

N-2829

POLSKIE NORMY
ELEKTROTECHNICZNE
PNE



1938

Dział I

Przepisy ogólne.

PNE

- 2 Symbole graficzne urządzeń elektrycznych prądu silnego.
- 9 Wskazówki niesienia doraźnej pomocy w wypadku porażenia prądem elektrycznym.
- 18 Napięcia normalne.
- 19 Symbole graficzne telekomunikacji.
- 22 Wskazówki co do ochrony budowli od elektrycznych wyładowań atmosferycznych oraz instrukcja dla kontroli urządzeń piorunochronowych.
- 26 Wskazówki obchodzenia się z urządzeniami elektrycznymi w razie pożaru.
- 27 Wskazówki ochrony urządzeń metalowych znajdujących się w ziemi, od działania elektrycznego prądów błędzących.
- 29 Wskazówki obchodzenia się z domowymi urządzeniami elektrycznymi. Środki ostrożności przeciwko porażeniom i pożarom.
- 39 Wskazówki stosowania tablic ostrzegawczych w urządzeniach elektrycznych i ich wzory.
- 44 Normy jasności.

PRZEDMOWA

**WSKAZÓWKI OCHRONY
URZĄDZEŃ METALOWYCH**

**ZNAJDUJĄCYCH SIĘ W ZIEMI,
OD DZIAŁANIA ELEKTROLITYCZNEGO
PRĄDÓW BŁĄDZĄCYCH**

DODATEK

PRĄDY BŁĄDZĄCE

(Wyciąg z referatu prof. R. Podolskiego.)

WARSZAWA

OPRACOWANE NA ZAMÓWIENIE MINISTERSTWA ROBÓT PUBLICZNYCH

NAKLADEM STOWARZYSZENIA ELEKTRYKÓW POLSKICH

CZACKIEGO 3.

WSKAZÓWKI OCHRONY
URZĄDZEN METALOWYCH

Przyjęte przez XIV-te zebranie plenarne PKE z dn. 11 kwietnia 1932 r. —
Przedruk dozwolony tylko za zgodą Stowarzyszenia Elektryków Polskich. —
Copyright by SEP. — Warszawa, 1932.

DODATEK

PRĄDY BŁĄDZĄCE

Wydanie z referatu prof. K. Podolskiego.

WARSZAWA

OPRACOWANIE NA ZAMÓWIENIE MINISTERSTWA ROBÓT PUBLICZNYCH
MAKALDEM STOWARZYSZENIA ELEKTRYKÓW POLSKICH

PRZEDMOWA

Dla opracowania niniejszych „Wskazówek ochrony urządzeń metalowych, znajdujących się w ziemi, od działania elektrolitycznego prądów błędzących“, Polski Komitet Elektrotechniczny przy Stowarzyszeniu Elektryków Polskich powołał Komisję Prądów Błędzących, w skład której weszli przedstawiciele Ministerstwa Poczt i Telegrafów, Politechniki Warszawskiej, Polskiej Akcyjnej Spółki Telefonicznej, Stowarzyszenia Teletechników Polskich, Związku Gospodarczego Gazowni i Zakładów Wodociągowych, Instytutu Wodociągowego i Związku Przedsiębiorstw Komunikacyjnych w Polsce.

Międzynarodowa Komisja Elektrotechniczna (C. E. I.), opracowująca przepisy i normy elektrotechniczne o charakterze międzynarodowym, nie zajęła się dotychczas sprawą przepisów dla ochrony mas metalowych, znajdujących się w ziemi, od działań elektrolitycznych prądów błędzących, odgałęziających się od innych przewodów prowadzących prąd. Przepisy więc takie o charakterze międzynarodowym dotychczas nie istnieją, istnieją natomiast jedynie przepisy krajowe, jako to: angielskie, niemieckie, szwajcarskie i francuskie.

Wprawdzie Międzynarodowy Komitet Doradczy dla Telefonji Dalekosiężnej wystąpił z inicjatywą opracowania takich międzynarodowych przepisów i przedstawił odnośny projekt na Zjeździe w 1927 r. w Como. Projekt ten jednak spotkał się z ostrą krytyką ze strony kół fachowych i nie został wobec tego przyjęty.

Międzynarodowy Związek Tramwajów, Kolei Dojazdowych i Przedsiębiorstw Autobusowych, jako bezpośrednio w tej sprawie zainteresowany, utworzył ze swej strony Komisję dla ewentualnego opracowania międzynarodowych przepisów. Komisja ta, po zaznajomieniu się z przepisami, istniejącymi w różnych krajach i zbadaniu podstaw naukowych, któreby mogły służyć do opracowania przepisów, przyszła do przekonania, że istniejące przepisy krajowe, aczkolwiek oparte na różnych zasadach, spełniają naogół swe zadania, że więc niema narazie potrzeby zastępowania ich innymi, tem bardziej, że opracowanie już obecnie ścisłych przepisów międzynarodowych nie byłoby możliwe, gdyż nie są jeszcze dostatecznie znane różne czynniki, wpływa-

jące na kierunek, natężenie i rozłożenie w ziemi prądów błędzących.

Ponieważ jednak znaczna ilość krajów nie posiada jeszcze jednoznacznych przepisów, Komisja Międzynarodowego Związku uważała za konieczne opracowanie ogólnych zasad, któreby mogły służyć jako wytyczne dla opracowywania dokładniejszych przepisów lub wskazówek dla tych krajów, które przepisy takie lub wskazówki zamierzają wprowadzić.

Komisja międzynarodowa opracowała więc wstępny projekt wskazówek dla ochrony od działań elektrolitycznych prądów błędzących, który został zatwierdzony przez Związek na XXII Międzynarodowym Kongresie, odbytym w Warszawie w lipcu 1930 r.

Prace Komisji Prądów Błędzących Stowarzyszenia Elektryków Polskich przy ustalaniu polskich Wskazówek opierały się na tych wstępnych wskazówkach międzynarodowych.

Wobec dalszego prowadzenia badań i doświadczeń, dążących do bliższego określenia różnych czynników wpływających na natężenie, kierunek i rozkład w ziemi prądów błędzących, a także na stopień szkodliwości ich działań elektrolitycznych, niniejszych Wskazówek nie należy uważać za ostateczne i nie podlegające w przyszłości zmianom. Przeciwnie będą one w miarę postępu nauki i wiedzy uzupełniane i ewentualnie zmieniane.

Dla ułatwienia orjentowania się w całokształcie tak zawilej sprawy powstawania i działania prądów błędzących, oraz stosowania niniejszych Wskazówek, dołączony został do nich wyciąg z referatu Prof. R. Podoskiego na XXII Kongres Międzynarodowego Związku Tramwajów, Kolei Dojazdowych i Przedsiębiorstw Autobusowych, który służył jako podstawa do opracowania wstępnych wskazówek Związku.

Warszawa, styczeń 1932 r.

WSKAZÓWKI OCHRONY URZĄDZEŃ METALOWYCH

ZNAJDUJĄCYCH SIĘ W ZIEMI,
OD DZIAŁANIA ELEKTROLITYCZNEGO
PRĄDÓW BŁĄDZĄCYCH

ZESTAWIENIE.

Wstęp.

- § 1. Zakres działania wskazówek.
- § 2. Uszkodzenia i ich ograniczenia.
- § 3. Podział na strefy.
- § 4. Tory kolejowe jako przewodniki.
- § 5. Spadki napięć w torach kolejowych.
- § 6. Spadki napięć w przerwach torów kolejowych.
- § 7. Zasady budowy torów kolejowych.
- § 8. Ochrona urządzeń metalowych, ułożonych w ziemi.
- § 9. Pomiary kontrolne.

U w a g a: Ustępy drukowane *petitem* po każdym paragrafie są objaśnieniami do danego paragrafu.

187

jęca na terenach, w których i rozłożenie w innych przedmiotach
działających.

Pomimo, że znaczna ilość krajowa nie posiada jeszcze
odpowiednich przepisów. Komisja Międzynarodowego Związku
wzięła za konieczne opracowanie ogólnych zasad, któreby mo-
gły służyć jako wytyczne dla opracowywania najbardziej
przebiegów lub wskazówek, któreby służyły jako przepisy takie
lub wskazówki zamierzano w tym celu.

WSKAZÓWKI

OCZYSZCZENIE URZĄDZENI METALOWYCH
Jest to najważniejsza część pracy, która musi być wykonana przed
zainstalowaniem urządzenia. Wskazówki te dotyczą czyszczenia
urządzeń, które zostały użyte w poprzednich latach. Wskazówki
te dotyczą czyszczenia urządzeń, które zostały użyte w poprzednich
latach. Wskazówki te dotyczą czyszczenia urządzeń, które zostały
użyte w poprzednich latach.

PRACOWNIKI
Pracownicy powinni być przeszkoleni w zakresie obsługi
urządzenia. Pracownicy powinni być przeszkoleni w zakresie
obsługi urządzenia. Pracownicy powinni być przeszkoleni w
zakresie obsługi urządzenia. Pracownicy powinni być przeszkoleni
w zakresie obsługi urządzenia.

ZESTAWIENIE
Zestawienie to zawiera wszystkie dane, które są potrzebne do
obsługi urządzenia. Zestawienie to zawiera wszystkie dane, które
są potrzebne do obsługi urządzenia. Zestawienie to zawiera
wszystkie dane, które są potrzebne do obsługi urządzenia.

§ 1. Zakres działania wskazówek.
§ 2. Uszkodzenia i ich oznaczenia.
§ 3. Podział na strefy.
§ 4. Tryb pracy jako przewodnik.
§ 5. Spadek napięcia w torach kolejowych.
§ 6. Spadek napięcia w przewodach torów kolejowych.
§ 7. Zasady budowy torów kolejowych.
§ 8. Ochrona urządzeń melioracyjnych w ziemi.
§ 9. Pomiar kontrolny.

Dla celów niniejszego rozporządzenia
§ 1. Zakres działania wskazówek.
§ 2. Uszkodzenia i ich oznaczenia.
§ 3. Podział na strefy.
§ 4. Tryb pracy jako przewodnik.
§ 5. Spadek napięcia w torach kolejowych.
§ 6. Spadek napięcia w przewodach torów kolejowych.
§ 7. Zasady budowy torów kolejowych.
§ 8. Ochrona urządzeń melioracyjnych w ziemi.
§ 9. Pomiar kontrolny.

§ 1. Zakres działania wskazówek.
§ 2. Uszkodzenia i ich oznaczenia.
§ 3. Podział na strefy.
§ 4. Tryb pracy jako przewodnik.
§ 5. Spadek napięcia w torach kolejowych.
§ 6. Spadek napięcia w przewodach torów kolejowych.
§ 7. Zasady budowy torów kolejowych.
§ 8. Ochrona urządzeń melioracyjnych w ziemi.
§ 9. Pomiar kontrolny.

§ 1. Zakres działania wskazówek.
§ 2. Uszkodzenia i ich oznaczenia.
§ 3. Podział na strefy.
§ 4. Tryb pracy jako przewodnik.
§ 5. Spadek napięcia w torach kolejowych.
§ 6. Spadek napięcia w przewodach torów kolejowych.
§ 7. Zasady budowy torów kolejowych.
§ 8. Ochrona urządzeń melioracyjnych w ziemi.
§ 9. Pomiar kontrolny.

U w a g a: Ustępy drukowane pitem po każdym paragra-
fie są objaśnieniami do danego paragrafu.

Wstęp.

Tory tramwajów lub kolei elektrycznych, używających szyn jako jednego z przewodników, nie dadzą się nigdy całkowicie odizolować od ziemi. Wskutek tego odgałęzia się część płynących przez nie prądów do ziemi. Prądy te zwiemy prądami błędzającymi.

Prądy te wypływają z szyn na tych odcinkach, które są względem ziemi dodatnie (t. j. których potencjał jest wyższy od potencjału sąsiednich warstw ziemi), płyną dalej przez ziemię i powracają do szyn kolejowych na tych odcinkach, które są względem ziemi ujemne.

Prądy płynące w ziemi mogą częściowo przedostawać się do przewodów metalowych, ułożonych w ziemi, jako to: rur wodociągowych i gazowych, powłoki kabli prądów słabych lub silnych i t. p. Na pewnej przestrzeni prądy błędzące płyną w tych przewodach metalowych, a następnie opuszczają je, by powrócić do szyn kolejowych.

Prądy wychodzące z przewodów metalowych do ziemi mogą działać na nie elektrolitycznie, uprowadzając ze sobą cząsteczki metalu i powodując tem samym uszkodzenia tych przewodów.

W szynach kolejowych, przez które przepływa prąd, następuje spadek napięcia, czyli pomiędzy różnymi punktami szyny powstaje różnica potencjałów. Taka sama różnica potencjałów powstaje wówczas pomiędzy różnymi punktami ziemi, przylegającymi do tych szyn, a naskutek tej różnicy potencjałów powstają prądy błędzące, przepływające przez ziemię.

Natężenie prądów błędzących jest zależne od wielkości wspomnianych różnic potencjałów a poza tem od stosunku oporności dróg prądu przez tory i przez ziemię, względnie przez ułożone w niej przewody metalowe; oporność drogi prądu przez ziemię jest zależna od oporności przejściowej pomiędzy szynami a ziemią i oporności samej ziemi, a natężenie tej części tych prądów, które przedostają się do przewodów metalowych ułożonych w ziemi, zależy oprócz tego od oporności przejściowej pomiędzy temi przewodami a ziemią i od oporności samych przewodów.

Większa część tych czynników ma charakter wysoce zmiennej, trudny do określenia i obliczenia; wpływ na nie jest tylko

częściowo możliwy; obecny zatem stan wiedzy nie umożliwia jeszcze opracowania ścisłych przepisów, któreby we wszystkich wypadkach zabezpieczyły całkowicie masy metalowe, znajdujące się w ziemi, od elektrolitycznych działań prądów błędzących.

Wobec tego zostały opracowane jedynie ogólne wskazówki, które będą uzupełniane w miarę postępu wiedzy; w poszczególnych zaś wypadkach mogą być zastosowane, w zależności od każdorazowych warunków miejscowych, dodatkowe środki ochronne, ustalone po wspólnym zbadaniu sprawy przez zainteresowane strony i po osiągnięciu przez nie porozumienia.

§ 1. Zakres działania Wskazówek.

Wskazówki niniejsze dotyczą tramwajów lub kolei elektrycznych o prądzie stałym, używających szyn jako przewodnika.

Nie podlegają niniejszym Wskazówkom te linje, które nie leżą nigdzie bliżej przewodów lub rur, znajdujących się w ziemi, niż przewidziano w paragrafie 3.

Niniejsze Wskazówki dotyczą nowo budujących się linii, nawet takich, których projekty zostały już zatwierdzone, oraz linii istniejących w wypadkach poważnych zmian, dotyczących ilości pociągów, budowy torów lub przewodów zasilających i t. p. Wskazówki nie dotyczą linii istniejących dotąd, dopóki nie nastąpią wyżej wymienione zmiany lub nie ujawnią się znaczne uszkodzenia urządzeń metalowych w ziemi.

Ułgi, przewidziane w niniejszych wskazówkach dla tramwajów lub kolei elektrycznych, których tory są ułożone na własnym torowisku, nie dotyczą tych miejsc, gdzie budowa spodnia nie odpowiada warunkom własnego torowiska, jak na przykład skrzyżowań w poziomie i t. p. W tych wypadkach można zastosować ulgowe normy tylko pod warunkiem wykonania takich urządzeń, które zapewniają izolowanie danego miejsca, równoznaczne z ułożeniem na własnym torowisku. W przeciwnym razie należy stosować do tych miejsc normy bez ulg.

Wskazówki dotyczą tylko kolei i tramwajów elektrycznych o prądzie stałym, używających szyn jako jednego z przewodników. Koleje i tramwaje, które szyn jako przewodnika nie używają (jak np. niektóre linje kolejowe z doprowadzeniem prądu przez dwie oddzielne szyny, niektóre tramwaje z doprowadzeniem prądu systemem kanałowym z dwoma przewodami, koleje bezszynowe, trolleybusy i t. p.) są zgóry wyłączone, gdyż żadnych prądów do ziemi normalnie nie wysyłają. Co do prądów zmiennych, to ich wpływ natury elektrolitycznej jest tak znikomo mały, że szkodliwy być nie może.

Jeżeli pewna kolej używa częściowo prądu zmiennego a częściowo stałego, to wskazówki odnoszą się jedynie do tych jej części, gdzie w szynach płynie prąd stały.

§ 2. Uszkodzenia i ich ograniczenia.

Całkowite usunięcie uszkodzeń mas metalowych w ziemi we wszystkich wypadkach jest niemożliwe, wobec czego określa się normę, przy której uszkodzenia są tak małe, że zmniejszają tylko nieznacznie trwałość urządzeń metalowych i wobec tego praktycznie mogą nie być brane pod uwagę.

Dla określenia wielkości uszkodzeń mas metalowych przez prądy błędzące jest miarodajna gęstość prądu w miejscu wychodzenia tego prądu z masy do ziemi.

Jeśli gęstość prądu, wychodzącego z rury lub innego przewodu metalowego, obliczona jako wielkość średnia z całego roku, nie osiąga w żadnym punkcie wartości 1 miliampera na decymetr kwadratowy, można nie stosować innych środków ochronnych poza podanymi w niniejszych Wskazówkach; w przeciwnym wypadku należy zastosować środki ochronne, których rodzaj zależy każdorazowo od miejscowych warunków.

Jeśli ruch tramwajowy lub kolei elektrycznych trwa krócej niż 12 godzin na dobę, może być dopuszczona większa gęstość prądu, niż wyżej podana. Zwiększoną dopuszczalną gęstość prądu otrzymujemy jako iloczyn powyżej wymienionej gęstości prądu przez pierwiastek drugiego stopnia z ilorazu 24 godzin przez rzeczywistą ilość godzin trwania ruchu, t. j.

$$\text{gęstość prądu} \times \sqrt{\frac{24}{\text{rzeczywista ilość godzin trwania ruchu}}}$$

Elektrolityczne uszkodzenia powstają skutkiem uprowadzania przez prąd cząsteczek metalu z biegunu dodatniego; uszkodzenia takie mogą więc powstawać jedynie tam, gdzie prąd wychodzi z mas metalowych do ziemi, nigdy zaś tam, gdzie do nich wchodzi, a zatem tylko tam, gdzie masy te są względem otaczającej ziemi dodatnie.

Ilość uprowadzonego metalu jest wprost proporcjonalna do liczby amperogodzin, a zatem do iloczynu z natężenia prądu przez czas; tak więc np. w danych warunkach 1 amp. uprowadzi przez jedną godzinę tyleż metalu, ile 2 amp. w ciągu ½ godziny, albo ½ amp. w ciągu 2 godzin.

Chwilowe wartości natężenia prądu nie mają więc dla uszkodzeń elektrolitycznych żadnego znaczenia, a miarodajne są jedynie wartości średnie z całego roku. Ponieważ dalej uszkodzenie będzie tem większe, im dana ilość metalu uprowadzona zostanie z mniejszej powierz-

chni, przeto miarodajna jest średnia gęstość prądu. Jeden amper zabiera np. na godzinę najwyżej 0,697 gr. żelaza, czyli przy 18-godzinym ruchu — rocznie 4579,29 gr. żelaza, a jeden miliamper okrągło 4,58 gr., czyli 0,585 cm³ żelaza. Ilość ta uprowadzona z 1 dm² stanowi zmniejszenie grubości o 0,0585 mm. Tak nieznaczne zmniejszenie grubości w ciągu roku można uznać za zupełnie nieszkodliwe.

Do pomiaru gęstości prądów najlepiej jest używać przyrządy samopiszące, przyczem pomiar winien trwać co najmniej 2—3 razy dłużej niż normalny odstęp między poszczególnymi pociągami, nie krócej jednak, niż 15 minut. W braku instrumentów samopiszących należy robić odczyty w możliwie krótkich odstępach czasu, np. co 10 sekund. Przy wyliczaniu średniej wartości należy eliminować wartości ujemne (t. j. te odczyty, które wskazują kierunek prądu do przewodnika) i zastąpić je wielkością 0. Aby otrzymać szukaną średnią gęstość, należy następnie tak otrzymaną wartość średnią pomnożyć przez stosunek średniego rocznego obciążenia danej sieci tramwajowej lub kolejowej (względnie danego odcinka) do średniego obciążenia w czasie wykonywania pomiaru.

Ponieważ masy metalowe bywają często uszkodzone na bardzo małych powierzchniach, przeto wskazane jest dokonywać pomiaru tak, aby otrzymać gęstość prądu na możliwie małej powierzchni. Otrzymana wartość gęstości prądu pomnożona przez stosunek powierzchni 1 dm² do powierzchni pomiaru nie może przekraczać 1 mA.

Jeśli ruch tramwajów lub kolei elektrycznych trwa 12 lub mniej godzin na dobę, t. j. krócej niż normalnie (18—24 godzin na dobę), można dopuścić większą gęstość prądu, gdyż czas działania będzie odpowiednio krótszy i uszkodzenia mniejsze.

Jednakże zależność wprost proporcjonalna nie może być tu zastosowana, co zostanie szczegółowo uzasadnione w analogicznym wypadku w objaśnieniach do § 5. Wobec tego została przyjęta proporcjonalność do pierwiastka drugiego stopnia z ilorazu 24 godzin przez rzeczywistą ilość godzin trwania ruchu.

§ 3. Podział na strefy.

Pod względem ograniczeń, które należy stosować przy budowie tramwajów lub kolei elektrycznych, rozróżniamy dwie strefy: 1) miejską, położoną wewnątrz rozgałęzionej sieci przewodów metalowych lub innych urządzeń metalowych podziemnych i 2) podmiejską, leżącą nazewnątrz miejskiej.

Jeśli sieć kablowa nie zbliża się do sieci szynowej w żadnym miejscu bliżej niż na 50 m, lub jeśli sieć rurowa, względnie inne urządzenia metalowe, znajdujące się w ziemi, nie zbliżają się nigdzie do sieci szynowej bliżej niż na 200 m, można uważać, że te sieci są praktycznie zabezpieczone od uszkodzeń przez

prądy błądzące i żadne ograniczenia przy budowie takich linii tramwajowych lub kolejowych mogą nie być stosowane.

Jeśli jakieś części sieci kablowych, rurowych lub innych przewodów metalowych, ułożonych w ziemi, zbliżają się do sieci szynowej na mniejsze odległości, niż wymienione wyżej, należy wprowadzić ograniczenia, przewidziane w niniejszych wskazówkach, lecz jedynie na tych odcinkach torów, na które pada rzut danej części sieci kablowych lub rurowych, leżących bliżej, niż 50 m, względnie 200 m od szyn, albo też należy zastosować specjalne środki ochronne w częściach sieci kablowych, rurowych lub innych, zbliżających się do torów szynowych poza podane granice.

Koszty wprowadzenia ograniczeń lub zmian w urządzeniach przedsiębiorstwa komunikacyjnego, względnie przewidziane wyżej koszty zabezpieczeń sieci kablowych, rurowych lub innych urządzeń metalowych, jak również koszty późniejszego utrzymania odnośnych urządzeń ponosi ten, kto później wykonuje swoją instalację. Jednakże w obrębie granic miast obowiązek ten ciąży w każdym wypadku na przedsiębiorstwie komunikacyjnym, przyczem jednak szczegółowa trasa i sposób ułożenia metalowych przewodów podziemnych winny być wykonane w porozumieniu z przedsiębiorstwem komunikacyjnym w celu uzyskania jak najmniejszych kosztów zabezpieczenia.

Im bardziej sieć przewodów metalowych podziemnych jest rozgałęziona, tem większe ilości prądu mogą się do niej przedostawać i tem większe staje się niebezpieczeństwo uszkodzeń natury elektrolitycznej. Dlatego wymagania, stawiane sieciom kolejowym lub tramwajowym, położonym w obrębie miast i rozgałęzionej sieci przewodów metalowych (rur, kabli i t. p.), muszą być ostrzejsze, niż dla linii kolejowych lub tramwajowych, położonych poza obrębem właściwego miasta, gdzie sieć jest mało lub wcale nie rozgałęziona.

Oporność samej ziemi jest niewielka w stosunku do całej oporności, mierzonej pomiędzy szynami a przewodami metalowymi, ułożonymi w ziemi, a to naskutek wielkiego przekroju drogi prądu przez ziemię. Wobec tego odległość danego urządzenia metalowego, leżącego w ziemi, od szyny, ma tylko nieznaczny wpływ na wielkość oporności między niem a szynami. Odległość ta ma jednak wielkie znaczenie dla możliwości uszkodzeń. Im dalej bowiem leży przewodnik od szyn, tem mniejsza staje się gęstość prądu w ziemi w jego pobliżu, tem więc mniejsza ilość prądu może się przedostać do danego przewodnika.

Dotychczasowe doświadczenia dowodzą, że przy odległości 200 m można wszelkie przewody rurowe uważać za zupełnie zabezpieczone. Co do kabli elektrycznych, lepsza ich izolacja względem ziemi (ułożenie w piasku, w kanałach betonowych i t. p., oplecenie uzbrojenia, względnie płaszcz i t. d.) oraz mniejszy przekrój, pozwalają odległość tę zmniejszyć do 50 m.

§ 4. Tory kolejowe jako przewodniki.

Tory szynowe, użyte jako przewodniki, powinny posiadać jak najlepszą przewodność i powinny być stale utrzymywane w tym stanie. Zwiększenie oporności toru przez złącza nie może przekraczać 10% oporności tego toru, obliczonej z pominięciem złączy. Oporność jednego złącza nie może być większa od oporności 3 m szyny nieprzerwanej. Przed ułożeniem szyn należy określić ich przewodność.

Jeśli do budowy torów mają być użyte szyny, złożone z szyny głównej i dodatkowej, to przy obliczaniu przewodnictwa takich torów szynowych można brać pod uwagę przewodnictwo obu szyn jedynie wtedy, gdy obie szyny posiadają normalne łączniki elektryczne, a oprócz tego są ze sobą połączone elektrycznie zapomocą odpowiednich łączników. Gdy takich łączników niema, należy brać pod uwagę tylko główną szynę.

Szyny jednego toru powinny być łączone ze sobą elektrycznie zapomocą poprzecznych łączników, umieszczonych co najmniej co 10 styków szynowych, a wewnętrzne szyny dwóch sąsiednich torów — co najmniej co 20 styków. Poprzeczny przekrój miedzianych łączników powinien wynosić co najmniej 50 mm², a w razie zastosowania innego materiału, niż miedź — powinien posiadać przekrój, dający równoznaczną przewodność.

Szyny, leżące po obu stronach skrzyżowań i zwrotnic, powinny być starannie połączone ze sobą zapomocą oddzielnych obwodowych łączników, posiadających przekrój co najmniej 50 mm² w wypadkach zastosowania przewodów miedzianych, a przy zastosowaniu innych materiałów, przekrój równoznaczny pod względem przewodności.

Wszystkie przewodniki, przyłączone do szyn i służące do prowadzenia prądu, powinny być izolowane od ziemi, za wyjątkiem jedynie krótkich połączeń, jak na przykład łączników przy złączach, łączników poprzecznych i łączników obwodowych przy zwrotnicach, przesuwnicach i t. p., które mogą być gołe, o ile nie leżą w ziemi głębiej, niż 25 cm.

Główną przyczyną powstawania prądów błądzących są spadki napięcia w szynach i spowodowane przez nie różnice potencjałów zarówno pomiędzy różnymi punktami szyn, jak i ziemi do szyn przylegającej, wysokość zaś spadków napięcia w szynach zależy przy danym natężeniu prądu od ich oporności. Wobec tego utrzymanie małej oporności torów jest rzeczą pierwszorzędnej wagi i jednym z najskuteczniejszych środków zmniejszenia prądów błądzących.

Podawanie przepisów co do tego, jaki ma być przekrój szyny i oporność właściwa stali szynowej, nie jest wskazane, gdyż przewodnictwo właściwe zależy od gatunku stali, jej twardości i t. p., a profil szyny — od intensywności ruchu i obciążeń mechanicznych.

Na opór sieci torów wpływa w wysokim stopniu dobre elektryczne połączenie szyn na złączach. Wobec wielkiej ilości istniejących dobrych typów łączników elektrycznych, wybór typu pozostawia się projektującemu z tem tylko zastrzeżeniem, aby oporność sieci torów nie była przez złącza zwiększona więcej, niż o 10%. Liczne pomiary i doświadczenia wykazują, że zwiększenie oporności szyny, spowodowane przez złącza, zaopatrzone w dobrze wykonane łączniki elektryczne, nie przekracza oporności 1 do 1,5 m szyny, co przy normalnej długości szyn 15 m odpowiada powyżej podanej normie.

Ponieważ jednak niektóre złącza mogą mieć oporności większe, nie powodując jednak większej szkody, o ile powtarzają się niezbyt często, przeto Wskazówki zezwalają, by oporność poszczególnego złącza nie przekraczała oporności 3 m szyny.

Stosowanie poprzecznych łączników pomiędzy szynami jednego toru i kilku sąsiednich torów ma na celu osiągnięcie możliwie równomiernego podziału prądów w szynach, a także stworzenie obejściowej drogi prądu w razie uszkodzenia któregoś ze złączy lub pęknięcia szyny. Szyny na zwrotnicach i skrzyżowaniach podlegają z natury rzeczy większym wstrząśnieniom, aniżeli na szlaku, przeto łączniki elektryczne mogą się tu łatwo rozluźniać. Wobec tego wskazane jest, niezależnie od normalnych łączników, stosować specjalne obwodowe łączniki, omijające całe skrzyżowanie lub zwrotnicę.

Wszelkie przewodniki niez izolowane, przyłączone do szyn i ułożone w ziemi, mogłyby odgałęziać same prądy do ziemi. Układanie więc tego rodzaju dłuższych przewodników jest niedopuszczalne, łączniki zaś obwodowe przy zwrotnicach, przesuwnicach i t. p. powinny być układane możliwie płytko.

§ 5. Spadki napięć w torach kolejowych.

W niniejszych Wskazówkach podano graniczne wartości jedynie dla spadków napięć, gdyż są one główną przyczyną powstawania prądów błądzących i uszkodzeń; co się tyczy innych wielkości, od których zależy również gęstość prądu, są to czynniki, co do których przy dzisiejszym stanie wiedzy nie można podać określonych liczb.

Spadek napięcia w strefie miejskiej, obliczony teoretycznie w założeniu równomiernego rozdziału średniego obciążenia, wynikającego z normalnego rozkładu jazdy, i w założeniu izolowanych od ziemi szyn, może osiągnąć 1 wolta na 1 km toru. nie powinien jednak przekraczać pomiędzy jakimikolwiek punktami całej sieci szynowej, leżącej w strefie miejskiej, 2,5 woltów bez względu na to, czy sieć szynowa jest rozgałęziona, czy nie.

Przy obliczaniu średniego obciążenia przyjmujemy jako

czas trwania ruchu okres czasu od chwili wyjścia pierwszego pociągu do zejścia ostatniego; przy określaniu tego czasu należy brać pod uwagę ruch odosobnionych, ewentualnie nocnych, pociągów lub wagonów.

Przy obliczaniu obciążenia należy doliczyć do przeciętnych obciążeń, ustalonych na podstawie rozkładu jazdy, wszelkie obciążenia, wynikające wskutek przyłączenia do sieci innych urządzeń, pobierających energję elektryczną, jak naprzykład oświetlenia stacji, stałych silników i t. p.

W strefie podmiejskiej spadek napięcia, obliczony jak wyżej, nie powinien przekraczać przeciętnie 1 wolta na 1 kilometr długości toru bez dalszych ograniczeń co do całkowitej wielkości spadku.

Jeśli w strefie podmiejskiej odległość pomiędzy urządzeniami metalowemi znajdującemi się w ziemi i szynami jest większa, niż 4 metry, można dopuścić spadek napięcia 2 wolta na 1 kilometr toru, pod warunkiem jednak, że z tego powodu nie powstaną uszkodzenia lub zakłócenia; jeśli powstaną, należy ograniczyć spadek napięcia do 1 wolta na 1 kilometr.

Jeśli tory przedsiębiorstwa komunikacyjnego są ułożone na własnem torowisku w sposób, zabezpieczający dostateczną oporność przejściową, naprzykład na drewnianych podkładach i warstwie żwiru lub tłucznia, i jeśli sieć kablowa lub rurowa przebiega bliżej od tych torów, niż przewidziano we Wskazówkach, to w odpowiednich odcinkach torów szynowych, odpowiadających powyższym warunkom, dopuszczalne są spadki napięć większe, niż powyżej.

Wielkość dopuszczalnych w tych wypadkach spadków napięć równa się wielkościom, podanym we Wskazówkach, pomnożonym przez pierwiastek drugiego stopnia z ilorazu rzeczywistej średniej oporności jednego kilometra danego toru względem ziemi przez 0,2, t. j.

$$\text{spadek napięcia} \times \sqrt{\frac{\text{rzeczywista średnia oporność}}{0.2}}$$

Jeśli ruch tramwajów lub kolei elektrycznych trwa krócej, niż 12 godzin na dobę, mogą być dopuszczone spadki napięć większe od podanych wyżej. W tych wypadkach dopuszczalne spadki napięć otrzymujemy jako iloczyn spadków napięć, przewidzianych w niniejszym paragrafie, przez pierwiastek drugiego stopnia z ilorazu 24 godzin przez rzeczywistą ilość godzin trwania ruchu.

Naprzykład, przy ruchu w ciągu 6 godzin na dobę dopuszczalny spadek napięcia wyniesie:

- 1) w strefie miejskiej: $2,5 \times \sqrt{\frac{24}{6}}$
 $= 5$ woltów dla całej sieci szynowej,
- 2) w strefie podmiejskiej: $1 \times \sqrt{\frac{24}{6}}$
 $= 2$ wolty na 1 kilometr toru.

Jeśli kilka różnych linii jest połączonych ze sobą przez tory szynowe lub przez źródło prądu, należy je tak obliczyć, aby razem wzięte jako jedna całość odpowiadały niniejszym wskazówkom.

Jak wyżej powiedziano, główną przyczyną powstawania prądów błądzących są spadki napięcia w szynach, wielkość, którą można zgóry z dostateczną dokładnością obliczyć i przewidzieć, a przez zastosowanie odpowiednich środków utrzymać w określonych granicach. Wskazówki opierają się właśnie na spadkach napięcia. Prądy błądzące możnaby wprawdzie zmniejszyć przez zwiększenie oporności przejściowej między szynami a ziemią, a zatem przez możliwe dobre izolowanie szyn od ziemi, ale izolacja taka nie daje się praktycznie w sposób trwały i pewny wykonać i utrzymać, wartość zaś oporności przejściowych jest wysoce zmienna i trudna do określenia. Moznaby następnie zmniejszyć natężenie prądów w przewodach metalowych, ułożonych w ziemi, utrudniając przedostawanie się ich do tych przewodów lub zwiększając oporność samych przewodów, np. przez wbudowanie w nich złączy izolujących; wszelkie te środki nie są jednak dostatecznie pewne i trwałe, mogą więc jedynie być stosowane jako środki pomocnicze. Przebieg prądów w ziemi, a także w ułożonych w niej przewodach metalowych jest tak skomplikowany oraz zależy od tylu zmiennych i niedostatecznie znanych czynników, że obecny stan wiedzy nie pozwala na podanie w tym kierunku żadnych ściślej liczbowo określonych wskazówek.

Wartości spadków napięć, podane we Wskazówkach, dotyczą jedynie projektowania, przyczem dla obliczenia spadków napięć uwzględnione winny być jedynie szyny i łączenia je przewody, nie zaś bocznikowe połączenie przez ziemię.

Skutkiem zetknięcia się szyn z ziemią, część prądu uchodzi z nich do ziemi, przez co spadki napięcia stają się mniejsze, aniżeli te, jakieby powstały, gdyby szyny były zupełnie od ziemi izolowane, gdyby zatem nie wysyłały do ziemi żadnych prądów, i to stają się tem mniejsze, im więcej prądu uchodzi do ziemi.

Wobec tego niesłuszne jest przyjmowanie różnic napięć wymierzonych w już ułożonych szynach, jako miernika niebezpieczeństwa szkodliwych wpływów, gdyż wprost przeciwnie, wymierzone niskie spadki napięć (a zatem i różnice potencjałów między szynami a przewodami metalowymi, ułożonemi w ziemi) mogą wskazywać na istnienie silnych prądów błądzących. Należy przeto opierać się zawsze na teo-

retycznie wykonanych obliczeniach, przyczem, oczywiście, otrzymane z pomiarów lub późniejszych przeliczeń wartości nie mogą nigdy przekraczać pierwotnie obliczonych.

Pierwsze obliczenia muszą być wykonane nadzwyczaj starannie i z całą możliwą dokładnością, co przy sieciach silnie rozgałęzionych, wymaga skomplikowanych i długich obliczeń. Uniknąć konieczności tych obliczeń nie można i nie wolno przy nich robić żadnych uproszczeń, lecz przeciwnie, należy opierać się na dokładnie obliczonym rozpięciu prądu.

Ponieważ, jak to już zostało zaznaczone w wyjaśnieniach do § 2, uszkodzenia elektrolityczne zależne są od liczby amperogodzin, a nie od chwilowych wartości prądu, przeto i co do spadków napięć miarodajne są wartości przeciętne, nie zaś chwilowe. Dlatego należy się opierać przy teoretycznym obliczaniu spadków napięć nie na chwilowych, lecz na przeciętnych rocznych obciążeniach.

Średnie roczne obciążenie można obliczyć, mnożąc przewidywaną roczną ilość tonno-wagono- lub pociągo-kilometrów przez odpowiednie jednostkowe zużycie energii elektrycznej i dzieląc tak otrzymany wynik przez ilość godzin ruchu w roku.

Po wybudowaniu i uruchomieniu sieci należy sprawdzić powyższe obliczenia, biorąc za podstawę rzeczywiste ilości tonno-wagono- lub pociągo-kilometrów i rzeczywiste jednostkowe zużycie energii elektrycznej, względnie rzeczywiste roczne zużycie energii na danej sieci, i w razie potrzeby wprowadzić odpowiednie zmiany lub uzupełnienia w urzędzeniach.

Liczne pomiary i doświadczenia wykazują, że oporność szyn względem ziemi jest wielkością wysoce zmienną i zależy nie tylko od sposobu ułożenia torów, natury gruntu, pogody i temperatury, ale także mnóstwa innych przypadkowych i nie dających się zgóry przewidzieć czynników.

Aczkolwiek poszczególne wartości oporności różnią się między sobą, nawet dla danego sposobu ułożenia torów, nieraz więcej niż dziesięciokrotnie, to jednak średnia wartość tej oporności dla torów ułożonych nie na własnym torowisku jest bliska wartości 0,2 oma na kilometr. Dotychczasowe doświadczenia dowodzą, że najmniejszą oporność względem ziemi wykazują tory, ułożone na podłożu kamiennym i betonowym; tory ułożone na podkładach drewnianych mają oporność względem ziemi naogół znacznie większą, największą zaś oporność względem ziemi wykazują tory ułożone na własnym torowisku i podkładach drewnianych, na starannie odwodnionej warstwie tłucznia lub żwiru.

Oczywiste jest, że przy jednakowych różnicach potencjałów prąd odgałęziony do ziemi będzie tem mniejszy, im większa jest oporność toru względem ziemi, więc w torach o dużej oporności względem ziemi, t. j. dobrze od ziemi izolowanych, można dopuszczać większe spadki napięcia, niż w torach o małej oporności względem ziemi.

Proporcjonalność nie jest tu jednak zupełna, a to skutkiem sił elektromotorycznych polaryzacji, powstających przy działaniach elektrolitycznych, które to siły elektromotoryczne muszą być najpierw przewyciężone. Liczbowe dane nie dadzą się tu jednak ustalić. Dlatego obrano empirycznie nie stosunek ilorazu z rzeczywistej oporności przejściowej przez średnią, t. j. przez 0,2, lecz stosunek pierwiastka drugiego stopnia z tego ilorazu, przyczem jednak średnia oporność względem ziemi danej linii winna być faktycznie w sposób pewny wymierzona i udowodniona, nie zaś teoretycznie obliczona. Normy, podane we Wskazówkach, są tak obliczone, aby prądy błądzące, powstające w normalnych warunkach, nie były szkodliwe przy kolejach i tramwajach, których ruch trwa od 18 do 24 godzin na dobę. O ile ruch trwa krócej, to nawet większa ilość prądu, odgałęzionego do ziemi, nie będzie szkodliwa, gdyż, jak to już zaznaczono, uszkodzenia są proporcjonalne do liczby amperogodzin. Dla takich więc kolei można dopuścić większe spadki napięć. Ponieważ jednak raz zaczęta elektroliza postępuje łatwiej naprzód, przeto zastosowanie prostej proporcjonalności byłoby tu niewskazane, wobec czego przyjęto analogicznie do wypadku większej oporności względem ziemi stosunek pierwiastka drugiego stopnia z ilorazu 24 godzin przez czas trwania ruchu.

§ 6. Spadki napięć w przerwach torów kolejowych.

We wszystkich punktach, gdzie szyny mają przerwę ciągłości elektrycznej, jak naprzykład na mostach zwodzonych i t. p., powinna być zapewniona dostateczna przewodność przez zastosowanie specjalnych łączników.

Różnica potencjałów szyn na obu końcach przerwy ciągłości nie powinna przekraczać 10 mV na 1 metr długości przerwy dla torów, ułożonych nie na własnym torowisku.

Dla torów, ułożonych na własnym torowisku w sposób, przewidziany w § 5, różnica potencjałów na obu końcach przerwy ciągłości nie powinna przekraczać w miliwoltach:

$$10 \times \sqrt{\frac{\text{rzeczywista średnia oporność względem ziemi}}{0,2}}$$

§ 7. Zasady budowy torów kolejowych.

Jeśli sieć torów nie wystarcza do odprowadzenia prądów bez przekroczenia dopuszczalnych spadków napięć, należy zastosować specjalne przewody powrotne, izolowane od ziemi. Poza tem należy przewidzieć takie urządzenia, któreby utrzymywały możliwie jednakowe potencjały w punktach powrotnych, nawet przy zmiennych warunkach eksploatacji.

W tym celu w tramwajach lub kolejach o prądzie stałym dwuprzewodowym wskazane jest wbudowanie w przewody powrotne stopniowanych oporów. Przy sieci trójprzewodowej jest wskazane w tym celu zastosowanie takich urządzeń, aby poszczególne dzielnice mogły być przełączane i odpowiednio grupowane na jedną lub drugą połowę sieci.

W celu sprawdzenia wysokości potencjałów w punktach powrotnych powinny być w przewodach powrotnych przewidziane druty probiercze, albo też do obwodu tych przewodów powinny być na stałe włączone amperomierze.

Gdy do szyn jest przyłączony ujemny biegun, punkty powrotne (punkty przyłączenia przewodów powrotnych do szyn) powinny być wykonane możliwie w gruncie suchym o złem przewodnictwie i w miejscach jak najodleglejszych od urządzeń metalowych, kabli, rur i t. p., znajdujących się w ziemi.

Najmniejsza odległość pomiędzy skrajną szyną a urządzeniami metalowymi, znajdującymi się w ziemi, jak naprzykład odwadniaczami, rurami ssawczymi, hydrantami, pokrywami i t. d., powinna wynosić co najmniej 1 metr. Jeżeli ta odległość nie może być osiągnięta, należy część urządzenia metalowego zaizolować w miejscach zbliżenia w taki sposób, aby nieizolowane części metalowe były odległe od najbliższej szyny co najmniej o 1 metr.

Oporność szyn względem ziemi powinna być możliwie duża. W tym celu należy między innymi zwrócić uwagę na jak najlepsze odwodnienie torowiska. Gdzie uzyskanie należytej oporności nie da się osiągnąć skutkiem gatunku gruntu, ułożenia szyn w jezdni lub innych przyczyn, należy starać się o zwiększenie oporności przez możliwie skuteczne izolowanie.

Urządzenia, zasilane stale z sieci kolejowej, jak naprzykład silniki stale pracujące, instalacje oświetleniowe i t. p., powinny być połączone z siecią szynową zapomocą przewodów izolowanych. Wyjątek stanowią krótkie przewody przyłączeniowe, o przekroju do 16 mm², ułożone w ziemi płycej niż 25 cm i leżące nie bliżej, niż 1 metr od najbliższego przewodu rurowego, kabla lub innej masy metalowej w ziemi; te przewody mogą być gołe.

W większości wypadków szyny bywają przyłączane do bieguna ujemnego prądnic, aczkolwiek nic nie stoi temu na przeszkodzie, aby było odwrotnie, t. j. aby przyłączać do szyn biegun dodatni. W pierwszym wypadku stają się szyny w pobliżu punktów przyłączenia ujemnymi względem ziemi, a w punktach od nich odległych — dodatnimi, w drugim wypadku zaś przeciwnie. Ponieważ prądy uchodzą z szyn do ziemi tam, gdzie szyny mają względem ziemi potencjał dodatni i powracają do nich tam, gdzie ten potencjał jest ujemny,

przeto najniebezpieczniejsza pod względem uszkodzeń elektrolitycznych jest okolica, gdzie szyny są względem ziemi ujemne, a zatem przy przyłączeniu do szyn bieguna ujemnego — miejsca w pobliżu punktów przyłączenia, a przy przyłączeniu bieguna dodatniego — miejsca od punktów przyłączenia najbardziej oddalone.

Ze względu na prądy błędzące bywa przeważnie zupełnie obojętne, który biegun jest do szyn przyłączony i tylko w wyjątkowych wypadkach wybór określonej biegunowości może wpłynąć korzystnie na zmniejszenie szkodliwych działań prądów błędzących.

Perjodyczna zmiana biegunowości torów, np. raz na tydzień lub raz na miesiąc, jeśli ona się da łatwo wykonać, może być wskazana i przyczynić się do zmniejszenia szkodliwych działań elektrolitycznych.

Stosowanie przewodów powrotnych nieizolowanych nie tylko nie prowadzi do celu, ale jest zawsze wysoce szkodliwe. Przewodność szyn jest wobec wielkiego ich przekroju tak znaczna, że ułożenie równoległych przewodów miedzianych, nawet o bardzo wielkim przekroju, zmniejszyłoby tylko nieznacznie spadki napięć w szynach, a natomiast przewody te same odgałęziałyby dalsze prądy do ziemi. Również szkodliwe byłoby łączenie kilku punktów szyn nieizolowanymi przewodnikami z biegunem ujemnym (lub dodatnim) źródła prądu dlatego, że cały spadek napięcia w tych przewodach dodawałby się do spadku napięć w samych szynach, zwiększając tem samym różnicę potencjałów szyn względem ziemi, a zatem i prądy błędzące. Jedynie skuteczne są przewody izolowane, które jednak muszą być tak obliczone, aby spadek napięcia we wszystkich był jednakowy; oba bieguny źródła prądu muszą być wtedy względem ziemi izolowane. Przy takim wykonaniu, spadek napięcia w przewodach przyłączonych do szyn nie wpływa wcale na potencjał szyn względem ziemi i może być obrany dowolnie, pod warunkiem, aby był zawsze dla wszystkich przewodów jednakowy. Jest to równoznaczne z utrzymaniem jednakowego potencjału względem ziemi we wszystkich punktach przyłączenia przewodów do szyn tak, że grają rolę jedynie spadki napięć w samych szynach między punktami powrotnymi, względnie między punktami powrotnymi a punktami końcowymi torów.

Przewidziane we Wskazówkach stopniowane opory, wbudowane w przewody przyłączone do szyn, służą do tego, aby przy zmianie warunków eksploatacyjnych, a zatem zmianie obciążenia poszczególnych dzielnic, mieć możliwość zmianą oporności danego przewodu utrzymywać w nim spadek napięcia na wysokości spadków napięć w innych przewodach.

W wyjątkowych wypadkach, kiedy obliczenie na jednakowe spadki napięć dawałoby zbyt wielkie przekroje, wskazane może być zastosowanie maszyn ssących, które sztucznie poniekąd zmniejszają spadek napięcia, a zatem pozwalają na stosowanie mniejszego przekroju. Przy rozległych sieciach ekonomiczniej bywa często ustawić

oddzielne podstacje, przyczem jednak pamiętać o tem należy, że cała sieć, chociażby zasilana z kilku podstacyj, musi być zawsze obliczona i traktowana jako jedna całość.

Potencjały w punktach powrotnych nie muszą być koniecznie ściśle równe, gdyż nieraz obliczenie wskazuje, że dopuszczenie małych różnic jest ekonomiczniejsze, byleby tylko spełnione były warunki największych spadków napięć, wymienione w § 5.

Spadki napięć w szynach dają się najłatwiej mierzyć i kontrolować przy pomocy specjalnych przewodów probierczych, łączących różne punkty sieci torowej z jednym centralnym punktem, np. elektrownią lub podstacją. Wystarczy wtedy włączyć między te przewody woltomierz, aby bezpośrednio odczytać szukane spadki napięć. Ponieważ jednak ułożenie licznych przewodów probierczych pociągałoby za sobą znaczne koszty, przeto ograniczyć się można do przeprowadzenia przewodów probierczych jedynie do punktów przyłączenia przewodów powrotnych do szyn. Mniejsze przedsiębiorstwa, dla których nawet te koszty mogłyby być zbyt uciążliwe, mogą zastąpić przewody probiercze amperomierzami. Znając oporność danego przewodu, można przy pomocy wskazań amperomierza zawsze obliczyć spadek napięcia w danym przewodzie, a porównując ze sobą te spadki w poszczególnych przewodach, obliczyć szukane różnice potencjałów. Przy układach trójprzewodowych byłyby kable powrotne wogóle zbędne, gdyby obciążenia w dzielnicach dodatnich i ujemnych były zawsze i w każdej chwili równe. Ponieważ tak nie jest, przeto i tu są niezbędne kable powrotne w ograniczonej liczbie dla odprowadzania prądów wyrównawczych. Przez odpowiednie przełączenie i grupowanie dzielnic, względnie ich zwiększanie lub zmniejszanie, można te prądy doprowadzić do możliwego minimum.

Jeśli masy metalowe, znajdujące się w ziemi, leżą bliżej szyn, niż 1 m, istnieje niebezpieczeństwo przepływu między nimi a szynami zbyt dużych ilości prądu, konieczne więc jest zapobieżenie temu przez zastosowanie odpowiedniej izolacji danej części tych mas. Pamiętać należy przytem, że zwykłe pokrycie nawet kilkoma warstwami farby lub lakieru, lub owinięcie, nie jest wystarczające, gdyż nie chroni trwale danej masy. Należy więc stosować np. grube owinięcie kilkunastu warstwami, ułożenie w rurze glinianej lub betonowej z zalaniem smołą i t. p. ochrony.

§ 8. Ochrona urządzeń metalowych, ułożonych w ziemi.

Stosowanie złączy izolujących w rurach może dać dobre wyniki pod warunkiem umiejętnego ich rozmieszczenia w niezbyt dużych odstępach i dobrego wykonania z konstrukcyjnego punktu widzenia.

Przy stosowaniu złączy izolujących w rurach należy brać

pod uwagę całokształt sprawy i sprawdzać, czy zastosowanie tych złączy w jednym miejscu nie wywoła zwiększenia uszkodzeń w innych miejscach.

Stosowanie pojedynczej warstwy farby izolującej lub cienkich owinięć izolujących nie stanowi trwałej ochrony od uszkodzeń, staje się często niebezpieczne i nie może być polecane.

Jeżeli warstwa izolująca jest dostatecznie gruba i ochroniona z punktu widzenia uszkodzeń mechanicznych i chemicznych, to ochrona od działań elektrolitycznych może być uważana za dostateczną.

Łączenie torów szynowych z urządzeniami metalowymi, ułożonemi w ziemi, zwane drenowaniem elektrycznym, nie chroni tych urządzeń od uszkodzeń i jest zasadniczo zabronione.

W pewnych specjalnych wypadkach drenowanie elektryczne mogłoby być dozwolone, jeśliby można stwierdzić bez wątpliwości, że ze względu na warunki miejscowe w danym wypadku jest ono celowe i daje pożądane wyniki i że nie pogarsza sytuacji w innych miejscach.

Główną przyczyną powstawania prądów błądzących są, jak to już powiedziano, spadki napięć w szynach, które to spadki należy zatem przedewszystkiem ograniczyć. Poza tem jednak skuteczne może być i zwiększenie oporności drogi prądu przez przewody metalowe, ułożone w ziemi, co można osiągnąć np. przez wbudowanie w nie złączy izolujących. Istnieje obecnie cały szereg konstrukcyj odpowiednich, dobrze skonstruowanych i trwałych złączy izolujących. Przy stosowaniu takich złączy należy jednak postępować zawsze bardzo ostrożnie, gdyż nieumiejętnie zastosowane złącza mogą się stać szkodliwymi. Tak więc, np. jeżeli złącza izolujących jest zbyt mało, a złącza te są zbyt krótkie, to może na takim złączu powstać różnica potencjałów, dostateczna, aby spowodować ujście prądu z jednej strony złącza do ziemi i powrót do przewodu z drugiej, co wywołać może miejscowe uszkodzenie. Jeżeli dalej, obok przewodu zaopatrzonego w złącza izolujące, leży blisko drugi przewód, w takie złącza nie zaopatrzone, to może łatwo prąd uchodzić z pierwszego do drugiego, powodując uszkodzenia obu i t. p.

Liczne doświadczenia i próby, wykonane ze wszelkiego rodzaju farbami, pokostami, lakierami i owinięciami wykazały, że żadne z nich nie są trwale odporne na wilgoć, że zatem, nasiąkając powoli wodą, tracą przeważnie już po upływie kilku miesięcy wszystkie swe właściwości izolacyjne i, przepuszczając miejscami prąd, poczynają pękać i odskakiwać, tworząc ogołocone i nieochronione miejsca. W miejscach tych występują na małej powierzchni zwiększone gęstości prądu, co staje się bardzo szkodliwe i przyczynia się do zwiększenia uszkodzeń elektrolitycznych. Należy więc tego rodzaju pomalowań, lakierowań, lub owinięć unikać. Jedynie wielowarstwowe owinięcia, np. jută lub papierem smołowym, połączone ewent. z odpowiedniemi pokosto-

waniem, lub też np. położenie chronionego przewodnika w rurze z materiału źle przewodzącego, jak glina lub beton, wypełnionej np. smołą, może być uważane za dobrą i trwałą ochronę. Wobec jednak kosztowności tego rodzaju ochrony, może ona być stosowana jedynie wyjątkowo na krótkich odcinkach, tam np., gdzie dany przewodnik zbliża się zbyt blisko do szyn.

Skoro uszkodzenia powstawać mogą tylko tam, gdzie prąd uchodzi z mas metalowych do ziemi, bliską jest myśl zapobieżenia temu przez utworzenie lepszej drogi prądu, a zatem przez metaliczne połączenie danej masy z szynami tak, aby prąd nie uchodził do ziemi, a z niej do szyn, ale miał drogę o mniejszym oporze przez taki przewód łączący. Praktyka jednak wykazała, że takie metaliczne łączenie szyn z podziemnymi masami metalowymi bywa prawie zawsze szkodliwe i wywołuje zwiększenie uszkodzeń, jeżeli nie w danym miejscu, to gdzieś w innym punkcie chronionego przewodu lub innych przewodów. Wszelkie łączenia metaliczne szyn z metalowymi przewodami podziemnymi, zwane drenowaniem, zmniejszają bowiem z natury rzeczy oporność pomiędzy temi przewodami a szynami, zwiększają zatem natężenie prądów w tych przewodach. Łącząc elektrycznie szyny z metalowymi przewodami podziemnymi, wytwarza się poniekąd drugą, równoległą do szyn, drogę prądu, gorzej niż szyny od ziemi izolowaną i o większej niż tory oporności. Ten drugi, w ten sposób wytworzony przewodnik prądu, musi więc odgałęziać do ziemi większe prądy, niż same tory, zwiększa więc prądy błędzące, a tem samem i niebezpieczeństwa elektrolizy, gdyż nigdy przewidzieć nie można, jaką drogą te prądy popłyną.

Jedynie więc w zupełnie wyjątkowych i dokładnie zbadanych wypadkach, np. jeżeli w pobliżu torów znajduje się tylko jeden przewód rurowy, mogłoby drenowanie dać pożądane wyniki.

§ 9. Pomiar kontrolne.

Spadki napięć, pomierzone w torach przy normalnych warunkach eksploatacji, nie powinny nigdy być większe od teoretycznie obliczonych i nie powinny przekraczać norm podanych we Wskazówkach. Jeśli pomierzone spadki napięć wynoszą od $\frac{2}{3}$ do $\frac{3}{4}$ teoretycznie obliczonych, to wskazuje to zwykle na dobry stan sieci szynowej.

Co roku należy sprawdzać:

- 1) oporność wszystkich złączy, znajdujących się na odcinkach torów, dla których obliczony średni spadek napięcia przekracza 1 mV na 1 metr bieżący toru;
- 2) oporność wszystkich złączy na skrzyżowaniach;
- 3) wszystkie złącza spawane — co do pęknięć.

Co pięć lat należy zmierzyć oporność wszystkich pozostałych złączy.

Złącza, których oporność nie odpowiada przepisom, powinny być wymienione.

Ponieważ część prądu uchodzi zawsze z szyn do ziemi, przeto zmierzone w rzeczywistości spadki napięcia muszą być zawsze mniejsze, niż obliczone teoretycznie przy założeniu, że szyny są zupełnie od ziemi izolowane. Stwierdzenie spadków napięcia większych niż obliczone, dowodziłoby więc z konieczności błędu w obliczeniach, albo też zmienionych warunków ruchu, wymagających ponownego obliczenia. O wiele mniejsze spadki wskazują na prawdopodobieństwo istnienia znacznych prądów błądzących, a zatem złego stanu sieci pod względem niebezpieczeństwa elektrolizy. W normalnych warunkach zmierzone różnice napięć wynoszą 2/3 do 3/4 obliczonych.

Dobry stan złączy, czyli mała ich oporność elektryczna jest rzeczą pierwszorzędną wagi, gdyż złe złącza mogą znacznie powiększyć oporność torów. Nietylko jednak większa ilość złych złączy może działać szkodliwie; wystarczy nieraz jedno złe złącze, aby zupełnie zmienić przebieg prądów. Pomiar spadku napięcia na dłuższym odcinku toru i wyliczenie stąd oporności danego odcinka, a przez porównanie tej oporności z opornością, jaką miałby dany odcinek, gdyby złącza nie było, niezawsze pozwoli wykryć istnienie takiego złego złącza, gdyż prąd może np. to złącze omijać przez ziemię, inne złącza mogą być zupełnie dobre, dając w sumie dopuszczalne zwiększenie oporności całego odcinka i t. p. Niezbędne więc jest sprawdzenie każdego złącza oddzielnie. Jak najczęstsze takie sprawdzanie jest bardzo pożądane; ponieważ jednak pociąga ono za sobą dość znaczne koszty, przeto można je zredukować do corocznego sprawdzania złączy na specjalnie obciążonych odcinkach oraz złączy bardziej narażonych na uszkodzenia, zadawalając się rzadszem sprawdzaniem pozostałych, np. raz na pięć lat, o ile na danej ulicy nie zostaną w międzyczasie wykonane poważniejsze roboty, np. przebrukowanie, przy którym złącza łatwo ulec mogą uszkodzeniom. W takich wypadkach należy zawsze po ukończeniu danych robót dokonać sprawdzenia złączy.

DODATEK

PRĄDY BŁĄDZĄCE.

(Wyciąg z referatu prof. R. Podoskiego na XXII Kongres Międzynarodowego Związku Tramwajów, Kolei Dojazdowych i Przedsiębiorstw Autobusowych).

Ogromna większość tramwajów, kolejek i kolei elektrycznych używa szyn jako jednego z przewodników prądowych. Szyny te, ułożone na różnego rodzaju podłożach, nie są od ziemi izolowane, a ponieważ ziemia jako taka stanowi również przewodnik elektryczności, przeto część prądu płynącego szynami musi się od nich odgałęziać i płynie dalej przez ziemię. Prądy te zwiemy prądami ziemnymi lub błądzącymi.

Prądy płynące w ziemi, napotykając na swej drodze przewody metalowe, zakopane w ziemi, jako to: rury wodociągowe lub gazowe, płaszcze stalowe lub ołowiane kabli ziemnych i t. p., mogą się częściowo do nich przedostać, a następnie z nich uchodzić, by powrócić do bieguna ujemnego źródła prądu, jeżeli jest ono do szyn przyłączone, względnie do wagonu pobierającego prąd, jeżeli do szyn przyłączony jest biegun dodatni. Ponieważ w ziemi, zwłaszcza w miastach, zawarte są zawsze większe lub mniejsze domieszki różnych soli i kwasów, przeto ziemia stanowi w takich wypadkach elektrolit, przewody zaś, z których prąd uchodzi i do których wpływa — elektrody i powstają działania elektrolityczne. Działania te polegają, jak wiadomo, na tem, że sole zostają rozłożone, a cząsteczki elektrododatnie a zatem cząsteczki metalu, wodór, różne zasady, zostają porwane z prądem i przeniesione z bieguna dodatniego na ujemny i zastąpione przez cząsteczki elektro-ujemne, jak tlen, chlor, azot i inne kwasy.

Ilość metalu, jaka zostaje uprowadzona z prądem, zależy od rodzaju metalu i ilości elektryczności, a zatem iloczynu natężenia prądu przez czas; tak więc zabiera np. 1 A prądu w ciągu godziny teoretycznie 0,697 g żelaza, z którego powstaje sześciotlenek żelaza, 3,858 g ołowiu (sól protoksyłowa), 2,355 g miedzi i t. d.

Przy elektrolizie odbywającej się w ziemi, mogą te ilości być różne i zależne od ilości i rodzaju soli i kwasów, znajdujących się w ziemi, ilości wilgoci i t. d.

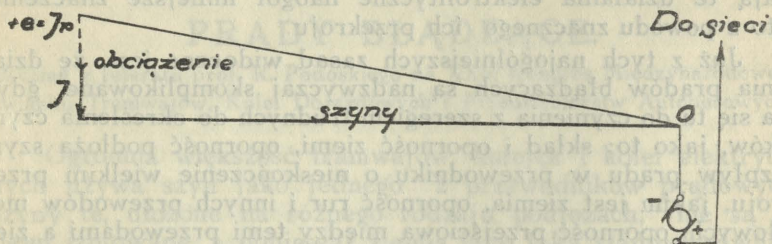
Tam więc, gdzie prąd uchodzi z przewodnika ułożonego w ziemi, do ziemi zostaje zawsze uprowadzona część metalu, przyczem ilość uprowadzonego metalu zależna jest od ilości elektryczności oraz składu ziemi. To uprowadzenie metalu osłabia oczywiście dany przewodnik, jest zatem szkodliwe i może z biegiem czasu powodować bardzo poważne uszkodzenia, jako to: pękanie rur, przebicie kabli i t. p. Dla samych szyn mają te działania elektrolityczne naogół mniejsze znaczenie, a to z powodu znacznego ich przekroju.

Już z tych najogólniejszych zasad widoczne jest, że działania prądów błędzących są nadzwyczaj skomplikowane, gdyż ma się tu do czynienia z szeregiem trudnych do określenia czynników, jako to: skład i oporność ziemi, oporność podłoża szyn, rozptył prądu w przewodniku o nieskończenie wielkim przekroju, jakim jest ziemia, oporność rur i innych przewodów metalowych, oporność przejściowa między temi przewodami a ziemią i t. d. Jeżeli do tego dodać fakt, że przewody metalowe ułożone w ziemi stanowią przeważnie własność różnych przedsiębiorstw, które wrażliwe na uszkodzenia chcą swych praw dochodzić, że przewody takie narażone są w ziemi na działania kwasów, które je rozkładają i bez pomocy prądów elektrycznych, że w ziemi powstają działania polaryzacyjne oraz prądy przez nie wywołane i t. d., że zatem wrażliwe na uszkodzenia należy przede wszystkim stwierdzić ich przyczyny, co niezawsze jest łatwe, a następnie dopiero odpowiedzialność, to zrozumiałe się stanie, z jak bardzo trudnym zagadnieniem będzie się miało do czynienia.

Że zupełne, doskonałe i trwałe odizolowanie szyn od ziemi jest niemożliwe, tego dowodzić nie potrzeba. Skoro jednak tak jest, to gdzie tylko szyny użyte są jako jeden z przewodników, tam niemożliwe jest całkowite uniknięcie prądów błędzących, a gdzie takie prądy są, tam mogą one zawsze działać na inne przewody metalowe w ziemi ułożone; można więc jedynie starać się działanie to doprowadzić do wielkości praktycznie nieszkodliwej, nigdy zaś całkowicie usunąć. Jeżeli np. działanie elektrolityczne będzie tak słabe, że na przeżarcie rury potrzebowaloby czasu tak długiego, że rury w krótszym czasie stałyby się niezdatne do użycia z powodu uszkodzeń od prądów niezależnych, to oczywiście takie działanie elektrolityczne uznać należy za nieszkodliwe. Ponieważ z drugiej strony wszelkie środki, dążące do zmniejszenia prądów błędzących, względnie osłabienia ich działania elektrolitycznego, muszą zawsze powodować pewne koszty, przeto niezbędne się staje wzajemne porozumienie zainteresowanych stron, bez którego żadne racjonalne przepisy ochronne nie mogą być obmyślane i wydane.

Jeżeli wyobrazimy sobie przewód, a w danym wypadku

szyny, doskonale izolowane od ziemi, przyłączone w jednym końcu do ujemnych szyn zbiorczych elektrowni, względnie podstacji i obciążone na drugim końcu prądem I , to spadek napięcia w tych szynach będzie $I \cdot r$, przyczem przez „ r ” rozumiemy oporność szyn. Spadek ten będzie największy na obciążonym końcu i O u szyn zbiorczych i będzie mógł być przedstawiony linią prostą.

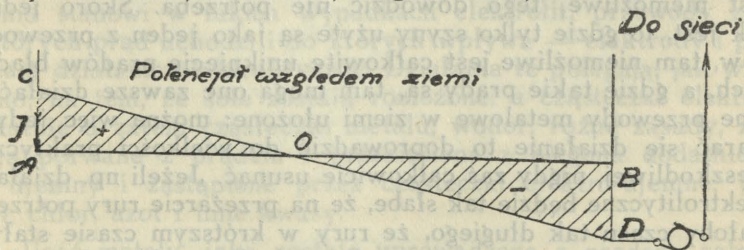


Rys. 1.

Jeżeli jednak izolacja nie jest doskonała, a część prądu uchodzi z szyn do ziemi, szyny zbiorcze zaś są od ziemi izolowane i przyłączone tylko do szyn, to oczywiste jest, że cały prąd, jaki ujdzie z szyn do ziemi, musi powrócić z ziemi do szyn.

Aby prąd uchodził z szyn do ziemi, muszą one być względem ziemi dodatnie, aby zaś do nich powracał, ujemne, z czego wynika, że w pewnym punkcie muszą mieć potencjał ziemi, a w części ku obciążeniu — potencjał względem niej dodatni, ku elektrowni zaś — ujemny.

Jeżeli założymy, że oporność ziemi i oporność przejściowa od szyn do ziemi jest na całej długości toru jednakowa, to oczy-



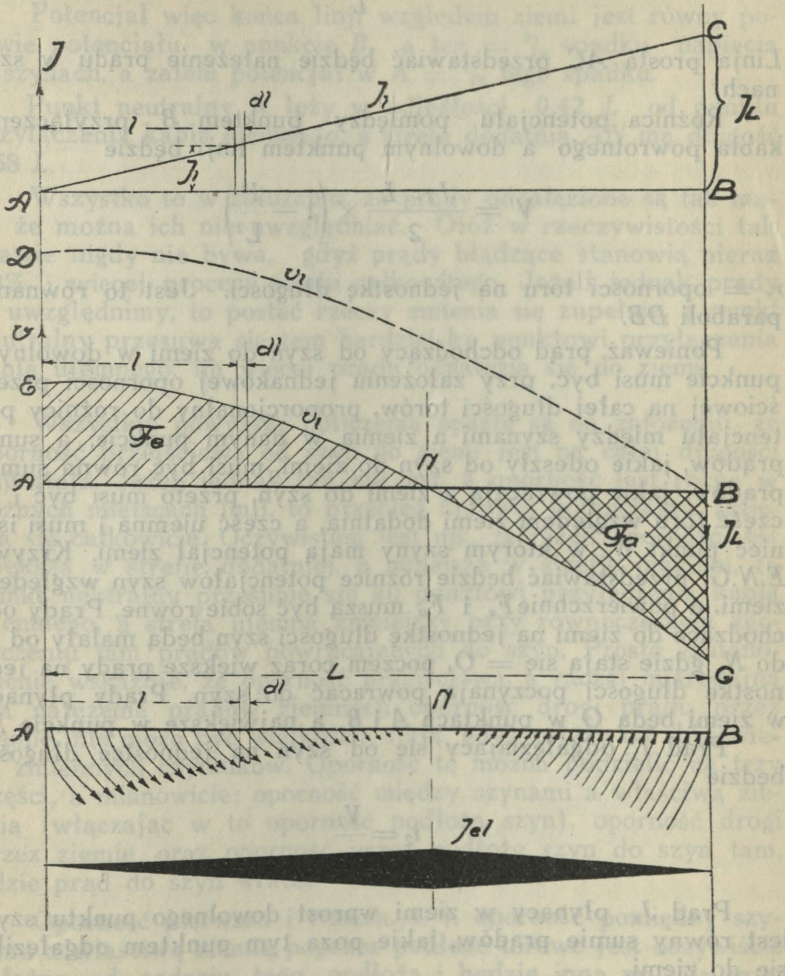
Rys. 2.

wiste jest, że zakreskowane powierzchnie OAC i OBD muszą być równe. Wynika z tego, że:

$$\begin{aligned} AC &= BD = \frac{1}{2} e = \frac{1}{2} I \cdot r \\ OA &= OB = \frac{1}{2} AB. \end{aligned}$$

Widzimy więc, że spadek napięcia w szynach nie jest bynajmniej równy potencjałowi szyn do ziemi; przy obciążeniu

skupionem w jednym końcu będzie największy potencjał dodatni względem ziemi = największemu potencjałowi ujemnemu = $1/2$ spadku napięcia w szynach w punkcie A , punkt zaś potencjału O względem ziemi leżeć będzie w środku pomiędzy



Rys. 3.

punktem obciążenia A a punktem przyłączenia kabla powrotnego B .

Jeżeli zamiast obciążenia skupionego w jednym punkcie mamy obciążenie równomiernie rozłożone na całej długości da-

nego odcinka, to, nie uwzględniając prądów odgałęzionych do ziemi, natężenie prądu płynącego w szynach w punkcie odległym o l metrów od końca linii A będzie

$$J_l = \frac{l}{L} J$$

Linia prosta AC przedstawiać będzie natężenie prądu w szynach.

Różnica potencjału pomiędzy punktem B przyłączenia kabla powrotnego a dowolnym punktem linii będzie

$$V' = \frac{J r_r \cdot L}{2} \times \left(1 - \frac{l^2}{L^2}\right)$$

r_r = oporności toru na jednostkę długości. Jest to równanie paraboli DB .

Ponieważ prąd odchodzący od szyn do ziemi w dowolnym punkcie musi być, przy założeniu jednakowej oporności przejściowej na całej długości torów, proporcjonalny do różnicy potencjału między szynami a ziemią w danym punkcie, a suma prądów, jakie odeszły od szyn do ziemi, musi być równa sumie prądów, jakie powracają z ziemi do szyn, przeto musi być i tu część toru względem ziemi dodatnia, a część ujemna i musi istnieć punkt N , w którym szyny mają potencjał ziemi. Krzywa $E.N.G.$ przedstawiać będzie różnice potencjałów szyn względem ziemi, a powierzchnie F_o i F_a muszą być sobie równe. Prądy odchodzące do ziemi na jednostkę długości szyn będą malały od A do N , gdzie stają się = 0, poczem coraz większe prądy na jednostkę długości poczynają powracać do szyn. Prądy płynące w ziemi będą 0 w punktach A i B , a największe w punkcie N .

Prąd i_2 odgałęziający się od szyn na jednostce długości będzie

$$i_2 = \frac{V_l}{r_r}$$

Prąd J_z płynący w ziemi wprost dowolnego punktu szyn jest równy sumie prądów, jakie poza tym punktem odgałęziły się do ziemi.

$$J_z = \int_0^l i_z dl = \int_0^l \frac{V_l}{r_r} dl$$

Ponieważ krzywa $E.N.G.$ jest równoległa do krzywej $O.B.$, przeto jest również parabolą z wierzchołkiem w E .

Aby więc powierzchnia F_l równa była powierzchni F_a musi być

$$AN = \frac{A \cdot B}{3} \quad \text{a stąd} \quad EA = \frac{B \cdot G}{2} \quad BG = \frac{2}{3} AD$$

Potencjał więc końca linii względem ziemi jest równy połowie potencjału w punkcie B , a ten = $\frac{2}{3}$ spadku napięcia w szynach, a zatem potencjał w $A = \frac{1}{3}$ tego spadku.

Punkt neutralny N leży w odległości $0,42 L$ od punktu przyłączenia kabla ujemnego, a strefa dodatnia AN ma długość $0,58 L$.

Wszystko to w założeniu, że prądy odgałęzione są tak małe, że można ich nie uwzględniać. Otóż w rzeczywistości tak prawie nigdy nie bywa, gdyż prądy błądzące stanowią nieraz 50% i więcej procent prądu całkowitego. Jeżeli jednak prądy te uwzględnimy, to postać rzeczy zmienia się zupełnie, a punkt neutralny przesuną się tem bardziej ku punktowi przyłączenia kabla ujemnego, im więcej prądu odgałęzia się do ziemi.

Wszystkie powyższe obliczenia oparte są na założeniu, że oporność przejściowa od szyn do ziemi jest na całej długości linii stała. Jeżeli jednak tak nie jest, a oporność jest różna w różnych miejscach linii, to przebieg krzywej potencjałów zmienia się całkowicie. Oczywiście jest np., że jeżeli oporność jest większa w strefie dodatniej, a mniejsza w strefie ujemnej, to punkt neutralny przesunie się ku punktowi przyłączenia kabla ujemnego, a strefa ujemna zmniejszy przy równoczesnem zgęszczeniu tam prądów powracających do szyn. Proste zastanowienie wskazuje, że oporność przejściowa, a raczej miarodajna dla natężenia prądów ziemnych oporność drogi prądu przez ziemię, nie może być wielkością stałą, gdyż zależy od zbyt wielu zmiennych czynników. Oporność tę można podzielić na trzy części, a mianowicie: oporność między szynami a właściwą ziemią (włączając w to oporność podłoża szyn), oporność drogi przez ziemię oraz oporność przez podłoże szyn do szyn tam, gdzie prąd do szyn wraca.

Oporność pierwsza i trzecia, t. j. oporność pomiędzy szynami a właściwą ziemią poprzez podłoże torowe jest oczywiście zależna od rodzaju tego podłoża i będzie inna np. dla szyn ułożonych na drewnianych podkładach, jak dla szyn ułożonych na podłożu betonowem i jeszcze inna dla podłoża tłuczniowego i t. d.

Oporność ziemi zależna jest nie tylko od rodzaju danego gruntu, jego składu chemicznego, większej lub mniejszej domieszki soli i t. p., ale także, i to w bardzo wysokim stopniu, od

stopnia wilgotności i od temperatury, a poza tem także od ciśnienia.

Tak np. wynosi oporność ziemi gliniastej podług Technologic Paper Nr. 26 „Earth resistance and its relation to electrolysis of underground structures” („Oporność ziemi i jej stosunek do uszkodzeń elektrolitycznych urządzeń podziemnych”) w omach na centymetr sześcienny, przy 5% zawartości wody 2 340 000, przy 11,1% — 237 400, przy 22,2% — 6 830, przy 33,3% — 5 400 i przy 77,8% — 5 045. Normalna zawartość wody tego rodzaju ziemi waha się między 10 a 20%.

Oporności absolutne (nie jednostkowe), wymierzone dla wilgotnej gliny (18,6%) z domieszką piasku, mającej przy 20^o oporność gatunkową (na 1 cm³) 6 260 omów wynosiły:

Przy temperaturze

+	18 ^o	224	omy
+	13 ^o	286	„
+	8,5 ^o	398	„
+	1,5 ^o	458	„
	0,0 ^o	542	„
—	2,0 ^o	940	„
—	5,5 ^o	4340	„
—	15,0 ^o	36200	„

i t. d.

Bureau of Standards wymierzyło oporność gatunkową próbek ziemi z licznych miast amerykańskich w temperaturze pokojowej i przy zawartościach wody 10—25%. Oporności te wahały się od 600 do 40 000 omów na cm³, wynosiły jednak w większości wypadków 1000—8000 omów przy wilgotności 10—20%. Naogół glina i humus wykazują mniejsze oporności jak ziemie piaszkowate i zwirowate.

Co do ciśnienia, to oporność zmniejsza się stopniowo z rosnącym ciśnieniem aż do około 7 atm., poczem staje się mniej więcej stałą. Różnice jednak nie są naogół wielkie.

Ale nawet dokładna znajomość oporności ziemi, jeszczeby w praktyce do niczego nie prowadziła, gdyż nieznanym pozostaje przekrój, z jakim mamy do czynienia, czyli przestrzeń, na jakiej rozchodzi się prąd. Wiadomo jest, że prąd stały wychodzący z elektrody zakopanej w ziemi, rozchodzi się szybko bardzo szeroko i głęboko, tak, że przekrój ziemi, przez który płynie prąd, staje się już bardzo blisko elektrody praktycznie nieskończenie wielki. Wykazują to między innymi doświadczenia F. Besig'a, opisane w dokumencie Nr. 1 C. C. I'-e Co. Oporność ziemi znika więc praktycznie, a większa lub mniejsza jej oporność właściwa niema żadnego wpływu na całość oporu przejściowego. Oporność ta właściwa gra więc jedynie pewną, ale

nieznaczną rolę w bezpośredniej bliskości elektrod, tam, gdzie przekrój, przez który płynie prąd, nie może być uważany za nieskończenie wielki. Odległość między dwoma elektrodami zakopanymi w ziemi, wpływa na wielkość oporności między nimi tylko przy bardzo małych odległościach, poczem oporność ta staje się już prawie stała i od odległości niezależna. Spadek napięcia w ziemi na jednostkę długości zmienia się w pobliżu elektrod szybko, przebiegając mniej więcej podług krzywej logarytmicznej i staje się już bardzo niedaleko od elektrod znikomie mały.

Wynika z tego, że odległość między szynami a np. rurami ułożonemi w ziemi, nie wpływając sama prawie wcale na wielkość oporności między temi rurami a szynami, wpływa jednak znacznie na możliwość uszkodzeń elektrolitycznych, a to skutkiem zmniejszania się z rosnącą odległością gęstości prądu w ziemi, a zatem i tej ilości prądu, która może przejść z ziemi do rur. względnie odwrotnie.

Skoro, jak widzieliśmy, wielkość oporności ziemi znika praktycznie w wymiarze oporności między szynami a ziemią, względnie szynami a rurami, przeto wielkość tej oporności zależy będzie przede wszystkim od rodzaju podłoża, względnie sposobu ułożenia torów.

Oporność danego podłoża, a raczej oporność między szynami a ziemią w bezpośredniej bliskości podłoża, składa się ze swej strony z oporności przejściowej między szyną a podłożem, oporności samego podłoża oraz oporności przejściowej między podłożem a samą ziemią, nie może więc być, nawet dla zupełnie jednolitego podłoża, wielkością stałą, lecz przeciwnie, zależy musi np. od stopnia wilgotności ziemi i jej rodzaju, co wpływa na oporność przejściową między podłożem a ziemią, temperatury, większej lub mniejszej jednolitości struktury podłoża i t. d.

Cisnienie gra tu również poważną rolę, polepszając kontakt między szynami a podłożem w chwili przechodzenia wagonu. Stąd znane zjawisko, iż, jeżeli zmierzyć prąd płynący w szynach po obu stronach wagonu w bezpośrednim jego sąsiedztwie, to stwierdza się przeważnie, że 5—15% prądu już uszło do ziemi na odcinku równym długości wagonu, podczas kiedy ucieczka prądu na takich odcinkach nie pod wagonem, jest wielokrotnie mniejsza.

W celu określenia wielkości oporności przejściowej różnego rodzaju podłoży i sposobów ułożenia szyn, wykonało amerykańskie Bureau of Standards w latach 1919—1925 szereg pomiarów na 14 krótkich odcinkach specjalnie na ten cel ułożonych torów, przy różnych stanach pogody i różnych temperaturach. Skonstatowano przytem, że najmniejszą oporność przejściową wyka-

zuje podłoże betonowe, a mianowicie przy żelaznych podkładach na fundamencie betonowym, około 0,11 oma na km.

Dla szyn ułożonych na drewnianych podkładach i fundamencie tłuczniowym z podbiciem żwirowem znaleziono 0,33 — 0,36 oma na km. Dla szyn vignolowskich, ułożonych na podkładach drewnianych i nie zatopionych w jezdni, wymierzono 1,2—1,4 oma. Przepojenie podkładów kreozotem nie wpłynęło na oporność przejściową, natomiast przepojenie chlorkiem cynku zmniejsza oporność mniej więcej o połowę. Dla szyn ułożonych na własnym torowisku na drewnianych podkładach z balastem żwirowym, oporność przejściowa wynosiła około 4 omy na km.

Prace i badania Bureau of Standards nie mają nigdy na celu ustalenia podstaw do opracowania ogólnych przepisów dla ochrony podziemnych przewodów metalowych od działań elektrolitycznych, a jedynie stwierdzenia faktycznego stanu w istniejących przedsiębiorstwach oraz wskazanie środków ku zmniejszeniu ewent. skonstatowanych uszkodzeń.

Ogromna większość pomiarów i doświadczeń wykonywana jest skutkiem tego albo w czasie normalnego ruchu, albo też czysto teoretycznie, na specjalnie przygotowanych odcinkach torów, względnie rur lub przewodów.

Niezmiernie bogate i cenne te doświadczenia i wyniki pomiarów nie dają przeto przeważnie bezpośredniej odpowiedzi na pytania, jakie zachodzą przy ujęciu kwestji z punktu widzenia zwyczajów europejskich, jak na przykład opracowanie dyrektyw, którym winny odpowiadać urządzenia trakcyjne. Tak więc np. pomiary oporności przejściowej, wykonane na 14 odcinkach specjalnie przygotowanych torów są stanowczo nie wystarczające na zdanie sobie sprawy o różnicach, jakie mogą zachodzić przy danym sposobie ułożenia i osądzenie, czy oporności te mogą być uważane za stałe, czy też nie.

Wobec tego polecił mi Związek Polskich Przedsiębiorstw Komunikacyjnych w roku 1926 wykonanie odpowiednich badań na torach przedsiębiorstw polskich.

Głównym celem moich prac było stwierdzenie, czy oporności przejściowe między szynami a ziemią, względnie przewodami metalowymi, ułożonemi w ziemi, mogą być uważane, przynajmniej dla danego rodzaju podłoża i sposobu ułożenia i w danej jednej miejscowości, za stałe, czy też są one tak różne, że wszelkie obliczenia, oparte na założeniu ich stałości, muszą prowadzić do mylnych wyników. Z tego wynika konieczność określenia, przynajmniej w przybliżeniu, wielkości tych oporności. Przy sposobności wykonywania tych pomiarów, wykonałem cały szereg innych, jako to: wielkości prądów ziemnych, natężenia prądu w przewodach metalowych ułożonych w ziemi i t. d.,

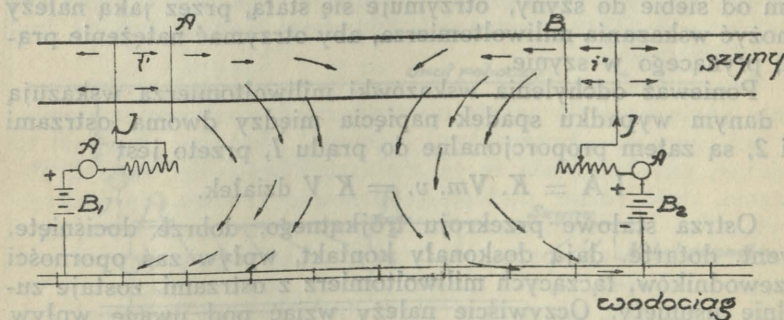
z których niektóre doprowadziły do dość ciekawych wyników i wniosków.

Nie dążąc bezpośrednio do zbadania wielkości zjawisk elektrolitycznych, zachodzących w czasie normalnego ruchu w poszczególnych przedsiębiorstwach, robiłem pomiary w czasie ruchu tylko ubocznie i dodatkowo, wykonywując ogromną ich większość w nocy, przy wstrzymanym ruchu i sztucznem obciążeniu.

Pp. Burton McCollum i K. H. Logan podają w Technologic Paper of the Bureau of Standards Nr. 365 dwie metody pomiaru oporności przejściowej od szyn do ziemi, a mianowicie:

1) Odizolowawszy zapomocą złączy izolowanych odpowiedni odcinek toru od pozostałych torów, przyłącza się do tego odcinka oraz ziemi, a więc np. rur wodociągowych lub pozostałych torów, oba bieguny baterji akumulatorów i mierzy równocześnie prąd oraz napięcie pomiędzy baterją a drugim, oddzielnem uziemieniem. Ponieważ cały prąd wysłany z baterji do mierzonego odcinka szyn musi przejść przez ziemię, a ilość prądu przechodząca koło złączy izolowanych jest, zdaniem autorów, bardzo mała, przeto otrzymuje się z tych odczytań szukaną oporność dla danego odcinka.

2) Na obu końcach odcinka, którego oporność przejściową ma się zmierzyć, przyłącza się najlepiej dodatni biegun dwóch baterji akumulatorów, których ujemne bieguny przyłącza się np. do przewodów wodociągowych.

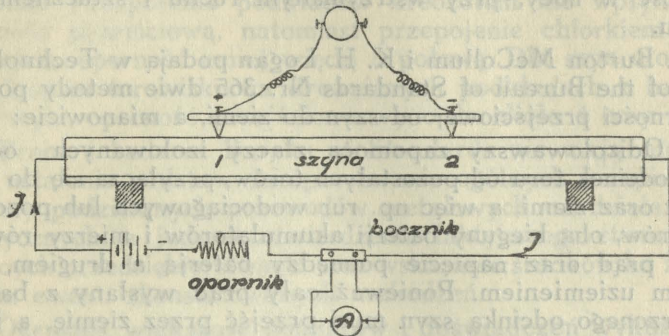


Rys. 4.

Znaczna część prądu I, wychodzącego z każdej baterji, płynie, jak to wskazano na szkicu, poza odcinek zawarty między baterjami, część jednak wchodzi w ten odcinek i przedostaje się z niego przez ziemię i przewód wodociągowy zpowrotem do baterji. Jeżeli teraz wymierzyć prąd płynący w szynach w punktach A i B w bezpośredniej bliskości punktów przyłą-

czenia baterji, oraz napięcie między szynami a ziemią, to otrzymuje się szukaną oporność przejściową odcinka *A—B*.

Natężenie prądu płynącego w szynie najłatwiej mierzyć przyciskając do szyny dwa stalowe ostrza, połączone z zaciskami miliwoltomierza; znając oporność danej szyny łatwo ze wskazań miliwoltomierza obliczyć natężenie prądu. Praktycznie



Rys. 5.

postępowałem tak, że przez szynę ułożoną na izolujących podkładkach przepuszczałem z baterji akumulatorów prąd, którego natężenie mierzyłem przy pomocy amperomierza; odczytując równocześnie napięcie wskazane na miliwoltomierzu, przyłączonym do dwóch ostrzy stalowych, przyciśniętych w odległości 5 m od siebie do szyny, otrzymuje się stałą, przez jaką należy mnożyć wskazania miliwoltomierza, aby otrzymać natężenie prądu, płynącego w szynie.

Ponieważ odchylenia wskazówki miliwoltomierza wskazują w danym wypadku spadek napięcia między dwoma ostrzami 1 i 2, są zatem proporcjonalne do prądu *I*, przeto jest

$$I A = K \cdot V_m \cdot v = K V \text{ działek.}$$

Ostrza stalowe przekroju trójkątnego, dobrze dociśnięte, ewent. dotarte, dają doskonały kontakt, wpływ zaś oporności przewodników, łączących miliwoltomierz z ostrzami, zostaje zupełnie usunięty. Oczywiście należy wziąć pod uwagę wpływ temperatury na oporność szyn.

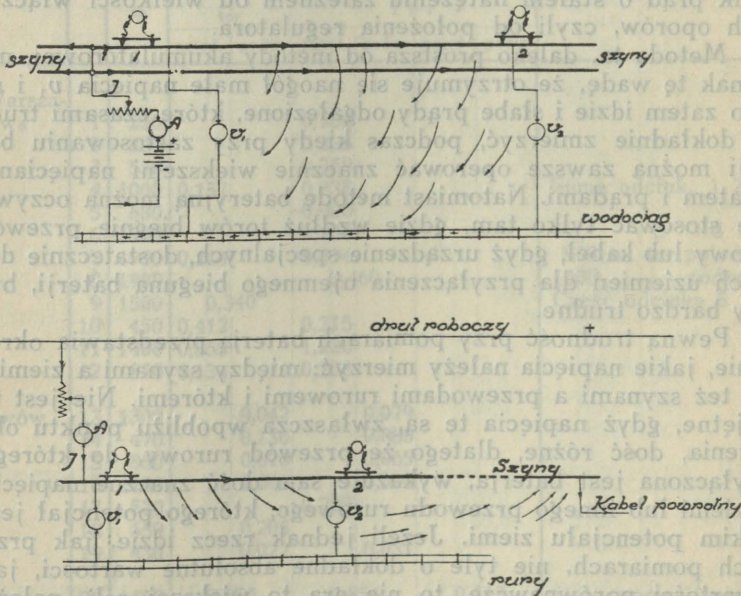
Taki pomiar, a raczej kalibrowanie, należy wykonać oddzielnie dla każdego profilu i rodzaju szyn, na jakich ma się następnie robić pomiary i każdorazowo otrzymuje się inne wartości współczynnika *K*. Należy również uwzględnić wpływ temperatury na oporność szyn.

Ten sam pomiar pozwala, znając profil i przekrój danej szyny, obliczyć także jej oporność właściwą. Pomiary wykazały, że oporności te są tak różne dla różnych szyn, że opieranie

się jedynie na jakiejś średniej wartości tej oporności, jak to np. proponują pp. Burton Mc Collum i K. H. Logan (Technologic Paper of the Bureau of Standards Nr. 365, str. 34) 0,0003 oma na funt i stopę, co przy ciężarze właściwym 7,8 odpowiada oporności właściwej około 0,174, prowadziłoby do zbyt wielkiej niedokładności, gdyż faktycznie wartości te wahają się od 0,174 do 0,211.

Co do metody pierwszej, to założenie dla pomiarów złączy izolowanych w istniejący i eksploatowany tor, nawet, jeżeli szyny jego nie są spawane, nie jest rzeczą bynajmniej łatwą. Poza tem nie wydaje mi się być dokładność takiego pomiaru pewna, a to wobec tego, że ucieczka prądu w pobliżu złączy izolowanych i naokoło nich do pozostałych części torów niekoniecznie musi być tak mała, aby nie miała wpływu na wynik pomiarów.

Co do metody drugiej, to wydaje mi się ona być niepotrzebnie skomplikowana, gdyż ten sam wynik, nawet z większą do-



Rys. 6 i 7.

kładnością, da się otrzymać przy zastosowaniu jednej tylko baterji lub zastąpieniu jej prądem z sieci (przez odpowiedni opornik).

Różnica prądów płynących w szynach w punktach 1 i 2, mierzonych przez miliwoltmierz $i_1 - i_2$ daje oczywiście prąd odgałęziony do ziemi na długości od punktu 1 do 2. Jeżeli teraz wymierzmy potencjały między szyną a rurą w punktach 1 i 2,

to otrzymamy łatwo szukaną oporność przejściową odcinka od 1 do 2.

$$r = \frac{V_1 + V_2}{2(i_1 - i_2)}$$

Przy obu metodach, z dwoma i z jedną baterją, należy wykonać po dwa pomiary prądu na szynę; natomiast przy metodzie jednobateryjnej (rys. 6) ma się do czynienia z dwa razy większymi natężeniami prądu, gdyż prąd upływowy i dzieli się w metodzie dwubateryjnej na dwie części: $i = i' + i''$, podczas kiedy przy metodzie jednobateryjnej mierzy się odrazu całą wartość i , co zapewnia większą dokładność.

Zamiast baterji można także użyć napięcie robocze, podług schematu rys. 7.

Dla otrzymania obciążenia stosować najlepiej wagon motorowy mocno zahamowany tak, aby koła jego nie mogły się ruszać: przy stałym napięciu roboczym przepływa wtedy przez silnik prąd o stałym natężeniu zależnym od wielkości włączonych oporów, czyli od położenia regulatora.

Metoda ta, daleko prostsza od metody akumulatorowej, ma jednak tę wadę, że otrzymuje się naogół małe napięcia v_1 i v_2 , a co zatem idzie i słabe prądy odgałęzione, które czasami trudno dokładnie zmierzyć, podczas kiedy przy zastosowaniu baterji można zawsze operować znacznie większymi napięciami, a zatem i prądami. Natomiast metodę baterijną można oczywiście stosować tylko tam, gdzie wzdłuż torów biegnie przewód rurowy lub kabel, gdyż urządzenie specjalnych, dostatecznie dobrych uzemień dla przyłączenia ujemnego bieguna baterji, byłoby bardzo trudne.

Pewną trudność przy pomiarach baterją przedstawia określenie, jakie napięcia należy mierzyć: między szynami a ziemią, czy też szynami a przewodami rurowymi i którymi. Nie jest to obojętne, gdyż napięcia te są, zwłaszcza w pobliżu punktu obciążenia, dość różne, dlatego że przewód rurowy, do którego przyłączona jest baterja, wykazuje sam dość znaczne napięcie do ziemi lub innego przewodu rurowego, którego potencjał jest bliskim potencjału ziemi. Jeżeli jednak rzecz idzie, jak przy moich pomiarach, nie tyle o dokładne absolutne wartości, jak o wartości porównawcze, to nie gra to większej roli, należy tylko zawsze porównywać ze sobą wielkości jednakowo mierzone.

Przy moich badaniach stosowałem obie metody, tak akumulatorową, łącząc baterję do rur wodociagowych, jak i pomiaru przy pomocy prądu z sieci, przyczem okazało się, że wartości oporności, otrzymane przy pomiarach prądem z baterji, zwłaszcza jeżeli napięcie było mierzone do tych samych przewodów rurowych, do których przyłączona była baterja —

II. Szyny ułożone na fundamencie kamiennym, podbite tłuczniem i piaskiem.

Miasto	Nr.	Długość mierzonego odcinka m.	Oporność przejściowa omów na km mierzona prądem z:						U w a g i
			sieci tor		Baterji				
					Napięcie mierzone do przew. Wodociągów. Gazowych				
			pojed.	podw.	pojed.	podw.	pojed.	podw.	
Lwów	1	945		0,034		0,063			
	2	745		0,080		0,187		0,0715	
	3	900		0,031		0,046			
	4	240	0,062		0,142				
	5	430		0,047		0,178			
Kraków	6	320		0,018		0,025			
	7	1000		0,047		0,193		0,085	
	8	350		0,014		0,057		0,023	
	9	600		0,066					
	10	550		0,021					
	11	450	0,058		0,116		0,069		
	12	540	0,048		0,072				
Gru- dziądz	13	840					0,056		
	14	380	0,034		0,055		0,053		
	15	240	0,103		0,227				
	16	700	0,106		0,173				
	17	650			0,082				
	18	470	0,259						
	19	280	0,135						
Toruń	20	430	0,051						
	21	250	0,124		0,444		0,376		
	22	530	0,068		0,322		0,302		
	23	1050	0,224		0,361		0,270		
Poznań	24	1400	0,160						Tor 1/2 podw. 1/2 pojed
	25	1500	0,300						" " " "
	26	380	0,205						
	27	1050		0,118					
	28	1200		0,430					
	29	900		0,075					
	30	320		0,037		0,049		0,049	
	31	300				0,020			

III. Szyny ułożone na fundamencie betonowym. Podlewka cement.

Kraków	1	600	0,010	0,044	0,029
	2	360	0,083	0,129	
	3	700		0,114	0,068

IV. Koleje Dojazdowe. Szyny vignolowskie ułożone na drewnianych podkładach, torowisko własne.

Warszawa	1	2100		2,840		Na nasypie balast zwirowy
	2	1900		1,380		
	3	1500		1,770		
Łódź	4	1000	0,315			Częściowo tor podwójny, Torowisko zabrukowane. Balast piasek
	5	500	0,245			
	6	1200	0,320			
	7	700	0,215			
	8	500	0,122			

Z wyżej podanych tablic wynika, że wartości oporności przejściowych, nawet dla jednego i tego samego sposobu ułożenia torów, wahają się w szerokich granicach. Tak np. mamy dla szyn ułożonych na drewnianych podkładach wartości dla toru pojedynczego od 0,134 do 0,860 (pomiar Nr. Nr. 11 i 12), mierząc prądem z sieci, lub 0,108 do 1,220 (pomiar Nr. Nr. 1 i 11) mierząc prądem z baterji, a dla toru podwójnego od 0,01 do 0,399 (pom. Nr. Nr. 20 i 23) prądem z sieci, względnie 0,031 do 0,880 (pom. Nr. Nr. 14 i 19), mierząc z baterji. Dla szyn ułożonych na fundamentach z kamienia wynoszą wartości oporności od 0,048 do 0,259 (pom. Nr. Nr. 12 i 18) dla torów pojedynczych mierząc z sieci, względnie 0,072 do 0,444 (pom. Nr. Nr. 12 i 21) mierząc z baterji, a dla torów podwójnych od 0,018 do 0,430 (pom. Nr. Nr. 6 i 28) z sieci, względnie 0,02 do 0,193 (pom. Nr. Nr. 7 i 31) z baterji.

Oczywistem jest, że wobec tak wielkich wahań, wszelkie obliczenia oparte na założeniu jakiejś średniej wartości, muszą z konieczności prowadzić do zupełnie fałszywych wyników i mylnych wniosków.

Obliczając średnie wartości oporności w ten sposób, że sumę iloczynów poszczególnych oporności na kilometr tak toru pojedynczego, jak i podwójnego, wymierzoną tak prądem z sieci, jak i z baterji, oraz napięciem mierzonym do rur wodociągowych, pomnożonych na długości danych odcinków, dzieli się na sumę długości wszystkich odcinków, otrzymuje się następujące wyniki:

Oporność przejściowa kilometra toru ułożonego na drewnianych podkładach:

Srednio w Warszawie	0,421 oma
„ „ Poznaniu	0,506 „
„ „ Lwowie	0,115 „
„ „ Łodzi	0,048 „
we wszystkich 4 wyżej nazwanych miastach =	
= 0,298 oma.	

Oporność przejściowa kilometra toru, ułożonego na podłożu kamiennem:

Srednio we Lwowie	0,046 oma
„ „ Krakowie	0,0675 „
„ „ Grudziądzu	0,118 „
„ „ Toruniu	0,264 „
„ „ Poznaniu	0,201 „
we wszystkich 5 wyżej nazwanych miastach =	
= 0.125 oma.	

Co do podłoża betonowego z podlewką cementową, to mała ilość pomiarów nie pozwala na wyciągnięcie co do niego żadnych pewniejszych wniosków.

Z powyższego zestawienia wynika, że tory ułożone na podkładach drewnianych mają oporność przejściową znacznie większą, jak ułożone na podłożu kamiennem i prawdopodobnie betonowem. Zgadza się to zupełnie z wynikami pomiarów Bureau of Standards, przytoczonymi już na str. 30, które znalazło dla ułożenia na podkładach 0,33 — 0,36 omów na km, a dla ułożenia na betonie 0,11 oma na km, a zatem wartości bardzo bliskie do powyższych.

Uderzają dalej wielkie różnice pomiędzy poszczególnymi miastami. Tak więc odznaczają się Łódź i Lwów specjalnie małymi opornościami, co należy prawdopodobnie przypisać gatunkowi gruntu, podczas kiedy pozostałe miasta wykazują znacznie większe wartości średnie. Co do kolei dojazdowych wreszcie, to i tu wyraźna jest różnica pomiędzy Łodzią a Warszawą, a mianowicie średnio 0,265 i 2,05, oraz wielka zmienność poszczególnych wartości.

Skoro tedy oporność przejściowa szyn do ziemi jest wielkością wysoce zmienną i zależną od mnóstwa czynników nie dających się zgóry przewidzieć ani obliczyć, tedy jasne jest, że wszelkie obliczenia, oparte na założeniu stałej oporności przejściowej szyn do ziemi na całej długości danego odcinka, muszą doprowadzić do zupełnie mylnych i błędnych wyników; niepodobna więc np. wnioskować z wielkości spadków napięć w szynach o wielkości różnic potencjałów między szynami a ziemią, jak tego wymagają przepisy szwajcarskie lub proponowane dyrektywy C. C. I., porównanie zaś rzeczywiście wymierzonych różnic potencjałów z temi teoretycznie obliczonymi, nie prowadzi też do niczego.

To samo odnosi się i do położenia punktu neutralnego, a zatem i granicy dwóch stref, które, jak tego dowodzą obliczenia Bureau of Standards, nie jest bynajmniej stałe, lecz przeciwnie, zależne tak od oporności szyn, jak i oporności przejściowej i wzajemnego ich stosunku. Co najwyżej możnaby ogólnikowo wnioskować, że gęstość prądów ziemnych, wracających do szyn, jest tem większa, czem punkt ten neutralny leży bliżej punktu powrotnego.

Ale nawet dokładna znajomość natężenia i gęstości prądów błądzących, obliczona (co, jak widzieliśmy, nie zdaje się być możliwe), lub wymierzona, nie mówi sama przez się jeszcze nic o niebezpieczeństwie uszkodzeń elektrolitycznych, gdyż zachodzi jeszcze pytanie, jak prądy te rozkładają się w ziemi, względnie jaka ich część trafia do przewodów metalowych uło-

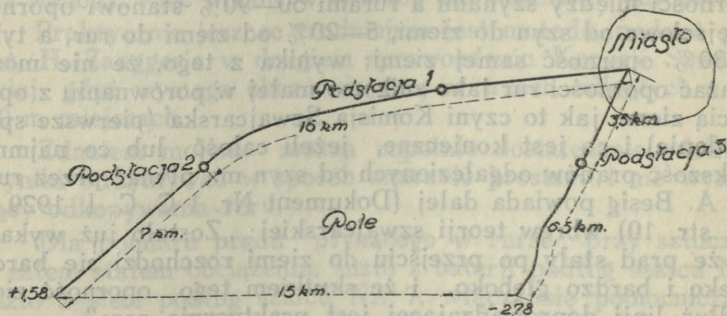
zonych pod ziemią i jaka jest gęstość prądów wychodzących z tych przewodów, jedynie dla określenia działań elektrolitycznych miarodajna.

Większość teorii opracowanych w Europie oparta jest na założeniu, że cały, a przynajmniej większa część prądu odgałęzionego od szyn przechodzi do rur. Na takim milczącym założeniu opiera się np. sposób obliczenia prądów w rurach, podany w pierwszym sprawozdaniu Komisji Szwajcarskiej (str. 5—9), a także obliczenia i teorie Dr. Carl Michalke, Haber'a i innych.

Ze założenie takie jest jednak zupełnie niedopuszczalne, tego dowodzi proste rozumowanie. Skoro szyny, ułożone na podłożu o przewodnictwie znacznie mniejszem, jak przewodnictwo ziemi, a zatem od ziemi poniekąd częściowo izolowane i o przewodnictwie znacznie większem, jak przewodnictwo np. przewodów rurowych, odgałęziają jednak znaczne prądy do ziemi, to jasne jest, że to samo będzie miało miejsce, tylko w znacznie silniejszym stopniu, dla przewodów rurowych, ułożonych w ziemi i od niej nie izolowanych, że zatem tylko niewielka część prądów, płynących w ziemi, płynąć może przez te przewody.

Ze tak jest, dowodzą tego często obserwowane fakty, że obecność lub nieobecność w pobliżu torów przewodów metalowych ułożonych w ziemi, wcale nie wpływa ani na oporność przejściową do ziemi, ani na wielkość prądów błędzących.

Tak np. wykazuje m. Łódź, nie posiadające jeszcze w czasie dokonywania w niem pomiarów kanalizacji, a jedynie sieć prze-



Rys. 8.

wodów gazowych, o wiele mniejsze oporności, jak inne miasta z rozgałęzionymi sieciami przewodów rurowych.

Oporność przejściowa torów kolei dojazdowych łódzkich, ułożonych poza miastem, gdzie w pobliżu niema zupełnie żadnych przewodów metalowych, nie odbiega daleko od oporności

prześciowej torów tramwajowych, np. w Warszawie, przy gęstej sieci rur i t. p.

Jako dalszy przykład służyć może następujący przypadek:

Na sieci kolei dojazdowych, przedstawionej na szkicu Nr. 8, biegun dodatni jest przyłączony do szyn, ujemny zaś do sieci górnej. Końce linii muszą przy takim połączeniu wykazywać zawsze ujemny potencjał względem ziemi, gdyż prąd wchodzący do ziemi przy punktach przyłączenia kabli dodatnich, powraca do szyn na krańcach linii. Pomiary wykonane w czasie normalnego ruchu wykazały w rzeczywistości wszędzie na krańcach wartości ujemne, za wyjątkiem krańcowego odcinka za podstacją Nr. 2, który wykazał średni potencjał dodatni 0,58 V co dowodzi, że tu prąd uchodzi z szyn do ziemi. Potencjał ten stał się ujemny tylko wtedy, kiedy pociąg zbliżał się do końca linii.

Fakt ten tłumaczy się tem, że końcowy odcinek, leżący za podstacją Nr. 3, ma tak złe złącza, że znajdujące się na nim pociągi zasilane są częściowo z podstacji Nr. 2 przez odcinek końcowy i ziemię. Pomimo więc, że mamy tu do czynienia z ok. 15 km pola, bez żadnych podziemnych przewodów, przepływa tędy dość znaczny prąd.

Badając natężenia prądów w rurach, znaleźli Larsen i Faber (E. T. Z. 1901 str. 1038), że w Kopenhadze prądy te stanowią 50% prądów odgałęzionych od szyn, Michalke znalazł wartości do 60%. Dr. A. Besig nie podaje wprawdzie stosunku prądów rurowych do ziemnych, stwierdza jednak, że w wartości oporności między szynami a rurami 50—90% stanowi oporność przejściowa od szyn do ziemi, 5—20% od ziemi do rur, a tylko 5—30% oporność samej ziemi; wynika z tego, że nie można uważać oporności rur jako znikomo małej w porównaniu z opornością ziemi, jak to czyni Komisja Szwajcarska (pierwsze sprawozdanie) i co jest konieczne, jeżeli całość lub co najmniej większość prądów odgałęzionych od szyn ma płynąć przez rury. Dr. A. Besig powiada dalej (Dokument Nr. 1 C. C. I. 1929. 2e CR, str. 10) wbrew teorii szwajcarskiej: „Zostało już wykazane, że prąd stały po przejściu do ziemi rozchodzi się bardzo daleko i bardzo głęboko, i że skutkiem tego oporność ziemi wzdłuż linii doprowadzającej jest praktycznie zero”.

Zjawisko ucieczki prądu z rur starałem się przy moich pomiarach zbadać eksperymentalnie. W tym celu łączyłem bieguny baterji akumulatorów do szyn i przewodu rurowego, tak jak dla pomiaru oporności przejściowej, rys. Nr. 7, mierząc w określonych odległościach od punktu obciążenia, natężenie prądu tak w szynach, jak i w rurach. Jeżeliby prąd uchodzący z rury wracał najkrótszą drogą do szyn, to oczywiście natężenia prądu

w szynach i rurze byłyby w punktach jednakowo odległych od punktu obciążenia, zawsze równe. Jeżeli jednak tak nie jest, a natężenie prądu w szynach okaże się znacznie większe, to oznaczałoby to, iż prąd równy różnicy prądu w szynach i w rurze wyszedł już z rury, ale nie powrócił jeszcze do szyn, lecz płynął dalej przez ziemię i powraca do szyn dopiero gdzieś dalej (oczywiście nie w jednym miejscu, ale stopniowo na dłuższym odcinku).

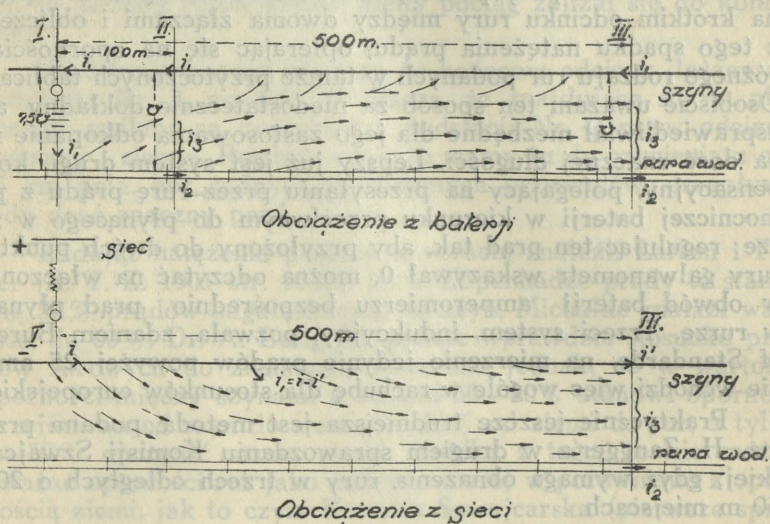
Znaczne trudności przedstawia przytem mierzenie prądu w rurze, głównie skutkiem trudnego dostępu do rur. Amerykańskie Bureau of Standards podaje (Technologic Paper Nr. 355, str. 35—43) trzy sposoby mierzenia tego prądu, polecając jednak jako najprostsz i dostatecznie dokładny sposób, polegający na mierzeniu przy pomocy miliwoltomierza spadku napięcia na krótkim odcinku rury między dwoma złączami i obliczeniu z tego spadku natężenia prądu, opierając się na opornościach różnego rodzaju rur podanych w tamże przytoczonych tablicach. Osobiście uważam ten sposób za niedostatecznie dokładny aby usprawiedliwiać niezbędne dla jego zastosowania odkopanie rur na dość znacznej długości. Lepszy już jest system drugi, kompensacyjny, polegający na przesyłaniu przez rurę prądu z pomocniczej baterji w kierunku przeciwnym do płynącego w rurze: regulując ten prąd tak, aby przyłożony do dwóch punktów rury galwanometr wskazywał 0, można odczytać na włączonym w obwód baterji amperomierzu bezpośrednio prąd płynący w rurze. Trzeci system, indukcyjny, pozwala, zdaniem Bureau of Standards, na mierzenie jedynie prądów powyżej 25 amp., nie wchodzi więc w ogóle w rachubę dla stosunków europejskich.

Praktycznie jeszcze trudniejsza jest metoda, podana przez inż. H. Zangger'a w drugim sprawozdaniu Komisji Szwajcarskiej, gdyż wymaga obnażenia rury w trzech odległych o 20—50 m miejscach.

Zdaniem mojem, można zupełnie dostatecznie dokładne wyniki otrzymywać w sposób znacznie prostszy i nie wymagający odkopywania rury.

Dla pomiaru prądu płynącego w rurze przy sztucznem, a zatem stałem obciążeniu, jużto z baterji podług szkicu Nr. 6, jużto z sieci podług szkicu Nr. 7, włącza się pomocniczą baterję przez regulowany opornik między dwa sąsiednie hydranty, pomiędzy którymi rura nie posiada większych odgałęzień (za wyjątkiem ewent. odgałęzień do poszczególnych domów) tak, aby dawała prąd przeciwny mierzonemu oraz miliwoltomierz, tak jednak, aby połączenia tego ostatniego były oddzielne: można np. dla przyłączenia miliwoltomierza użyć klucza hydrantowego, przyłączając baterję do rury hydrantowej. Wyregulowawszy opornikiem prąd tak, aby miliwoltomierz wskazywał 0, od-

czytuje się na amperomierzu bezpośrednio prąd płynący w rurze. Zmierzywszy następnie, po odłączeniu baterji pomocniczej, spadek napięcia, można później mierzyć w czasie ruchu prąd płynący w danym odcinku rury przez proste odczytanie odchylenia miliwoltomierza. Jeżeli do pomiaru użyć miliwoltomierza o dostatecznie dużym oporze, to wpływ oporu przyłączeń miliwoltomierza staje się bardzo mały, a cały błąd polega na tem, że część prądu nie płynie przez rurę, ale odgałęziając się od niej przez ziemię tak, że otrzymuje się opór mniejszy od rzeczywistego, a skutkiem tego następnie prądy większe aniżeli płynące w rzeczywistości przez rurę. W każdym jednak razie zdają się być wyniki dokładniejsze, jak oparte na opornościach, obliczonych z tablic. W praktycznem zastosowaniu przekonałem



Rys. 9.

się, że wyniki, otrzymywane w sposób jeszcze prostszy, t. j. przez przyłączenie baterji akumulatorów (w nocy, kiedy tramwaje są zatrzymane, a zatem w rurach niema prądu) do dwóch sąsiednich hydrantów i mierzenie prądu i spadku napięcia jak poprzednio, są zupełnie zgodne z wynikami, otrzymanymi przy pomocy wyżej opisanej metody, wobec czego stosowałem przeważnie ten uproszczony sposób mierzenia tem bardziej, że rzecz mi szła nie tyle o ściśle wymierzenie natężenia prądu w rurach, ile o stwierdzenie, że tylko część prądów odgałęzionych do ziemi płynie przez rury, błędy zaś mogą tylko wykazywać prądy większe, jak rzeczywistość płynące, nigdy zaś mniejsze.

Oto kilka najcharakterystyczniejszych wyników:

Nr.	M i a s t o	Obciążenie z	Punkt I Obciążenie		P u n k t II					P u n k t III				
			Prąd w szynach i rurami A	Potencjał między szynami a rurami V	Odległość od p. I. m.	Natężenie prądu A			Potencjał między szynami a rurami V	Odległość od p. I. m	Natężenie prądu A			Potencjał między szynami a ziemią V
						i_1	i_2	i_3			i_1	i_2	i_3	
1	Warszawa	Baterja	35,6	7,3	100	34,0	10,3	23,7	2,1	500	30,4	2,3	28,1	1,1
		Sieć								500	2,7	0,16	2,54	
2		Baterja	30,4	6,4	230	19,7	0,66	19,04	4,83	1000	10,7	1,3	9,4	3,0
		Sieć			230	10,3	0,93	9,37	8,04	1000	45,0	1,7	43,3	6,5
3		Baterja	30,0		200	29,0	7,30	21,7						
4		Baterja	23,0	7,56	680	17,6	0,01	17,59	4,09	1980	0,9	0	0,9	0,8
5	Lwów	Baterja	29,5	15,6	1000	20,8	0,19	20,61	0,62					
		Sieć			1000	1,5	0,10	1,40						
6		Baterja	99,7	12,6	900	32,4	0,174	32,23	0,65					
		Sieć			900	46,3	0,087	46,213						

Prądy mierzone były zawsze w rurze wodociągowej, biegnącej równoległe do torów, przyczem pomiędzy punktami I i III nie było większych odgałęzień (za wyjątkiem przyłączeń domowych). Oprócz rury wodociągowej równoległe do szyn biegła prawie zawsze rura gazowa, w której prądów nie mierzono, gdyż kilka prób dowiodło, że prądy te są znikomo małe.

Z zestawień tych wynika, że nawet przy sztucznem wprowadzeniu prądu do rury, większa jego część uchodzi z niej już na przestrzeni paruset metrów, nie powracając bynajmniej wprost do szyn, lecz płynąc dalej przez ziemię; część pozostająca w rurze jest tem mniejsza, czem mniejsza jest na danym odcinku oporność przejściowa szyn do ziemi (mniejsza różnica między prądem w punkcie obciążenia i punkcie pomiaru, np. przy obciążeniu z baterji pomiary Nr. Nr. 1 i 3 mała różnica, oraz Nr. 2 — duża różnica), a zatem prawdopodobnie i oporność ziemi. Przy obciążeniach z sieci odnajduje się w rurach nie 50—60%, lecz ledwo drobną cząsteczkę prądu, który odgałęził się od szyn do ziemi, zwykle znacznie mniej, jak 10%.

Wynika z tego jasno, iż wszelkie teoretyczne obliczenia, oparte na milczącym założeniu, że całkowity prąd lub większa jego część, odgałęziony od szyn przechodzi do rur i płynie niemi dalej, by uchodząc z rur powrócić wprost do szyn, są zupełnie bezpodstawne i muszą dawać mylne wyniki (Dr. C. Michalke, Haber i inni), oraz, że dokładna nawet znajomość natężenia prądów odgałęzionych od szyn do ziemi, nie pozwala jeszcze wcale wnioskować o gęstości prądów w rurach.

Doświadczenia jednak Bureau of Standards, przytoczone w Technologic Paper Nr. 355 „Electrolysis Testing by Burton McCollum and K. H. Logan“ dowodzą dalej, że różnice potencjałów między szynami a rurami nietylko nie pozwalają wnioskować o natężeniu prądów uchodzących z rur, lub wchodzących do nich, ale nawet o ich kierunku. PP. McCollum i K. H. Logan wymierzili w 19 punktach napięcie pomiędzy rurami a szynami i wymierzili w każdym z tych punktów prąd uchodzący lub wchodzący z rury lub do rury w 8 kierunkach. Dla każdego z tych punktów wzięto następnie najmniejszą i największą wartość prądu, wyprowadzając ich stosunek do różnicy napięcia. Jeśliby kierunek prądu odpowiadał zawsze spadkowi napięcia, to wszystkie te wartości musiałyby być dodatnie. Tymczasem na 38 wartości 18 jest ujemnych, co dowodzi, że w tych 18 wypadkach prąd ma kierunek przeciwny spadkowi potencjału między szynami a rurami, że zatem tam np. gdzie różnica potencjału wskazuje na wchodzenie prądu do rury, tam właśnie prąd z niej uchodzi, lub naodwrot. Sprzeczność z ogólnymi zasadami elektrotechniki jest tu oczywiście tylko pozorna, gdyż prąd wychodzący np. z rury tam, gdzie rura ta ma względem

szyn potencjał ujemny, nie przechodzi do szyn, lecz do ziemi, względem której rura jest w danym punkcie oczywiście dodatnia.

Rozpatrzywszy w ten sposób samo powstawanie prądów błędzących i przyczyny, które je powodują, i na ich wielkość wpływają, możemy przystąpić do rozpatrzenia środków dążących ku ich zmniejszeniu, względnie zabezpieczających od uszkodzeń, jakie prądy te mogą powodować.

Pierwsze, to jest środki ku zmniejszeniu prądów błędzących wogóle, są środkami jakie mogą przedsięwziąć tylko urządzenia powodujące powstawanie tych prądów, a zatem przedsięwzięcia trakcyjne, drugie mające zabezpieczyć całkowicie lub częściowo przewody metalowe ułożone w ziemi od szkodliwego działania takich prądów mogą być zastosowane przeważnie tylko do tychże przewodów.

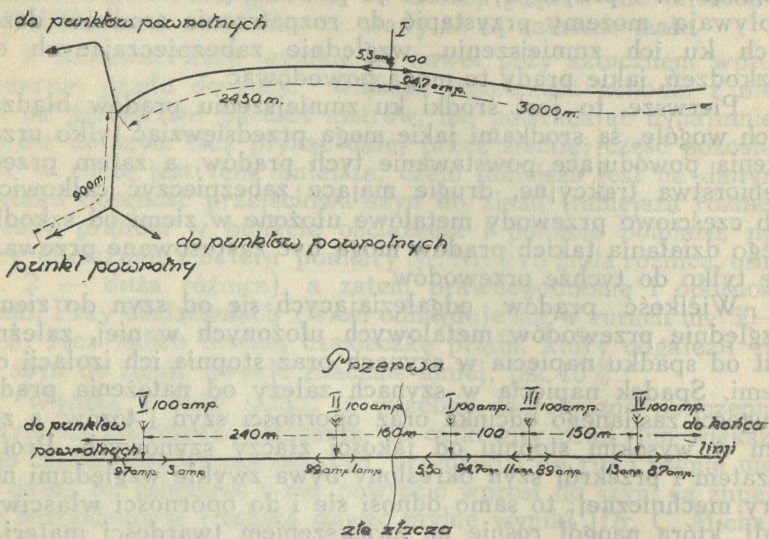
Wielkość prądów odgałęziających się od szyn do ziemi, względnie przewodów metalowych ułożonych w niej, zależna jest od spadku napięcia w szynach oraz stopnia ich izolacji od ziemi. Spadek napięcia w szynach zależy od natężenia prądu, długości zasilanego odcinka oraz oporności szyn i torów, a zatem w wysokim stopniu od jakości złączy szynowych. Profil, a zatem i przekrój szyn określony bywa zwykle względami natury mechanicznej; to samo odnosi się i do oporności właściwej stali, która naogół rośnie ze zwiększeniem twardości materiału. Natężenie prądu, względnie jego gęstości, oraz długości zasilanych odcinków możemy regulować przez odpowiednie rozmieszczenie punktów przyłączenia kabli powrotnych do szyn.

Rozpatrywanie różnego rodzaju łączników elektrycznych i porównywanie ich wartości wychodziłoby zupełnie poza ramy niniejszej pracy, poprzestaną więc tylko na zwróceniu uwagi na pierwszorzędną wprost wagę nie tylko w budowaniu dobrych łączników, ale przede wszystkim należytego ich utrzymania. Mylne jest zupełnie mniemanie, że wystarczy aby średnia oporność znaczniejszej ilości złączy była dobra, przeciwnie, nieraz złe łączniki na jednym tylko styku mogą powodować zupełną zmianę rozpiętych prądów. Nie wystarczy więc np. zmierzenie oporności dłuższego odcinka toru i obliczenie, na podstawie porównania otrzymanej wielkości z opornością jakoby miał dany odcinek gdyby się składał z szyn jednolitych, zwiększenia oporności spowodowanego złączami, lecz należy koniecznie kontrolować oporności poszczególnych złączy.

W czasie mych pomiarów udało mi się skonstatować następujący charakterystyczny wypadek:

Przy sztucznym obciążeniu 100 A z sieci w odległości około 3 000 m od końca jednotorowej linii okazało się, iż w stronę odległego o około 3350 m punktu powrotnego płynie w szynach tylko 5,3 A, podczas kiedy ku końcowi linii płynie 94,7

A, które oczywiście muszą na długości 3000 m całkowicie odgałęzić się do ziemi i wrócić przez nią do punktów powrotnych, znajdujących się wszystkie w kierunku rozgałęzienia, jak na rys. 10.



Rys. 10 i 11.

Dla bliższego zbadania tego ciekawego zjawiska, przesuwałem następnie obciążenie w obu kierunkach od tego punktu, a zatem ku punktowi powrotnemu i ku końcowi linii kolejno, jak na rys. 11 do punktów II, III, IV i V, przyczem skonstatowałem w szynach natężenia prądów oznaczone na powyższym rysunku. Oczywiście jest, że zupełna zmiana kierunku prądu na prawo od linii krzywej między punktami I i II wywołana jest przerwą przewodnictwa szyn pomiędzy temi dwoma o 160 m odległemi punktami, spowodowaną kilku złemi złączkami (przerwanie łączników elektrycznych na paru złączach w obu nitkach szyn). Widzimy więc, że parę złych złączy powodowało tu powstanie bardzo silnych prądów odgałęzionych = prawie całkowitemu obciążeniu na prawo od tych złych złączy. Zwiększenie się prądu płynącego ku przerwie z jednej i drugiej strony w miarę oddalania punktu obciążenia od przerwy, tłumaczy się uchodzeniem tego prądu do ziemi na coraz dłuższym odcinku. Zaznaczyć należy wyraźnie, że przerwy mechanicznej w torze (jak np. brak łupków, rozluźnienie śrub złączowych, pęknięcie szyn i t. p.), nie było, a pomimo to oporność danych złączy była tak wielka, że jej przy pomocy ampero- i woltomierza zmierzyć

nie mogłem, gdyż przez te złącza prąd wogóle nie płynął. O wielkości tej odporności dać może jednak pojęcie następujące rozumowanie:

Oporność przejściowa szyn do ziemi wynosiła na danym odcinku około 0,2 oma na kilometr, a zatem około 0,067 oma dla odcinka 3000 m: jeżeli więc przez złącza płynie około 2% prądu, to oporność ich musi być około 3,3 omów.

Podobnych przykładów dałoby się przytoczyć więcej, myślę jednak, że ten jeden wystarczy dla udowodnienia ważności należytego utrzymania złączy. Zaznaczę więc tylko, że zdarzyło mi się często znajdować złącza, wykazujące oporność około 9 — 14 m omów, co odpowiada 250 do 500 m szyny, a nawet kilku omów. Raz skonstatowałem nawet po przejściu 2 wagonów, powstanie na takim złączu łuku voltaicznego, który trwał 1—1,5 minut, poczem złącze to prądu już wogóle nie przepuszczało (prawdopodobnie połączenie przez pył i brud, który się wypalił).

Co do oporności przejściowej szyn do ziemi, względnie stopnia odizolowania torów od ziemi, to zdaje się być pewne, że największą oporność wykazują tory, ułożone na drewnianych podkładach. W Warszawie stosowane jest w śródmieściu ułożenie torów na podłożu betonowym z podlewką z asfalt.-betonu o składzie 25% czystego asfaltu, 10% wapna i 65% piasku i drobnego żwiru. Takie ułożenie zdaje się dawać bardzo wysokie oporności przejściowe, których jednak zmierzyć nie mogłem, wobec wielkiego rozgałęzienia sieci i niemożności skonstatowania na stosunkowo krótkich i nie rozgałęzionych odcinkach dostatecznej dla pomiaru ucieczki prądu do ziemi.

Istnieje wreszcie jeszcze jeden sposób uniknięcia działań elektrolitycznych, który należy zaliczyć do środków, jakie mogłyby stosować przedsiębiorstwa trakcyjne, a mianowicie zmiana kierunku prądu. Wiadome jest, że prąd zmienny nie wywołuje wogóle działań elektrolitycznych, a bardzo obszerne badania i próby amerykańskiego Bureau of Standards wykazały, że działania elektrolityczne znikają prawie całkowicie już nawet przy bardzo rzadkich zmianach, np. jednej na 5 minut. Oczywiście, iż takie zmiany nie dadzą się praktycznie wykonać w sieciach dwuprzewodowych, fakt ten jednak przemawia bardzo za stosowaniem systemów trzyprzewodowych, gdyż wtedy właśnie, niezależnie zupełnie od zmniejszenia prądów szynowych, kierunek ich zmienia się ustawicznie w zależności od chwilowego rozłożenia obciążeń w dzielnicach dodatnich i ujemnych sieci.

Ale nawet znacznie radsze zmiany biegunowości, np. raz na 24 godziny, aczkolwiek, stosownie do doświadczeń Bureau of Standards, nie zapobiegają całkowicie działaniom elektro-

litycznym, to jednak znacznie je zmniejszają; przy zmianach np. raz na dobę — do około połowy (Technologic Paper Nr. 52).

Takie zmiany, względnie przełączenia raz na dobę, dałyby się może praktycznie z powodzeniem zastosować przy mniejszych przedsiębiorstwach o niezbyt skomplikowanej sieci zasilanej z jednej podstacji lub elektrowni.

Znacznie liczniejszemi są środki, jakie były próbowane lub proponowane dla zmniejszenia gęstości prądu w przewodach metalowych ułożonych w ziemi, względnie dla unieszkodliwienia ich działań. Wszystkie te środki dadzą się podzielić na cztery kategorie, a mianowicie: 1) Izolowanie przewodów metalicznych tak, aby prądy ziemne do nich przenikać nie mogły, 2) zwiększenie oporności przewodów metalowych, np. przez włączenie w nie złączy izolujących, 3) metaliczne łączenie szyn z przewodami metalowemi tak, aby prąd z nich nie uchodził do ziemi, by zatem nie mógł działać elektrolitycznie i 4) chemiczne przeciwdziałanie elektrolizie, względnie jej unieszkodliwienie.

Systematycznie przez szereg lat w tym kierunku prowadzone teoretyczne i praktyczne próby i badania amerykańskiego Bureau of Standards dały tak obfity i wyczerpujący materiał, iż wątpię bardzo, aby można było w tym kierunku wiele więcej zrobić. Wyniki tych badań, szczegółowo opisane w różnych publikacjach Bureau of Standards, zebrane są i zreasumowane oraz krytycznie omówione w Technologic Paper Nr. 52 „Electrolysis and its mitigation. E. B. Rosa and Burton McCollum”. Próbowano sposobem laboratoryjnym 32 rodzajów farb i pokostów, przyczem żadna farba lub pokost nie wytrzymały dłużej, jak 10 000 godzin, poczem następowało przebicie; nieco lepsze wyniki dały próby 33 rodzajów owinięć, mianowicie do 14 000 godzin. Próby wykonane na kawałkach rur zakopanych w ziemi w zupełności potwierdziły te wyniki laboratoryjne. Mała ta trwałość daje się tłumaczyć tem, że żadna ze znanych farb, żaden pokost i żadne owinięcie nie jest absolutnie i trwale nieprzepuszczalne dla wody, że zatem czasem fabry te, pokosty i owinięcia nabierają wilgoci i tracą swe własności izolacyjne. Zdaniem więc Bureau of Standards nie można w praktyce oczekiwać większej trwałości tego rodzaju środków ochronnych, jak 3—4 lat, zwykle jednak przebicia i uszkodzenia następują już znacznie prędzej, a mianowicie po 3—4 miesiącach. Znaczną trwałość możnaby osiągnąć wkładając rury w odpowiednie powłoki, np. także rury wypełnione smołą, ale byłoby to tak kosztowne, że może wchodzić w grę jedynie w wyjątkowych wypadkach. Ponieważ zaś w razie uszkodzenia pokostu lub owinięcia uszkodzenia elektrolityczne, skoncentrowane na małych powierzchniach, stają się znacznie większe, przeto Bureau of Stan-

dards uważa wszelkie malowanie, pokostowanie lub owijanie rur za bezwzględnie szkodliwe tam, gdzie rury te są względem szyn dodatnie (str. 26 Tech. Paper Nr. 52). Natomiast Bureau of Standards uważa, iż tego rodzaju środki, zastosowane tam, gdzie rury są względem szyn ujemne, mogłyby czasami być skuteczne.

Aczkolwiek, zdaniem mojem, nie podlega wątpliwości, iż zastosowanie pokostów i owinięć w rejonach ujemnych wpłynęłoby na zmniejszenie prądów w chronionych rurach, to jednak uważałbym nawet takie zastosowanie tych ochron za dość niebezpieczne a to ze względu, iż, jak wyżej wykazano, trudno jest zgóry rozgraniczyć rejon ujemny od dodatniego, potencjał zaś zmierzony między rurą a szynami nic nie mówi, gdyż nawet tam, gdzie on jest ujemny, może doskonale prąd uchodzić z rury do ziemi lub innych przewodów metalowych. (Próby Bureau of Standards podane na str. 44 niniejszego referatu).

Daleko lepsze wyniki dają, zdaniem Bureau of Standards, umiejętnie zastosowane złącza izolowane, których Bureau of Standards badało cały szereg. Często bardzo, jako normalne złącza stosowane złącza „leadit” nie mogą być uważane, jako złącza izolowane, gdyż, aczkolwiek posiadają początkowo znaczną oporność, to maleje ona bardzo szybko do zaledwie tysięcznych części pierwotnej już po paru miesiącach.

Bardzo dobre są złącza cementowe, należy tylko zwracać uwagę na to, aby metalowe części łączonych rur nie stykały się ze sobą, co często ma miejsce przy normalnych, specjalnie nie izolowanych złączach. Doskonale działa tu pierścień gumowy.

Aby uniknąć niebezpieczeństwa uchodzenia prądów z rury z jednej strony złączy do ziemi i powrotu do rury z drugiej jego strony, różnica napięć nie powinna być na złączu zbyt duża, długość złącza zaś musi być tem większa, czem większa jest różnica napięć. Wszelkie złącza dzwonowe mają zawsze krótką drogę prądu; dłuższą można osiągnąć przez złącza kołnierzowe, np. drewniane lub też obwinięcie złącza kołnierzowego kilkunastu warstwami papieru smołowego. Naogół lepiej jest stosować większą ilość krótkich złączy, jak mniejszą — dłuższych.

W normalnych warunkach jest różnica napięć 0,1 do 0,4 woltów (w zależności od mniejszej lub większej wilgotności ziemi) dopuszczalna i nieszkodliwa dla rur żeliwnych, podczas kiedy różnica ta nie powinaby przekraczać $\frac{1}{3}$ powyższych wartości dla rur żelaznych.

Bureau of Standards zaznacza jednak wyraźnie, iż izolowane złącza, aczkolwiek stosowanie ich jest wskazane, uważać jednak należy zawsze i jedynie tylko jako środek pomocniczy, nie zaś główny.

Co do drenowania rur i przewodów metalowych, ułożonych

w ziemi, t. j. łączenia ich w ten lub inny sposób z szynami, to Bureau of Standards uważa je za zawsze niebezpieczne i mało skuteczne głównie dlatego, że połączenia takie bezwzględnie zwiększają natężenie prądów w przewodach drenowanych, a zatem i niebezpieczeństwo uchodzenia tych prądów do innych przewodów, względnie na złączach o większej oporności, radzi więc stosować drenowanie jedynie w wyjątkowych wypadkach i z wielką ostrożnością.

Ze swej strony poszedłbym dalej i myślał, że drenowanie powinno być bezwzględnie zabronione. Niebezpieczeństwo jego staje się jasne, jeżeli sobie uprzytomnić, iż łącząc tory z przewodami metalowymi stwarza się poniekąd jakby drugie tory, ale o większej oporności własnej i mniejszej oporności względem ziemi, że więc te drugie tory muszą promieniować znacznie więcej prądu do ziemi, jak tory właściwe.

Wyjątek czyni Bureau of Standards dla kabli telefonicznych, które radzi właśnie drenować, ale tylko przy pomocy systemu izolowanych przewodów tak obliczonych, aby odciągnąć z nich mało prądu: Bureau of Standards uważa to za dopuszczalne ze względu na sposób ułożenia tych kabli, gwarantujący dobrą izolację od ziemi. Nie posiadając co do tego własnych doświadczeń, uważałbym jednak, że jeżeli izolacja ta jest dobra, to drenowanie staje się zbyteczne dlatego, że prądy muszą być bardzo słabe, jeżeli zaś izolacja jest taka, że prądy są znaczne, to drenowanie staje się również niebezpieczne, jak dla wszelkich innych przewodów metalowych, ułożonych w ziemi.

Próby Bureau of Standards co do ochrony chemicznej dowodzą, iż jest ona praktycznie niemożliwa. Wprawdzie małe już nawet domieszki różnych substancyj, przedewszystkiem zaś calcium hydroxit lub gaszonego wapna, czynią żelazo obojętnem i chronią je całkowicie od elektrolizy, ale wapno, skoro zmiesza się z niektórymi solami, jak chloridy, sulfity, karbonaty i t. d., traci swe własności ochronne. Sole te, zawsze obecne w ziemi, koncentrują się przy elektrodzie, skutkiem czego ochrona staje się bardzo krótkotrwała, a zatem nieskuteczna. Bezskuteczna jest również nawet gruba powłoka cementu, gdyż oporność cementu wynosi 2000—8000 omów na cm^3 t. j. tyle co i ziemi.

Zważywszy wszystko wyżej powiedziane, można stwierdzić, że:

1) wymierzone różnice potencjałów pomiędzy szynami a rurami nie pozwalają wnioskować o natężeniu prądów błądzących, a jeżeli idzie o kierunek prądów wpływających lub wypływających z, względnie do rur, to nawet, o tym kierunku.

2) Spadek napięcia w szynach, teoretycznie obliczony w założeniu, że szyny są od ziemi zupełnie izolowane, nie pozwala

obliczyć teoretycznie różnic potencjałów pomiędzy szynami a ziemią, jakie miałyby miejsce, gdyby nie było upływu prądów, a to skutkiem wielkiej zmienności oporności przejściowych.

3) Wymierzona nawet wielkość prądów odgałęzionych nie daje miary prądów płynących w rurach, gdyż te stanowią bliżej nieokreśloną, zwykle drobną tylko część pierwszych.

4) Podział sieci rur na podstawie obliczenia lub wymierzenia ich potencjałów względem szyn na strefę ujemną, w której prądy wchodzi do rur i dodatnią, w której prądy te z nich uchodzą, nie da się ściślej przeprowadzić, gdyż możliwe jest uchodzenie prądu z rur w strefie ujemnej, np. do ziemi lub innych przewodów rurowych i odwrotnie, wchodzenie prądów w strefie dodatniej, położenie więc rury w strefie ujemnej bynajmniej nie zabezpiecza jej od ewent. uszkodzeń elektrolitycznych.

5) Odległość między zakopanymi w ziemi przewodami metalicznymi i szynami nie wpływa wprawdzie prawie wcale na wielkość prądów odgałęzionych, jest natomiast bardzo ważna ze względu na gęstość prądów w samych przewodach, gdyż czem przewody te leżą dalej od szyn, tem mniejszej gęstości prądów należy oczekiwać w otaczającej je ziemi, a zatem w nich samych. Zależność ta zdaje się być pewna, nie da się jednak ująć w wielkości liczbowe.

6) Wszelkie drenowanie przewodów metalowych ułożonych w ziemi, t. j. elektryczne łączenie ich z torami kolei elektrycznych oraz wszelkie uziemnianie szyn jest zawsze niebezpieczne i przeważnie szkodliwe.

7) Żaden z dotychczas znanych pokostów lub sposobów owinięcia przewodów metalowych nie jest dostatecznie trwały, by zapewnić skuteczną ochronę od elektrolizy, wszelkie więc malowania, pokostowania i owijania stają się po pewnym czasie nietylko bezskuteczne, ale wprost szkodliwe, zwiększając niebezpieczeństwo elektrolizy. Jedyne w wyjątkowych wypadkach i na krótkich odcinkach dają się skutecznie zastosować odpowiednie powłoki lub owinięcia, które są jednak bardzo kosztowne, a przeto na większą skalę zastosować się nie dają.

8) Nie jest dotychczas znany trwały sposób ochrony chemicznej od działań elektrolitycznych.

9) Izolowane złącza dobrej konstrukcji, wbudowane w odpowiednich miejscach i w dostatecznej ilości w przewody metalowe, przyczyniają się do zmniejszenia gęstości prądów w nich, a przez to samo zmniejszają niebezpieczeństwo elektrolizy, mogą więc być stosowane jako środek pomocniczy.

Istniejące obecnie przepisy o prądach błądzących, względ-

nie o środkach, zabezpieczających od ich działań elektrolitycznych, dadzą się przedewszystkiem podzielić na dwie grupy, w zależności od zasad, na jakich są oparte. Zasadami temi są: 1) ograniczenie różnic napięć pomiędzy dwoma dowolnymi punktami szyn i 2) ograniczenie różnic potencjałów między szynami a ziemią. Do grupy pierwszej należą przepisy niemieckie i francuskie, do drugiej szwajcarskie i proponowane przez Międzynarodowy Komitet Doradczy dla telekomunikacji.

Jedynie najdawniejsze przepisy angielskie mówią o różnicach napięć wymierzonych, wszystkie zaś inne dotyczą różnic napięć, względnie potencjałów, obliczonych teoretycznie dla średniego napięcia i w założeniu szyn od ziemi izolowanych.

Z porównania między sobą tych przepisów widzimy, że przepisy jednej grupy różnią się między sobą tylko w różnych szczegółach oraz wartości liczbowej poszczególnych spólczynników.

Rozpatrując te przepisy na podstawie wyżej postawionych wniosków musimy stwierdzić, że żadne z nich nie zabezpieczają całkowicie przewodów metalowych ułożonych w ziemi od uszkodzeń natury elektrolitycznej, gdyż pomimo ścisłego trzymania się przepisów, uszkodzenia takie mogą zawsze powstawać. Uwzględniają to wyraźnie przepisy niemieckie, względnie objaśnienia do nich, gdyż zaznaczają, że wrażliwość na uszkodzenia jest wyznaczona gęstością prądu uchodzącego z przewodów do ziemi, która nie może przekraczać 0,75 mA na dc^2 .

Skoro jednak tak jest, to zachodzi pytanie, czy wogóle przepisy w ścisłym tego słowa znaczeniu dadzą się już obecnie, bez uzupełnienia naszych znajomości i doświadczeń, opracować? Jako takie należałoby uważać takie przepisy, któreby z jednej strony zabezpieczały ułożone w ziemi przewody metalowe od zbyt dużych uszkodzeń elektrolitycznych, z drugiej zaś przedsiębiorstwa trakcyjne od nieusprawiedliwionych i niesłusnych pretensyj o takie uszkodzenia ze strony posiadaczy tych przewodów, na podstawie których możnaby więc było wymagać, wrażliwości, że urządzenia danego przedsiębiorstwa nie odpowiadają ich wymaganiom, przerobienia tych urządzeń.

Otóż, zdaniem mojem, zestawienie takich przepisów jest jeszcze obecnie niemożliwe i wątpliwe, by kiedykolwiek możliwe się stało, a to dlatego, że nie posiadamy żadnego kryterjum, żadnej granicy, dla poszczególnych w grę tu wchodzących czynników, poniżej której moglibyśmy z pewnością stwierdzić, iż działania elektrolityczne nie mogą przybrać szkodliwych rozmiarów, za wyjątkiem jedynie może gęstości prądów uchodzących z chronionych przewodów, której to jednak gęstości zgóry przewidzieć ani obliczyć nie możemy, a której wymierzenie, je-

żeli nawet możliwe, jest tak trudne, że gęstość ta dla badania i kontroli urządzeń zastosowana praktycznie być nie może.

Gęstość ta więc, o ile będziemy umieli ją w sposób pewny wymierzyć, może jedynie służyć dla udowodnienia odpowiedzialności lub nie za powstałe uszkodzenia, ale nie może być podstawą przepisów.

Pierwszą przyczyną prądów błędzących są spadki napięcia w szynach, które to spadki możemy teoretycznie dowolnie ograniczać. Oczywiście jest, że tem samym możemy również dowolnie zmniejszać niebezpieczeństwo prądów błędzących, ale praktycznie rzecz biorąc, pamiętać należy, że takie zmniejszenie spadków napięcia jest bardzo kosztowne, że więc w tym kierunku zbyt daleko iść nie można, i że zatem ograniczenie ich do takich rozmiarów, aby szkodliwe działania elektrolityczne nie mogły powstać nawet w najniekorzystniejszych warunkach, byłoby nieracjonalne i wprost zagrażające istnieniu przedsiębiorstw trakcyjnych, które często tak nadmiernych kosztów znieśćby nie mogły.

Zupełnie słusznie zwracają uwagę F. B. Rose and McCollum na to, iż ograniczenie spadku napięcia w szynach do takiej granicy, któraby zabezpieczała dostatecznie od prądów błędzących jedno urządzenie, mogłoby być niewystarczające dla innego, mającego np. mniejsze oporności przejściowe do ziemi, lub grunt o większej przewodności, lub naodwrot być zbyt wielkie dla jeszcze innego, znajdującego się w lepszych warunkach. Panowie ci proponują więc oparcie przepisów na spadku napięcia w ziemi, t. j. na różnicy potencjałów między dwoma punktami ziemi, odległymi o jednostkę długości. Myśl ta wydaje się być ciekawa, musiałaby jednak być jeszcze dokładnie zbadana przez szereg prób i doświadczeń.

Aczkolwiek, jak to już zaznaczyłem, nie uważałbym za możliwe opracowanie już dziś ogólnie obowiązujących przepisów, to tem niemniej wątpię, czy obchodzenie się wzorem Stanów Zjednoczonych wogóle bez wszelkich przepisów, czy też norm lub dyrektyw byłoby wskazane i celowe. Myślę więc, że opracowanie i ogłoszenie ogólnie ujętych, ale starannie opracowanych i przemysłanych wskazówek jest wysoce wskazane. Rozumiałbym te wskazówki nie jako bezwzględnie obowiązujące, lecz dostosowane do przeciętnych warunków, a zatem dopuszczające odstępstwa w razie odmiennych warunków miejscowych, np. specjalnie dobrze izolującego podtorza, wielkiej suchości gruntu i t. p.

Co do zasad, na jakich te wskazówki winnyby być oparte, to uważam, że do czasu bliższego zbadania proponowanej przez pp. F. B. Rose i McCollum'a zasady spadku napięcia w ziemi,

jedynie racjonalne jest ograniczenie spadku napięcia w szynach, obliczonego na podstawie średniego obciążenia i w założeniu torów zupełnie od ziemi izolowanych, na którym oparte są przepisy niemieckie i francuskie, różniące się między sobą jedynie w szczegółach i wielkości poszczególnych cyfr.

NZB/N 1447



1990

NEW ZEALAND
NATIONAL LIBRARY

Publikacja ze zbiorów Biblioteki Głównej AGH w Krakowie



Polskie Normy wydane w latach 1924-1945. Digitalizacja i rozpowszechnienie
projekt dofinansowany ze środków budżetu państwa, przyznanych przez Ministra Nauki w ramach
Programu Społeczna Odpowiedzialność Nauki II - moduł: Wsparcie dla bibliotek naukowych

01.12.2024-30.11.2025
BIBL/SP/0002/2024/02



Ministerstwo Nauki
i Szkolnictwa Wyższego
