UCHWAŁA Nr 76 /05

Zarządu Spółki Metro Warszawskie Sp. z o.o.
z dnia 6 maja 2005 r.

w sprawie zatwierdzenia Instrukcji ochrony obiektów metra przed działaniem prądów błądzących w fazie projektowania, budowy i eksploatacji.

§ 1.

Zarząd Spółki Metro Warszawskie Sp. z o.o. zatwierdza do stosowania Instrukcję ochrony obiektów metra przed działaniem prądów błądzących w fazie projektowania, budowy i eksploatacji, w brzmieniu określonym w załączniku do uchwały.

§ 2.

Wykonanie uchwały powierza się Szefowi Służby Linii.

§ 3.

Uchwała wchodzi w życie z dniem podjęcia.

PREZES ZARZĄDU
Krzysztof Celiński

CZŁONEK ZARZĄDU
Jerzy Lejk

CZŁONEK ZARZĄDU
Dorota Popińska

INSTRUKCJA OCHRONY OBIEKTÓW METRA PRZED DZIAŁANIEM PRĄDÓW BŁĄDZĄCYCH W FAZIE PROJEKTOWANIA, BUDOWY I EKSPLOATACJI

Spis treści

1. Wstęp 4

1.1. Przedmiot instrukcji 4

1.2. Zakres stosowania instrukcji 4

1.3. Polskie i zagraniczne normy i dokumenty związane 4

1.4. Nazwy i określenia (definicje) 5
1.4.1. Ziemia szyn (ZS) 5
1.4.2. Ziemia tunelu (ZT) 5
1.4.3. Ziemia zewnętrzna (ZZ) 5
1.4.4. Punkt kontrolno-pomiarowy 5
1.4.5. Centrala pomiarowa 6

2. Projektowanie i budowa 6

2.1. Obudowy tuneli szlakowych i stacji 6
2.1.1. Tunel metra i inne konstrukcje podziemne 6
2.1.2. Wzdłużne połączenia metaliczne tuneli żelbetowych 6
2.1.3. Izolacja zewnętrzna tuneli 7
2.1.4. Izolacja poprzeczna tuneli 7
2.1.5. Wejścia rurociągów i kabli do tuneli 8
2.1.6. Prowadzenie rurociągów i kabli wewnątrz tuneli 9
2.1.7. Spadek napięcia w tunelu lub w jego zbrojeniu 9
2.1.8. Ciągła kontrola napięć rażenia 10

2.2. Mosty, wiadukty i estakady 11

2.3. Tory w tunelach 12
2.3.1. Konduktywność torów względem tunelu 12
2.3.2. Rezystancja wzdłużna torów 12
2.3.3. Urządzenia uszyniane w tunelach metra 13
2.3.4. Zwrotnice 13
2.3.5. Tory postojowe w tunelach 13

2.4. Tory ułożone na powierzchni ziemi 13

2.5. Tory w budynku zajezdni 14

2.6. Zasilanie i powrót prądu trakcyjnego 14

2.6.1. Zasilanie torów szlakowych 15
2.6.2. Zasilanie torów zajezdni 15
2.6.3. Zasilanie torów różnych linii metra 15
2.6.4. Izolowanie szyny powrotnej w podstacji trakcyjnej 15
2.6.5. Przewody powrotne 15

2.7. Instalacje do badania prądów błądzących w metrze 16
2.7.1. Cel i sposób badań 16
2.7.2. Wielkości mierzone w tunelach metra 16
2.7.3. Wielkości mierzone na odcinkach naziemnych metra 17
2.7.4. Projekt instalacji do kontroli (monitorowania) prądów błądzących 17
2.7.5. Pomiary wykonywane w czasie budowy 18
2.7.6. Pomiary wykonywane przed oddaniem nowego odcinka metra do eksploatacji 18

3. Eksploatacja 19

3.1. Ocena zagrożeń nowego odcinka metra po rozpoczęciu eksploatacji 19
3.1.1. Kryterium braku zagrożeń tuneli metra przez korozję elektrolityczną 20
3.1.2. Zakres i sposób badań 20
3.1.3. Ocena wyników badań 22
3.1.4. Ustalenie kryteriów wykrywania przypadkowych zwarć ZS i ZT 23

3.2. Okresowa ocena zagrożeń korozyjnych 24
3.2.1. Pomiary konduktywności szyny-tunel 24
3.2.2. Rejestracja wielkości charakteryzujących oddziaływania prądów błądzących 24
3.2.3. Zmiany kryteriów wykrywania przypadkowych zwarć ZS i ZT 25
3.2.4. Badania dodatkowe 25

4. Zasady BHP 25

1. Wstęp

1.1. Przedmiot instrukcji

Przedmiotem instrukcji są wymagania i badania, dotyczące ograniczenia szkodliwego wpływu prądów błądzących, odgałęzianych zarówno z torów metra, jak i ze źródeł zewnętrznych, tj. np. z szyn tramwajów i kolei elektrycznych, na tunele metra. Przedmiotem instrukcji są także wymagania i badania dotyczące oddziaływań prądów błądzących odgałęzianych z torów metra na podziemne konstrukcje metalowe (PKM) ułożone poza tunelami metra.

Instrukcja nie zawiera metod wymaganych badań. W tym względzie należy korzystać z norm wymienionych w 1.3, lub z odpowiedniej literatury technicznej.

1.2. Zakres stosowania instrukcji

Instrukcję należy stosować podczas projektowania, budowy i eksploatacji pierwszej linii metra w Warszawie. Instrukcja może być także wykorzystywana przy budowie innych linii metra, jeżeli założenia przyjęte dla projektów tych linii nie będą w sposób istotny różnić się od założeń przyjętych dla pierwszej linii metra w Warszawie, a stąd nie będą sprzeczne z treścią niniejszej instrukcji. Chodzi tu w szczególności o przyjęcie w przypadku pierwszej linii metra systemu dwóch ziem odniesienia, ziemi szyn i ziemi tunelu i związane z tym kwestie ochrony przeciwporażeniowej.

Nad przestrzeganiem postanowień instrukcji powinni w szczególności czuwać pracownicy sprawdzający i odbierający projekty urządzeń linii metra, nadzorujący jego budowę, członkowie komisji i zespołów odbierających zbudowane fragmenty i obiekty linii, a także pracownicy stosownych służb eksploatacyjnych metra.

1.3. Polskie i zagraniczne normy i dokumenty związane

a) PN – 92/E – 05024. Ochrona przed korozją. Ograniczenie upływu prądów błądzących z trakcyjnych sieci powrotnych prądu stałego.

b) EN 50122-2. Railway applications – Fixed installations. Part 2: Protective provisions against the effects of stray currents caused by d.c. traction systems. CENELEC. May 1998.

c) Maßnahmen zur Verringerung der Längsspannungen in Tunneln von Gleichstrombahnen. Forschungsbericht FE-Nr.70218/87. Band 1. Technische Akademie Wuppertal. 15.09.1989.

d) Verringerung der Korrosionsgefahr durch Streuströme in Tunneln von Gleichstrombahnen mit Stromrückleitung über Fahrschienen – Maßnahmen und Berechnungsgrundlagen. VDV Schriften 501/1, 4/93.

e) Verringerung der Korrosionsgefahr durch Streuströme in Tunneln von Gleichstrombahnen mit Stromrückleitung über Fahrschienen – Meßverfahren. VDV Schriften 501/2, 4/93.

f) Verringerung der Korrosionsgefahr durch Streuströme in Tunneln von Gleichstrombahnen mit Stromrückleitung über Fahrschienen – Rechenmodell (Rechner-Program auf Diskette). VDV Schriften 501/3, 4/93.

g) Schutzmaßnahmen gegen Streustromkorrosion und Behrürungsspannungen bei der Wiener U-Bahn. August 1984.

h) Norme CEI 9-20. Impianti di messa a terra per ferrovie metropolitane. 1984.

i) Инструкция по защите сооружений, конструкций и устройств метрополитенов от коррозии блуждающими токами (ЦМетро-3986)/МПС СССР М.:Транспорт, 1982.

j) Ochrona przeciwporażeniowa w urządzeniach elektrycznych metra. Norma Zakładowa. Opracowanie Biura Projektów „Metroprojekt", Warszawa, wrzesień 1993.

1.4. Nazwy i określenia (definicje)

1.4.1. Ziemia szyn (ZS) – połączone z sobą metalicznie szyny torów metra i przyłączone do nich kable powrotne, łączniki szynowe oraz inne metalowe elementy lub obudowy urządzeń elektrycznych w pobliżu szyn – nie posiadające żadnego metalicznego styku z ziemią tunelu.

1.4.2. Ziemia tunelu (ZT) – połączone z sobą metalicznie pręty zbrojenia tunelu żelbetowego wraz z przyłączonymi do nich innymi elementami metalowymi, a w przypadku innej konstrukcji tunelu – przewodzące połączenie odcinków tunelu.

1.4.3. Ziemia zewnętrzna (ZZ) – jest to odległa ziemia poza tunelem metra i znajdujące się w niej sztuczne uziomy sieci zasilającej prądu przemiennego średniego napięcia oraz połączone metalicznie z tymi uziomami konstrukcje metalowe, oraz rurociągi i inne podziemne konstrukcje metalowe nie posiadające połączeń z tunelami metra lub ich zbrojeniem.

1.4.4. Punkt kontrolno-pomiarowy – miejsce usytuowania szafki, zawierającej przetworniki i inną niezbędną aparaturę pomiarową, do której dochodzą przewody pomiarowe od tunelu, szyn metra, szyn tramwajowych i kolejowych, czujników pomiaru prądu, oraz wychodzą po-

łączenia do centrali pomiarowej. Podczas realizacji przesyłu w systemie cyfrowym. sterownik wraz z zasilaczem zlokalizowany jest w skrzynce obok przetworników pomiarowych.

1.4.5. Centrala pomiarowa – szafka zawierająca końcówki przewodów przekazujących sygnały wszystkich rejestrowanych wielkości z poszczególnych punktów kontrolno-pomiarowych i z podstacji trakcyjnej oraz umożliwiająca transmisję tych sygnałów za pomocą łączy światłowodowych do centralnej dyspozytorni.

2. Projektowanie i budowa

2.1. Obudowy tuneli szlakowych i stacji

2.1.1. Tunel metra i inne konstrukcje podziemne

Żeliwny tunel metra lub stalowe zbrojenie tunelu żelbetowego nie może mieć żadnych metalicznych połączeń z metalowymi konstrukcjami podziemnymi, takimi jak np. metalowe rurociągi, metalowe powłoki lub pancerze kabli, zbrojenia fundamentów i ścian innych budowli, znajdującymi się poza tunelem, a także z szynami jezdnymi metra lub konstrukcjami uszynionymi. Jeżeli na skrzyżowaniach metalowych rurociągów z tunelami metra dochodzi do zetknięcia tych konstrukcji, wskutek czego nie można wykluczyć powstania między nimi przypadkowego metalicznego połączenia, to w tych rurociągach należy zastosować złącza izolujące.

Zaleca się, aby połączeń metalicznych ze zbrojeniem tunelu metra nie miały również metalowe elementy tych budowli, które ze względów konstrukcyjnych muszą stykać się z tunelem metra, jak np. tunele i schody doprowadzające pasażerów na stacje i perony, pomieszczenia wentylatorni, czerpnie powietrza, itp. Jeżeli ze względów konstrukcyjnych lub względów ochrony przeciwporażeniowej takie budowle nie mogą być oddzielone od tunelu metra przez izolujące przerwy dylatacyjne i zbrojenie tych budowli jest połączone metalicznie z tunelami metra lub ich zbrojeniem, to powinno to być odnotowane w stosownej dokumentacji.

2.1.2. Wzdłużne połączenia metaliczne tuneli żelbetowych

Zbrojenie ścian bocznych i płyty dennej tunelu żelbetowego powinno posiadać niewielką jednostkową rezystancję wzdłużną, tworząc rodzaj odkrytego przewodzącego kosza. W tym celu należy zapewnić:

a) przekrój przewodzący stali zbrojenia co najmniej 400 mm^2 Fe na jeden tor (przy obliczaniu rezystancji stali zbrojenia przyjmuje się zwykle $\rho_{Fe} = 0.16\ \Omega mm^2/m$),

b) w każdej ścianie bocznej co najmniej po jednej marce ciągłej połączonej metalicznie z prętami zbrojenia tej ściany i z konstrukcjami półek pod kable biegnące wewnątrz tunelu,

c) zainstalowanie na ścianie bocznej tzw. magistrali uziemiającej, wykonanej z ocynkowanego płaskownika stalowego o przekroju nie mniejszym niż 200 mm^2, połączonej metalicznie z prętami zbrojenia, i służącej do uziemiania urządzeń i obwodów elektrycznych zgodnie z obowiązującymi w metrze przepisami ochrony przeciwporażeniowej,

d) połączenie metaliczne odpowiadających sobie marek w ścianach bocznych dwóch sąsiednich segmentów tunelu po obu stronach dylatacji za pomocą 2 linek miedzianych o przekroju co najmniej 25 mm^2 każda, lub za pomocą płaskownika stalowego o przekroju co najmniej $2 \times 120\ mm^2$.

2.1.3. Izolacja zewnętrzna tuneli

Pokrycie zewnętrznych ścian tunelu warstwą izolacji przeciwwodnej, stosowane w celu ochrony przed przedostawaniem się wody do wnętrza tunelu, ma także istotne pozytywne znaczenie dla ograniczenia wymiany prądu między tunelem i ziemią, co stanowi argument za wyborem pokryć posiadających jednocześnie własności dobrej i trwałej izolacji elektrycznej. Z drugiej strony taka warstwa izolacji zwiększa rezystancję przejścia między zbrojeniem tunelu i ziemią, co może być w niektórych przypadkach niekorzystne z punktu widzenia ochrony przeciwporażeniowej (por. np. pkt. 2.1.4). W związku z tym, zwłaszcza wobec szybkiego postępu we wprowadzaniu coraz lepszych pokryć izolujących, celowe jest obliczanie lub pomiar rezystancji przejścia odcinków tuneli względem ziemi.

2.1.4. Izolacja poprzeczna tuneli

Jeżeli dominujące źródło prądów błądzących, które przedostają się do tunelu lub jego zbrojenia znajduje się poza tunelem (np. szyny tramwajów lub kolei elektrycznych), to dla zmniejszenia niebezpieczeństwa korozji elektrolitycznej tunelu celowy jest jego podział na sekcje przez zastosowanie w nim przerw izolacyjnych (złączy izolujących). Przerwy takie należy projektować i wykonywać zarówno w tunelach żeliwnych jak i żelbetowych, na krańcach stacji oraz w pobliżu środka odcinków szlakowych, a także w innych dodatkowych miejscach, gdzie może to się okazać celowe w wyniku analizy wzajemnego usytuowania tunelu metra oraz sieci szyn tramwajów i kolei elektrycznych, z uwzględnieniem położenia podstacji trakcyjnych i punktów powrotnych w tych sieciach. Długość odcinka tunelu między sąsied-

nimi przerwami izolacyjnymi musi być jednak tak duża, aby zapewnić rezystancję uziemienia tego odcinka wymaganą przez ochronę przeciwporażeniową (zwykle poniżej 0.5 Ω).

W przypadku tuneli żelbetowych jako przerwy izolacyjne w tunelu i jego zbrojeniu mogą służyć szczeliny dylatacyjne między dwoma sąsiednimi segmentami tunelu. W przypadku tuneli żeliwnych konieczne jest stosowanie przekładek izolujących między tubingami oraz izolujących podkładek i tulei dla śrub mocujących tubingi.

Należy zapewnić możliwość zwierania każdej przerwy izolującej w tunelu, np. gdy okaże się to konieczne ze względu na ochronę przeciwporażeniową. Jeżeli zastosowane w takim przypadku zwarcie przerwy izolacyjnej powoduje znaczny wzrost prądów błądzących w tunelu, to należy rozważyć wykonanie takiego zwarcia za pośrednictwem odpowiednio zaprojektowanego zespołu diod w połączeniu przeciwrównoległym.

Podczas projektowania i wykonywania złączy izolujących dla ograniczenia prądów błądzących w tunelu należy zadbać o to, aby inne metalowe konstrukcje, np. metalowe rurociągi, magistrale uziemiające, instalacje wentylacyjne, poręcze, schodki wejściowe z tunelu na peron, metalowe półki pod kablami itp. nie bocznikowały przerw w ciągłości elektrycznej tunelu.

2.1.5. Wejścia rurociągów i kabli do tuneli

Metalowe rurociągi i metalowe powłoki, ekrany lub pancerze kabli nie mogą wnosić do tunelu metra prądów błądzących z obcych źródeł. W związku z tym należy:

a) w przypadku rurociągów wprowadzać je w sposób zapewniający izolację od ściany tunelu (np. w rurach ochronnych z materiału nie przewodzącego), oraz stosować złącza izolujące usytuowane między przejściem rury przez ścianę tunelu, a najbliższym metalowym wspornikiem rury w tunelu, który może ją zwierać ze zbrojeniem,
b) jeżeli metalowy rurociąg przechodzi przez ścianę tunelu w sposób nie zapewniający jego izolacji od obudowy tunelu, zainstalować w rurociągu złącze izolujące na zewnątrz tunelu, w odległości nie większej niż 1 m od ściany tunelu, a na odcinek rurociągu między złączem i tunelem nałożyć dodatkową warstwę izolacji, np. bitumicznej na welonie szklanym lub z samoprzylepnej taśmy termoplastycznej,
c) kable elektroenergetyczne i kable łączności powinny być także wprowadzane do tunelu w sposób izolowany. W przypadku systemu dwóch ziem odniesienia ich żyły powrotne, powłoki lub ekrany mogą być bezpośrednio łączone z tunelem lub jego zbrojeniem, natomiast w przypadku systemu trzech ziem odniesienia (ZS + ZT + ZZ) należy połączyć je z oddzielnym uziomem na zewnątrz tunelu.

Wymagania niniejszego punktu nie dotyczą żeliwnych rurociągów ściekowych, których długości poza tunelem nie przekraczają 50 m.

2.1.6. Prowadzenie rurociągów i kabli wewnątrz tuneli

W tunelu metra należy stosować w miarę możliwości rurociągi z materiałów nie przewodzących, a kable elektroenergetyczne i kable telekomunikacyjne wyłącznie w osłonach z trudnopalnych tworzyw termoplastycznych. Ze względu na wymagania ochrony przeciwporażeniowej żyły ochronne i ekranujące kabli mogą być łączone metalicznie z ziemią tunelu (magistralą uziemiającą).

W przypadku gdy nie można uniknąć stosowania rurociągów stalowych, muszą one posiadać potencjał ziemi tunelu, czyli być metalicznie połączone z tunelem lub jego zbrojeniem. Jeżeli połączenia takie za pośrednictwem metalowych wsporników rurociągu okażą się wątpliwe lub nie wystarczające, np. wskutek braku styku tych wsporników ze zbrojeniem tunelu, to należy zastosować połączenia specjalne, np. za pomocą ocynkowanego płaskownika stalowego, drutu lub linki o przekroju co najmniej 50 mm^2, instalowane między rurociągiem i ZT (np. magistralą uziemiającą). Połączenia takie należy wykonywać po jednym na każdym odcinku między złączami izolacyjnymi rurociągu.

W miejscach izolacji poprzecznej tunelu (pkt.2.1.4) należy w rurociągach ułożonych w tunelu zainstalować złącza izolujące, tak aby izolacja poprzeczna tunelu nie była bocznikowana przez rurociąg.

Niedopuszczalny jest jakikolwiek umyślny lub przypadkowy styk metalowego rurociągu z ziemią szyn (szynami jezdnymi lub uszynionymi konstrukcjami metalowymi). W związku z tym na przejściach metalowych rurociągów pod torami muszą być zastosowane na odcinku rury pod szynami osłony izolacyjne, zapobiegające powstaniu przypadkowych zwarć.

2.1.7. Spadek napięcia w tunelu lub w jego zbrojeniu

Wzdłużny spadek napięcia między dwoma dowolnymi punktami tunelu lub jego zbrojenia nie powinien przekraczać 0.1 V. Ten spadek napięcia oblicza się teoretycznie w fazie projektowania linii metra na podstawie niżej podanego wzoru, przy założeniu równomiernego rozkładu obciążenia odcinka oraz braku upływu prądu błądzącego z tunelu do ziemi:

$$U_T = 0.5 \times I \times L \times \frac{R'_S \times R'_T}{R'_S + R'_T} \times \left[1 - \frac{L_C}{L} \times \left(1 - e^{-\frac{L}{L_C}} \right) \right] \qquad (1)$$

gdzie: U_T – spadek napięcia w tunelu lub jego zbrojeniu w V

I – wartość średnia godzinna prądu obciążenia odcinka dla planowanego najbardziej intensywnego ruchu szczytowego w A,

L – długość rozpatrywanego odcinka tunelu w km,

R_S' – jednostkowa rezystancja wzdłużna szyn jezdnych w Ω/km,

R_T' – jednostkowa rezystancja wzdłużna tunelu lub jego zbrojenia w Ω/km,

L_C – długość charakterystyczna układu szyny jezdne-tunel w km,

$$L_C = \frac{1}{\sqrt{(R_S' + R_T') \times G_{ST}'}} \tag{2}$$

G_{ST}' – jednostkowa upływność szyny jezdne-tunel w S/km,

$$G_{ST}' = \frac{1}{L \times R_{ST}'} \tag{3}$$

R_{ST}' – jednostkowa rezystancja przejścia szyny jezdne-tunel w Ωkm,

Rezultaty otrzymane z obliczenia wg równania (1) mają dość duży zapas bezpieczeństwa ze względu na uproszczenia zastosowane przy tworzeniu tego równania. Jeżeli otrzymane rezultaty obliczenia wg (1) przekroczą wartość 0.1 V, to należy zastosować inną metodę wyznaczania U_T, np. wg VDV – Schrift 501/3. W razie ponownego przekroczenia $U_T = 0.1$ V, należy albo zmniejszyć L przez odpowiednie przesunięcie usytuowania punktów powrotnych na obliczanym odcinku, albo zmniejszyć rezystancję zbrojenia tunelu, np. zwiększając przekrój przewodzący stali zbrojenia.

Uwaga: Podany wyżej sposób obliczenia dotyczy spadku napięcia w zbrojeniu tunelu wytworzonego przez prądy odgałęzione z szyn metra. Prądy wpływające do tunelu metra ze źródeł zewnętrznych, np. tramwaj, będą oczywiście powodować zmiany wartości U_T. Jeżeli prądy zewnętrzne są dominujące, to wykonywanie obliczenia teoretycznego wg (1) w znacznej mierze traci sens.

2.1.8. Ciągła kontrola napięć rażenia

Na każdej stacji metra musi być zainstalowane urządzenie kontrolujące w sposób ciągły napięcie między ziemią szyn i ziemią tunelu, zwane UCKNR (urządzenie ciągłej kontroli napięć rażenia). Wartość napięć U_{DC} i U_{AC} między szynami jezdnymi i tunelem metra oraz czas ich trwania nie powinny przekraczać wartości podanych w tablicy 1.

Lp.	t s	U_{DC} skuteczne V	U_{AC} skuteczne V
1	0.02	940	940
2	0.05	770	935
3	0,1	660	842
4	0,2	535	670
5	0,3	480	497
6	0,4	435	305
7	0,5	395	225
8	0,6	310	160
9	0,7	270	130
10	0,8	240	110
11	0,9	200	90
12	1,0	170	80
13	≤300	150	65
14	Długotrwałe	120	60

Tablica. 1.

Maksymalne dopuszczalne napięcie dotykowe i dostępne jako funkcja czasu trwania przepływu prądu wg punktu 7.2 i 7.3 normy PN-EN 50122-1:2002

Czas zwarcia szyn jezdnych z tunelem przez UCKNR nie może przekraczać 10s.

Po upływie tego czasu urządzenie powinno samoczynnie powrócić do stanu wyjściowego, dla prądów płynących przez UCKNR mniejszych od 800 A. Powyżej wartości 800 A należy wprowadzić blokadę działania do czasu obniżenia wartości prądu poniżej 800 A.

Jeżeli po powrocie do stanu czuwania napięcie rażenia jest wyższe od dopuszczalnego, UCKNR powinien powtórnie zewrzeć magistralę uziemiającą z szynami metra. Jeżeli natomiast po tym powrocie nastąpi kolejne trzecie zadziałanie UCKNR-a urządzenie powinno zewrzeć „na stałe", informując o tym obsługę odpowiedniej stacji metra (przekaźnik sygnalizacyjny – styki beznapięciowe – 3 parowe). Odblokowanie urządzenia powinno dokonywać się poprzez podanie 24 V DC na odpowiednie zaciski w urządzeniu na czas nie krótszy niż 0,1 s. Każde zadziałanie UCKNR-a powinno być rejestrowane przez licznik.

2.2. Mosty, wiadukty i estakady

W przypadku gdy linia metra przechodzi przez mosty, wiadukty i estakady, dla konstrukcji tych obowiązują te same zasady jak dla tuneli. Oznacza to zgodność wymagań dla mostów wiaduktów i estakad z podstawami, na jakich oparte są wymagania punktów od 2.1.1 do 2.1.8.

2.3. Tory w tunelach

2.3.1. Konduktywność torów względem tunelu

Szyny jezdne i połączone z nimi metalowe elementy ich mocowania nie powinny stykać się z konstrukcjami metalowymi, zbrojeniem i betonem podtorza, zbrojeniem podkładów żelbetowych, a także z podsypką. Nie dotyczy to jednak przypadków uszynień niektórych konstrukcji i obudów w pobliżu torów oraz przypadków zadziałania UCKNR (por. pkt. 2.1.8.).

Konstrukcja torów i podtorza powinna zapewniać odpływ wody zarówno wskutek lokalnych przecieków obudowy tunelu np. podczas silnych opadów atmosferycznych, jak i nagromadzonej np. podczas mycia peronów, oraz nie dopuszczać do powstawania kałuż na betonie podtorza i do gromadzenia się zanieczyszczeń, zwłaszcza w miejscach kotwienia szyn jezdnych.

Konduktywność toru pojedynczego względem tunelu lub jego zbrojenia, wyznaczana zgodnie ze wzorem (3) jako odwrotność jednostkowej rezystancji przejścia szyn jezdnych względem tunelu, powinna w czasie budowy metra, tj. przed oddaniem budowanego odcinka do eksploatacji, wynosić nie więcej niż 0.002 S/km. Wartość ta dotyczy odcinka toru odpowiadającego obszarowi zasilania każdej podstacji trakcyjnej, co w przypadku pierwszej linii metra oznacza w zasadzie przybliżoną odległość między sąsiednimi stacjami parzystymi.

Podczas układania toru kotwionego do płyty betonowej, powinna być sprawdzana rezystancja między każdą śrubą kotwiącą i tunelem lub jego zbrojeniem za pomocą induktora o napięciu co najmniej 250 V; rezystancja ta nie powinna być niższa niż 10 MΩ. Jeżeli pomiar wykaże mniejszą wartość, to należy poprawić mocowanie, wyjmując śrubę z otworu i montując ją powtórnie.

2.3.2. Rezystancja wzdłużna torów

Rezystancja wzdłużna torów powinna być niska. W związku z tym szyny powinny być spawane lub łączone na złączach za pomocą podłużnych łączników z linki miedzianej o przekroju co najmniej 95 mm^2, tak aby rezystancja złącza z łącznikiem nie była większa niż rezystancja 1 m szyny bez łącznika.

Rozjazdy i skrzyżowania oraz ich elementy łączone sposobem innym niż spawanie powinny być wyposażone w łączniki obejściowe wykonane z dwóch linek miedzianych o przekroju co najmniej 95 mm^2 każda, izolowanych na napięcie co najmniej 750 V.

W przypadku równoległego przebiegu w tunelu dwóch lub więcej torów należy stosować poprzeczne łączniki międzytorowe. Jako łącznik poprzeczny międzytorowy należy stosować

kabel miedziany o przekroju co najmniej 400 mm^2, izolowany na napięcie co najmniej 750 V, albo linki miedziane o równoważnym przekroju i izolacji. Na odcinku między dwoma podstacjami trakcyjnymi powinny być zainstalowane co najmniej cztery poprzeczne łączniki międztorowe rozmieszczone w możliwie równych odstępach, tak jednak aby nie kolidowało to z systemem sterowania ruchu pociągów .

Zaleca się przyłączanie łączników do szyn przez spawanie.

Połączenia szyn z dławikami torowymi należy wykonywać za pomocą dwóch linek miedzianych o przekroju co najmniej 150 mm^2 każda, izolowanych na napięcie co najmniej 750V.

2.3.3. Urządzenia uszyniane w tunelach metra

Uszynienia indywidualne powinny być wykonane przewodami izolowanymi na napięcie co najmniej 750 V. Na to samo napięcie powinny być izolowane względem ziemi tunelu konstrukcje, które muszą być uszynione ze względu na wymagania ochrony przeciwporażeniowej.

2.3.4. Zwrotnice

Metalowe części napędów zwrotnicowych i mocujących je konstrukcji powinny być odizolowane od szyn jezdnych. W związku z notowanym występowaniem zwarć między metalowymi osłonami napędów zwrotnicowych i połączonymi z szynami elementami cięgieł, należy w tunelach metra zdejmować takie osłony, lub zastępować je wykonanymi z materiałów izolacyjnych.

2.3.5. Tory postojowe w tunelach

Tory postojowe w tunelach powinny spełniać wymagania punktów 2.3.1..... 2.3.4.

2.4. Tory ułożone na powierzchni ziemi

Na odcinkach metra poza tunelami należy liczyć się z odgałęzianiem z szyn większych prądów, ze względu na większą konduktywność szyny-ziemia wskutek zawilgoceń torowiska przez opady atmosferyczne i wskutek zanieczyszczeń nanoszonych na torowisko przez wiatry.

Konduktywność toru pojedynczego względem ziemi, wyznaczana zgodnie ze wzorem (3) jako odwrotność jednostkowej rezystancji przejścia szyn jezdnych względem ziemi, nie powinna w czasie eksploatacji przekraczać wartości 0.5 S/km, a w czasie budowy metra, tj.

przed oddaniem budowanego odcinka do eksploatacji, wynosić nie więcej niż 0.025 S/km. Aby to osiągnąć, należy zgodnie z normą EN 50122-2:1998 stosować:

- czystą posypkę,
- podkłady drewniane lub betonowe z izolacyjnym mocowaniem szyn,
- odpowiedni odstęp między szyną jezdną i podsypką,
- skuteczne odprowadzenie wody z torowiska,
- układanie szyn na warstwie żywicy izolującej lub wprowadzanie osłon z materiałów izolacyjnych między szyny i podtorze

W przypadku toru kotwionego do płyty betonowej, powinna być podczas jego układania mierzona rezystancja między każdą śrubą kotwiącą i zbrojeniem płyty lub ziemią; rezystancja ta, sprawdzana induktorem o napięciu 250 V, powinna być równa co najmniej 1.0 MΩ.

Konstrukcje, które muszą być uszyniane, powinny być łączone z szynami jezdnymi za pośrednictwem urządzeń, zapewniających połączenie z szynami tylko na okres wystąpienia nadmiernych napięć tych konstrukcji względem szyn. Przewody uszynień powinny być izolowane na napięcie co najmniej 750 V.

Tory ułożone na powierzchni ziemi powinny spełniać wymagania pkt.2.3.2., a także powinny być izolowane od szyn innych torów, np. tramwajowych lub kolejowych za pomocą szynowych złączy izolujących, które powinny być instalowane w tokach szynowych łącznic między torami metra i innymi torami, lecz możliwie blisko torów metra. W każdym toku szynowym łącznicy powinny być zainstalowane dwa złącza izolujące w odległości ok. 30 m od siebie.

2.5. Tory w budynku zajezdni

Szyny torów w budynku zajezdni powinny być odizolowane od szyn torów wjazdowych i wyjazdowych za pomocą szynowych złączy izolujących zwieranych automatycznie tylko na czas wjazdu lub wyjazdu pociągu z zajezdni. Szyny torów w zajezdni nie powinny stykać się z konstrukcjami metalowymi, ze zbrojeniem betonu podtorza, z elementami uziemień przeciwporażeniowych oraz z betonem podtorza. Konduktywność torów w zajezdni względem podłoża powinna spełniać wymagania 2.3.1.

2.6. Zasilanie i powrót prądu trakcyjnego

2.6.1. Zasilanie torów szlakowych

Należy stosować dwustronne zasilanie torów szlakowych, przy czym zaleca się podział zbiorczej szyny zasilającej w podstacji trakcyjnej na dwie części, z których każda zasila oba tory po jednej stronie podstacji.

Wskutek zwykle różnej konstrukcji torów i różnych warunków atmosferycznych w tunelu i poza nim, może przy końcu tunelu wystąpić znaczne zróżnicowanie rezystancji przejścia torów metra względem tunelu i rezystancji przejścia tychże torów względem ziemi, co spowoduje wzrost prądów błądzących w tunelu lub jego zbrojeniu. Aby temu zapobiec zaleca się stosowanie zasilania jednostronnego odcinków torów po obu stronach wejścia do tunelu przez wprowadzenie w tym miejscu przerw izolacyjnych w szynach jezdnych (złącza izolujące) i w szynach prądowych. Jednocześnie zastosowane rozwiązanie musi zapewniać możliwość zasilania alternatywnego w razie awarii.

2.6.2. Zasilanie torów zajezdni

Tory zajezdni lub stacji techniczno-postojowej powinny być zasilane z oddzielnej podstacji trakcyjnej lub z oddzielnego prostownika w podstacji zasilającej tory szlakowe. W tym drugim przypadku szyny zbiorcze zasilająca i powrotna w podstacji powinny być podzielone (sekcjonowane), tak aby zapewnić oddzielne zasilanie obu grup torów. Wymaganie to nie dotyczy krótkotrwałych awarii.

2.6.3. Zasilanie torów różnych linii metra

Zasilanie torów różnych linii metra z jednej podstacji trakcyjnej jest dozwolone tylko pod warunkiem, że każda z linii jest zasilana z oddzielnego prostownika tej podstacji i poprzez wydzielone sekcje szyn zbiorczych, zasilającej i powrotnej Wydzielone sekcje tych szyn zbiorczych mogą być zwierane tylko na okres krótkotrwałej awarii.

2.6.4. Izolowanie szyny powrotnej w podstacji trakcyjnej

Szyna powrotna podstacji trakcyjnej powinna być izolowana względem ziemi tunelu lub względem ziemi zewnętrznej na napięcie co najmniej 750 V, a rezystancja izolacji nie powinna być mniejsza niż 0.5 MΩ.

2.6.5. Przewody powrotne

W przypadku torów z dwutokowymi obwodami torowymi przewody powrotne należy łączyć ze środkowymi wyprowadzeniami uzwojeń dławików torowych. W przypadku ułożonych na powierzchni ziemi torów z jednotokowymi obwodami torowymi przewody powrotne

należy doprowadzać do punktu powrotnego izolowanego względem ziemi na napięcie co najmniej 750 V, łączonego następnie z szynami wiodącymi prąd trakcyjny.

Izolacja przewodów powrotnych powinna spełniać wymagania 2.6.4.

2.7. Instalacje do badania prądów błądzących w metrze

2.7.1. Cel i sposób badań

Celem badań jest ocena zagrożenia korozyjnego tuneli i urządzeń metra wskutek oddziaływania prądów błądzących odgałęzianych zarówno z torów metra, jak i z innych źródeł, np. z szyn tramwajów i szyn kolei zelektryfikowanych, jeżeli prądy te przedostają się do obudów tuneli metra lub do mostów, wiaduktów i estakad, na których leżą tory metra. Chodzi także o ocenę zagrożeń korozyjnych innych sąsiednich metalowych konstrukcji podziemnych wskutek prądów błądzących upływających z torów metra do ziemi. Sposób badań polega na komputerowej rejestracji określonych wielkości charakteryzujących oddziaływanie prądów błądzących na konstrukcje metalowe, które mogą ulegać korozji elektrolitycznej. Wybór tych wielkości, oraz częstość i czas trwania rejestracji powinny być określone na podstawie wstępnej analizy zagrożeń korozyjnych, dokonywanej w fazie założeń dla nowej linii metra. W przypadku niewielkich zagrożeń, np. dla linii metra, które przebiegają z dala od takich źródeł zewnętrznych prądów błądzących jak tramwaje czy koleje, często mogą wystarczyć rejestracje kilkugodzinne, wykonywane 2...3 razy w ciągu roku. W przypadku dużych potencjalnych zagrożeń przez prądy błądzące ze źródeł zewnętrznych, jak to ma miejsce np. dla pierwszej linii metra w Warszawie, najlepszym rozwiązaniem jest wprowadzenie ciągłego monitorowania prądów błądzących.

W przypadku każdej linii metra konieczne jest zastosowanie działającego w sposób ciągły systemu wykrywania przypadkowych zwarć między ziemią szyn (ZS) i ziemią tunelu (ZT).

2.7.2. Wielkości mierzone w tunelach metra.

Na odcinkach linii metra w tunelach instalacje pomiarowe powinny umożliwiać pomiar lub rejestrację następujących wielkości:

- jednostkowa konduktywność G_{ST}' szyny jezdne-tunel dla toru pojedynczego, w S/km, określona na podstawie wzoru (3),
- potencjał tunelu lub jego zbrojenia TC względem ziemi, wyznaczany w stosunku do odpowiedniej elektrody odniesienia, np. cynkowej w przypadku pierwszej linii metra, w V,
- prąd w tunelu lub jego zbrojeniu T (w A), wyznaczany albo na podstawie rejestrowanego spadku napięcia w tunelu (w mV) i wcześniej zmierzonej rezystancji odcinka tunelu (w

mΩ), albo w oparciu o inną metodę pomiaru, np. za pomocą czujników hallotronowych typu LEM,

- napięcie *ST* między szynami metra i tunelem, w V,
- napięcie *STrT* między szynami tramwajowymi i tunelem w przypadku zbliżeń lub skrzyżowań trasy tunelu metra z torami tramwajowymi, w V,
- napięcie *SKT* między szynami kolejowymi i tunelem w przypadku zbliżeń lub skrzyżowań tunelu metra z torami zelektryfikowanej linii PKP, w V,
- sumaryczny prąd obciążenia podstacji trakcyjnej *IP*, w A,
- ewentualne inne dodatkowe wielkości np. spadek napięcia *S* w szynach jezdnych.

2.7.3. Wielkości mierzone na odcinkach naziemnych metra

W przypadku torów metra na mostach, wiaduktach i estakadach zaleca się pomiar i rejestrację wielkości jak w punkcie 2.7.2, ponieważ konstrukcje te mogą podlegać analogicznym zagrożeniom korozyjnym jak tunele.

W przypadku torów metra ułożonych na powierzchni ziemi, w tym na nasypach i w wykopach, zakres badań powinien obejmować sprawdzenie wypełnienia wymagań norm oraz przepisów wg pozycji a) i b) w punkcie 1.3, aktualnie obowiązujących dla torów linii kolejowych.

2.7.4. Projekt instalacji do kontroli (monitorowania) prądów błądzących.

Dla każdego nowego odcinka linii metra należy wykonać projekt instalacji służącej do monitorowania prądów błądzących, zgodnie z zasadami przyjętymi począwszy od stacji A15. Projekt taki powinien zawierać:

a) usytuowanie i sposób wykonania przerw izolacyjnych i połączeń do zwierania tych przerw w tunelach metra,
b) usytuowanie i sposób montażu elektrod odniesienia do rejestracji potencjałów tunelu względem ziemi, z uwzględnieniem 100% rezerwy,
c) wyznaczenie odcinków do rejestracji spadków napięć w celu obliczenia prądów w tunelach lub miejsc pomiaru prądu w tunelach za pomocą czujników hallotronowych,
d) usytuowanie miejsc pomiaru napięć między szynami i tunelem oraz miejsc usytuowania punktów kontrolno pomiarowych,
e) schematy połączeń pomiarowych dla wszystkich mierzonych wielkości, dobór odpowiednich przetworników pomiarowych, ich specyfikacja i rozmieszczenie w szafkach punktów kontrolno-pomiarowych,

f) nazwy i oznaczenia punktów kontrolno pomiarowych i mierzonych w nich wielkości ustalone w sposób umożliwiający identyfikację i lokalizację mierzonej wielkości, np wg zasad przyjętych dla stacji A13 i dla sąsiadujących z tą stacją odcinków szlakowych.

Części projektu wymienione w punktach od a) do d) powinny być zrealizowane na podstawie wstępnej analizy wzajemnego usytuowania trasy projektowanego odcinka linii metra oraz tras pobliskich linii tramwajowych i kolejowych, stanu ich torów, usytuowania tramwajowych i kolejowych podstacji trakcyjnych i punktów powrotnych oraz wynikającego stąd potencjalnego wpływu obcych prądów błądzących na tunele nowego odcinka metra.

Dane wynikające z projektu (odległości, parametry przetworników pomiarowych i boczników, oraz inne niezbędne dane, a także nazwy i oznaczenia mierzonych wielkości) należy wprowadzić do systemu i programu monitorowania prądów błądzących, tak aby działanie tego systemu, uzupełnionego o nowy odcinek linii metra mogło być uruchomione i sprawdzone natychmiast po wykonaniu i sprawdzeniu instalacji kontroli prądów błądzących, i umożliwiało wykonanie badań zgodnie z 2.7.6.

2.7.5. Pomiary wykonywane w czasie budowy

Podczas układania torów metra należy sprawdzać rezystancję między śrubami kotwiącymi szyny i tunelem lub jego zbrojeniem, na zgodność z punktem 2.3.1. Wymaganie to dotyczy także szyn poza tunelami metra, jeżeli szyny te są mocowane do podłoża betonowego lub żelbetowego. W takich przypadkach mierzy się rezystancję między każdą śrubą i zbrojeniem betonu podłoża lub ziemią. W przypadku zbyt małej rezystancji śruba powinna być wyjęta i zmontowana powtórnie lub zastąpiona przez inną.

Po upływie co najmniej 4-5 tygodni od zainstalowania elektrod odniesienia do pomiaru potencjału *TC* tunelu względem ziemi, ale jeszcze przed uruchomieniem jazd pociągów próbnych na nowym odcinku metra, należy sprawdzić prawidłowość montażu elektrod, wykonując 15...30-minutową rejestrację potencjału tunelu względem każdej elektrody. Na czas tej rejestracji badane elektrody powinny być odłączone od układu kontroli prądów błądzących. Na podstawie rejestracji należy ustalić, czy działanie elektrod jest prawidłowe i nie zachodzi potrzeba ich wymiany, oraz która z dwóch elektrod ma służyć jako pracująca, a która jako zapasowa.

2.7.6. Pomiary wykonywane przed oddaniem nowego odcinka metra do eksploatacji

Po zakończeniu budowy każdego nowego odcinka linii metra, ale jeszcze przed przekazaniem go do eksploatacji należy wykonać następujące badania w podanej niżej kolejności:

a) pomiary upływności szyn toru pojedynczego względem ziemi tunelu na zgodność odpowiednio z punktami 2.3.1 i 2.5. Podczas pomiarów powinny być zwarte wszystkie izolacje poprzeczne tuneli na nowym odcinku, za wyjątkiem izolacji oddzielającej nowy odcinek tunelu od eksploatowanej części linii metra; tory nowego odcinka nie mogą mieć połączenia metalicznego z torami znajdującymi się w eksploatacji,

b) sprawdzenie skuteczności izolacji poprzecznej tunelu na podstawie pomiaru prądu w magistrali uziemiającej po zwarciu tej izolacji, ale tylko przez magistralę,

c) pomiar rezystancji wzdłużnej odcinków tunelu, na których ma być rejestrowany spadek napięcia *T*,

d) kontrola prawidłowości połączeń instalacji do pomiaru *TC*, *T*, *STrT*, oraz *SKT* przez próbne rejestracje tych wielkości w systemie monitoringu; sprawdzenie powinno być wykonane po zakończeniu montażu instalacji pomiarowych i ich wstępnym sprawdzeniu oraz po uruchomieniu systemu monitoringu dla nowego odcinka linii metra, ale przed rozpoczęciem jazd pociągów próbnych metra na tym odcinku,

e) badanie zagrożeń korozyjnych tuneli wskutek oddziaływań prądów błądzących ze źródeł zewnętrznych; badanie polega na kilkudniowej (3 do 7 dni) rejestracji w systemie monitoringu – po uprzednim stwierdzeniu prawidłowości działania tego systemu na nowym odcinku linii metra – wartości chwilowych wielkości wymienionych w d) i na ocenie otrzymanych rezultatów. Podczas rejestracji tunel nowego odcinka i tory metra na tym odcinku powinny być oddzielone od eksploatowanej części linii metra, nie może być ruchu pociągów próbnych na nowym odcinku, a izolacje poprzeczne tunelu na nowym odcinku powinny być zwarte. Badanie należy powtórzyć w tych samych warunkach, lecz przy otwartych izolacjach poprzecznych nowego odcinka tunelu,

f) kontrola prawidłowości wszystkich połączeń, także do pomiaru *ST*, w systemie monitoringu na nowym odcinku linii metra; kontrola polega na wykonaniu rejestracji jak w d), ale w czasie jazd pociągów próbnych metra.

3. Eksploatacja

3.1. Ocena zagrożeń nowego odcinka metra po rozpoczęciu eksploatacji

3.1.1. Kryterium braku zagrożeń tuneli metra przez korozję elektrolityczną

Wg normy europejskiej (punkt 1.3. b), zagrożenie korozyjne tunelu wskutek prądów błądzących nie występuje, jeżeli wartość średnia przesunięcia potencjału tunelu względem ziemi w godzinie szczytowego ruchu jest mniejsza niż +100 mV, w stosunku do wartości tego potencjału przy braku prądów błądzących.

W praktyce oznacza to, że jako kryterium braku zagrożenia korozyjnego należy przyjmować różnicę $\Delta TC < +100$ mV między wartością średnią potencjału tunel-ziemia zarejestrowaną w godzinach szczytu porannego i wartością średnią tego potencjału w czasie nocnej przerwy w ruchu. W aktualnych warunkach ruchowych metra warszawskiego oraz tramwajów warszawskich można przyjąć godziny szczytu porannego od 6:30 do 8:30, a okres nocnej przerwy w ruchu od godz. 1:00 do 3:00.

3.1.2. Zakres i sposób badań

W zakres badań wchodzi analiza wyników rejestracji następujących wielkości, odbywającej się automatycznie w systemie monitorowania prądów błądzących:

a) potencjał *TC* tunelu względem elektrody cynkowej,
b) spadek napięcia (prąd) w tunelu *T*,
c) napięcie *ST* między szynami metra i tunelem,
d) napięcie *STrT* między szynami tramwajowymi i tunelem,
e) napięcie *SKT* między szynami linii średnicowej PKP i tunelem,
f) sumaryczny prąd obciążenia poszczególnych podstacji trakcyjnych *IP*

Analiza wielkości od a) do d) może dotyczyć tylko nowego odcinka metra; wyniki rejestracji pozostałych dwóch wielkości powinny obejmować całą eksploatowaną część linii. Zakres analizy powinien obejmować okres nie krótszy niż 10 dni i w zasadzie nie dłuższy niż 1 miesiąc, licząc od daty rozpoczęcia eksploatacji nowego odcinka metra. Przedmiotem analizy powinny być zarówno wartości chwilowe rejestrowanych wielkości, jak i tzw. „wartości uśrednione", tj. zapisywane na dysku komputera wartości średnie i ekstremalne za okres każdych 30 minut.

Celem analizy potencjałów *TC* jest ocena zagrożenia tuneli nowego odcinka metra wskutek oddziaływań prądów błądzących (por. pkt.3.1.1). Najłatwiej jej dokonać na podstawie:

- tabel zawierających zestawienia dla każdej doby wartości średnich *TC* w okresie szczytu porannego i w okresie nocnej przerwy w ruchu, oraz różnicy ΔTC między tymi wartościami, a także wybrane i obliczone z tej tabeli oraz podane np. w jej ostat-

nich kolumnach wartości ekstremalne oraz wartości średnie *TC'* oraz Δ*TC'* dla całego rozpatrywanego czasu rejestracji; otrzymana wartość Δ*TC'* powinna spełniać kryterium braku zagrożenia wg pkt. 3.1.1, a tabele o których tu mowa powinny być wydrukowane i zachowane,

- wykresów przebiegów czasowych wartości, o których mowa wyżej,
- wykresów przebiegów czasowych wartości średnich 30-minutowych i wartości ekstremalnych *TC* dla całego okresu poddanego analizie; wykresy te, zwłaszcza w porównaniu z wykresami innych rejestrowanych wielkości, w sposób syntetyczny przedstawiają zmiany potencjałów tunelu i pozwalają na wykrywanie i ustalanie przyczyn różnych nieprawidłowości.

Analiza spadków napięć i prądów *T* płynących w tunelu ma na celu dostarczenie dodatkowych danych do oceny niebezpieczeństwa korozji tuneli, gdyż liczba elektrod odniesienia rozmieszczonych do badania potencjałów tuneli jest zwykle nie wystarczająca. Na podstawie doświadczeń z dotychczas uruchamianych odcinków metra można stwierdzić, że wartości średnie dobowe dodatnie lub ujemne prądów w tunelu nie powinny w zasadzie przekraczać wartości 5...10 A. Oprócz tego analiza taka ułatwia ustalanie przyczyn wystąpienia różnych zjawisk nietypowych, np. zwarć ZS i ZT, oraz pozwala na ewentualną korektę doboru przetworników pomiarowych do pomiaru *T*. Celowe jest podczas analizy *T* wykorzystanie:

- przebiegów czasowych wartości średnich 30-minutowych *T* w A z całego okresu rejestracji, m. in. dla analizy kierunków przepływu prądów w tunelu na różnych odcinkach metra,
- zestawień tabelarycznych wartości średnich dobowych prądów *T* w tunelach,
- przebiegów wartości prądów średnich godzinnych (szczyt) lub/i dobowych w tunelu w funkcji długości tunelu dla nowego odcinka metra,
- przebiegów czasowych wartości chwilowych *T* w godzinach nocnych łącznie z przebiegami wartości chwilowych *SKT* dla oceny wpływu prądów kolejowych na tunele metra,
- korelacji $T = f(SKT)$ dla oceny j.w.,

Celem analizy wyników rejestracji napięcia *ST* jest ustalenie wartości służących jako kryteria wykrywania zwarć ZS i ZT, a także ocena zarejestrowanych wartości ekstremalnych. Porównanie przebiegów czasowych *ST* na podstawie zarejestrowanych wartości uśrednionych umożliwia także wykrywanie przypadkowych zwarć ZS i ZT oraz ewentualnych innych nie-

prawidłowości w układzie zasilania trakcyjnego. Analizę wyników rejestracji *ST* zaleca się wykonywać na podstawie:

- zestawień tabelarycznych wartości średnich *ST* w godzinach szczytowego ruchu, wartości średnich dobowych i wartości ekstremalnych dla całego okresu rejestracji,
- przebiegów czasowych wartości średnich 30-minutowych i wartości ekstremalnych *ST* dla całego okresu rejestracji.

W warunkach normalnego niezakłóconego ruchu kształt przebiegów wartości średnich *ST* w poszczególnych dniach rejestracji powinien być podobny. Wyraźne zmniejszenie wartości średnich i ekstremalnych w okresie kilku godzin lub całej doby może świadczyć o pojawieniu się zwarcia ZS i ZT.

Wartości ekstremalne napięcia szyny-tunel wskazują na margines bezpieczeństwa dla przypadku możliwego zadziałania urządzeń do ciągłej kontroli napięć rażenia. Należy jednak przy tym wykluczyć możliwe chwilowe zakłócenia szpilkowe w czasie rejestracji.

Analizowanie wyników rejestracji *ST* warto jest wykonywać łącznie z analizą wyników rejestracji prądów obciążenia *IP* najbliższych podstacji trakcyjnych.

Jeżeli na przekazanym do eksploatacji nowym odcinku metra przewidziano pomiar napięcia *STrT* między szynami tramwajowymi i tunelem, to celowa jest analiza przebiegu czasowego wartości średnich 30-minutowych i wartości ekstremalnych tej wielkości. Praktyka wykazuje zwykle duże podobieństwo takiego przebiegu dla poszczególnych dni, za wyjątkiem sobót i dni świątecznych, kiedy zarejestrowane wartości są wyraźnie mniejsze.

Celowa jest także analiza przebiegów czasowych napięcia *SKT* szyn kolejowych linii średnicowej względem tunelu metra, rejestrowanego w CP13. Wyniki takiej analizy mogą być pomocne przy ustalaniu ewentualnego wpływu prądów odgałęzionych z szyn PKP na rozważane wcześniej przebiegi, a zwłaszcza na potencjały tuneli i na prądy płynące w tunelach. Wskazane jest stosowanie metody korelacyjnej do analizy wpływu prądów tramwajowych i kolejowych na potencjały *TC* i prądy *T* tuneli nowego odcinka metra, a także wpływu prądów odgałęzianych z torów metra. Jeżeli z korelacji lub przebiegów czasowych wartości chwilowych okaże się, że występuje współzależność *TC* lub *T* od napięcia ST, to może to oznaczać miejscowe zwiększenie konduktywności szyn metra względem tunelu.

3.1.3. Ocena wyników badań

W rezultacie analizy wyników badań należy:

- ustalić, czy występuje niebezpieczeństwo korozji tuneli wskutek oddziaływań prądów błądzących wg kryterium z pkt. 3.1.1,
- ustalić potrzebę utrzymywania w dalszej eksploatacji otwartych (wszystkich lub tylko niektórych) izolacji poprzecznych tunelu,
- ocenić wpływ prądów PKP na tunele metra,
- ocenić stan izolacji między ZS i ZT,
- ustalić kryteria wykrywania zwarć ZS i ZT.

3.1.4. Ustalenie kryteriów wykrywania przypadkowych zwarć ZS i ZT.

Jako kryteria wykrywania przypadkowych zwarć ZS i ZT stosuje się tzw. graniczne wartości napięcia ST i potencjału TC. Przyjęcie tych dwóch wielkości wynika z faktu, że zwarcie między szynami i tunelem powoduje znaczące zmniejszenie wartości średniej (dodatniej i ujemnej) ST w pobliżu miejsca zwarcia, przy jednoczesnym znaczącym wzroście wartości ekstremalnych potencjału TC.

Jako wartości graniczne ST_g przyjmuje się najmniejsze zarejestrowane w ciągu całego czasu rejestracji wartości średnie dobowe, a jako wartości graniczne TC_g – najmniejszą i największą zarejestrowaną w ciągu całego czasu rejestracji wartość chwilową. Obserwacje praktyczne wykazały, że zwarcie ZS i ZT powoduje zmniejszenie napięcia szyny-tunel poniżej wartości granicznych o co najmniej 50% i jednoczesne zwiększenie maksymalnego potencjału tunelu lub zmniejszenie potencjału minimalnego w tym rejonie o co najmniej 20% w stosunku do wartości granicznych. Do programu monitorowania wstawia się dla nowego odcinka metra tzw. wartości progowe P_{ST} i P_{TC} napięcia ST i potencjału TC skorygowane odpowiednio o współczynniki przeliczeniowe, wynikające z typu zastosowanych przetworników pomiarowych. Dla odcinka metra między A11 i A13 były to współczynniki 4.0 dla ST i 0.04 dla TC. Na tej podstawie do obliczenia wartości progowych do wykrywania i sygnalizacji zwarć przyjęto następujące zależności:

$$P_{ST} = 0.5 \times 0.04 \times ST_g = 0.02\, ST_g$$

$$P_{TC} = 0.8 \times 4.0 \times TC_g = 3.2\, TC_g$$

W programie monitorowania należy każdej wartości progowej napięcia szyny-tunel przypisać co najmniej dwie wartości progowe potencjału tunelu mierzone do najbliższych elektrod cynkowych. Jednoczesne przekroczenie tych wartości w czasie 30 minut rejestracji w okresie szczytu rannego lub popołudniowego powinno powodować zasygnalizowanie zwarcia ZS i ZT.

3.2. Okresowa ocena zagrożeń korozyjnych

3.2.1. Pomiary konduktywności szyny-tunel

Konduktywność szyny-tunel dla toru pojedynczego w czasie eksploatacji nie powinna przekraczać 0.05 S/km, po przeliczeniu wyników pomiarów na odcinek toru odpowiadający obszarowi zasilania podstacji trakcyjnej. Pomiary konduktywności dla całej linii metra należy wykonywać raz w ciągu roku.

3.2.2. Rejestracja wielkości charakteryzujących oddziaływania prądów błądzących

Rejestracja taka w systemie monitorowania prądów błądzących jest prowadzona dla całej linii metra bez przerwy, a wyniki są zapisywane automatycznie. Wyniki tej rejestracji powinny być wykorzystywane w trybie codziennym, w celu kontroli czy w ciągu ostatniej doby nie pojawił się meldunek o wystąpieniu zwarcia ZS i ZT, oraz w trybie miesięcznym, w celu dokonania okresowej oceny zagrożeń korozyjnych tuneli.

W przypadku sygnalizacji zwarcia ZS i ZT należy:

- na podstawie analizy przebiegów czasowych *TC*, *T* i *ST* dla rejonu, w którym było sygnalizowane zwarcie ustalić, czy zwarcie rzeczywiście miało miejsce, czy też wystąpiła sygnalizacja pomyłkowa, np. wskutek wystąpienia zakłócenia szpilkowego w przebiegu *TC*,
- w razie potwierdzenia zwarcia ustalić przybliżoną jego lokalizację, przede wszystkim na podstawie zmian w kierunku przepływu prądu *T* w tunelu w porównaniu z wynikami rejestracji z poprzednich dni, a także na podstawie ewentualnych meldunków o zadziałaniu urządzeń do ciągłej kontroli napięć rażenia; na podstawie bieżącej rejestracji ustalić, czy zwarcie istnieje nadal,
- zebrać informacje od stosownych służb eksploatacyjnych na temat prawidłowości pracy urządzeń elektrycznych metra w ciągu poprzedniej doby, na podstawie bieżącej rejestracji ustalić, czy zwarcie istnieje nadal,
- rozpoznać i usunąć przyczynę zwarcia.

Okresowa ocena zagrożeń korozyjnych tuneli metra powinna obejmować analizy wyników rejestracji *TC*, *T* oraz *ST* omówione w pkt.3.1.2, a w przypadku wykrycia istotnych zmian lub nieprawidłowości w tych zestawieniach i przebiegach w porównaniu z ostatnią oceną, także analizy wyników rejestracji innych wielkości.

Ocena dotyczy okresu rejestracji od daty poprzedniej oceny zagrożeń korozyjnych.

Uwaga: Jeżeli kilka kolejnych kontroli miesięcznych nie wykaże w analizowanych zestawieniach i przebiegach zmian istotnych z punktu widzenia zagrożeń korozyjnych tuneli metra, to odstęp między kontrolami można zwiększyć do 2, a następnie do 3 miesięcy.

3.2.3. Zmiany kryteriów wykrywania przypadkowych zwarć ZS i ZT

Jeżeli w systemie monitorowania notuje się częste pomyłkowe sygnalizowanie zwarć ZS i ZT, to należy skorygować wartości progowe P_{ST} i/lub P_{TC} napięcia *ST* i potencjału *TC* tych wielkości, które najczęściej są powodem błędnych alarmów. Korekta taka polega na zmniejszeniu odpowiednich wartości średnich dodatnich i ujemnych *ST* albo na zwiększeniu wartości maksymalnych i zmniejszeniu wartości minimalnych *TC* i powinna być niewielka. Skorygowane wartości progowe należy wprowadzić do programu monitorowania.

3.2.4. Badania dodatkowe

Ponadto zakres badań okresowych powinien obejmować sprawdzenie raz na rok wypełnienia wymagań normy wg pozycji a) w punkcie 1.3, aktualnie obowiązujących dla torów linii metra (stan podłużnych, poprzecznych i obejściowych łączników szynowych, złączy izolujących oddzielających szyny naziemnych torów metra od szyn innych torów, rezystancja izolacji szyny powrotnej w podstacjach trakcyjnych).

4. Zasady BHP

Wszelkie prace w tunelach i na stacjach metra, oraz na terenie STP Kabaty winny być prowadzone zgodnie z obowiązującymi zasadami i przepisami bezpieczeństwa i higieny pracy obowiązującymi w Metrze Warszawskim