
**MONITOROWANIE PRĄDÓW BŁĄDZĄCYCH W RUROCIĄGU
PRZY POMOCY TŁOKÓW INTELIGENTNYCH**

**MONITORING OF STRAY CURRENT IN PIPELINES
USING INTELLIGENT PIGGING TOOLS**

Witold Bogotko, Paweł Raczyński, Piotr Drożdziejki

Centrum Diagnostyki Rurociągów i Aparatury,
ul. Jasna 2/4 00 013 Warszawa, cdria@gd.home.pl

Słowa kluczowe: prądy błędzące, rurociągi magistralne, tłoki inteligentne
Keywords: stray currents, pipelines, intelligent pigging tools

Streszczenie

W referacie przedstawiono rozwiązanie tłoka inteligentnego przeznaczonego do monitorowania prądów błędzących płynących w stalowych rurociągach magistralnych. Natężenie prądu błędzącego obliczane jest na podstawie pomiaru spadków napięć pomiędzy układami wielostyków zainstalowanych na poliuretanowych manszetach tłoka. Pomiar spadków odbywa się automatycznie w czasie przejazdu tłoka na całym badanym odcinku ograniczonym komorami jego nadania i odbioru. Zarejestrowane dane zapisywane są w nieulotnej pamięci komputera pokładowego. Zalecana szybkość przemieszczania się tłoka w rurociągu wynosi od 1 do 4 m/sek. Uzyskane wyniki świadczą, że metoda ta może stać się dodatkowym instrumentem w monitorowaniu prądów błędzących płynących ściankami stalowych rurociągów.

Summary

A new solution of intelligent pigging tool for monitoring stray currents in long distance steel pipelines has been presented. Stray current intensity estimation is based on measurements of difference of voltage between two sets of electrodes placed on both ends of pigging tool. Measurements are taken every 125 ms along whole pipeline and stored automatically under control of on-board microcomputer system. Some obtained measurements during two pig runs along over 100 km long pipeline have been presented. Advantages and disadvantages of this new method of estimation of currents in pipelines have been discussed.

1. Wstęp

Jednym z czynników wpływających na stan techniczny stalowych dalekosiężnych rurociągów podziemnych są prądy błędzące. Znajomość natężenia tych prądów, kierunków ich przepływu, źródeł ich pochodzenia stanowi jeden z głównych przedmiotów starań służb antykorozyjnych operatora w działaniach nad utrzymaniem niezmiennego w czasie stanu technicznego rurociągów.

W referacie niniejszym przedstawiono propozycję nowego sposobu badania prądów błędzących płynących ściankami magistralnych rurociągów stalowych przy zastosowaniu opracowanego i wykonanego w Centrum Diagnostyki Rurociągów i Aparatury prototypowego inteligentnego tłoka VOLPIG. Metoda ta polega na odcinkowych pomiarach spadków napięć mierzonych od wnętrza rurociągu przy pomocy przemieszczającego się z zadaną prędkością układu pomiaru i rejestracji danych.

2. Prądy błędzące

Prądy błędzące stanowiące zagrożenie korozyjne stalowych rurociągów podziemnych (rys.1) charakteryzują się zarówno zmiennym w czasie natężeniem jak i kierunkiem ich przepływu.

Miejscami wejść i wyjść prądu błędzącego z rurociągu są zwykle miejsca o osłabionej powłoce izolacyjnej, obniżonej rezystywności gruntu, miejsca zbliżeń do podstacji zasilających trakcję elektryczną, miejsca sekcjonowania szyn trakcyjnych, jak i miejsca wadliwego wykonania przekroczeń rurociągów pod drogami w rurach ochronnych i osłonowych (rys. 2) itp.

Większość rurociągów budowanych do połowy lat 80-tych pokrywana była fabryczną izolacją bitumiczną Z2 na welonie szklanym. Izolacja ta ulega permanentnemu starzeniu, często odwarstwieniu, przy czym niejednokrotnie była już uszkodzana w czasie układania i zasypywania rurociągu. Izolacja taka, szczególnie w stanie osłabionym, nie jest barierą dla wejść i wyjść prądów błędzących do i z rurociągu.

Nowoczesne izolacje z wytłaczanego PE czy taśm PE w stanie nieuszkodzonym mają bardzo dobre własności barierowe. W przypadku jednak uszkodzeń, mogących powstać w czasie układania rurociągu lub w wyniku osiadania na niedokładnie usuniętych z wykopu kamieniach, powłoka taka może okazać się bardziej niebezpieczną dla rurociągu, niż wykonana na bazie masyk bitumicznych.

Prąd błędzący płynący rurociągiem i wypływający z bardzo małej powierzchni w miejscu uszkodzenia powłoki PE może doprowadzić w bardzo krótkim czasie do perforacji jego ścianki.

Znając średnicę i grubość ścianki rurociągu, własności elektryczne jego stali konstrukcyjnej, można określić natężenie prądów błędzących płynących ściankami poprzez pomiar spadku napięcia na określonej długości rury.

Zasadą przyjętą w dotychczasowej praktyce jest pomiar spadku napięcia na 30-metrowym odcinku rury. Wykorzystuje się dla tych celów specjalnie zaprojektowane słupki pomiarowe instalowane w określonych i łatwo dostępnych miejscach.

W prototypowym rozwiązaniu inteligentnego tłoka **VOLPIG 800** (rys. 3) przyjęto, że oznaczenie wartości prądu określane będzie jako spadek napięcia rejestrowany na odcinku rury, równej w przybliżeniu długości tłoka. Długość tą przyjęto z uwzględnieniem możliwości wykorzystania istniejących już komór nadania i odbioru tłoków.



Rys. 1



Rys. 2



Rys. 3



Rys. 4

3. Prądy błędzące rejestrowane w rurociągu Dn 826 mm

Przystępując do prac nad układem pomiarowym tłoka **VOLPIG-800** koniecznym stało się określenie, przynajmniej w przybliżeniu, jakich wielkości prądów należy spodziewać się w rurociągach przesyłowych ropy pokrytych typową powłoką bitumiczną Z2.

Okazją dla przeprowadzenia tego typu pomiarów był remont uszkodzonego korozyjnie rurociągu ropy naftowej Dn 826 mm (Gdańsk – Łasin) wraz z wymianą jego fragmentu w rejonie jego przejścia pod torami trakcji elektrycznej PKP w Miłobądku pod Gdańskiem.

Uszkodzenia korozyjne zostały wcześniej zlokalizowane przy pomocy tłoka ultradźwiękowego, ich pojawienie się w rejonie bliskim podstacji zasilania trakcji jak i miejsca sekcjonowania tej trakcji, oraz wżerowy charakter (rys.1) świadczą, że rurociąg w tym rejonie stawał się przynajmniej okresowo „szyną powrotną” dla prądu trakcyjnego.

Przeprowadzono pomiary:

- potencjału elektrochemicznego rurociągu,
- spadków napięcia na 3 m odcinku rury,
- spadków napięcia na boczniku włączonym w miejscu rozcięcia rurociągu.

Przykład zarejestrowanych prądów błędzących pojawiających się w rurociągu przedstawiono na załączonych wykresach (rys. nr 4 do 6). Pomiary prowadzono przy pomocy mikroprocesorowego rejestratora prądów błędzących typu RPK2000 stosując próbkowanie, co 0,5 sek.

Pomiary przedstawione na wykresach wykonane zostały w różnych porach dnia, tj. w okresach zmiennego natężenia ruchu kolejowego w ciągu dwóch dób.

Z analizy pomiarów wynika, że:

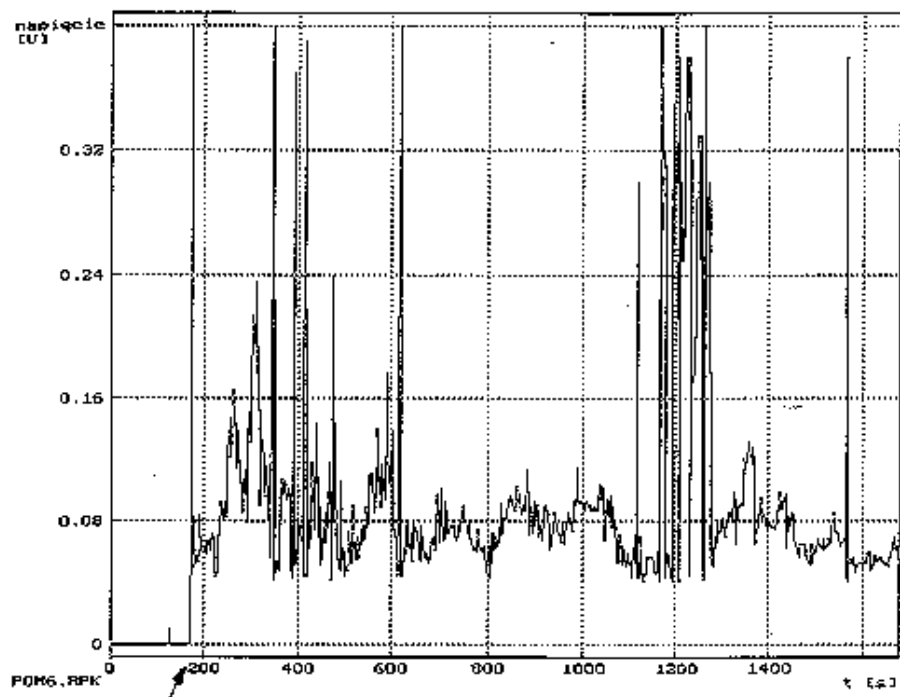
1. Obserwowane są przesunięcia potencjału do $-0,78$ V w kierunku elektrododatnim oraz do $-1,98$ V w kierunku elektroujemnym.
2. Zmiany potencjału rurociągu są typowe, ściśle związane z kierunkiem i natężeniem rejestrowanych prądów błędzących.
3. Spadki napięcia zarejestrowane na długości 3 metrów rury pozwoliły określić, że prądy płynące w rurociągu osiągały wartość w szczycie bliską 20 A i zmiennym kierunkiem przepływu.

4. Założenia układu pomiarowego tłoka VOLPIG

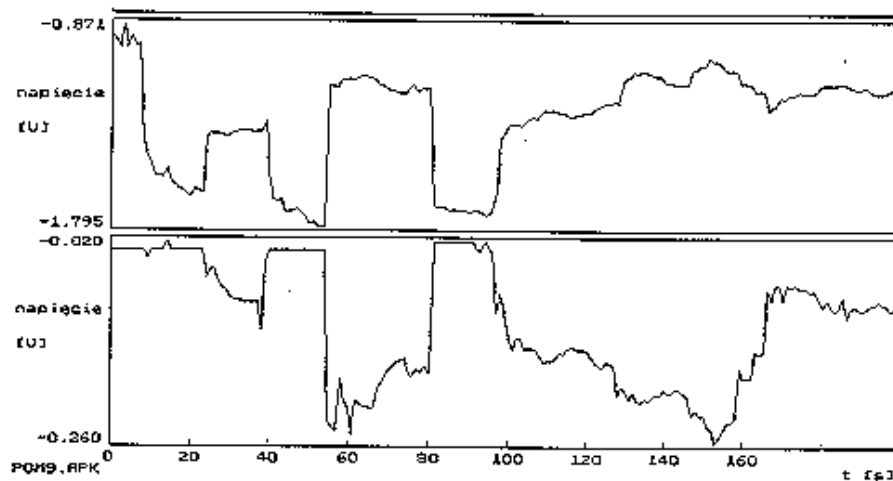
Rezystancja wzdłużna jednego metra rurociągu Dn 826 mm o grubości ścianki 11,2 mm ze stali 18G2A (przyjęto gatunek stali i grubość ścianki charakterystycznej dla rurociągu w rejonie Miłobądku) o rezystywności $0,226 \Omega \text{mm}^2/\text{m}$, wynosi $7,9 \mu\Omega$.

Przy rozsunięciu styków pomiarowych tłoka na 2,46 metry (rozstaw warunkowany długością komory nadania i odbioru rurociągu Dn 826 mm) rezystancja wzdłużna takiego odcinka rurociągu wyniesie $19,4 \mu\Omega$. Spadek napięcia wywołanego przez przepływ prądu 50 A na tej rezystywności wyniesie $0,001$ V ($1,0$ mV).

Projektując układ pomiarowy i zakładając dla stanu idealnego płynięcie w rurociągu wyłącznie prądów ochrony pochodzących od pracujących stacji katodowych, średnio 2 ampery w jednym ramieniu strefy ochrony takiej stacji, układ pomiarowy powinien mieć taką dynamikę, aby mógł zarejestrować zmiany napięć w przedziale od $0,01$ mV do $1,0$ mV, z określeniem kierunku tego spadku napięcia. Założono tu dwukrotnie wyższą wartość możliwych prądów tj. 40 A, w stosunku zmierzonych w rejonie Miłobądku.



Rys. 5. Wykres zmian spadków napięć wywołanych przez prądy błądzące.
 Pomiar na boczniku 5A/100 mV przyłączonym po obu stronach miejsca rozcięcia rurociągu
 ropy naftowej Gdańsk-Łasin w rejonie Miłobądz Dn 826 mm, gr. ścianki 11,2 mm.
 Strzałką oznaczono moment rozcięcia rurociągu



Rys. 6. Wykres zmian potencjału elektronicznego rurociągu ropy naftowej Gdańsk – Łasin
 w rejonie Miłobądz, względem elektrody siarczano-miedziowej, oraz wartości spadku napięcia
 prądów błądzących wywołujące te zmiany, zmierzone na boczniku 5A/100 mV przyłączonym
 po obu stronach miejsca rozcięcia rurociągu Dn 826 mm, gr. ścianki 11,2 mm

5. Rozwiązanie tłoka VOLPIG

Dla wykonania tłoka pomiarowego o rozsunięciu styków pomiarowych na 2,46 m zastosowano dwukapsułowy pojazd podobny do rozwiązania tłoka KORSONIC 800. Przygotowano również trzecią kapsułę, która w przypadku konieczności, umożliwiała dodatkowe rozsunięcia styków pomiarowych do ok. 3,2 m. Jako zestaw styków pomiarowych zastosowano układ kilkudziesięciu pinów z węglików spiekanych w stalowych obudowach osadzonych w elastycznych manszetach poliuretanowych, które zapewniały odpowiedni docisk do wewnętrznej powierzchni badanej rury, niezależnie od szybkości ruchu, zmian kształtu rury czy przeszkód takich jak trójniki i zasowy trasowe.

Zestawy pinów umieszczone są na przedniej i tylnej manszecie tłoka. W obrębie każdej z nich piny zmostkowane są miedzianym kablem YKOY 1x6 mm². Konstrukcję tłoka przedstawiają fotografie (rys. nr 7 i 8).

Układ pomiarowy tłoka VOLPIG oparty jest na specjalnie zaprojektowanym mikrowoltomierzu o dużej dynamice, takiej, aby umożliwić pomiar spodziewanego w rurociągu zakresu spadków napięć.

Taktowanie pomiarów i zliczanie drogi zastosowane w rozwiązaniu oparte jest na hodometrze wyposażonym w dwa kółka z układem magnesów oddziałujących na czujniki halla.

Układ mikrowoltomierza nadzorowany jest przez wewnętrzny komputer zarządzający wyposażony w dysk stały typu FLASH służący do rejestracji danych pomiarowych.

Schemat układu pomiarowego i komputera zarządzającego tłoka VOLPIG przedstawiony jest na (rys. nr 9).

Szybkość podróżna tłoka nie jest limitowana; wskazane jest jednak, aby w czasie całego przejazdu była w miarę stabilna. Zalecane są jednak szybkości w granicach od 0,5 do 1,5 m/s.

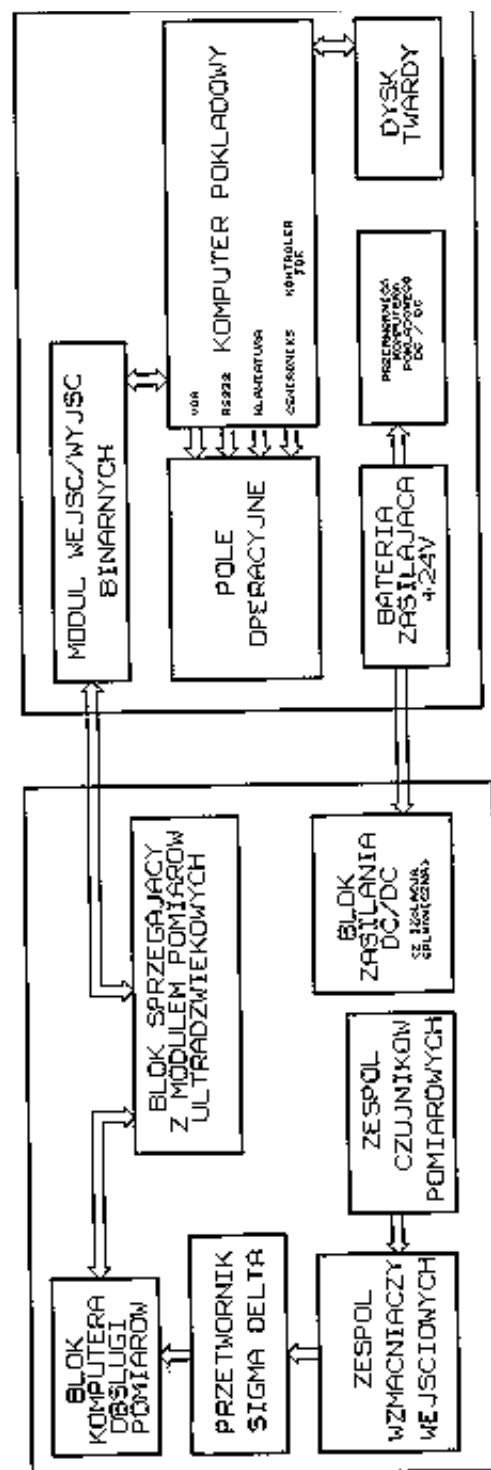
Pomiar spadków napięć realizowany jest w sposób ciągły, natomiast odczyty mierzonej wartości dokonywane są przez komputer pokładowy i zapamiętywane w jego nieulotnej pamięci osmiokrotnie w ciągu każdej sekundy wraz ze stanem licznika impulsów hodometru pozwalając jednoznacznie określić miejsce pobrania próbki napięcia.

Dane pomiarowe po przepisaniu z dysku komputera pokładowego **VOLPIGa** do komputera zewnętrznego analizowane są warunkach laboratoryjnych po zakończeniu przejazdu inspekcyjnego.

Zaproponowane rozwiązanie tłoka pomiarowego, a przede wszystkim rozwiązanie wielokrotnego zestawu styków pomiarowych, osadzonych na elastycznych manszetach, umożliwia wykonywanie inspekcji inteligentnym tłokiem **VOLPIG** bez konieczności czyszczenia wnętrza rurociągu, oraz nie wymagają modyfikacji planu tłoczeń. **VOLPIG** tym samym spełniać może funkcję konwencjonalnego czyszczaka.

6. Monitorowanie prądów płynących w ścianie rurociągu

Wykonano dwa przejazdy inspekcyjne prototypowym tłokiem **VOLPIG** rurociągu przesyłowego ropy naftowej Dn 826 pomiędzy stacją pomp Roztoka (ST-4) i stacją pomp Góry k. Tarnowa Podgórnego (ST-5).



Rys. 7.

Dane techniczne badanego odcinka rurociągu:

Materiał	stal 18G2A
Średnica zewnętrzna	826 mm
Grubość ścianki	9,4 mm
Rezystywność właściwa	0,266 Ω mm ² /m

Dane układu pomiarowego tłoża:

Rozstaw pinów pomiarowych	2,46 m
Przylącze wejścia pomiarowego	
- przód	+ mV
- tył	- mV

Rezystancja odcinka rurociągu zawartego pomiędzy stykami tłoża wynosi 23 $\mu\Omega$. Dla tej wartości rezystywności, spadek napięcia równy 1mV odpowiada przepływowi prądu 43,5 A:

Wykonano dwa przejazdy inspekcyjne prototypowym tłożem: pierwszy w dniach 21-22.03.2001, a drugi w dniach 26-28.09.2001.

Na badanym odcinku rurociągu zainstalowane jest 8 stacji katodowych generujących prądy ochrony elektrochemicznej. Wartości prądów ochrony i potencjały rurociągu w okresach zbieżnych z terminami wykonywanych inspekcji przedstawiono w tabeli nr 1.

Tabela 1.

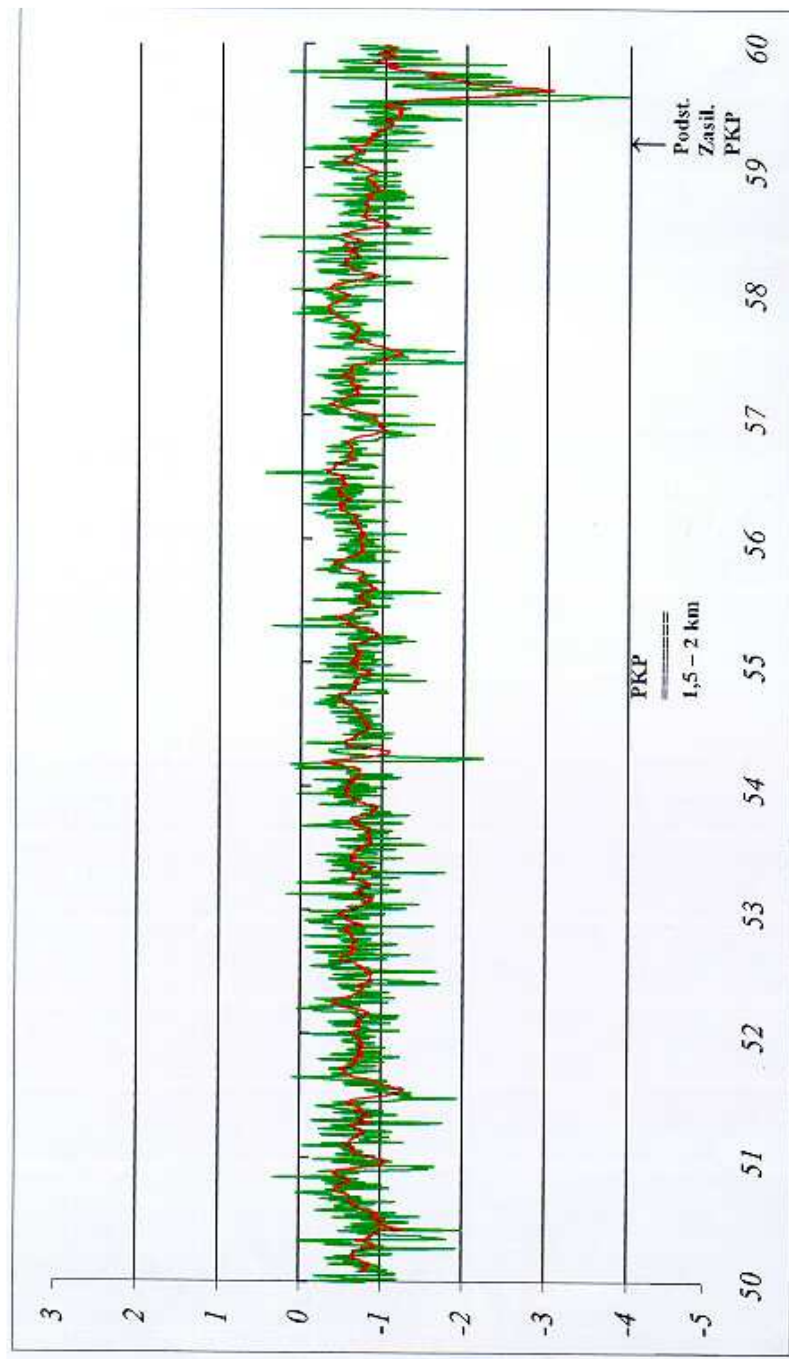
Marzec 2001					Wrzesień 2001			
Stacja OK	Upol [V]	Iok [A]	E [mV] I nitka	E [mV] II nitka	Upol [V]	Iok [A]	E [mV] I nitka	E [mV] II nitka
Roztoka	32	8	- 0,70	-1,15	10	1	1,62	- 1,60
OK. 25	10	2	- 1,60	-1,10				
Mieczownica	8	5	- 1,50	-1,50				
Siedlec	8	5	- 1,50	-1,50	8	5	- 1,45	- 1,45
Kostrzyn	13	8	- 1,10	- 0,61	12	7	- 1,08	- 1,36
Jankowo	5	1,5	-1,38	- 1,29	6	1,5	- 1,05	- 1,35
Morasko	8	9	-1,69	- 1,58	10	6	- 1,50	- 1,20
Dalekie	17	7,5	-1,50	- 1,28	17	8	- 1,31	-1,28

Wartości i kierunki zarejestrowanych spadków napięć wywołanych prądami płynącymi badanym rurociągiem o długości 107 km przedstawiono na wykresach syntetycznych każdego przejazdu inspekcyjnego (rys. nr 7 i 8). Na wykresach tych na podstawie korelacji z mapą naniesiono miejsca:

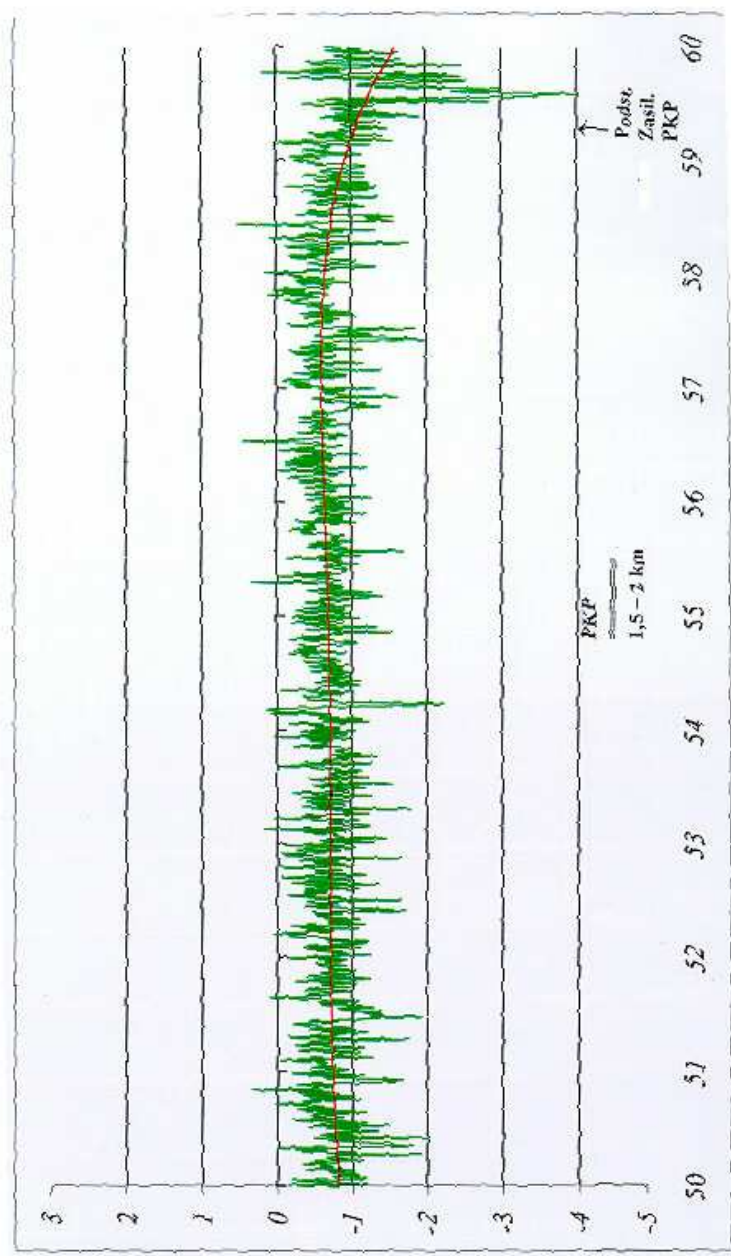
- usytuowania stacji katodowych,
- usytuowania stacji drenażu polaryzowanego,
- zbliżeń i skrzyżowań z liniami zelektryfikowanej PKP,
- zbliżeń i skrzyżowań z rurociągami przesyłowymi gazu,
- przekroczenie rzeki Warty.

Opracowany program przeglądania wyników umożliwia analizę danych pomiarowych dla badanej trasy z podziałem na dowolne krótkie odcinki.

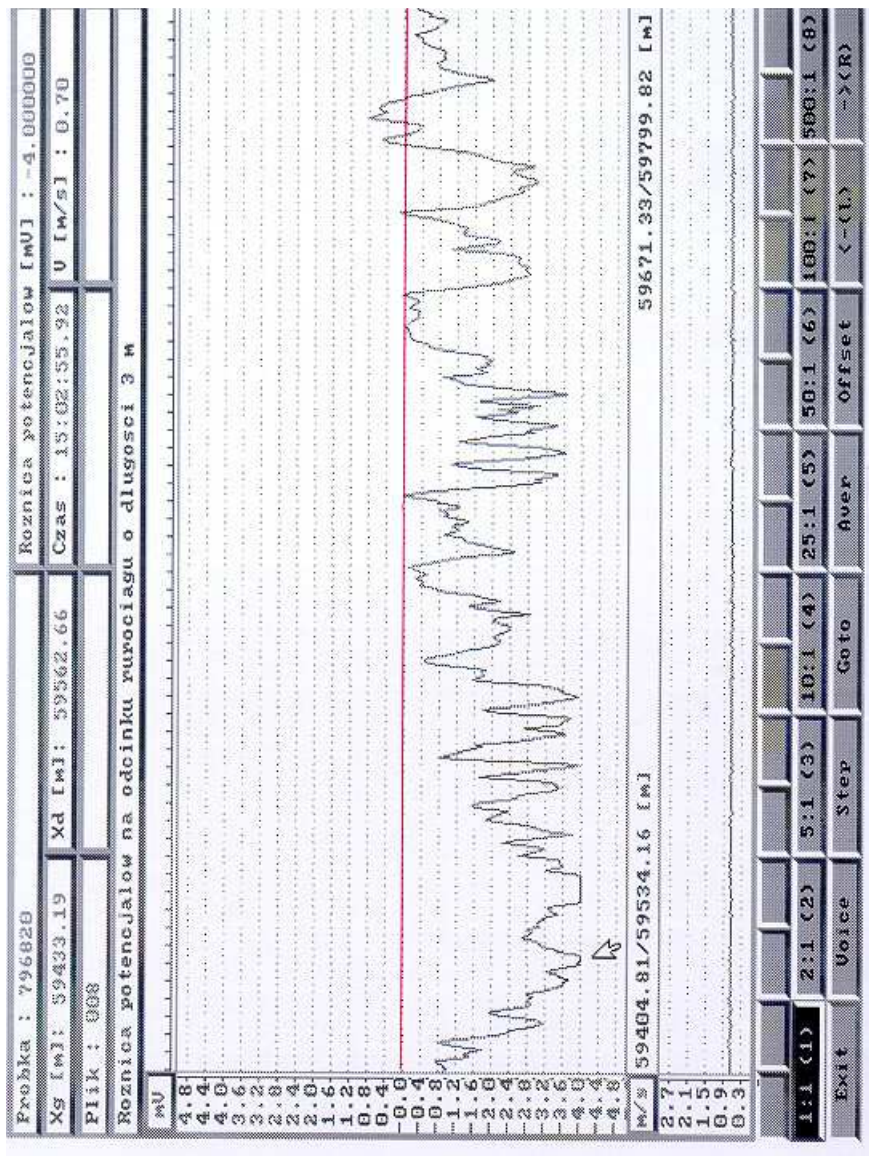
Przykład przebiegu zmian spadków napięć dla odcinka 10 km z naniesionym ich trendem, pokazano na (rys. nr. 10), a z naniesioną składową quasi stałą prądów katodowych i prądów błądzących płynących rurociągiem na (rys. nr 11). Wykres zmian można dowolnie skalować i tak wykres zmian dla przykładowego 300 metrowego odcinka – przebytego przez tłoż w okresie 3 min i 20 sek. pokazano na (rys. nr 12).



Rys. 10. VOLPIG – inspekcja odcinka Dn 800 Kleczew – Tamowo w dniach 26-28.03.2001 r



Rys. 11. VOLPIG – inspekcja odcinka Dn 800 Kleczew – Tarnowo w dniach 26-28.03.2001 r



Rys. 12

W okresach, gdy mierzona wartość odchyła się w kierunku dodatnim, przepływ prądu w rurociągu ukierunkowany jest od ST-4 do ST-5, a gdy mierzone wartości odchylają się w kierunku ujemnym, przepływ prądu ukierunkowany jest od ST-5 do ST-4.

Z zarejestrowanych danych wynika, że prądy błądzące zmieniają zarówno kierunek jak i natężenie, lecz mają ogólną tendencję przepływu od ST-5 do ST-4 tj. z zachodu w kierunku wschodnim.

Z analizy danych wynika ponadto, że najniższe wartości prądów błądzących, oceniane na podstawie wyznaczonej składowej stałej (z inspekcji we wrześniu 2001), rejestrowane są na pierwszych 20 kilometrach trasy rurociągu od komory nadania w ST-4

Powyżej 20 kilometra następuje stopniowy wzrost natężenia prądu, w miarę, jak rurociąg zbliża się do zelektryfikowanej trakcji linii kolejowej Warszawa - Poznań

Silny przyrost natężenia rejestruje się przy zbliżeniu rurociągu (31 km) do linii kolejowej na odległość ok. 1 km i dalej, gdy rurociąg biegnie równolegle do linii kolejowej (41 – 57 km) w odległości od ok. 1 do 2 km ze zbliżeniami nawet do 120 m. Miejscowe zwiększenie wartości prądu rejestruje się w punkcie zainstalowania stacji drenażu polaryzowanego (36 km). Najsilniejsze wartości prądu błądzącego rejestrowane są przy zbliżeniu się rurociągu (59-60 km) do miejsca usytuowania podstawy elektrycznej zasilającej trakcję kolejową.

Wysokie wartości natężeń prądów błądzących, mniejsze jednak niż w miejscu trawersu podstawy zasilania PKP, utrzymują się aż do przekroczenia przez rurociąg (74-75 km) zelektryfikowanej linii kolejowej Poznań – Gniezno.

Dalej obniżenie wartości prądów w rurociągu rejestruje się do miejsca skrzyżowania rurociągu z nieelektryfikowanymi torami PKP Poznań – Oborniki (83-84 km), przed przekroczeniem Warty.

Na kolejnym odcinku rurociągu (90 km), w okolicy miejsca zainstalowania stacji katodowej „Morasko” - rejestrowany jest przyrost prądu, dalej zaś jego spadek do skrzyżowania z liniami zelektryfikowanymi PKP Poznań – Szczecin i Poznań – Berlin.

Pewien przyrost natężenia prądu rejestruje się na ostatnim odcinku rurociągu przed wejściem na ST-5, za miejscem zainstalowania SOK „Dalekie”.

Porównując dane pomiarowe z obu przejazdów inspekcyjnych pomimo dużych różnic w poziomie rejestrowanych chwilowych wartościach prądów, istnieje znaczne podobieństwo charakteru ich przebiegu tj. miejscach przyrostów, spadków i kierunków tych zmian.

Na podstawie analizy przebiegu zmian i kierunków przepływu prądów, zarejestrowanych w obu inspekcjach, można stwierdzić, że rurociąg stanowi zamknięcie obwodu prądów błądzących pomiędzy trakcją zelektryfikowaną PKP Poznań – Bydgoszcz, a trakcją zelektryfikowaną PKP Poznań – Warszawa.

Na podstawie porównania wielkości zarejestrowanych spadków napięć w obu przejazdach inspekcyjnych można stwierdzić, że istnieją poważne różnice natężenia prądów błądzących pojawiających się w różnych okresach (porach) roku.

Wartości prądów określone na podstawie zmierzonych spadków napięć są wielokrotnie większe niż prądy katodowe i jako takie mogą pochodzić tylko ze źródeł obcych – świadczy to, że prądy płynące w ścianie rurociągu są w głównej mierze prądami błądzącymi.

Ze względu na fakt, że prądy błądzące w badanym rurociągu swoją wartością znacznie przewyższają wartości prądów podawanych przez poszczególne stacje katodowe na trasie (tab.1), nie jest możliwe na podstawie pomiaru od wnętrza rurociągu

jednoznaczne wyznaczenie miejsc przyłączenia ich kabli drenażowych na podstawie wyznaczenia składowej stałej

Na wykresach z naniesioną tendencją zmian spadków napięć w miejscach usytuowania stacji katodowych istnieją zauważalne zmiany rejestrowanych wielkości i kierunku tych zmian. Ze względu jednak na fakt, że podobne zmiany występują również i w innych miejscach, utrudnione jest ich określenie ich jako miejsc przyłączenia kabli drenażowych.

Zgodnie z zasadą rozptyłu prądów ochrony takich obiektów jak podziemny rurociąg, na granicy strefy działania SOK w przypadku braku prądów błądzących powinien występować zanik a następnie przyrost i zmiana kierunku prądu aż do następnego punktu drenażu kolejnej stacji SOK.

Ze względu jednak na charakter i wielkości prądów błądzących płynących rurociągiem maskowany jest zasięg prądów katodowych poszczególnych stacji SOK i tym samym wyznaczenie stref ich działania.

7. Podsumowanie

Opracowany i sprawdzony w skali technicznej w dwóch przejazdach inspekcyjnych sposób badania prądów błądzących i prądów katodowych w rurociągach tłokiem inteligentnym VOLPIG jest nową metodą oceny skuteczności ochrony elektrochemicznej rurociągów przesyłowych ropy, gazu i produktów finalnych, umożliwiającą:

- szybkie uzyskanie profilu rozptyłu prądów płynących w rurociągu na całej badanej trasie,
 - określenia miejsc, w których prądy wpływają i wypływają z rurociągu, tj. źródeł prądów błądzących,
 - wykonanie pomiaru na całej trasie rurociągu bez konieczności prowadzenia długotrwałych i uciążliwych badań terenowych,
 - przeprowadzenie badań w różnych okresach, niezależnie od pór roku,
 - łatwe porównanie zmian mogących pojawić się okresowo w natężeniu i rozptywie prądów płynących w rurociągu,
 - określenie obszarów lub miejsc z potencjalnie osłabioną powłoką izolacyjną,
- wstępne wyznaczenie miejsc, w których, dla precyzyjnej lokalizacji uszkodzeń izolacji, zalecane będzie wykonanie pomiarów DCVG z powierzchni ziemi.

Metoda ta wymaga jednak dalszego opracowania zarówno metodologicznego jak i interpretacyjnego. Możliwe to będzie po przeprowadzeniu dalszych planowanych przejazdów inspekcyjnych z rejestracją zmian potencjału rurociągu mierzonego w miejscach przystosowanych do tego typu pomiaru wzdłuż całej trasy.

Przy przewidywanym wydłużeniu VOLPIGa i zastosowaniu trzeciego zestawu pinów, dwa istniejące kanały woltomierza umożliwią wykonanie pomiaru różnicowego między nimi. Pomiar taki umożliwi dokładną lokalizację miejsc wejść i wyjść prądów katodowych i prądów błądzących a tym samym bardzo dokładne wyznaczenie miejsc osłabienia bądź uszkodzenia powłok izolacyjnych.

Metoda pomiaru prądów błądzących od wnętrza rury powinna znaleźć szerokie zastosowanie w inspekcji rurociągów pokrywanych powłokami PE, gdzie wartości prądów katodowych są bardzo małe a wszystkie rejestrowane prądy będą praktycznie prądami błądzącymi. Również i w tym przypadku łatwiejsza i dokładniejsza będzie lokalizacja miejsc uszkodzeń izolacji.