



**SYSTEM REJESTRACJI PRĄDÓW BŁĄDZĄCYCH W TUNELACH
WARSZAWSKIEGO METRA**

**STRAY CURRENT COMPUTER RECORDING SYSTEM IN WARSAW
METRO TUNNELS**

· Dziuba Władysław, Dąbrowski Józef

Instytut Elektrotechniki
Zakład Trakcji Elektrycznej
ul. Pożaryskiego 28
04-703 Warszawa

Słowa kluczowe: tunel metra, prądy błędzące, rejestracja komputerowa
Keywords: metro tunnel, stray current, computer recording

Streszczenie

Opisano komputerowy system zdalnej rejestracji prądów błędzących w tunelach warszawskiego metra i opracowany w tym celu specjalny program RPB. Podano usytuowanie punktów pomiarowych, ich połączenia z centralami pomiarowymi i zestawienie mierzonych w nich wielkości. Przedstawiono możliwe parametry jednoczesnej rejestracji 48 wielkości w każdej centrali pomiarowej według programu RPB. Omówiono różne opcje obróbki i prezentacji wyników pomiarów za pomocą programu RPB ilustrowane przykładami z wykonanych rejestracji.

Summary

Stray currents computer remote control recording system in Warsaw metro tunnels and the specially designed for this case computer program RPB have been described. Location of measurements points, their connections with measurements centres and a list of magnitudes measured in this points has been given. The possible parameters of synchronous recording of 48 magnitudes at every measurements centre according to RPB computer programm were presented. Various options of measurements analysis and their presentation according to RPB programm illustrated by examples of performed recordings has been shown.

1. Wstęp.

Ponieważ badania prądów błądzących w metrze muszą się odbywać w czasie ruchu pociągów, kiedy wstęp do tuneli ze względów bezpieczeństwa jest zabroniony, opracowano system zdalnej rejestracji komputerowej wielkości, które charakteryzują te prądy, i są mierzone na rozmieszczonych w tunelu punktach pomiarowych. Niżej podano opis tego systemu oraz omówienie zastosowanego do jego obsługi programu RPB (Rejestracja Prądów Błądzących) służącego do rejestracji pomiarów, ich obróbki i prezentacji wyników. Pierwsza podstawowa wersja tego programu została opracowana przez zmarłego przedwcześnie mgr inż. Sławomira Nurka [1]. Następnie program był uzupełniany i korygowany [2] osiągając formę tu opisaną, zweryfikowaną z pomyślnym wynikiem w praktyce, podczas wielu pomiarów wykonanych w czasie rozruchu warszawskiego metra i kontynuowanych już w czasie jego eksploatacji.

2. Mierzone wielkości, punkty i centrale pomiarowe.

W systemie rejestracji prądów błądzących zastosowanym w warszawskim metrze mierzone są następujące wielkości:

ST - napięcie między szynami jezdnyymi metra i tunelem, pozwalające na określenie stref

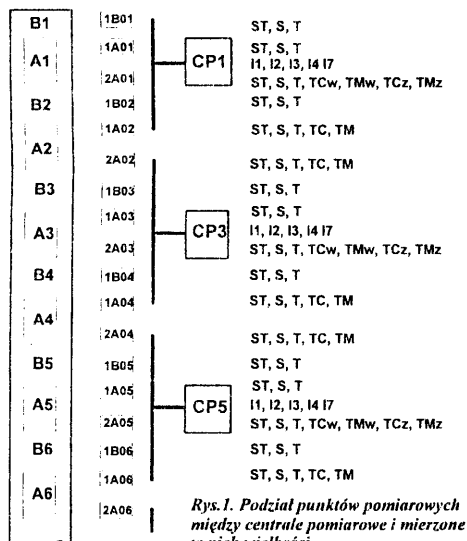
upływu i powrotu prądów do szyn;

S - spadek napięcia w szynach między sąsiednimi punktami pomiaru, umożliwiający ustalenie kierunku prądu w szynach;

T - spadek napięcia w tunelu lub jego zbrojeniu na odcinku między sąsiednimi punktami pomiarowymi, co pozwala na wyznaczenie prądu płynącego w tunelu na podstawie znanej, uprzednio zmierzonej, rezystancji tego odcinka tunelu;

TCw lub TCz - potencjał zbrojenia tunelu względem cynkowej elektrody odniesienia umieszczonej na zewnątrz tunelu przy jego ścianie wschodniej lub zachodniej;

I1...I4 lub IP - prądy poszczególnych zasilaczy lub cały prąd obciążenia podstacji trakcyjnej;



Rys.1. Podział punktów pomiarowych między centrale pomiarowe i mierzone w nich wielkości.

STrT - napięcie szyny pobliskiego toru tramwajowego względem tunelu lub jego zbrojenia.

Na pierwszym odcinku metra mierzy się także rezerwowo potencjały (TM) tunelu względem przeznaczonych do ciągłej pracy elektrod odniesienia Cu/CuSO₄, ale elektrody te już po okresie 3...5 lat od zakopania przestały pracować zadawalająco.

Pomiary wszystkich powyższych wielkości wykonuje się za pośrednictwem przetworników pomiarowych PU51 lub PU70, które przetwarzają napięcie "stałe" doprowadzane do ich zacisków wejściowych na sygnał "stałoprądowy" o wartości 0...±5 mA zależny od wartości

mierzonego napięcia. Sygnał prądowy jest następnie podawany na precyzyjny rezystor o wartości 800 Ω zainstalowany w centrali pomiarowej (CP), a z tego rezystora - za pośrednictwem złączy wielowtykowych - na wejście kart przetworników A/C w komputerze rejestrującym przebiegi wszystkich wielkości mierzonych w zasięgu danej CP.

Punkty pomiarowe w tunelu zostały rozmieszczone w północnych i południowych głowicach stacji oraz na środku odcinków szlakowych; są to szafki, w których znajdują się listwy zaciskowe i przetworniki pomiarowe. Do wejść przetworników dołączone są ekranowane połączenia ze zbrojeniem tunelu, z szynami jezdnyymi metra i szynami tramwajowymi oraz z elektrodami odniesienia, a także z bocznikami w podstacjach trakcyjnych. Wyjścia przetworników są połączone za pośrednictwem żył kabli telekomunikacyjnych z odpowiednią centralą pomiarową. Oznaczenie każdego punktu pomiarowego zawiera kolejny numer punktu na odcinku i numer odcinka szlakowego lub stacyjnego tunelu według zasady przyjętej w metrze; tak np. 2A03 jest drugim, licząc od południa, punktem pomiarowym stacji A3.

Nie wszystkie wielkości są rejestrowane w każdym punkcie pomiarowym; na rys.1 podano oznaczenia wielkości mierzonych w kolejnych punktach pomiarowych na początkowym południowym fragmencie tunelu metra. Z rysunku widać także, z którą centralą pomiarową są połączone poszczególne punkty pomiarowe. Została przyjęta zasada, że każda CP znajduje się na stacji nieparzystej, tak jak i podstacje trakcyjne. W ten sposób 6 punktów pomiarowych przyłączonych do danej CP przekazuje wykonywane jednocześnie pomiary na całym teoretycznym obszarze zasilania odpowiedniej podstacji trakcyjnej.

Trzy karty przetworników A/C w komputerze pomiarowym umożliwiają jednoczesny pomiar 48 wielkości, co w centralach pomiarowych pierwszego odcinka metra nie było wykorzystane (por. rys.1). Ale już na nowym, obecnie budowanym odcinku między stacjami Politechnika i Centrum, będą potrzebne pełne możliwości przygotowanego do badań komputera.

3. Sposób rejestracji i prezentacji wyników.

Wspomniany program RPB napisany w języku Turbo Pascal, a użytkowany w postaci pakietu egzekucyjnego z rozszerzeniem EXE, w celu zmieszczenia się w pamięci operacyjnej komputera składa się z szeregu oddzielnych procedur. Generalnie zawiera dwie zasadnicze ścieżki, z których jedna służy do zbierania wyników pomiarowych na CP i zapisywania ich w pamięci komputera na twardym dysku w postaci zbioru, zaś druga jest wykorzystywana przy opracowywaniu odczytywanych z twardego dysku wyników rejestracji.

3.1. Rejestracja.

Możliwe są dwa rodzaje rejestracji wyników, a mianowicie tzw. rejestracja "ze zliczaniem" i "bez zliczania". Rejestracja ze zliczaniem polega na tym, że dla zadanych odstępów czasu obliczane są wartości średnie (także średnie dodatnie i ujemne) i wybierane wartości ekstremalne każdej mierzonej wielkości i tylko one są zapisywane w pamięci komputera do późniejszego opracowania, natomiast wszystkie pozostałe wartości chwilowe są z tej pamięci wymazywane; w wyniku takiej rejestracji otrzymuje się zbiór wartości średnich i ekstremalnych dla przyjętych odstępów czasu. Rejestracja bez zliczania polega na zapisywaniu w pamięci komputera do późniejszej obróbki wszystkich wartości chwilowych każdej mierzonej wielkości.

Przed rozpoczęciem rejestracji ekran komputera przedstawia się jak na rys.2 i trzeba wówczas do komputera wprowadzić następujące informacje i wymagania:

PARAMETRY REJESTRACJI																
CENTRALE POMIAROWE	C01	C03	C05	C07	C09	C11	C13	C15	C17	C19	C21	C23	C25	C27	C29	C31
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CZESTOSC PRÓBKOWANIA							CZAS ZLICZANIA									
CZAS ROZPOCZĘCIA POMIARU							RR. MM. DD. GG. MM			TERAZ						
CZAS ZAKOŃCZENIA POMIARU							RR. MM. DD. GG. MM									
<p>F1 - OBJAŚNIENIA</p> <p>TERAZ: 96.04.18.15.19.52</p>																

Rys.2. Obraz ekranu komputera gotowego do ustalenia parametrów rejestracji

- 1^o - wybór centrali pomiarowej, w której ma być prowadzona rejestracja; charakterystyczne cechy obszaru danej centrali (oznaczenia punktów pomiarowych i mierzonych wielkości, wzdluzne rezystancje odcinków tunelu, odległości między punktami pomiarowymi itp.) są wprowadzone do programu wcześniej - program RPB musi być zatem uzupełniany o kolejne centrale pomiarowe w miarę rozbudowy metra.
- 2^o - wpisanie zadanej częstości próbkowania, przy czym możliwy jest wybór: 5/s, 2/s, co 1 s, co 2 s, co 3 s, co 5 s, co 10 s.
- 3^o - wybór opcji rejestracji ze zliczaniem przez wpisanie czasu zliczania (możliwe wartości: 6, 3, 2 lub 1 godzina, 30, 20, 15, 10, 5, 3, 2, lub 1 minuta, 30, 20, 15, 10, 5, 3, 2, lub 1 s) lub wybór opcji bez zliczania.
- 4^o - wpisanie zadanego czasu rozpoczęcia rejestracji: rok, miesiąc, dzień, godzina, minuta lub słowo TERAZ, jeżeli rejestracja ma się rozpocząć natychmiast po wprowadzeniu jej wszystkich parametrów.
- 5^o - wpisanie zadanego czasu zakończenia rejestracji

Poprawne wprowadzenie powyższych danych powoduje samoczynne przejście komputera do fazy oczekiwania na rozpoczęcie pomiaru, a po nadejściu zaprogramowanego czasu początku rejestracji zaczyna się pomiar i zapis wyników. Zbiorowi wyników wpisanemu na dysk komputera zostaje automatycznie nadana nazwa według specjalnego kodu wyróżniająca jednoznacznie każdą rejestrację.

3.2. Prezentacja wyników.

Możliwości programu RPB przy analizie wyników pokazuje rys.3., przedstawiający obraz ekranu. Możliwości te omówiono niżej, stosując oznaczenia literowe przyjęte w menu według rys.3.

A - PARAMETRY POMIARU
B - WYNIKI PODSTAWOWE
C - TABELA NA EKRRANIE
D - TABELA NA DRUKARCE
E - WYKRES NA EKRRANIE (t)
F - WYKRES NA DRUKARCE (t)
G - KORELACJE EKRR/DRUK
H - WYKRES NA EKRRANIE (x)
I - WYKRES NA DRUKARCE (x)
J - WYNIKI INNE
Z - ZBIOR WYNIKOW
Esc - powrot do DOS-u

Rys.3. Obraz ekranu komputera do wyboru opcji analizy wyników pomiarów.

A - PARAMETRY POMIARU - funkcja służąca do przypomnienia parametrów pomiaru przyjętych dla wybranego zbioru przed uruchomieniem rejestracji.

B - WYNIKI PODSTAWOWE - funkcja ta przedstawia w formie tabeli obliczone rezultaty rejestracji, a przede wszystkim wartości średnie i ekstremalne zapisanych wielkości dla wybranej części lub dla całego czasu pomiaru, przy czym możliwy jest wybór tylko niektórych wielkości z całego zbioru. Dla wersji bez zliczania tablica przedstawia wyniki obliczone z zapisanych w pamięci komputera wartości chwilowych (rys.4.), a dla wersji ze zliczaniem - z zapamiętanych wartości średnich i ekstremalnych w okresach zliczania.

C - TABELA NA EKRRANIE - ta opcja umożliwia przeglądanie na ekranie komputera wszystkich

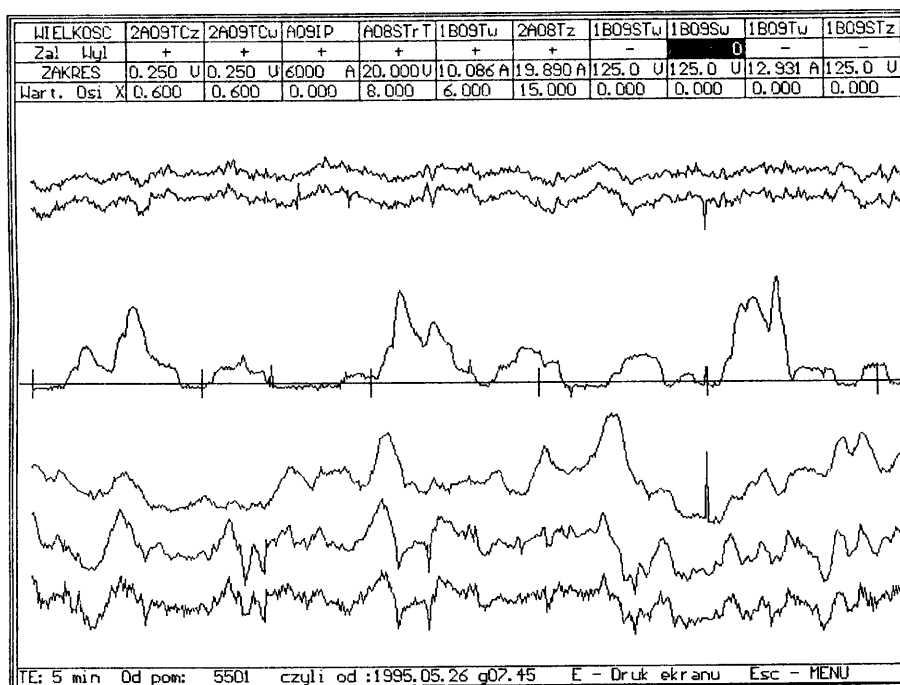
POMIAR : >r950526a<		Probkowanie : 2/sek		Zliczanie : bez zi				
WYNIKI OBLICZEN		od Pomiaru : 1		czyli od 1995.05.26 g07.00				
		do Pomiaru : 7320		czyli do 1995.05.26 g08.01				
SYMBOL	ZAKR.	MIN	MAX	SR	SR -	SR +	Udz.+	G
2A08STw	125 V	-25.635	16.846	-2.060	-3.398	1.338	0.419	0.282
2A08Sw	125 V	-5.737	7.202	0.225	-0.321	0.546	0.582	0.630
2A08T _w	187.5mV	-33.691	20.325	-2.240	-3.606	1.366	0.339	0.275
2A08T _z	187.5mV	-39.368	24.353	-4.298	-5.607	1.309	0.273	0.189
2A08T _{wz}	1.25 V	-0.653	-0.175	-0.377	-0.377	0.000	0.000	0.000
2A08T _{cz}	1.25 V	0.629	0.759	0.695	0.000	0.695	1.000	1.000
1B09ST _w	125 V	-25.879	16.846	-2.274	-3.533	1.260	0.392	0.263
1B09Sw	125 V	-4.150	6.409	0.425	-0.120	0.545	0.589	0.620
1B09T _w	187.5mV	-31.860	37.903	1.565	-2.818	4.383	0.561	0.609
1B09T _z	125 V	-31.555	18.738	-2.232	-3.666	1.434	0.409	0.281
1B09T _z	187.5mV	-65.460	68.298	3.074	-5.310	8.384	0.564	0.612
1A09ST	125 V	-27.771	17.395	-2.787	-3.848	1.061	0.349	0.216
1A09S	125 V	-2.197	5.554	0.320	-0.147	0.468	0.460	0.761
1A09T	187.5mV	-86.700	63.904	2.045	-1.653	3.699	0.647	0.691
2A09ST	125 V	-30.762	17.029	-3.492	-4.361	0.869	0.294	0.166
2A09Sw	125 V	-9.155	2.441	-0.447	-0.566	0.119	0.439	0.174
2A09T _w	1.25 V	-0.264	-0.183	-0.232	-0.232	0.000	0.000	0.000
2A09T _{wz}	1.25 V	0.721	0.798	0.763	0.000	0.763	1.000	1.000
2A09T _{cz}	1.25 V	-0.220	-0.145	-0.185	-0.185	0.000	0.000	0.000
2A09T _{cz}	1.25 V	0.744	0.851	0.785	0.000	0.785	1.000	1.000
2A09T _{wz}	12.5mV	-12.500	12.494	-0.897	-1.169	0.272	0.283	0.189
2A09T _z	75 mV	-33.289	23.987	-1.478	-1.698	0.220	0.177	0.115
A08STrT	31.25V	-2.167	5.768	0.860	-0.141	1.001	0.767	0.876
A09IP	A	-415.0	2521	349.9	-24.247	374.104	0.682	0.939
1B10ST _w	125 V	-33.508	19.592	-2.770	-4.158	1.388	0.387	0.250
1B10Sw	125 V	-9.460	5.188	-0.408	-0.623	0.215	0.456	0.257
1B10T _w	187.5mV	-37.628	54.199	4.106	-2.519	6.625	0.640	0.724
1B10ST _z	125 V	-30.151	18.005	-2.723	-3.974	1.251	0.393	0.239
1B10T _z	187.5mV	-68.665	87.982	8.566	-4.190	12.755	0.666	0.753
1A10ST	125 V	-51.697	41.260	-2.486	-4.929	2.444	0.416	0.331
1A10S	125 V	-16.968	18.372	-0.101	-0.950	0.849	0.500	0.472
1A10T	75 mV	-17.139	26.880	3.393	-0.472	3.865	0.806	0.891
1A10T _{wz}	1.25 V	-0.349	-0.172	-0.266	-0.266	0.000	0.000	0.000
1A10T _{cz}	1.25 V	0.663	0.895	0.778	0.000	0.778	1.000	1.000

Rys. 4. Tablica wyników podstawowych według opcji B dla rejestracji w CP9 bez zliczania. W tunelu kursowało 9 pociągów, w odstępach co 5.5 mim.

zapisanych kolejno wartości; w przypadku pomiaru ze zliczaniem każda wielkość jest opisana czterema wartościami dla każdego okresu zliczania (wartość maksymalna, średnia z wartości dodatnich, średnia z wartości ujemnych, wartość minimalna).

D - TABELA NA DRUKARCE - ta funkcja umożliwia wydrukowanie zarejestrowanych i zapamiętanych wartości jak w opcji C; można do wydruku wybrać zarówno interesujące wielkości jak i interesujący odcinek czasu rejestracji.

E - WYKRES NA EKRANIE (t) - jest to opcja, która umożliwia przedstawienie na ekranie wykresów rejestrowanych wielkości w funkcji czasu; operator wybiera interesujący go odcinek czasu rejestracji, interesujące go wielkości, może zmieniać ich zakres od 1 do 200% zakresu standardowego, przesuwać położenie osi poziomej i rozciągać w przedziale od 6 s do 24 godzin fragment przebiegu pokazywanego na ekranie. W przypadku zapisu ze zliczaniem można dla każdej wielkości otrzymać zarówno wykresy wartości średnich jak i ekstremalnych, zapisanych dla każdego odcinka czasu zliczania. Obraz ekranu można wydrukować (rys.5.).

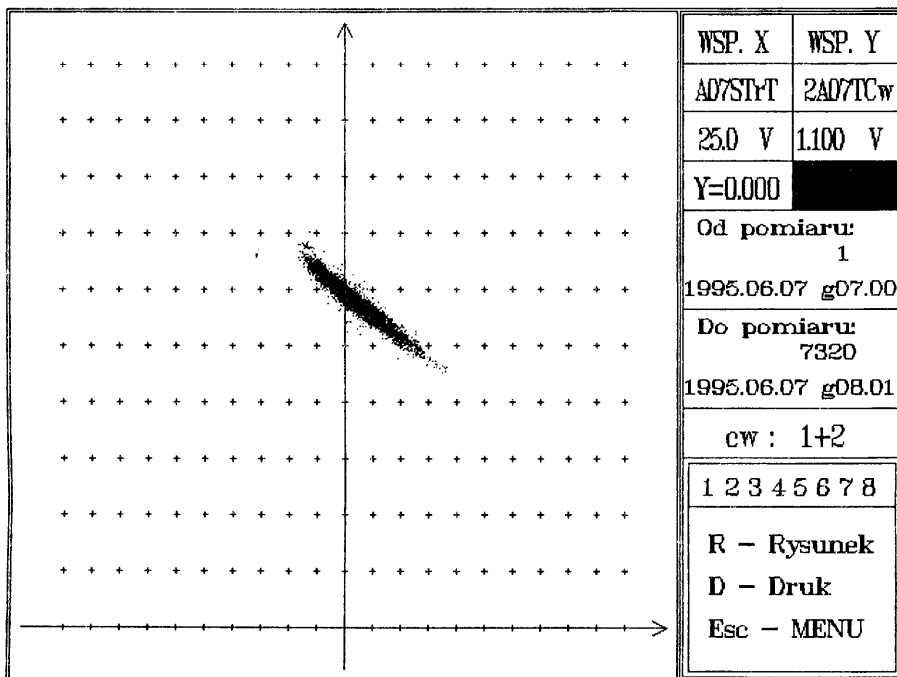


Rys. 5. Widok przykładowych przebiegów czasowych wielkości mierzonych według opcji E. Kolejno od góry znajdują się: 2A09TCz, 2A09TCw, A09IP, A08STrT, 1A09Tw, 2A08Tz. Rejestrację wykonano podczas kursowania pociągów metra co 5,5 minuty.

F - WYKRES NA DRUKARCE (t) - funkcja umożliwia użycie drukarki do otrzymania od 1

do 4-ech przebiegów wybranych wielkości w funkcji czasu z nastawą zakresu, skali czasu, wielkości przesunięcia osi czasu, stosownie do potrzeb i rozmiarów papieru w drukarce.

G - KORELACJE EKR/DRUK - ta opcja służy do rysowania na ekranie komputera zależności między parą dowolnych zarejestrowanych wielkości, z możliwością wyboru ich zakresu, przesunięcia osi poziomej i pionowej, fragmentu czasu rejestracji oraz numeru ćwiartki (lub ćwiartek) układu osi współrzędnych, które mają być pokazane na rysunku. Obraz ekranu drukarka może przenieść na papier (rys.6).



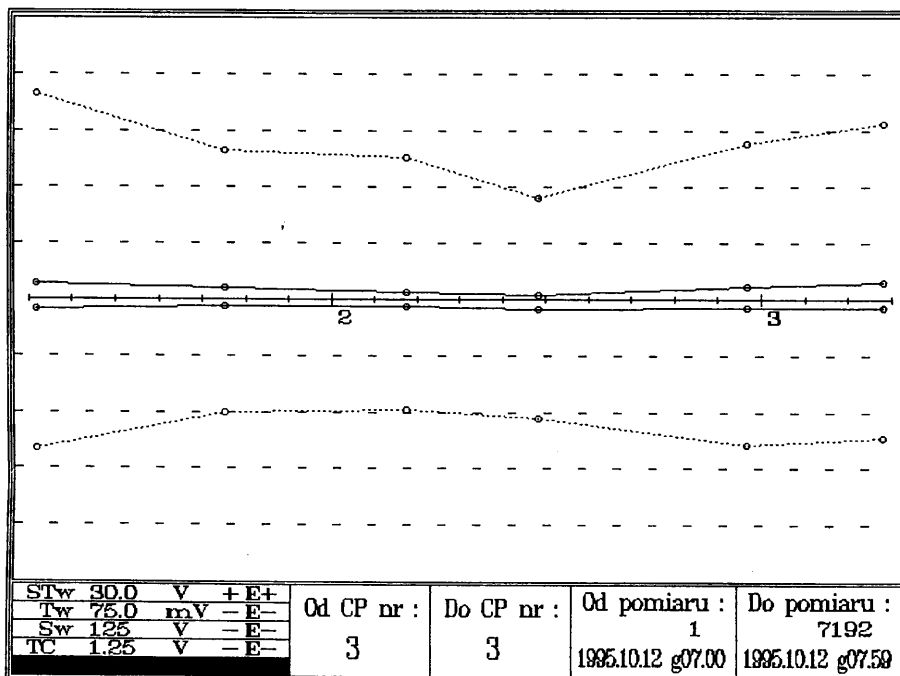
Rys.6. Widok ekranu komputera przedstawiający korelację potencjału tunelu 2A07TCw względem napięcia szyny tramwajowe - tunel A07STrT przy stacji A7. Godzinna rejestracja w okresie porannego szczytu komunikacyjnego.

H - WYKRES NA EKRANIE (x) - jest to wykres wartości średnich i ewentualnie ekstremalnych (linie przerywane) w funkcji długości tunelu, według wprowadzonego do programu hektometrażu usytuowania punktów pomiarowych, dla wybranego okresu rejestracji. Na ekranie widoczny jest hektometraż i pomocnicza siatka skali wartości. Obraz ekranu można przenieść na drukarkę (rys.7).

I - WYKRES NA DRUKARCE (x) - sposób programowania rysunku jest podobny do opcji H, ale rysunek może być większy.

J - WYNIKI INNE - dla wybranych dwóch zarejestrowanych wielkości oznaczonych jako y oraz x oblicza się w tej opcji najbardziej prawdopodobną wartość Y_0 dla $x = 0$, a następnie,

przyjmując Y_0 jako nowy poziom odniesienia, można obliczyć wartości średnie dodatnie i ujemne Y_{sr+} i Y_{sr-} względem Y_0 , a także liczbę wartości dodatnich i ujemnych (n_{0+} i n_{0-}) oraz współczynniki asymetrii $G1$ i $G2$ przebiegu $y = f(x)$ względem osi Y_0 . Współczynnik $G1$ oblicza się jako stosunek liczby wartości dodatnich n_{0+} do sumy n_{0+} i n_{0-} ; tak samo oblicza się $G2$, z tym że zamiast n_{0+} i n_{0-} podstawia się odpowiednio Y_{sr+} i Y_{sr-} . Opcja J analizy wyników jest najbardziej przydatna podczas analizy wyników pomiarów potencjału tunelu względem ziemi, np. w celu obliczenia potencjału bez składowej IR zgodnie z interpretacją podaną w [3].



Rys. 7. Widok ekranu komputera przedstawiający wykres wartości średnich i maksymalnych napięcia między szynami jezdnymi a konstrukcją tunelu ST uzyskanych w obrębie trzeciej centrali pomiarowej podczas rejestracji w godzinach porannego szczytu.

Literatura.

1. - Nurek S.: Instrukcja korzystania z programu zapisywania, obróbki i prezentacji wyników zdalnych pomiarów prądów błądzących na komputer IBM PC (wersja 1). Opracowanie nr 93/3//U 92/2 PTU "KERUN", Warszawa, maj 1993 (niepubl.).
2. - Dziuba W., Pszczołkowski W.: Instrukcja korzystania z programu RPB do rejestracji, obróbki i prezentacji wyników zdalnych pomiarów prądów błądzących (wersja nr 3). Opracowanie nr 06/94 PER Sp. z o.o., Warszawa, sierpień 1994 (niepubl.).
3. - Dziuba W.: Sieć powrotna i prądy błądzące. Wydawnictwa Książkowe Instytutu Elektrotechniki. Warszawa 1995.