

Różnice w zagrożeniu korozyjnym od prądów błędzących sieci kolejowej, tramwajowej, metra

Zelektryfikowany transport szynowy jest źródłem zagrożenia korozyjnego dla podziemnych konstrukcji metalowych (PKM) znajdujących się w obszarze oddziaływania prądów błędzących. Do oceny korozyjnego zagrożenia PKM w strefie działania prądów błędzących od prawie dwudziestu lat proponowana jest metoda korelacyjna [1].

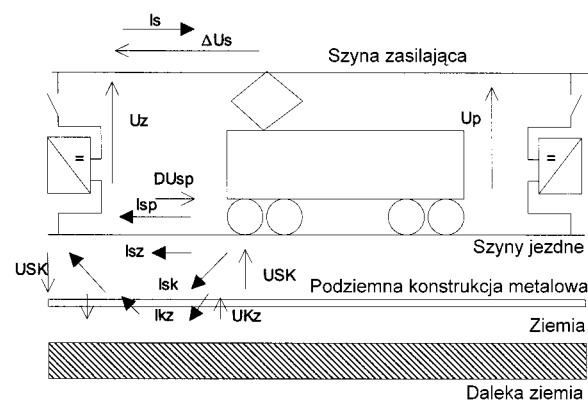
W artykule przedstawiono różnice, jakie są rejestrowane na przebiegach czasowych oraz obrazach korelacji uzyskanych w czasie badań różnych obiektów PKM i torowisk zelektryfikowanej trakcji.

Torowisko jako źródło prądów błędzących

Prądy błędzące w ogólnym pojęciu, to takie, które upływają z obwodów elektrycznych do otaczającego te obwody środowiska elektrolitycznego (np. ziemi) w wyniku niedostatecznego izolowania tych obwodów lub ich części od środowiska. W przypadku trakcji elektrycznej obwodem elektrycznym jest obwód zasilania pojazdów składający się z sieci jezdnej (zasilającej od strony wysokiego potencjału) i sieci powrotnej (sieci szynowej i przewodów powrotnych [2]). W przypadku tramwajów i kolei sieć jezdna jest bezpośrednio zawieszona nad torami, natomiast na metrze znajduje się z boku torów. W stosunku do sieci powrotnej oraz ziemi sieć jezdna ma izolację spełniającą wymagania wynikające ze znamionowej wartości napięcia zasilającego daną sieć. Sieć szynowa składa się z szyn jezdnych i ich połączeń elektrycznych. Izolację w stosunku do ziemi stanowią podkłady torów, tłuczeń i podsypka (torowisko). W przypadku warszawskiego metra zastosowano specjalny sposób mocowania szyn pokazany między innymi w [3]. Zasadniczym zadaniem szyn jezdnych jest zapewne zmniejszenia oporów ruchu dla pojazdu, a dodatkowo są one częścią składową obwodu zasilania prądem pojazdu trakcyjnego z podstacji oraz w przypadku ruchu kolejowego i metra wykorzystywane są do przesyłania prądów sygnalizacyjnych sterowania ruchu. Ze względu na sposób przesyłania prądów sygnali-

zacyjnych różni się obwody torowe bezślączkowe oraz zawierające szynowe złącza izolowane i dławiki torowe. We wszystkich przypadkach dodatkowym zadaniem sieci szynowej jest zapewnienie ochrony przeciwporażeniowej i ziemnozwarciowej, dlatego też wykorzystywana jest ona jako przewód ochronny, do którego dołączone są izolowane części urządzeń pracujących w strefie oddziaływania trakcji elektrycznej. Najczęściej do kolejowych i tramwajowych szyn jezdnych przyłączane są konstrukcje wsporcze sieci jezdnej. W metrze na stacjach wykorzystywany jest specjalny zestaw urządzeń ciągłej kontroli napięcia rażenia, który w przypadkach przekraczania dopuszczalnej wartości napięcia rażenia prądu stałego lub zmiennego zwiera konstrukcję tunelu z szynami jezdny, tworząc układ równoległy z konstrukcją i szyn dla przepływu prądu trakcyjnego lub zwarcia. Na kolei od kilku lat wprowadzany jest zbliżony ideą działania układ uszynień grupowych [4], dzięki któremu w normalnym stanie pracy nie zmniejsza się rezystancji przejścia szyny – ziemia.

Szyny jezdne wraz z połączeniami elektrycznymi zwane są siecią powrotną, z racji tego, że prąd elektryczny (I_{sp} – rys. 1) znajdujący się w nich wykonał już zasadnicze zadanie w obwodach napędowych pojazdu i powraca do podstacji. W Polsce występuje zelektryfikowana trakcja tramwajowa, kolejowa, a od kilku lat trakcja metra. Wszystkie są zasilane napięciem stałym o wartości znamionowej U_z zależnej od rodzaju środka transportu – tramwaje 600 V, kolej 3000 V i metro 825 V. Zasadniczo biegun dodatni zasilaczy na podstacjach trakcyjnych przyłączany jest do sieci jezdnej, z której za pomocą pantografów zdejmowane jest napięcie U_p do obwodów trakcyjnych pojazdów. Biegun ujemny przyłączany jest do sieci powrotnej. Prąd trakcyjny I_s pobierany przez pojazd z podstacji w sieci powrotnej ze względu na znacznie niższe wartości rezystancji izolacji tej części obwodu od ziemi rozgałęzia się na dwa: I_{sz} – prąd płynący w szynach oraz I_{sk} , tj. sumę prądu płynącego w ziemi i wpływającego do PKM. Ze względu na izolację PKM oraz warunki glebowe możliwa jest również wymiana prądu między ziemią a PKM, zaznaczona na rysunku 1 jako I_{kz} . W zasadzie zjawisko to nie jest istotą tego artykułu, ale oddziaływanie ogniów galwanicznych przy prądach błędzących jest spotykanym faktem.



Rys. 1. Szkic oddziaływania prądów błędzących z szyn jezdnych zelektryfikowanej trakcji na podziemne konstrukcje metalowe

Napięcie występujące między szynami jezdnymi a daleką ziemią U_{sk} oraz wartość prądu w szynach I_{sz} i w ziemi ($I_{sk} + I_{kz}$) są wyznaczane teoretycznie [5] dla dwóch przypadków obciążenia:

- 1) skupionego w miejscu aktualnej pozycji pojazdu względem podstacji zasilających;
- 2) równomiernie rozłożonego na całej długości odcinka między podstacją a pojazdem.

Przyjęcie wartości średniorocznych obciążenia dla każdego odcinka zasilania służy do zaprojektowania sieci powrotnej spełniającej wymagania normy [2].

Szyny jezdne układane na torowiskach kolejowych, metra i tramwajowych mogą różnić się typem, z czym bezpośrednio związane są inne parametry rezystancji wzdłużnej 1 m nowej szyny, jak i zbudowanych z nich torów. Z danych zamieszczonych w pozycji [5] literatury wynika, że rezystancja wzdłużna szyn tramwajowych może być do 1,5 razy większa niż kolejowych, a to ze względu na mniejszą masę jednostkową, a zatem i mniejsze przekroje poprzeczne szyn tramwajowych.

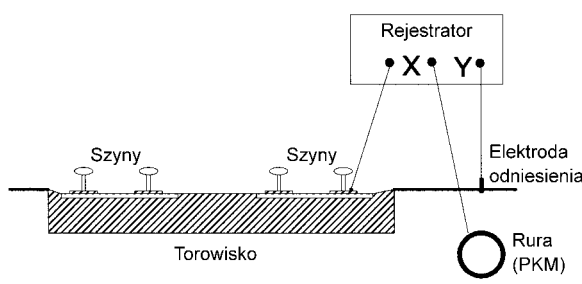
Po szynach kolejowych, tramwajowych i metra poruszają się pojazdy o różnych mocach znamionowych zainstalowanych na nich silników napędowych zestawionych przykładowo za [5] w tablicy 1.

Na kolei występuje największe zróżnicowanie kursujące po szynach taboru, jego masy i prędkości jazdy, co w sposób pośredni zostało zasygnalizowane w tablicy 1.

Ostatnim parametrem charakteryzującym sieć powrotną jest rezystancja r_p przejścia między torami jezdny i ziemią. Wielkość ta trudna organizacyjnie do pomiaru [2], w literaturze podawana jest dużym rozrzutem przez poszczególnych autorów dla torów o zbliżonych konstrukcjach. Wynikać to może z faktu rozmaitego stopnia zużycia – zanieczyszczenia występującego na elementach łączących szyny z podkładami oraz samego tłucznia lub żwiru. W literaturze [6, 5] wyrażony jest pogląd, że najmniejsze wartości r_p osiągają toru tramwajowe ($0,02 \div 1,0 \Omega \text{ km}$), pośrednie są na torach kolejowych ($0,3 \div 5,0 \Omega \text{ km}$), a największe dla tunelowych odcinków metra ($0,51 \div 30,0 \Omega \text{ km}$). Dla polskich warunków interesujące zestawienie wartości parametrów trakcyjnych sieci kolejowych podano w literaturze [7, 8].

Ocena zagrożenia korozyjnego PKM w strefie oddziaływania prądów błędzących

Na rysunku 2 pokazano schematycznie układ pomiarowy wykorzystywany do oceny zagrożenia PKM znajdującej się



Rys. 2. Układ pomiarowy do wyznaczenia zależności korelacyjnej w strefie oddziaływania prądów błędzących z wykorzystaniem dwukanałowego rejestratora

w pobliżu szyn zelektryfikowanej trakcji. W metodzie tej wykorzystuje się zależność potencjału e konstrukcji metalowej względem elektrody odniesienia najczęściej siarczano-miedziowej Cu/CuSO_4 od napięcia U jakie panuje między tą konstrukcją a szyną jezdnią. Dostępność i rozwój tej metody są nierozłącznie związane z osiągnięciami w zakresie elektroniki – układów mikroprocesorowych oraz informatyki. Cyfrowy pomiar wielkości X i Y pozwala na obróbkę statystyczną tych wielkości i w efekcie wyliczenie wielu parametrów wykorzystywanych do oceny zagrożenia korozją elektrochemiczną PKM. Należy zwrócić uwagę, że w metodzie korelacyjnej ujemny zacisk wejścia X przyłączany jest do jednej szyny niezależnie czy torowisko jest jedno-, dwu-, czy wielotorowe. W praktyce pomiarowej najczęściej jest to szyna najbliższa elektrody i PKM. Odniesieniem dla obu wejść X i Y jest PKM, od której przewód pomiarowy jest przyłączany do dodatniego zacisku przyrządu. Całość uzupełnia sygnał od elektrody odniesienia przyłączony do ujemnego zacisku Y . Większość współcześnie możliwych do uzyskania przyrządów pomiarowych [9] pozwala na prezentację zarówno przebiegów czasowych obu wielkości, jak i ich korelację. Norma [10] zaleca wykonanie pomiarów „w czasie przewidywanego największego nasilenia oddziaływania prądów błędzących w ciągu co najmniej 20 minut”.

Wyniki rejestracji

Osoby realizujące dowolne kontrolne pomiary zagrożenia korozyjnego PKM z reguły nie ustalają z góry precyzyjnego czasu (chwili) ich rozpoczęcia. Dodatkowo, pomimo ustalanych ogólnie rozkładów jazdy (systematyzujących komunikację) ich realizacja ulega każdego dnia różnym czynnikom zewnętrznym. Wydaje się, że ze względu na brak możliwości przypadkowych kolizji ze współuczestnikami ru-

Tablica 1

Zestawienie porównawcze taboru różnych rodzajów zelektryfikowanego transportu w Polsce

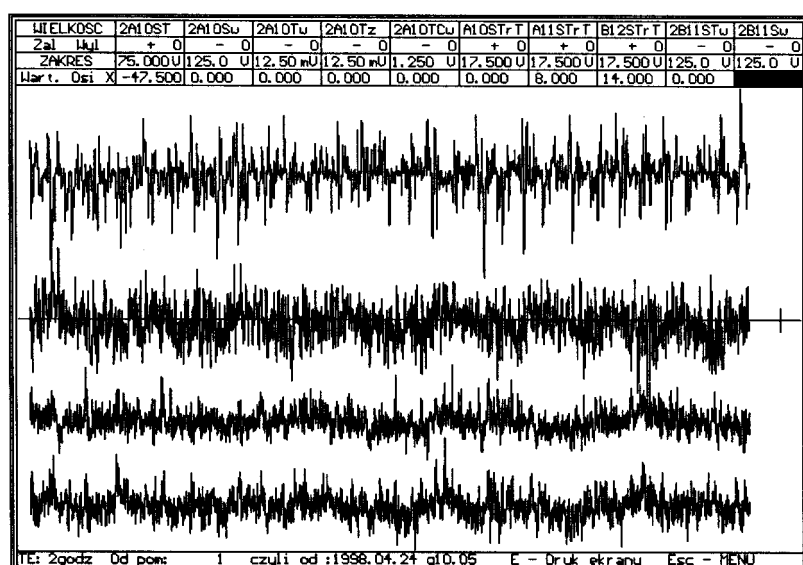
Środek transportu	Typ taboru	Liczba i moc ciąгла silnika trakcyjnego [N × kW]	Średni prąd rozruchu [A]	Napięcie sieci [V]	Jednostkowe obciążenie średnioroczne [A/km]	Orientacyjna odległość między punktami powrotnymi [km]
Kolej	lokomotywa 104E	4 × 730	1300	3000	15 ÷ 80	20,0
	lokomotywa 206E	4 × 500	1800			
	jednostka 3WE	8 × 205	2280			
Metro	wagon 81	4 × 93,3	6000	825	400 ÷ 1500	2,4
Tramwaj	105N, 106N	4 × 40	1000	600	50 ÷ 500	1,0

chu, najregularniej mogą kursować pojazdy metra i kolei podmiejskich poruszających się po wydzielonych torowiskach. Kursowanie tramwajów na wydzielonych torowiskach podlega wpływom zdarzeń na skrzyżowaniach z ruchem samochodowym, a w przypadkach ułożenia torowisk w jezdniach jest od niego bardzo zależne. W przypadku ruchu kolejowego generalnie rozróżniane są przewozy pasażerskie i towarowe. Różnią się one zasadniczo ciężarem i prędkością oraz zmienną cyklicznością jazdy. Z zaprezentowanych poniżej rejestracji właśnie na torach kolejowych można liczyć się z największymi nieregularnościami zarówno co do rozkładu, jak i występującego taboru. Na rysunkach 3–8 przedstawiono napięcia występujące między PKM a szyną

uzyskane w różnych miejscach podczas pomiarów w terenie.

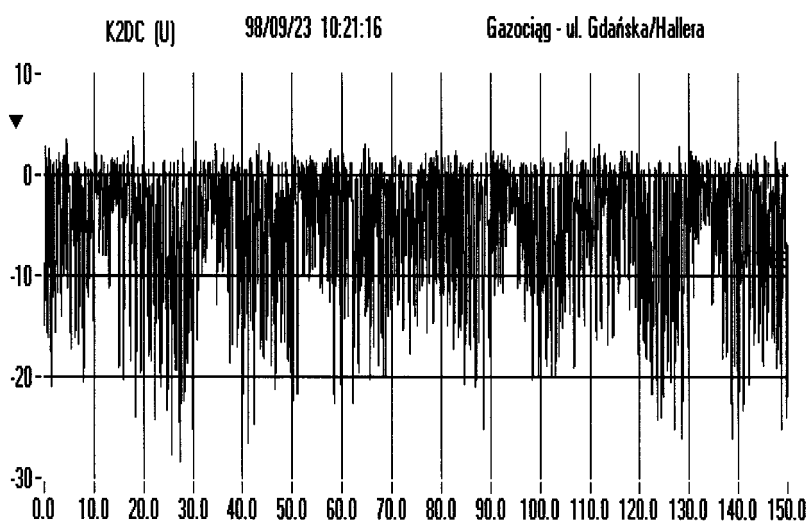
Rysunki 3–5 prezentują przebiegi napięcia PKM względem szyn zelektryfikowanych pojazdów trakcyjnych kursujących z częstotliwością od kilku do kilkunastu pojazdów na godzinę w każdą stronę. W przypadku metra, na stację w obu kierunkach co 7,5 min przyjeżdża jeden skład stąd w miarę duża regularność przebiegu 2A10ST. Po szynach tramwajowych oznaczonych A10STrT i A11STrT kursują w każdym przypadku różne cztery linie, natomiast na odcinku z przyłączem pomiarowym B12STrT dochodzą jeszcze trzy inne linie do tych co są na A11STrT. W Gdańsku (rys. 4) po torach, na których dokonywano pomiarów kursowały tramwaje dwóch linii, natomiast w Poznaniu (rys. 5) jednej. W godzinach kiedy wykonywano prezentowane rejestracje występuje tzw. obciążenie średniobowe. Ze względów technicznych tylko na rysunku 5 podano jednocześnie na wykresie przebieg w czasie potencjału elektrody odniesienia (Cu/CuSO_4 – nasyconego roztworu siarczanu miedzi) względem PKM i napięcia tej konstrukcji do szyn, z których to wielkości wyznacza się obraz korelacji oraz między innymi współczynnik asymetrii zmian potencjału γ . W tabeli 2 zestawiono wartości współczynnika γ , wyliczonego dla całego przedziału dokonanej rejestracji w tych przypadkach, gdy nie dokonywano zmian w układzie wynikających z realizowanego przy rejestracji programu badań i mających wpływ na korelację.

Rysunki 6–8 przedstawiają napięcia dwóch PKM względem torów linii kolejowych, po których kursują pociągi pasażerskie i towarowe w relacjach dalekobieżnych i podmiejskich. W obu przypadkach uchwyciono w czasie realizacji pomiarów przejazd składów kolejowych nad przyłączonym do szyn zaciskiem pomiarowym. Na rysunkach 6 i 7 jest to przejazd pociągu pospiesznego, który ze względu na prace konserwatorskie na pobliskich wiaduktach musiał zmniejszać prędkość i następnie po przejechaniu przez nie mógł przyspieszać – czerpać energię z sieci zasilającej, czemu towarzyszy wzrost rejestrowanych napięć PKM szyny. Na rysunku 8 przedstawiono przejazdy dwóch różnych pociągów. Pod koniec drugiej rejestracji odnotowano przejazd pociągu pospiesznego, przy czym napięcie PKM szyny przekroczyło nastawiony 40 V zakres pomiarowy rejestratora R16. Ponieważ w czasie tej rejestracji dokonywano różnych nastaw prądu ochrony w SOK (Stacja Ochrony Katodowej), nie podano na rysunku przebiegu potencjału elektrody odniesienia oraz podobnie jak z rysunku 4 nie wyliczono wartości współczynnika asymetrii zmian potencjału γ dla całej rejestracji. Ćwiczenia jakie były dokonywane w czasie pierwszej rejestracji z rysunku 8 również nie upoważniają do wyliczenia współczynnika asymetrii zmian potencjału γ , pomimo że pokazano przebieg potencjału względem jednej z elektrod odniesienia.

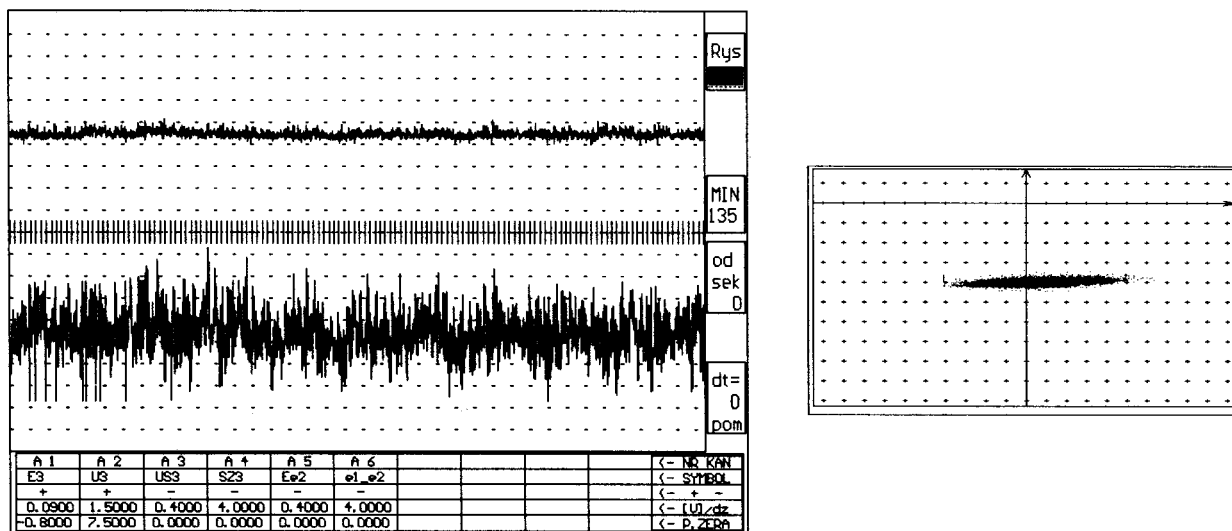


Rys. 3. Rejestracja 115 min przebiegu napięcia między tunelem metra a szynami (w kolejności od góry):

metra w okolicach stacji Pole Mokotowskie wielkość – 2A10ST
tramwajowymi przy ul. Rakowieckiej wielkość – A10STrT
tramwajowymi przy ul. Nowowiejskiej wielkość – A11STrT
tramwajowymi na ul. Marszałkowskiej wielkość – B12STrT



Rys. 4. Rejestracja (przyrządem [11]) 150 min przebiegu napięcia wyrażonego w voltach między rurociągiem a szynami tramwajowymi w Gdańsku



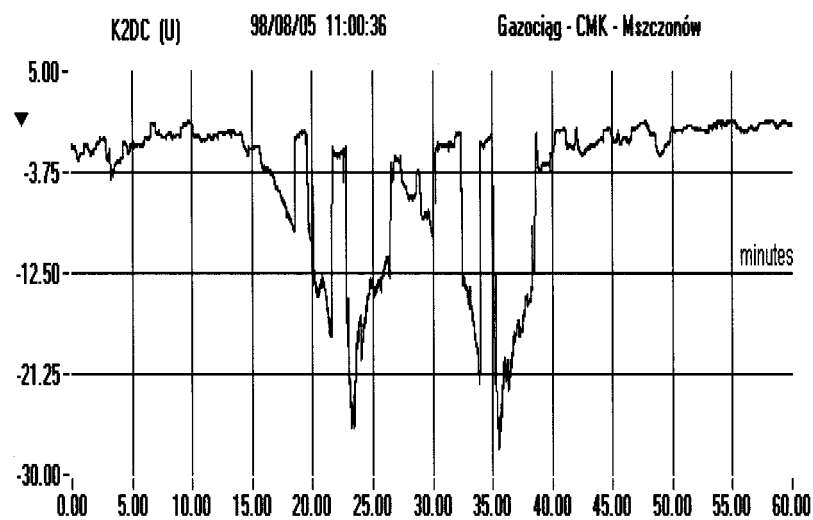
Rys. 5. Rejestracja (przyrządem R16) 135 min przebiegów potencjału elektrody Cu/CuSO_4 a żelbetowym mostem – wykres górny (e3) oraz napięcia U_3 między mostem a szynami tramwajowymi w Poznaniu oraz obok ich obraz korelacji w skali $e_2=1\text{ V}$, $U_3=10\text{ V}$

Współczynnik asymetrii zmian potencjału

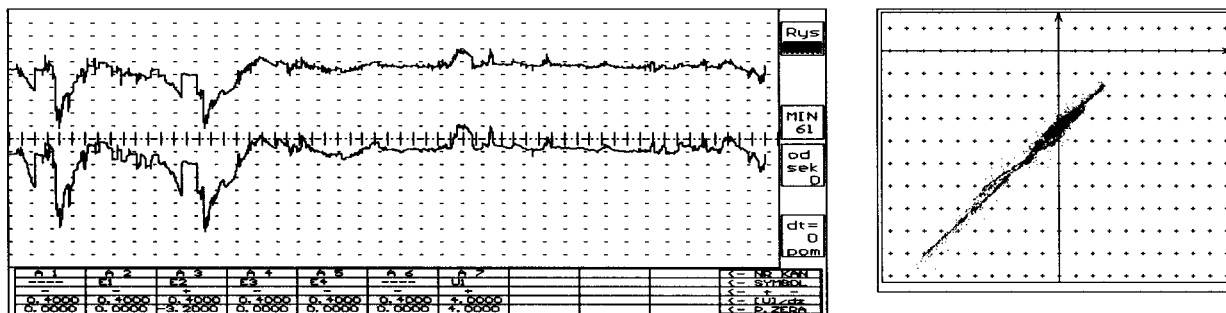
Współczynnik asymetrii zmian potencjału konstrukcji γ jest podstawowym kryterium jej zagrożenia korozyjnego wskutek oddziaływania prądów błądzących, przy czym proponuje się następującą skalę ocen [1]:

- dla γ 0,00 ÷ 0,30 – praktyczny brak zagrożenia,
- dla γ 0,30 ÷ 0,50 – zagrożenie średnie i duże w środowiskach kwaśnych, brak zagrożenia w środowiskach alkalicznych,
- dla γ powyżej 0,50 – zagrożenie bardzo duże.

W tabelicy 2 zestawiono wyliczone wartości współczynnika asymetrii zmian potencjału γ dla większości zaprezentowanych przypadków. Dokonując oceny zagrożenia korozyjnego jakie wynika z uzyskanych wartości współczynnika za całkowite przedziały czasowe rejestracji (czwarta kolumna) należy zauważyć, że w przypadkach metra i linii tramwajowych uzyskane wyniki są na krawędzi dużego zagrożenia



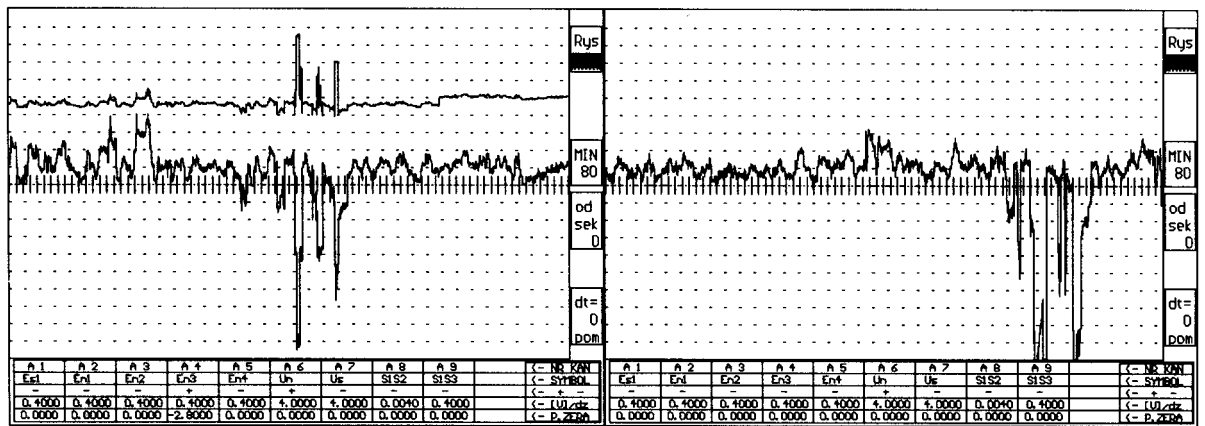
Rys. 6. Rejestracja (przyrządem [9]) 60 min przebiegu napięcia wyrażonego w voltach między gazociągiem a szynami kolejowymi na Centralnej Magistrali Kolejowej



Rys. 7. Rejestracja (przyrządem R16) 60 min przebiegu potencjału elektrody Cu/CuSO_4 względem gazociągu – wykres górny (e2) oraz napięcia U_1 między tym gazociągiem a szynami kolejowymi w tym samym miejscu co na rysunku 6 wykonana innego dnia i rozpoczęta 22 min później niż poprzednio; obok obraz korelacji $e_2=3\text{ V}$, $U_1=30\text{ V}$

PKM, zaś w przypadku kolei zdecydowanie występuje zagrożenie. Wykonano również obliczenia współczynnika γ dla równych przedziałów czasowych wynikających z podziału

całkowitego czasu danej rejestracji na jednakowe cztery części, a w ostatnim przypadku tylko na dwie. W ostatnich czterech kolumnach tabelicy 2 zestawiono $\Delta\gamma$ różnicę jaka



Rys. 8. Rejestracje (przystawem R16) dwóch 80-minutowych przebiegów napięcia między szynami kolejowymi a gazociągami. W czasie pierwszej, po lewej stronie, przejeżdżał pociąg towarowy i nie pracowała SQK – wykres górny przedstawia zależność potencjału PKM względem elektrody. W czasie drugiej zarejestrowano przejazd pociągu pasażerskiego z relacji międzynarodowej Berlin – Moskwa

Tablica 2

Porównawcze zestawienie zmian współczynnika asymetrii potencjału γ w kolejnych przedziałach czasowych

Numer rysunku w tekście/ rodzaj torów	Korelowane wielkości	Całkowity czas rejestracji	γ za całą rejestrację	$\Delta\gamma$ w części			
				I	II	III	IV
1/metro	2A10ST/2A10TCw	115 min	0,486	0,006	-0,017	-0,001	0,020
1/tramwaj	A10STrT/2A10TCw	115 min	0,532	0,008	-0,019	0,045	-0,023
1/tramwaj	A11STrT/3A11TCw	115 min	0,491	0,000	0,019	0,025	-0,032
1/tramwaj	B12STrT/B12TCw4	115 min	0,542	-0,007	-0,021	0,044	-0,016
3/tramwaj	U3/E3	135 min	0,523	0,019	0,021	-0,023	0,003
5/kolej	U1/E2	60 min	0,600	-0,436	-0,089	0,369	0,157
5/kolej	U1/E2	60 min	0,600	-0,262	0,216	-	-

występowała między wartościami współczynnika za całą i za odpowiednią część rejestracji. Widać z tego zestawienia, że przy regularnym, w ramach ok. 30 min, kursowaniu pojazdów odchylenie od wartości średniej dla poszczególnych przedziałów jest niewielkie – maksymalnie kilkuprocentowe. W literaturze [5, 1] 30-minutowy przedział rejestracji jest zalecany w przypadku pomiarów w miastach. Występuje on również w większości z dostępnych na rynku rejestratorów [10], a zapisany był na trwale w najpopularniejszym SCM-ie.

W przypadku rejestracji względem torów kolejowych przy okienku obserwacji 30 min lub 15 min w stosunku do 1 h, rozbieżności uzyskanego współczynnika przekraczają odpowiednio 40% i 70%. Różnice te są znaczne i mogą prowadzić do diametralnie różnych ocen zagrożenia korozyjnego, co jest widoczne w ostatnich dwóch wierszach tablicy 2. Za pierwszy przedział 15- lub 30-minutowy z rysunku 5 współczynnik γ jest na poziomie zbliżonym do wartości 0,30 i można by ocenić, że zagrożenie korozją elektrochemiczną od prądów błądzących pochodzących od tej zelektryfikowanej linii nie występuje. W pozostałych przedziałach czasowych wartość współczynnika wskazuje na istnienie zagrożenia. Dlatego też, szczególnie przy zbliżeniach i skrzyżowaniach ze szlakami kolejowymi w celu zminimalizowania błędów w ocenie zagrożenia korozyjnego PKM powinno uwzględniać się znacz-

nie dłuższe przedziały, np. 24 h, co umożliwiają najnowsze oferowane już rejestratory [11]. Biorąc pod uwagę zjawisko pokazane na rysunku 8, należy odpowiednio dobrać zakres napięciowy stosowanego rejestratora, a to w chwili obecnej zapewnia tylko przyrząd [11].

Na zakończenie należy zwrócić uwagę na cytowane sformułowanie normy [1] o wykonywaniu pomiarów w czasie przewidywanego największego zagrożenia. Na rysunku 7 pozioma środkowa linia jest podzielona na jednonumitowe przedziały, co ułatwia wydzielanie przedziałów czasowych. Z porównania przebiegów na rysunku 7 z wartościami współczynnika γ dla kolejnych poszczególnych 20-minutowych jego części okazuje się, że w tym akurat przypadku największe zagrożenie występuje w czasie, gdy w pobliżu miejsca pomiarowego (w zasięgu wzroku) nie ma pojazdu szynowego. Wynikać to może z faktu, że w zasięgu wzroku od słupka kontrolnego pomiarowego (SKP), przy którym realizowano pomiary, znajduje się trakcyjna kontenerowa podstacja zasilająca i punkt powrotny, do którego sphywa prąd trakcyjny i występuje strefa katodowa. Ze względu na bliskość punktu powrotnego kształt korelacji jest stosunkowo wąski i nieco zbliżony do elipsoidy, jak to ma miejsce na rysunku 5. Widoczne są tu jednak dwie części układające się wzdłuż jednej linii prostej regresji. Dolna, z mniejszą liczbą punktów

i widocznymi rozgałęzieniami, powstawała w początkowym okresie rejestracji, gdy przed stanowiskiem pomiarowym przejeżdżał pociąg. Druga, wyżej na wykresie, odpowiada przedziałowi czasu, dla którego przekracza wartość 0,5 [12].

Wielotorowe linie kolejowe ze względu na systemy obwodów sygnalizacyjnych wymagających separowania poszczególnych torów są złożonym źródłem prądów błędnych dających w efekcie korelacje odbiegające od klasycznej liniowej regresji. Na rysunku 9 zaprezentowano przebiegi czasowe potencjału e i napięcia U między rurociągiem

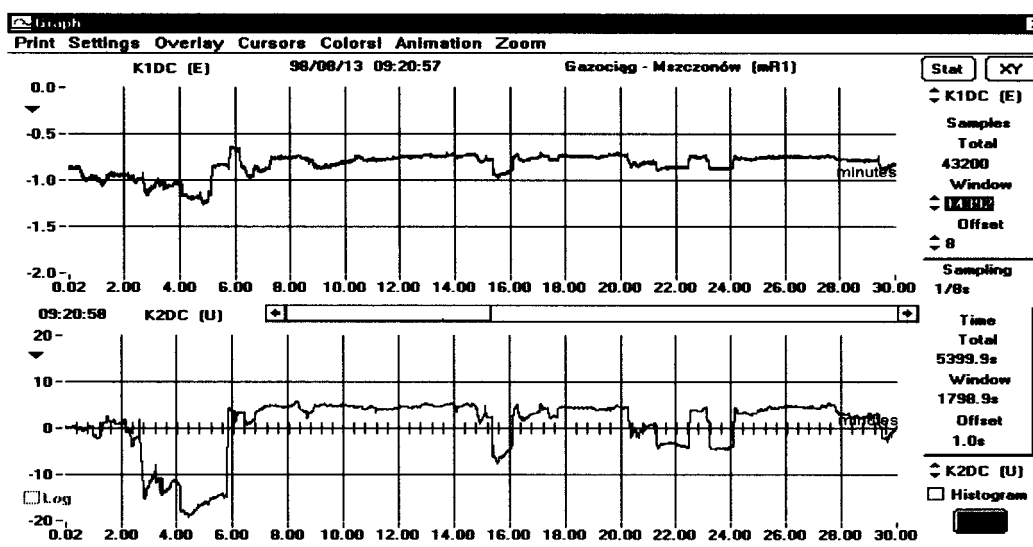
i szyną z półgodzinnej rejestracji w pobliżu skrzyżowania podziemnego rurociągu z trzema torami kolejowymi, które znajdują się na wspólnym nasypie [13]. Rejestracji dokonano przyrządem mRO [11] w układzie jak na rysunku 2. Przebiegi czasowe są charakterystyczne dla linii kolejowych. Rysunek 10 przedstawia korelację przebiegów z poprzedniego rysunku. Widoczne są zarysowane zasadnicze fragmenty co najmniej trzech liniowych regresji pochodzących od trzech torów. Rozmycia sugerują, że między szynami jednego z torów występują znaczne różnice napięć [12].

Podsumowanie

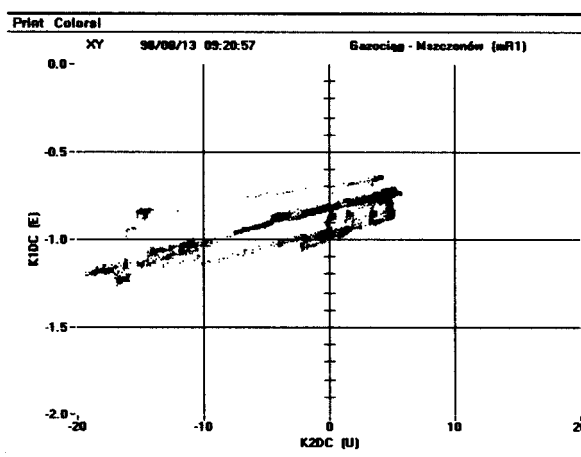
Z zaprezentowanych rezultatów badań oraz innych doświadczeń autora wynika, że w przypadku pomiarów korozyjnych PKM od zelektryfikowanej prądem stałym trakcji szynowej należy zwracać uwagę na regularność kursowania pojazdów. Z tego powodu przy ocenie zagrożenia korozyjnego od linii tramwajowych i metra wystarczającym okresem pomiarowym może być podawane w literaturze 30 min. Na tranzytowych liniach kolejowych pomiary należy wykonywać znacznie dłużej i jest już dostępny odpowiedni sprzęt, który mieści się w SKP [11] i nie wymaga ciągłego dozoru. W przypadku pomiarów na liniach kolejowych w stanie normalnej eksploatacji mogą występować chwilowo napięcia U przekraczające zakresy pomiarowe większości aktualnie dostępnych rejestratorów [10].

Autor dotychczas nie prowadził badań mających na celu określenie długości przedziału czasowego rejestracji na liniach kolejowych, przy którym występować będzie zbliżona powtarzalność współczynnika asymetrii, jak na liniach tramwajowych lub metra.

W posiadanych przez autora zbiorach pomiarowych zauważalny jest brak wyników pomiarów długotrwałych na zbliżeniach i skrzyżowaniach z liniami taboru podmiejskiego typu WKD w Warszawie, czy SKM w Trójmieście pozwalających ocenić minimalny przedział czasu rejestracji, który przy



Rys. 9. 30-minutowy fragment rejestracji (przyrządem [11]) przebiegów potencjału e (K1DC(E)) oraz napięcia U (K2DC(U)) między rurociągiem a szynami kolejowymi w okolicach Huty Zawadzkiej



Rys. 10. Korelacja przebiegu czasowego z rysunku 9

realizowanym rozkładzie jazdy by wystarczał do uzyskiwania wyników zbliżonych do średniodobowych, podobnie jak ma to już miejsce przy liniach tramwajowych, czy metra.

W świetle wyników na rysunkach 9 i 10 oraz literatury [14] oddzielnym zagadnieniem wydaje się być ocena zagrożenia PKM w pobliżu węzłów kolejowych i równolegle biegnących linii kolejowych w przypadkach więcej niż dwu torów.

Wnioski

Różnice w ocenie zagrożenia korozyjnego PKM od prądów błędnych sieci kolejowej, tramwajowej i metra wynikają z:

- regularności kursowania pojazdów na poszczególnych torowiskach;
- zbliżonego poboru energii elektrycznej przez wszystkie pojazdy na danym torowisku;
- braku istnienia ekwipotencjalizacji torowiska, wynikającej np. z konieczności selektywnego przesyłania sygnałów sterujących lub uszkodzeń ciągłości elektrycznej w sieci powrotnej.

Literatura

- [1] Sokółski W.: *Metoda korelacyjna badania prądów błędzących. Piętnaście lat doświadczeń*. IV Krajowa Konferencja „Pomiary korozyjne w ochronie elektrochemicznej”, Jurata 1996 oraz Ochrona przed Korozją nr 5/1997.
- [2] PN-92/E-05024 *Ograniczenie upływu prądów błędzących z trakcyjnych sieci powrotnych prądu stałego*.
- [3] Dziuba W., Dąbrowski J.: *Rezystancje w obwodach prądów powrotnych warszawskiego metra*. VII Konferencja Naukowa Trakcji Elektrycznej Semtrak 1996.
- [4] Kulhawik Z., Kaleta J.: *Wpływ uszynień grupowych na ograniczenie prądów błędzących*. Konferencja Naukowo-Techniczna Oddziaływanie Trakcji Elektrycznej na Środowisko 1999.
- [5] Dziuba W.: *Sieć powrotna i prądy błędzące*. Wyd. Książkowe Instytutu Elektrotechniki. Warszawa 1995.
- [6] Kotelnikov A.V.: *Błądzajuscije toki elektrificirowannogo transporta*. „Transport” Moskwa 1986.
- [7] Korobłowski P., Wach A.: *Ogólne cechy obwodów powrotnych systemu 3 kV prądu stałego na PKP*. Technika Transportu Szynowego 11-12/1995.
- [8] Wach A.: *Ogólne cechy obwodów powrotnych systemu 3 kV prądu stałego eksploatowanego przez PKP*. Second International Scientific Conference Modern Supply Systems and Drives for Electric Traction Warszawa 1995 oraz Konferencja Naukowo-Techniczna Nowe Technologie w budowie sieci trakcyjnej, Szklarska Poręba 1996.
- [9] Kozłowski J., Machczyński W.: *Przegląd aparatury do pomiaru potencjału metalowych konstrukcji podziemnych*. XXIII Konwersatorium Korozji Morskiej, Jurata 1999.
- [10] PN-90/E-05030/01 *Ochrona przed korozją. Elektrochemiczna ochrona katodowa. Metalowe konstrukcje podziemne – wymagania i badania*.
- [11] Barański J.: *Rejestrator do pomiaru prądów błędzących*. V Krajowa Konferencja „Pomiary korozyjne w ochronie elektrochemicznej” Jurata 1998.
- [12] Dziuba W., Dąbrowski J.: *Nietypowe obrazy korelacji $e=f(u)$ przy badaniach prądów błędzących*. V Krajowa Konferencja „Pomiary korozyjne w ochronie elektrochemicznej”, Jurata 1998.
- [13] Dąbrowski J.: *Rozterki przy ocenie zagrożenia korozją podziemnych konstrukcji metalowych w terenie mało zurbanizowanym*. XXIII Konwersatorium Korozji Morskiej, Jurata 1999.
- [14] Muth J.: *Pomiary zagrożenia korozją elektrolityczną telekomunikacyjnych kabli dalekosiężnych wewnętrznej sieci łączności PKP*. IV Krajowa Konferencja „Pomiary korozyjne w ochronie elektrochemicznej”, Jurata 1996.



Z okazji 80-lecia rozpoczęcia wykładów z zakresu trakcji elektrycznej
Zakład Trakcji Elektrycznej Wydziału Elektrycznego Politechniki Warszawskiej
 przy współpracy
Sekcji Trakcji Elektrycznej Komitetu Elektrotechniki Polskiej Akademii Nauk

organizuje **Seminarium naukowe**

80 lat nauczania trakcji elektrycznej

Politechnika Warszawska, 4 października 2000 r.

Celem Seminarium jest przypomnienie drogi rozwoju trakcji elektrycznej w uczelniach technicznych oraz omówienie stanu obecnego i perspektyw rozwoju tej specjalności w XXI w. W dniu seminarium, w godzinach popołudniowych, odbędzie się spotkanie koleżeńskie absolwentów specjalności TRAKCJA ELEKTRYCZNA z obecnymi i byłymi pracownikami oraz współpracownikami Zakładu Trakcji Elektrycznej

Zgłoszenia i dalsze informacje:

Zakład Trakcji Elektrycznej
 Instytut Maszyn Elektrycznych Politechniki Warszawskiej
 00-661 Warszawa, Pl. Politechniki 1
 tel. (0-22) 660 76 16; 660 73 44, 660 73 60
 fax (0-22) 660 75 51
<http://ztu.ime.pw.edu.pl>
 e-mail: aszelag@nov.iem.pw.edu.pl

