potencjałów pomiędzy płytką a rurociągiem. Biegunosć prądu nie zmienia się więc, a w jego przebiegu czasowym dają się zaobserwować mniej lub bardziej gwałtowne wahania spowodowane wpływającym do względu nie wypływającym z płytki prądem błędzącym,
- b/ prąd błędzący jest na tyle duży, że zaczyna decydować o kierunku przepływu prądu pomiędzy płytką a rurociągiem; jest to przypadek silnej strefy anodowej na rurociągu, kiedy przy

$$U_0 > U \quad |i_{bp}| > |i_{p-g}|$$

Kasahara i inni /3/ opracowując potencjałowo-prądowe kryterium ochrony katodowej, sformułowali również kryterium występowania stref anodowej i katodowej na rurociągach stalowych: Prąd większy od 0,001 mA wypływający z powierzchni próbki 1 cm<sup>2</sup> świadczy o strefie anodowej a prąd większy od 0,001 mA wpływający do próbki świadczy o strefie katodowej w danym miejscu na rurociągu. Zakres gęstości prądu pomiędzy +0,001 mA/cm<sup>2</sup> i -0,001 mA/cm<sup>2</sup> został nazwany obszarem swobodnej korozji. Badania mikroskopowe próbek wykazały, w tym obszarze minimalną korozję spowodowaną działaniem mikroorganizmów.

3. Zastosowanie metody równoczesnych pomiarów prądu, potencjału i ewentualnie różnicy potencjałów gazociąg-szyna do oceny zagrożenia korozyjnego gazociągów.

3.1. Równoczesna rejestracja przebiegów czasowych potencjału, prądu i ewentualnie różnicy potencjałów gazociąg-szyna.

Prąd mierzono przy użyciu miernika rejestrującego Multi-script 3 o rezystancji 560 Ω przy pomiarze prądu do 250 μA, względnie 160 Ω przy pomiarze prądu do 1000 μA. Potencjał gazociągu rejestrowano przy użyciu miernika Minigor RE 501 o impedancji wejściowej większej odpowiednio od 1, 2 i 5 MΩ na zakresach 1, 2 i 5 mV/cm. Obydwie wielkości rejestrowano równocześnie, najczęściej w ciągłą 1 godziny. Stosowano elektrodę symulacyjną o powierzchni płytki 15 cm<sup>2</sup>.

Przykładowe wyniki pomiarów przedstawiono na rys. 2.

Duża ujemna różnica potencjałów płytka elektrody symulacyjnej - gazociąg w punkcie BN /około -210 mV/ pod koniec trwających 1 godzinę pomiarów/ powoduje, że cały przebieg prądu

widoczny na rys. 2. mieści się w zakresie wartości ujemnych, mimo że prąd ulega znacznym wahaniom, podobnie jak potencjał gazociągu. Częstotliwość zmian obydwóch wielkości jest duża a w oddziaływaniu prądów błądzących na gazociąg nie występują przerwy. Przyjęte w tych warunkach pod koniec trwania pomiarów, wartości prądu ognia  $90 \mu\text{A}$  i potencjału spoczynkowego gazociągu  $-480 \text{ mV}$  mają charakter orientacyjny. Ponadto, pomiar prądu jest obciążony błędem około 25%, wynikającym z użycia miernika o rezystancji  $560 \Omega$  do pomiaru prądu w obwodzie którego rezystancja wynosi około  $2000 \Omega$ . Wahania wartości prądu wokół wartości prądu ognia wynoszące  $\pm 50 \mu\text{A}$  na rys. 2, są w rzeczywistości o około 25% mniejsze, sięgają więc  $\pm 60 \mu\text{A}$ , co odpowiada  $\pm 4 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ .

Wartości te spełniają cytowane wyżej kryterium występowania stref katodowych i anodowych  $\pm 1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ .

Reasumując; gazociąg w punkcie 8N podlega cały czas oddziaływaniu prądów błądzących, na przemian katodowemu i anodowemu o podobnej intensywności, przy czym zmiany charakteru oddziaływania odbywają się z dużą częstotliwością. Gazociąg w punkcie 8N należy uznać za zagrożony korozją powodowaną przez prądy błądzące.

Wszystkie trzy przebiegi przedstawione na rys. 3 są zmienne w szerokim zakresie. Kształt przebiegu prądu pomiędzy 10 a 15 minutą pomiaru pozwala przypuszczać, że mierzony wówczas prąd/około  $-20 \mu\text{A}$ / był prądem ognia płytka - gazociąg. Wahania prądu wokół tej wartości sięgają  $70 \mu\text{A}$  w kierunku ujemnym i  $180 \mu\text{A}$  w kierunku dodatnim, Przeliczając te wartości na  $1 \text{ cm}^2$  i uwzględniając prawdopodobny 20% owy błąd



pomiaru spowodowany zbyt dużą rezystancją miernika, otrzymuje się  $-9 \mu A$  i  $+21 \mu A$ , tj. wartości wielokrotnie przewyższające kryterium występowania stref anodowej i katodowej  $\pm 1 \mu A/cm^2$ . Biorąc pod uwagę czasy oddziaływania anodowego i katodowego można stwierdzić, że w punkcie 4 występuje okresowo krótkotrwała intensywna korozja oraz w dłuższych okresach ochrona katodowa w wyniku polaryzacji katodowej rurociągu prądem błędzącym.

3.2. Pomiary zależności  $U = f/\Delta U_{g-sz}$ /przy użyciu rejestratora x-y  
 Stosowano rejestrator x-y typu Miniger RE 501 z dzielnikami napięcia.

W badaniach zagrożenia korozyjnego rurociągów zależności korelacyjne typu  $U = f/\Delta U_{g-sz}$  są cennym uzupełnieniem przebiegów czasowych tych wielkości, nie stanowią jednak samodzielnego materiału interpretacyjnego. Przykładem jest tutaj zależność przedstawiona na rys. 4. Niewielka dodatnia różnica potencjałów gazociąg - szyna tramwajowa nie ma żadnego wpływu na potencjał gazociągu. Stanowi to potwierdzenie wniosku o niewielkim zagrożeniu gazociągu prądami błędzącymi w punkcie 1N, sformułowanego w /4/ na podstawie analizy przebiegów czasowych potencjału i prądu.

Na rys. 5 widoczna jest wyraźna zależność potencjału gazociągu od różnicy potencjałów gazociąg - szyna kolejowa zmieniającej się w zakresie od 0 do  $-28V$ . Trwający 10 minut pomiar wykazał wyraźnie katodowy charakter oddziaływania prądu błędzącego na gazociąg w punkcie 1. Potwierdza to również analiza godzinnych równoczesnych przebiegów prądu i potencjału wykonanych w /5/.

4. Zastosowanie metody równoczesnych pomiarów potencjału gazociągu i prądu do oceny skuteczności drenażu polaryzowanego.

Na rys. 6 przedstawiono równoczesne przebiegi czasowe potencjału gazociągu oraz prądu płytka elektrody symulacyjnej-gazociąg w p. 3. Jak widać z obydwóch przebiegów, drenaż polaryzowany nie dopuszcza do pojawienia się stref anodowych na gazociągu. Można przyjąć, że prąd ogniwe elektrochemicznej płytka elektrody symulacyjnej-gazociąg wynosi  $-30 \mu\text{A}$ . Przyrosty prądu ponad tę wartość w kierunku anodowym sięgają przy niepracującym drenażu 270 a nawet 470  $\mu\text{A}$ . Przeliczając te wartości na  $1 \text{ cm}^2$  i uwzględniając przypuszczalny błąd pomiaru spowodowany rezystancją miernika prądu, otrzymuje się wartości 20 lub 33  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ , wielokrotnie przewyższające kryterium występowania strefy anodowej  $1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ . Gazociąg byłby okresowo silnie zagrożony korozją powodowaną przez prądy błędzące, gdyby nie zainstalowano drenażu polaryzowanego.

Prąd drenażu jak widać z rys. 7 jest niewielki, sięga zaledwie 4,5 A, lecz powoduje, że potencjał gazociągu obniża się do  $-760 \text{ mV}$ .

Na rys. 8 widoczny jest wpływ drenażu polaryzowanego w punkcie 5 odległym o 300 m od punktu drenażu. Potencjał gazociągu obniża się bądź w wyniku istnienia strefy katodowej na gazociągu, o czym świadczy ujemna różnica potencjałów gazociąg - szyna kolejowa, bądź wskutek działania drenażu, co jest możliwe przy dodatniej różnicy potencjałów gazociąg-szyna.

### 5. Podsumowanie i wnioski.

Pomiar potencjału rurociągu wykonany w sposób pozwalający na porównanie zmierzonej wartości z potencjałowym kryterium ochrony tj. pomiar z wyłączeniem polaryzacji omowej, umożliwia ocenę skuteczności ochrony katodowej rurociągu trwale spolaryzowanego. Pomiar taki jest natomiast nieprzydatny dla oceny zagrożenia korozyjnego rurociągu oddziaływaniem prądów błądzących. Należy wówczas mierzyć potencjał zawierający polaryzację omową. Wyniki takiego pomiaru, w wielu przypadkach nie nadają się jednak do samodzielnej, jednoznacznej interpretacji. Dlatego pomiar potencjału należy uzupełnić równocześnie wykonanym pomiarem prądu wpływającego do lub wypływającego z rurociągu poprzez płytke elektrody symulacyjnej ustawionej na powierzchni ziemi nad rurociągiem.

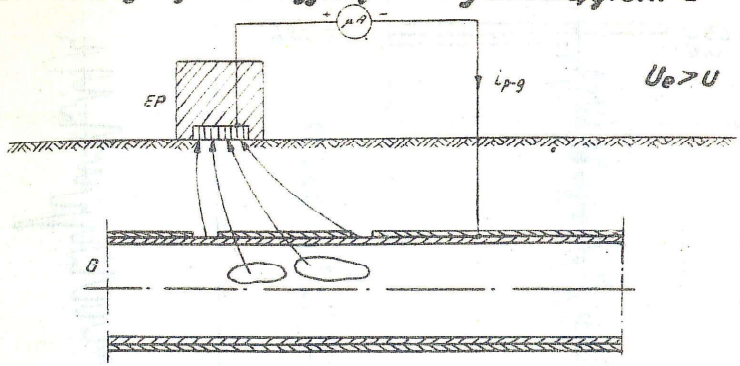
Trzecią wielkością, którą można mierzyć równocześnie z potencjałem i prądem jest różnica potencjałów rurociąg-szyna trakcji elektrycznej. Pożądanym jest bezpośredni pomiar przy użyciu rejestratora x-y zależności potencjału rurociągu od różnicy potencjałów rurociąg-szyna.

Rezultatem analizy wyników równoczesnych pomiarów prądu i potencjału jest lokalizacja stref anodowych i katodowych na rurociągu, a także ocena skuteczności próbnej lub stałej ochrony katodowej.

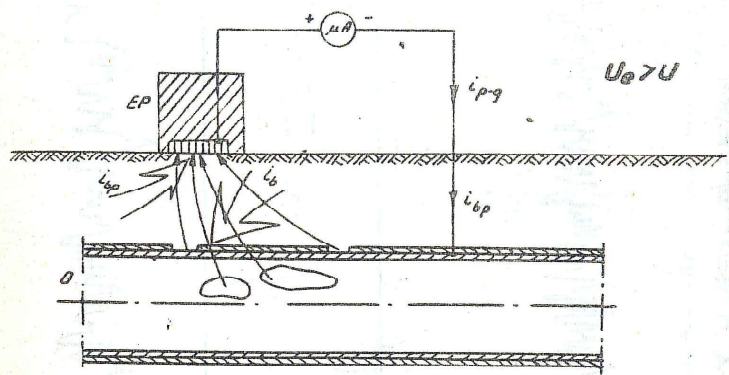
Literatura

1. Vavřina J., Mičko F.: "Snímáči elektroda pro měření polarizačního potenciálu kovových konstrukcí", Patent ČSR nr 182083.
2. Baeckmann W., Prinz W.G.: "New methods of Cathodic Potential Monitoring at Coating Holidays", 15-th World Gas Conference Lausanne, 1982.
3. Kasahara K., Sato T., Adachi H., Materials Performance nr 9/1980.
4. Strömstromuntersuchungen in einem Stadtteil der Hauptstadt der DDR, praca Instytutu Górnictwa Naftowego i Gazownictwa nr PD 4/85, Kraków 1986.
5. Założenia do projektów ochrony katodowej gazowych sieci rozdzielczych w miastach Rzeszów, Łańcut, Przeworsk. Część 3. Przeworsk, Praca Instytutu Górnictwa Naftowego i Gazownictwa nr 3818 GP, Kraków 1985 r.

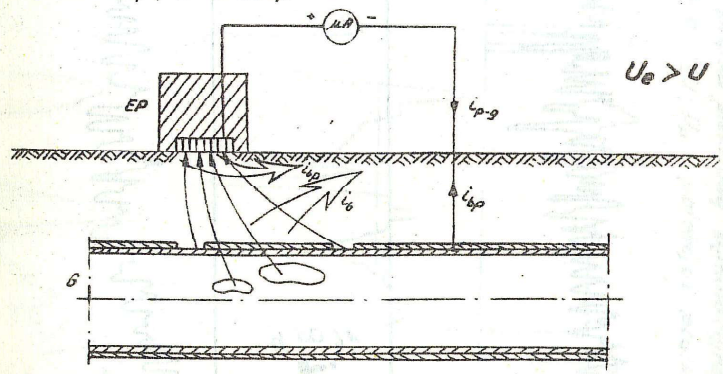
### 4. Schemat przepływu prądów pomiędzy płytką elektrody symulacyjnej EP i gazociągiem G



a) brak oddziaływania prądów błądzących;  $i_{p-g}$  - prąd ognia elektrochemicznego;  $U_e$  - potencjał płytki elektrody symulacyjnej;  $U$  - potencjał gazociągu.



b) strefa katodowa na gazociągu;  $i_b$  - prąd błądzący wpływający do gazociągu z ziemi;  $i_{bp}$  - prąd błądzący wpływający do gazociągu poprzez płytkę elektrody pomiarowej.



c) strefa anodowa na gazociągu;  $i_b$  - prąd błądzący wpływający z gazociągu do ziemi;  $i_{bp}$  - prąd błądzący wpływający z gazociągu poprzez płytkę elektrody pomiarowej.

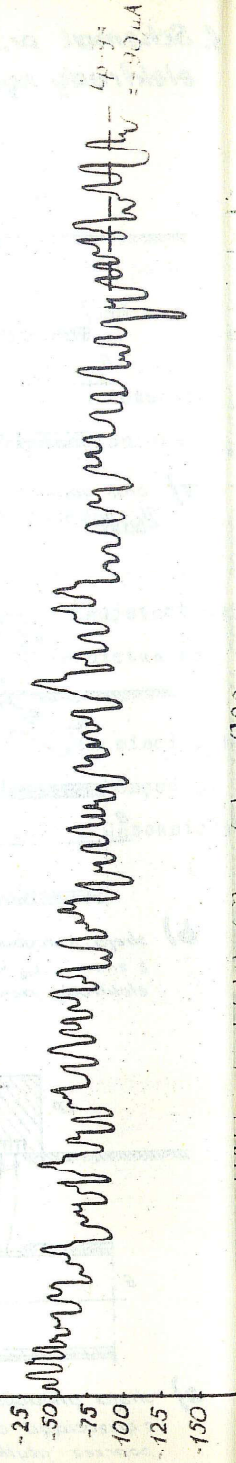
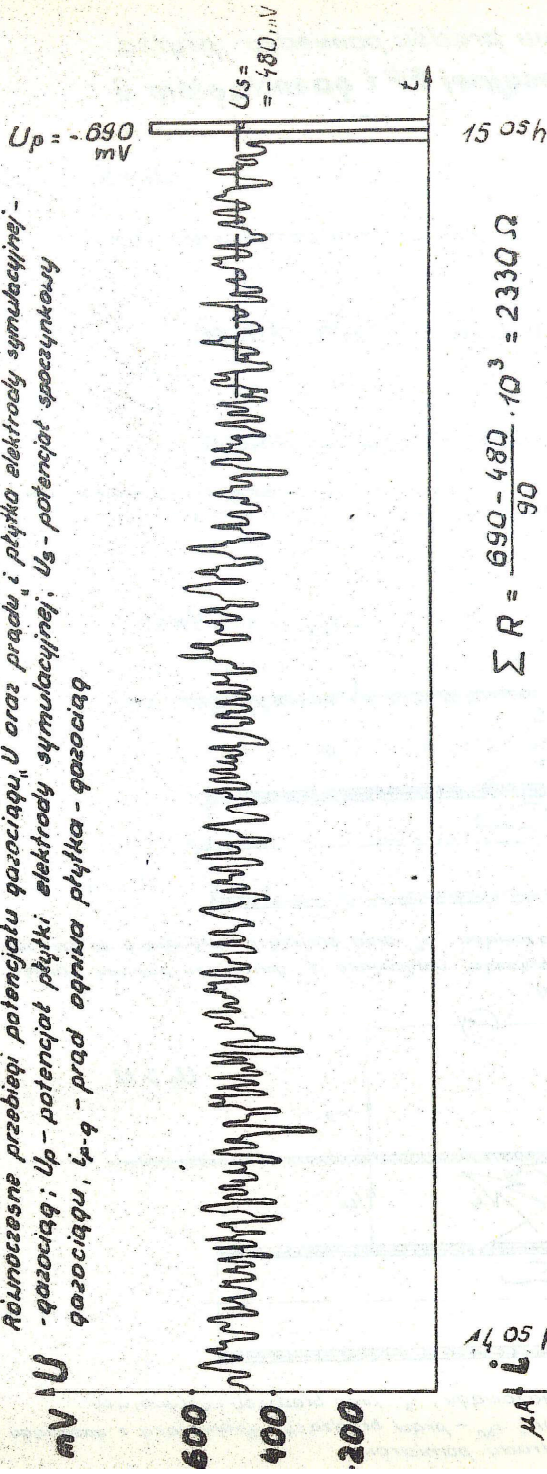
ni polari-  
RS nr  
Potential  
conference  
nance

ipstadt de  
lotwa nr

sieci roz  
Część 3.  
Gazownictw

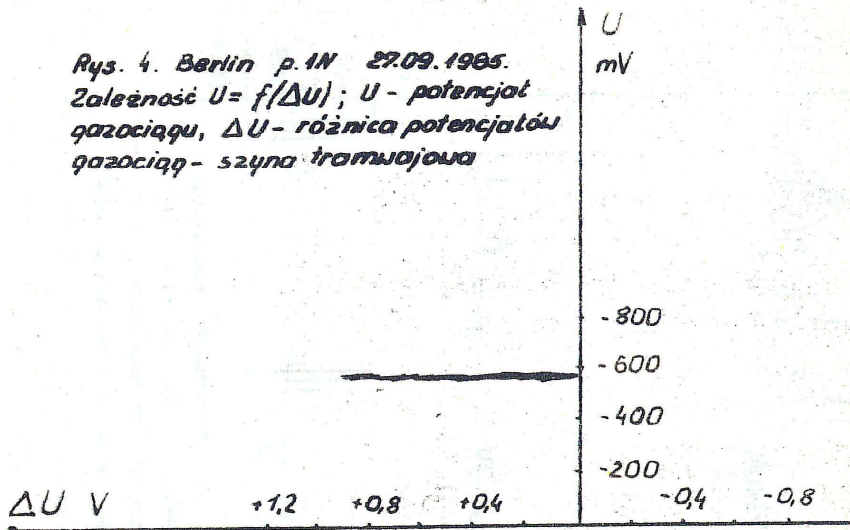
Rys. 2. Berlin p. 8N. 30.09.1985.

Różnoczesne przebiegi: potencjału gazociągu, U oraz prądu i płytki elektrody symulacyjnej - gazociągu; U<sub>p</sub> - potencjał płytki elektrody symulacyjnej; U<sub>s</sub> - potencjał spoczynkowy gazociągu, i<sub>p-g</sub> - prąd ognia płytki - gazociągu

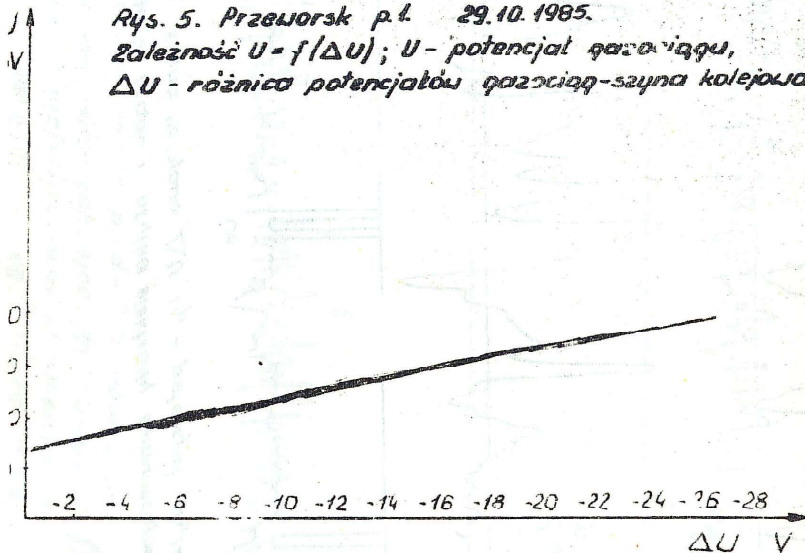




Rys. 4. Berlin p.1N 27.09.1985.  
 Zależność  $U = f(\Delta U)$ ;  $U$  - potencjał gazociągu,  $\Delta U$  - różnica potencjałów gazociąg - szyna tramwajowa



Rys. 5. Przeworsk p.1 29.10.1985.  
 Zależność  $U = f(\Delta U)$ ;  $U$  - potencjał gazociągu,  $\Delta U$  - różnica potencjałów gazociąg - szyna kolejowa



Równoczesne przebiegi potencjału gazociągu „U” oraz prądu „I” płytki elektrody symulacji  
 szyna - gazociąg  
 mV A II

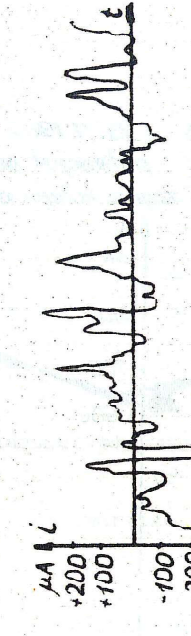
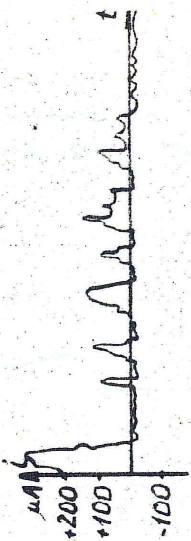
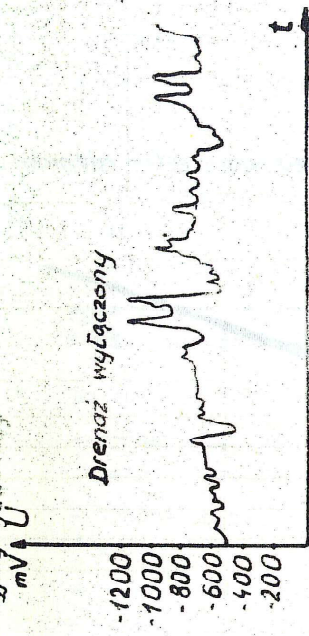
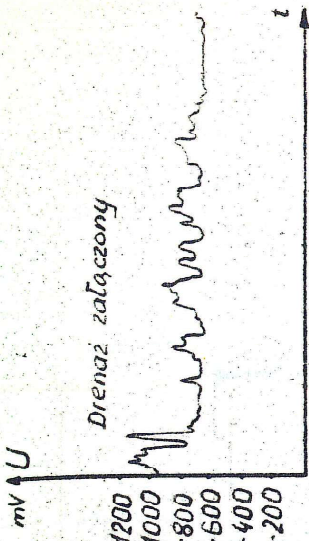


simult. 2,8 30 1100h 1130h 1134h 1200h

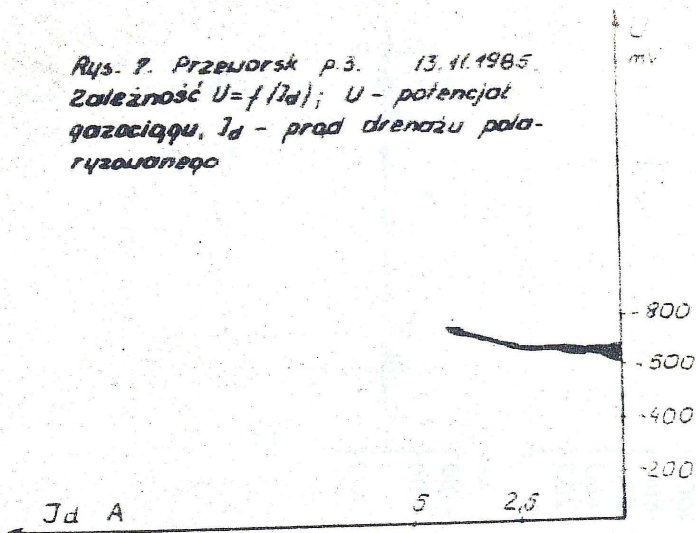
nominalnesn. 2,8 30 1100h 1130h 1134h 1200h

cyng-gazok. 2,8 30 1100h 1130h 1134h 1200h

oraz prądu L pętlika elektrody symul. 2,8 30 1100h 1130h 1134h 1200h



Rys. 7. Przeworsk p. 3. 13.11.1985.  
 Zależność  $U = f(I_d)$ ;  $U$  - potencjał  
 gazociągu,  $I_d$  - prąd drenażu pola-  
 ryzowanego



Rys. 8. Przeworsk p. 5. 13.11.1985.  
 Zależność  $U = f(\Delta U)$ ;  $U$  - potencjał gazociągu,  $\Delta U$  - różnica  
 potencjałów gazociąg- szyna kolejowa

