

**Wymagania techniczne dla zapewnienia ochrony przed
porażeniem prądem elektrycznym, przed przepięciami
i od wyładowań atmosferycznych
w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej DC 3 kV
let-120**

Tekst jednolity uwzględniający:

Załącznik do uchwały Nr 438/2018 Zarządu PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. z dnia 12 czerwca 2018 r.

Właściciel: PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.

Wydawca: PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Centrala Biuro Energetyki ul. Targowa 74, 03-734 Warszawa tel. 022 47 320 72 www.plk-sa.pl, e-mail: ien@plk-sa.pl

Wszelkie prawa zastrzeżone. Modyfikacja, wprowadzanie do obrotu, publikacja, kopiowanie i dystrybucja w celach komercyjnych, całości lub części instrukcji, bez uprzedniej zgody PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. – są zabronione.

Spis treści

1.	Wprowadzenie	7
1.1.	Wstęp	7
1.2.	Przedmiot opracowania	8
1.3.	Zakres zastosowania	8
1.4.	Nazwy, definicje, skróty, oznaczenia i symbole.....	9
1.4.1.	Definicje terminów technicznych.....	9
1.4.1.1.	System trakcji elektrycznej.....	9
1.4.1.2.	Sieć jezdna	10
1.4.1.3.	Obwód powrotny	11
1.4.1.4.	Urządzenia elektryczne w ogólności	13
1.4.1.5.	Napięcia robocze	14
1.4.1.6.	Prądy robocze.....	15
1.4.1.7.	Prądy zwarciove.....	15
1.4.1.8.	Ochrona od porażeń prądem elektrycznym.....	17
1.4.1.9.	Uziemianie, połączenia wyrównawcze i uszynianie.....	21
1.4.1.10.	Koordinacja izolacji	23
1.4.1.11.	Ochrona odgromowa.....	25
1.4.1.12.	Ochrona przed przepięciami	26
1.4.2.	Skróty nazw technicznych	30
1.4.3.	Oznaczenia wielkości fizycznych.....	33
1.4.3.1.	Podstawowe parametry urządzeń elektrycznych.....	33
1.4.3.2.	Izolacja urządzeń	33
1.4.3.3.	Obciążalność cieplna urządzeń.....	34
1.4.3.4.	Ochrona od porażeń prądem elektrycznym.....	34
1.4.3.5.	Ochrona odgromowa	35
1.4.3.6.	Ochrona przed przepięciami	35
1.4.3.7.	Ograniczniki napięcia dotykowego VLD	37
1.4.3.8.	Wyłączniki szybkie	37
1.4.4.	Symbole graficzne stosowane w schematach i planach	38
1.4.4.1.	Przewody i ich połączenia.....	38
1.4.4.2.	Ochrona od porażeń prądem elektrycznym.....	39
1.4.4.3.	Aparaty łączeniowe i urządzenia stacyjne.....	40
1.4.4.4.	Urządzenia trakcyjne	42
1.5.	Spis tabel i rysunków.....	44

1.5.1. Spis tabel	44
1.5.2. Spis rysunków	45
2. Charakterystyka i ogólne wymagania stawiane ochronie przed porażeniem prądem elektrycznym	48
2.1. Zagrożenie porażeniem prądem elektrycznym – przyczyny, przebieg i skutki.....	48
2.1.1. Skutki porażenia prądem – pierwotne kryteria bezpieczeństwa	48
2.1.2. Przyczyny i skutki wypadków przy pracy związanych z porażeniem prądem elektrycznym	55
2.2. Strefa oddziaływania sieci trakcyjnej.....	57
2.2.1. Strefa górnej sieci jezdnej i strefa odbieraka prądu	57
2.2.2. Strefa oddziaływania sieci powrotnej.....	60
2.2.3. Strefa prądów błędnych	61
2.3. Możliwości wykonania uziemień dla potrzeb ochrony	62
2.4. Możliwości stosowania mieszanego systemu uszynień – zalecenia i obostrzenia.....	63
2.5. Wymagania ogólne ochrony przeciwporażeniowej.....	65
2.6. Wymagania ochrony przed dotykiem bezpośrednim w sieci trakcyjnej DC 3 kV	70
2.6.1. Warunki stosowania przeszkód ochronnych.....	71
2.6.2. Bezpieczne konstrukcje wsporcze górnej sieci jezdnej.....	74
2.7. Wymagania ochrony przy dotyku pośrednim w sieci trakcyjnej DC 3 kV	76
2.8. Kolejowe urządzenia przytorowe	92
2.8.1. Zasilanie kolejowych urządzeń przytorowych w układzie TN	92
2.8.2. Zasilanie kolejowych urządzeń przytorowych w układzie TT	97
2.8.3. Zasilanie kolejowych urządzeń przytorowych w układzie IT.....	102
3. Szczegółowe wymagania stawiane ochronie przed porażeniem prądem elektrycznym.....	104
3.1. Wymagania podstawowe.....	104
3.2. Wymagania podstawowe ochrony przed dotykiem bezpośrednim w sieci trakcyjnej DC 3 kV105	
3.3. Wymagania podstawowe ochrony przy dotyku pośrednim w sieci trakcyjnej DC 3 kV	108

3.4. Wymagania dodatkowe ochrony przy dotyku pośrednim w sieci trakcyjnej DC 3 kV na szlakach kolejowych	113
3.5. Wymagania dodatkowe ochrony przy dotyku pośrednim w sieci trakcyjnej DC 3 kV na peronach	114
3.6. Wymagania dodatkowe ochrony przy dotyku pośrednim w sieci trakcyjnej DC 3 kV dla budowli inżynierskich	115
3.7. Wymagania dodatkowe ochrony przy dotyku pośrednim w sieci trakcyjnej DC 3 kV w budynkach z wprowadzoną siecią trakcyjną	116
3.8. Wymagania dodatkowe ochrony przy dotyku pośrednim w sieci trakcyjnej DC 3 kV w odniesieniu do kabli i rurociągów	117
3.9. Wymagania ochrony przeciwporażeniowej w kolejowych urządzeniach przytorowych niskiego napięcia	117
3.9.1. Wymagania podstawowe	117
3.9.2. Zasilanie urządzeń z instalacji o układzie TN	118
3.9.3. Zasilanie urządzeń z instalacji o układzie TT	119
3.9.4. Zasilanie urządzeń z instalacji o układzie IT	120
3.9.5. Instalacje oświetlenia zewnętrznego w pobliżu sieci jezdnej	121
3.9.6. Urządzenia elektrycznego ogrzewania rozjazdów	122
3.9.7. Urządzenia sterowania ruchem kolejowym	123
3.10. Wymagania techniczne dla zalecanych elementów systemu ochrony przeciwporażeniowej	123
3.10.1. Ograniczniki napięcia dotykowego VLD	123
4. Charakterystyka i ogólne wymagania stawiane ochronie przed wyładowaniami atmosferycznymi i przepięciami w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej DC 3 kV	126
4.1. Znaczenie wyładowań atmosferycznych i przepięć w eksploatacji sieci trakcyjnej DC 3 kV	126
4.2. Skutki braku skutecznej ochrony odgromowej i ochrony przed przepięciami sieci trakcyjnej DC 3 kV	127
4.3. Klasy ochrony odgromowej w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej DC 3 kV	128
4.4. Źródła zagrożeń piorunowych infrastruktury kolejowej	128
4.5. Mapa zagrożeń burzowych infrastruktury kolejowej w Polsce	131

4.6.	Ochrona przed bezpośrednim uderzeniem pioruna	134
4.6.1.	Zewnętrzna ochrona odgromowa sieci trakcyjnej	134
4.6.2.	Znormalizowane parametry prądów udarowych	138
4.7.	Ochrona przed przepięciami sieci jezdnej DC 3 kV.....	140
4.7.1.	Rzeczywiste warunki pracy systemów zasilania trakcyjnego DC 3 kV	140
4.7.2.	Problemy związane ze stosowaniem ochrony przed przepięciami w sieci trakcyjnej DC 3 kV.....	143
4.8.	Problemy związane z ograniczaniem skutków przepięć zagrażających urządzeniom przytorowym	146
4.9.	Ograniczanie przepięć w kolejowych urządzeniach technicznych zasilanych napięciem 230/400 V 50 Hz.....	148
4.9.1.	Najwyższe napięcie trwałej pracy ograniczników w sieci AC 230 V.....	148
4.9.2.	Długości połączeń elektrycznych ograniczników przepięć	148
5.	Szczegółowe wymagania stawiane ochronie odgromowej i przed przepięciami.....	153
5.1.	Klasy ochrony odgromowej w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej DC 3 kV	153
5.2.	Ochrona przed bezpośrednim uderzeniem pioruna	153
5.3.	Ochrona przed przepięciami sieci trakcyjnej DC 3 kV i urządzeń ją zasilających	160
5.3.1.	Ograniczanie przepięć w sieci jezdnej DC 3 kV.....	160
5.4.	Ochrona przed przepięciami kolejowych urządzeń technicznych	164
5.4.1.	Wymagania podstawowe	164
5.4.2.	Złącza ochrony przed przepięciami	165
5.4.3.	Wymagania stawiane ogranicznikom przepięć obwodów zasilanych niskim napięciem 230/400 V 50 Hz	168
5.4.3.1.	Ograniczniki typu 1	168
5.4.3.2.	Ograniczniki typu 2	169
5.4.3.3.	Ograniczniki typu 3	169
5.4.3.4.	Ograniczniki typu 1+2 oraz typu 1+2+3.....	170
5.4.3.5.	Ograniczniki przepięć do ochrony obwodów sygnałowych transmisji danych, kontroli i sterowania	171
5.5.	Uziemienia, przewody uziemiające, przewody ochronne i uszyniające oraz połączeń wyrównawczych.....	172
5.5.1.	Uziemienia i przewody uziemiające.....	172

5.5.2. Rezystancja uziemienia.....	178
5.5.3. Połączenia ochronne, uszyniające i wyrównawcze.....	179
5.5.3.1. Połączenia uszyniające.....	179
5.5.3.2. Połączenia wyrównawcze	179
5.5.3.3. Przewody ochronne PE.....	181
6. Zasady układania kabli teletechnicznych i elektroenergetycznych w strefie oddziaływania górnej sieci jezdnej i obwodu powrotnego.....	181
6.1. Wymagania ogólne	181
6.2. Układanie kabli wzdłuż linii kolejowej.....	182
6.3. Skrzyżowania i zbliżenia kabli.....	183
6.4. Skrzyżowania kabli z torami.....	185

1. Wprowadzenie

1.1. Wstęp

Wyładowania atmosferyczne, prądy zwarciove oraz prądy błędzące pochodzące z sieci trakcyjnej – to nieodłączne i najbardziej istotne elementy środowiska elektromagnetycznego w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej DC 3 kV. Doświadczenia ostatnich dwóch dekad pokazały, iż wprowadzanie nowoczesnych rozwiązań i systemów w transporcie kolejowym napotyka poważne problemy z zapewnieniem ich kompatybilności elektromagnetycznej w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej DC 3 kV w związku z bardzo niską odpornością na zaburzenia elektromagnetyczne współczesnych systemów elektronicznych bazujących na technice mikroprocesorowej. W tej sytuacji, przy trwającym już wdrażaniu przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. nowoczesnych systemów i rozwiązań technicznych bazujących na technice półprzewodnikowej, znaczenie wpływu środowiska elektromagnetycznego na bezpieczeństwo i ciągłość ruchu kolejowego staje się obecnie problemem niezwykle aktualnym.

Nakłady poniesione na wdrożenie nowych systemów mają m.in. na celu podniesienie poziomu bezpieczeństwa ruchu pociągów, zmniejszenie ryzyka wypadków, zwiększenie zdolności przepustowej linii kolejowej, a także podniesienie jakości przewozów poprzez uruchomienie nowych usług. Oczekiwanym efektów wdrożenia Europejskiego Systemu Zarządzania Ruchem Kolejowym na polskich liniach kolejowych nie uda się uzyskać bez zastosowania współczesnych środków ochrony przed bezpośrednimi wyładowaniami atmosferycznymi i przepięciami w sieci trakcyjnej.

Nie mniej istotna i wciąż aktualna, tak jak potrzeba poprawienia odporności urządzeń kolejowych na oddziaływanie prądów piorunowych i przepięć, jest również konieczność poprawy bezpieczeństwa istot żywych w odniesieniu do zagrożenia porażeniem prądem elektrycznym na zelektryfikowanym szlaku kolejowym. Statystyki wypadkowe są w tym zakresie bardzo wymowne.

W związku z tym, z uwagi na osiągnięcia techniczne i zmiany, jakie zaszły w tym obszarze w dokumentach normalizacyjnych na przestrzeni ostatnich dwóch dekad, nowelizacji wymaga również ochrona przed porażeniem prądem elektrycznym, wyładowaniami atmosferycznymi i przepięciami w odniesieniu do sieci trakcyjnej DC 3 kV i infrastruktury kolejowej zlokalizowanej w jej strefie oddziaływania.

1.2. Przedmiot opracowania

Przedmiotem opracowania są wymagania prawne, uwarunkowania i ustalenia techniczne jakim powinna odpowiadać ochrona przed porażeniem prądem elektrycznym i wyładowaniami atmosferycznymi oraz przepięciami w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej DC 3 kV na liniach kolejowych zarządzanych przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Zastosowanie niniejszych wymagań ma na celu ograniczenie ryzyka zagrożenia porażeniem prądem elektrycznym oraz uszkodzeń urządzeń przytorowych i aparatów elektrycznych, jakie mogą spowodować wyładowania atmosferyczne oraz przepięcia.

1.3. Zakres zastosowania

- 1.3.1. Zawarte w niniejszym opracowaniu wymagania techniczne odnoszą się do budowanych, modernizowanych lub rewitalizowanych linii kolejowych.
- 1.3.2. Niniejsze opracowanie powinno znaleźć zastosowanie przy:
 - a) konstrukcji urządzeń i aparatów elektrycznych w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej DC 3 kV,
 - b) opracowywaniu dokumentacji techniczno-ruchowej (DTR) i warunków technicznych wykonania i odbioru (WTWiO) sieci jezdnej oraz powrotnej a także urządzeń i aparatów elektrycznych w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej DC 3 kV,
 - c) opracowywaniu projektów wstępnych, programów funkcjonalno-użytkowych, projektów budowlanych i projektów wykonawczych, przy procesach związanych z budową, modernizacją lub rewitalizacją linii kolejowych,
 - d) wykonywaniu robót budowlanych i montażowych sieci jezdnej oraz powrotnej a także urządzeń i aparatów elektrycznych w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej DC 3 kV,
 - e) odbiorach technicznych oraz przy przekazaniu do eksploatacji budowanych, modernizowanych i rewitalizowanych liniach kolejowych.
- 1.3.3. Dla inwestycji, polegających na modernizacji lub rewitalizacji linii kolejowych, dla których zostały podpisane umowy na projektowanie i/lub budowę przed dniem obowiązywania niniejszego dokumentu, zastosowanie mają przepisy, na podstawie których przeprowadzono postępowanie skutkujące zawarciem wspomnianej powyżej umowy.

- 1.3.4. Dla trwających (niezakończonych) postępowań mających skutkować wyborem wykonawcy na modernizację lub rewitalizację linii kolejowych, których zakończenie przewidywane jest po dniu rozpoczęcia obowiązywania niniejszego dokumentu, zapisy w nim zawarte mają pełne zastosowanie a dokumenty postępowania należy uzupełnić o niniejsze wymagania.
- 1.3.5. Wyszczególnione w opracowaniu dokumenty normatywne nie stanowią zbioru zamkniętego. Nowelizacja przywoływanych dokumentów normatywnych nie stanowi podstawy do zmiany/nowelizacji niniejszego opracowania.

1.4. Nazwy, definicje, skróty, oznaczenia i symbole

W niniejszym opracowaniu stosuje się niżej podane nazwy, definicje, skróty, oznaczenia i symbole.

1.4.1. Definicje terminów technicznych

- 1) W opracowaniu, obok terminów podanych w języku polskim, w nawiasach zamieszczono ich angielskie odpowiedniki występujące w Normach Europejskich.
- 2) Niektóre terminy, zwłaszcza wieloprzymiotnikowe, są podane w dwóch postaciach:
 - a) podstawowej, w jakiej występują w słownikach i w rozdziałach terminologicznych norm, tzn. z członem głównym na początku i przydawką klasyfikującą tuż za nim,
 - b) użytkowej, w jakiej występują w tekście, tzn. z przydawką charakteryzującą na początku, przed członem głównym z przydawką klasyfikującą.

1.4.1.1. System trakcji elektrycznej

- 1.4.1.1.1 **System zasilania trakcji elektrycznej** [electric traction power supply system] – kolejowa sieć rozdzielcza elektryczna przeznaczona do zasilania pojazdów szynowych obejmująca podstacje trakcyjne, kabiny sekcyjne przewody zasilające (zasilacze) i kable powrotne oraz sieć trakcyjną.
- 1.4.1.1.2 **Sieć trakcyjna** [electric traction system] – zespół przewodów sieci jezdnej wraz z konstrukcjami wsporczymi oraz szyn jezdnych tworzących część obwodu powrotnego, służących do zasilania energią elektryczną pojazdów trakcyjnych o napędzie elektrycznym.
- 1.4.1.1.3 **Podstacja trakcyjna** [(traction) substation] – stacja elektroenergetyczna do zasilania sieci jezdnej, pozwalająca przetwarzać napięcie ją zasilające, a w pewnych przypadkach także częstotliwość, na napięcie i częstotliwość sieci jezdnej.

- 1.4.1.1.4 **Kabina sekcyjna** (trakcyjna) [(traction) switching station] – urządzenie, w którym następuje rozdział energii elektrycznej do różnych sekcji zasilania lub z którego różne sekcje zasilania mogą być załączane, wyłączane bądź łączone ze sobą.
- 1.4.1.1.5 **Punkt zasilający** [feeding point] – punkt, w którym przewód zasilający jest przyłączony do sieci jezdnej.
- 1.4.1.1.6 **Sekcja zasilania** [feeding section] – odcinek systemu zasilania trakcyjnego, który może być odłączony od innych odcinków zasilania lub przewodów zasilających systemu za pomocą urządzeń łączących.
- 1.4.1.1.7 **Normalne warunki eksploatacji** [normal operating conditions] – ruch kolejowy zgodny z zaplanowanym rozkładem jazdy a skład pociągu jest eksploatowany odpowiednio do parametrów technicznych stacjonarnych instalacji zasilania. Urządzenia zasilania działają zgodnie z ustalonymi zasadami.
UWAGA: Zasady te mogą się różnić zależnie od polityki zarządcy infrastruktury.
- 1.4.1.1.8 **Anormalne warunki eksploatacji** [abnormal operating conditions] – albo większe natężenie ruchu lub przestój urządzenia zasilania poza ustalonymi zasadami.
UWAGA: W takich warunkach ruch może się odbywać niezgodnie z planowym rozkładem jazdy.
- 1.4.1.2. **Sieć jezdna**
- 1.4.1.2.1 **Sieć jezdna** [contact line] – system przewodów do zasilania energią elektryczną jednostek trakcyjnych za pomocą odbieraka prądu.
- 1.4.1.2.2 **System górnej sieci jezdnej** [overhead contact line system] – system sieci jezdnej stosujący górną sieć jezdnią do zasilania pojazdów trakcyjnych.
- 1.4.1.2.3 **Sieć jezdna górna** [overhead contact line] – sieć jezdna usytuowana nad (lub obok) górnej skrajni pojazdu i zasilająca pojazdy energią elektryczną przez zamontowany na dachu odbierak prądu.
- 1.4.1.2.4 **Strefa górnej sieci jezdnej (OCLZ)** [overhead contact line zone (OCLZ)] – strefa, której granice na ogół nie są przekraczane przez zerwaną górną sieć jezdnią.

- 1.4.1.2.5 **Strefa odbieraka prądu (CCZ)** [current collector zone (CCZ)] – strefa, której granice na ogół nie są przekraczane przez zerwany odbierak prądu pozostający pod napięciem ani przez złamany odbierak bądź jego części.
- 1.4.1.2.6 **Strefa oddziaływania sieci trakcyjnej; strefa górnej sieci jezdnej i strefa pantografu** [combined overhead contact line and current collector zone] – obszar, w którym na konstrukcjach wsporczych sieci trakcyjnej oraz innych konstrukcjach przewodzących może pojawić się napięcie niebezpieczne w przypadku opadnięcia przewodu sieci jezdnej, uszkodzenia izolacji głównej sieci jezdnej bądź uszkodzenia odbieraka prądu (wymiary strefy jak na rysunku 2.2.1).
- 1.4.1.2.7 **Przewód jezdny** [contact wire] – przewód elektryczny górnej sieci jezdnej, z którym styka się odbierak prądu.
- 1.4.1.2.8 **Odbierak prądu** [current collector] – stanowiące wyposażenie pojazdu urządzenie do odbioru prądu z przewodu jezdnego lub szyny zasilającej.
- 1.4.1.2.9 **Pantograf** [pantograph] – urządzenie do odbioru prądu z jednego lub więcej przewodów jezdnych, z ustrojem przegubowym umożliwiającym pionowe przemieszczanie się ślizgacza listwowego.
- 1.4.1.2.10 **Przewód zasilający** [feeder] – linia elektroenergetyczna, kablowa lub napowietrzna, łącząca sieć jezdnią z podstacją lub stacją rozdzielczą, która jest zasilana za pośrednictwem wyłącznika.
- 1.4.1.2.11 **Przewód wzmacniający** [reinforcing feeder] – przewód napowietrzny zawieszony przy górnej sieci jezdnej i bezpośrednio z nią połączony w niedużych odstępach w celu zwiększenia jej użytecznego przekroju.
- 1.4.1.2.12 **Izolator sekcyjny** [section insulator] – punkt sekcjonowania utworzony przez izolator wmontowany wzdłuż przewodu jezdnego, ze ślizgaczami lub podobnymi urządzeniami zapewniającymi ciągłość odbioru prądu przez odbierak.
- 1.4.1.3. **Obwód powrotny**
- 1.4.1.3.1 **Dławik torowy** [impedance bond] – urządzenie stosowane w systemach trakcji elektrycznej, zwykle na końcach dwuszynowego obwodu torowego, zapewniający przepływ trakcyjnego prądu powrotnego mimo obecności złączy szynowych izolowanych.
- 1.4.1.3.2 **Dławik torowy rezonansowy** [resonant impedance bond; tuned impedance bond] – dławik torowy, którego impedancja dla przepływu prądu obwodu

torowego jest zwiększona przez dostrojenie jego indukcyjności do rezonansu

- 1.4.1.3.3 **Kabel powrotny** [return cable] – przewód toki szynowe jezdne lub inne części obwodu powrotnego z podstacją trakcyjną.
- 1.4.1.3.4 **Urządzenie przytorowe** [trackside equipment] – urządzenia i obwody elektryczne niskiego napięcia, które w całości lub w części są zainstalowane na stałe w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej służące, np. do sterowania ruchem kolejowym, zasilania niskim napięciem, ogrzewania, oświetlenia.
- 1.4.1.3.5 **Konduktancja jednostkowa (G_{RE})** [conductance per length] – odwrotność rezystancji między szynami a ziemią odniesiona do jednostki długości (S/km).
- 1.4.1.3.6 **Łącznik poprzeczny** [cross bond] – połączenie elektryczne łączące równoległe przewody obwodu powrotnego.
- 1.4.1.3.7 **Łącznik poprzeczny międzytokowy** [rail-to-rail cross bond] – łącznik poprzeczny łączący toki szynowe tego samego toru.
- 1.4.1.3.8 **Łącznik poprzeczny międzytorowy** [track-to-track cross bond] – łącznik poprzeczny łączący ze sobą tory.
- 1.4.1.3.9 **Łącznik szynowy podłużny** [rail joint bond] – przewód, który łączy elektrycznie szyny jezdne na złączu szynowym.
- 1.4.1.3.10 **Obwód powrotny** [return circuit] – ogół przewodów tworzących zamierzoną drogę dla trakcyjnego prądu powrotnego (szyny jezdne, łączniki szynowe, kable powrotne).
- 1.4.1.3.11 **Obwód powrotny szynowy** [track return system] – system, w którym toki szynowe toru są częścią obwodu powrotnego prądu trakcyjnego.
- 1.4.1.3.12 **Obwód torowy** [track circuit] – obwód elektryczny zabudowany w celu wykrywania, czy dany odcinek toru jest wolny czy zajęty przez pojazd lub tabor, składający się z szyn odcinka toru z jednym źródłem zasilania oraz z jednym lub dwoma urządzeniami detekcyjnymi.
- 1.4.1.3.13 **Poziom główki szyny (TOR)** [top of rail level] – prosta styczna do główek szyn.
- 1.4.1.3.14 **Prąd błądzący (I_s)** [stray current] – część prądu systemu trakcji prądu stałego, która płynie drogami innymi niż obwód powrotny.

- 1.4.1.3.15 **Prąd powrotny trakcyjny** [traction return current] – suma prądów powracających do źródła zasilania, do podstacji trakcyjnej lub do pojazdów hamujących z odzyskiem energii.
- 1.4.1.3.16 **Przewód powrotny** [return conductor] – przewód ułożony równolegle do toru i połączony z szynami jezdnyymi w określonych odstępach.
- 1.4.1.3.17 **Rezystancja doziemna szyn** [rail to earth resistance] – rezystancja przejścia między szynami jezdnyymi a ziemią lub uziomem naturalnym;
- 1.4.1.3.18 **Strefa lokalizacji urządzeń przytorowych** [trackside equipment zone] – strefa wzdłuż toru, w której rozmieszczono urządzenia przytorowe, których część może mieć galwaniczne połączenie z szynowym obwodem powrotnym.
- 1.4.1.3.19 **Strefa prądów błędzących** [stray currents area] – strefa, w której mogą płynąć prądy błędzące pomiędzy urządzeniami trakcyjnymi prądu stałego a konstrukcjami metalowymi lub ziemią.
- UWAGA:** strefa prądów błędzących może rozciągać się na odległość kilku kilometrów.
- 1.4.1.3.20 **Złącze szynowe izolacyjne** [insulating rail joint] – mechaniczne połączenie szyn, które je wzdłużnie izoluje elektrycznie.

1.4.1.4. Urządzenia elektryczne w ogólności

- 1.4.1.4.1 **Wartość nominalna** (indeks n) [nominal value] – umowna przybliżona (na ogół zaokrąglona) wartość parametru podzespołu, przyrządu lub urządzenia służąca do jego identyfikacji, niezależna od warunków użytkowania.

Przykład: Napięcie nominalne linii napowietrznej 110 kV oznacza, że wytrzymałość elektryczna statyczna i udarowa jej izolacji spełnia wymagania określone normą dla linii 110 kV, ale nie oznacza, że w jakimkolwiek punkcie tej linii napięcie wynosi 110 kV ani że jest to najwłaściwsze czy największe dopuszczalne napięcie robocze. Napięcie nominalne wynosi 110 kV niezależnie od warunków użytkowania linii (warunków klimatycznych, harmonogramu obciążenia i innych okoliczności).

- 1.4.1.4.2 **Wartość znamionowa** (indeks N lub r) [rated value] – wartość parametru podzespołu, przyrządu lub urządzenia przypisana, zwykle przez producenta, dla określonych warunków użytkowania.
- Przykład:** Temu samemu silnikowi elektrycznemu producent może przypisać różne wartości mocy znamionowej zależnie od trybu pracy (ciągła, dorywcza, przerywana...), od temperatury otoczenia i od innych warunków eksploatacji.
- 1.4.1.5. **Napięcia robocze**
- 1.4.1.5.1 **Napięcie U** (sieć trakcyjna) [voltage] – wartość napięcia mierzona między odbierakiem prądu lub innym miejscem sieci jezdnej a obwodem powrotnym. Wartości te rozważane w normach są średnią wartością napięcia w systemach prądu stałego lub wartością skuteczną napięcia w systemach prądu przemiennego.
- 1.4.1.5.2 **Napięcie nominalne U_n** (instalacji, urządzenia) [nominal voltage] – wartość napięcia, na które instalacja lub jej część została wykonana i oznaczona.
- 1.4.1.5.3 **Napięcie robocze najwyższe dopuszczalne U_{max} ; najwyższe dopuszczalne napięcie robocze** [highest system voltage] – największa wartość napięcia dopuszczalna w warunkach pracy ciągłej U_{max1} określonych w IEC 60850 (EN 50163).
- 1.4.1.5.4 **Napięcie robocze najniższe dopuszczalne U_{min} ; najniższe dopuszczalne napięcie robocze** [lowest system voltage] – najmniejsza wartość napięcia dopuszczalna w warunkach pracy ciągłej U_{min1} określonych w IEC 60850 (EN 50163).
- 1.4.1.5.5 **Napięcie znamionowe izolacji U_{Nm}** [rated insulation voltage] – największa wartość napięcia, na które urządzenie zostało zaprojektowane ze względu na swoją izolację.
- 1.4.1.5.6 **Napięcie znamionowe urządzenia U_{Ne}** [rated voltage] – wartość napięcia, podana przez producenta, która w powiązaniu z prądem znamionowym określa możliwości wykorzystania urządzenia i do której odnoszą się warunki prób i ewentualnie kategorie użytkowania.
- 1.4.1.5.7 **Napięcie wysokie; wysokie napięcie WN** [high voltage HV] – napięcie nominalne przekraczające AC 1000 V lub DC 1500 V.
- 1.4.1.5.8 **Napięcie niskie; niskie napięcie nN** [low voltage LV] – napięcie nominalne nieprzekraczające AC 1000 V lub DC 1500 V.

- 1.4.1.5.9 **Napięcie bardzo niskie** [extra-low voltage ELV] – napięcie nominalne bardzo niskie, tzn. nieprzekraczające wartości:
50 V – napięcie przemienne sinusoidalne (wartość skuteczna),
120 V – napięcie stałe o pomijalnym ($\leq 10\%$) tętnieniu (wartość średnia).
- 1.4.1.5.10 **Napięcie najwyższe trwałe** $U_{\max1}$ [highest permanent voltage] – największa wartość napięcia, która może występować dowolnie długo.
- 1.4.1.5.11 **Napięcie najwyższe nietrwałe** $U_{\max2}$ [highest non permanent voltage] – największa wartość napięcia, która może występować jako najwyższe napięcie nietrwałe przez określony odcinek czasu.
- 1.4.1.5.12 **Przebieżenie długotrwałe** $U_{\max3}$ [highest long term overvoltage] – najwyższa wartość długotrwałego przebieżenia dla $t = 20$ ms. Wartość ta nie zależy od częstotliwości.
- 1.4.1.5.13 **Napięcie najniższe trwałe** $U_{\min1}$ [lowest permanent voltage] – najmniejsza wartość napięcia, która może występować dowolnie długo.
- 1.4.1.5.14 **Napięcie najniższe nietrwałe** $U_{\min2}$ [lowest non permanent voltage] – najmniejsza wartość napięcia, która może występować w ograniczonym czasie (aut. jednocześnie najniższe dopuszczalne napięcie sieci jezdnej, przy której tabor szynowy może być jeszcze eksploatowany).
- 1.4.1.6. **Prądy robocze**
- 1.4.1.6.1 **Prąd znamionowy** I_{Ne} [rated service current] – wartość prądu podana przez producenta dla urządzenia zasilanego napięciem znamionowym, przy pracy ciągłej, określonej kategorii użytkowania (w przypadku łączników) i w określonej obudowie, jeżeli jest ona przewidziana.
- 1.4.1.6.2 **Obciążalność prądowa długotrwała** [continuous current rating] – obciążalność znamionowa górnej sieci jezdnej w określonych warunkach działania.
- 1.4.1.7. **Prądy zwarciov**
- 1.4.1.7.1 **Prąd zwarciov** I_{ss} [short-circuit current] – spodziewany prąd ustalony w następstwie zwarcia wywołanego uszkodzeniem albo nieprawidłowym połączeniem w obwodzie elektrycznym;
- 1.4.1.7.2 **Znamionowy prąd zwarciov** I_{Nss} [rated short-circuit current] – największa wartość spodziewanego prądu zwarciovego ustalonego, jaką urządzenie wytrzyma.

- 1.4.1.7.3 **Prąd zwarciový spodziewany ewentualny** [expected prospective short-circuit current] – prąd zwarciový w systemie trakcji DC spodziewany w razie niewyłączenia zwarcia.
- 1.4.1.7.4 **Prąd zwarciový udarowy I_{ss}** [peak of the short-circuit current] – spodziewana wartość szczytowa prądu zwarciového w stanie przejściowym zwarcia.
- 1.4.1.7.5 **Prąd ograniczony $I_{cut\ off}$** [cut-off current] – największa chwilowa wartość prądu występująca w czasie procesu wyłączenia przez wyłącznik szybki.
- 1.4.1.7.6 **Stała czasowa obwodu t_c** [circuit time constant] – wartość stosunku indukcyjności do rezystancji obwodu.
- 1.4.1.7.7 **Stała czasowa toru (linii kolejowej) T_c** [track time constant (of a line)] – stała czasowa toru razem ze wszystkimi elementami po stronie obciążenia urządzenia łączeniowego, łącznie z siecią jezdnią (siecią górną lub trzecią szyną), obwodem powrotnym i wszelkimi dławikami torowymi.
- 1.4.1.7.8 **Stała czasowa źródła zasilania T_s** [source time constant] – stała czasowa źródła DC po stronie zasilania urządzenia łączeniowego, obejmująca sieć zasilającą AC, zespół prostownikowy, dławik wygładzający, połączenia DC w podstacji oraz przewody zasilające i powrotne między podstacją a torem.
- 1.4.1.7.9 **Prąd załączeniowy** [making current] – największa spodziewana wartość szczytowa prądu płynącego przez łącznik w procesie załączania.
- 1.4.1.7.10 **Prąd załączalny** [making capacity] – największa spodziewana wartość szczytowa prądu, którą łącznik jest w stanie załączyć przy określonym napięciu i w przepisanych warunkach zastosowania i zachowania się.
- 1.4.1.7.11 **Prąd wyłączeniowy** [breaking current] – prąd płynący przez łącznik w chwili rozdzielenia styków w procesie wyłączenia.
- 1.4.1.7.12 **Prąd wyłączalny** [breaking capacity] – wartość spodziewanego prądu wyłączeniowego, którą łącznik jest w stanie wyłączyć przy określonym napięciu i w przepisanych warunkach zastosowania i zachowania się.
- 1.4.1.7.13 **Znamionowy prąd wyłączalny zwarciový** [rated short-circuit breaking capacity] – prąd wyłączalny w przepisanych warunkach zwarcia na zaciskach wyjściowych łącznika.
- 1.4.1.7.14 **Prąd krytyczny I_c** [critical current] – wartość prądu wyłączeniowego, mniejsza niż znamionowy prąd wyłączalny, przy której czas łukowy jest

największy i jest znacznie dłuższy niż przy znamionowym prądzie wyłączalnym.

- 1.4.1.7.15 **Prąd zwarciový największy spodziewany $I_{\max E}$; największy spodziewany prąd zwarciový** [maximum circuit-energy short circuit] – prąd zwarciový przy największej możliwej mocy zwarciovéj źródła zasilania, zwykle występujący w punkcie toru blisko podstacji.

1.4.1.8. **Ochrona od porażéń prądem elektrycznym**

- 1.4.1.8.1 **Bezpieczeństwo elektryczne** [electrical safety] – stan ochrony zapewniający, że ryzyko szkody wywołanej przez urządzenia elektryczne nie jest większe niż ryzyko akceptowalne.
- 1.4.1.8.2 **Porażenie prądem elektrycznym** [electric shock] – skutki patofizjologiczne wywołane przepływem prądu elektrycznego przez ciało człowieka lub zwierzęcia.
- 1.4.1.8.3 **Część czynna** [live part] – przewód lub inna część przewodząca mogąca być pod napięciem w normalnym użytkowaniu; umownie nie obejmuje to szyn jezdnych i części połączonych z nimi.
- 1.4.1.8.4 **Część przewodząca dostępna** [exposed conductive part] – część przewodząca urządzenia elektrycznego, której można dotknąć i która normalnie nie jest pod napięciem, ale może znaleźć się pod napięciem w razie uszkodzenia izolacji podstawowej.
- Część przewodząca urządzenia, która może znaleźć się pod napięciem tylko za pośrednictwem innej części przewodzącej dostępnej, która znalazła się pod napięciem, sama nie jest uważana za część przewodząca dostępną.
- 1.4.1.8.5 **Część przewodząca obca** [extraneous-conductive-part] – część przewodząca nie będąca częścią instalacji elektrycznej i mogąca wprowadzić (z zewnątrz) potencjał elektryczny, zwykle potencjał ziemi lokalnej, np. elementy mechanicznych pędni kolejowych.
- 1.4.1.8.6 **Części jednocześnie dostępne** [simultaneously accessible parts] – przewody bądź inne części przewodzące (części przewodzące dostępne, części przewodzące obce, przewody ochronne, przewodzące stanowisko), które mogą być jednocześnie dotknięte przez człowieka lub zwierzę.
- 1.4.1.8.7 **Dotyk bezpośredni** [direct contact] – dotknięcie części czynnych przez człowieka lub zwierzę.

- 1.4.1.8.8 **Ochrona przed dotykiem bezpośrednim; ochrona przeciwporażeniowa podstawowa** [basic protection] – ochrona przed porażeniem elektrycznym w warunkach braku uszkodzenia (ochrona przed dotykiem bezpośrednim przy urządzeniu w pełni sprawnym).
- 1.4.1.8.9 **Stanowisko dostępne** [standing surface] – dowolny punkt powierzchni, na której człowiek o przeciętnej sprawności fizycznej bez trudu może się znaleźć.
- 1.4.1.8.10 **Zasięg ręki (ze stanowiska dostępnego)** [arm's reach] – przestrzeń dostępna dla dotyku zawarta pomiędzy dowolnym punktem stanowiska dostępnego a granicą, którą człowiek może dosięgnąć ręką w dowolnym kierunku (zależnie od sytuacji: gołą ręką lub trzymając narzędzie określonej długości).
- 1.4.1.8.11 **Przegroda ochronna** [(electrically) protective barrier] – element chroniący przed dotykiem bezpośrednim ze wszelkich dostępnych kierunków.
- 1.4.1.8.12 **Przegroda ochronna pełna** [solid-wall design] – przegroda ochronna z betonu, stali albo innego materiału bez otworów ani szczelin.
- 1.4.1.8.13 **Przegroda ochronna ażurowa** [mesh construction] – przegroda ochronna siatkowa o powierzchni oczka nie większej niż 1200 mm².
- 1.4.1.8.14 **Ochrona przy dotyku pośrednim; ochrona przy uszkodzeniu; ochrona przeciwporażeniowa dodatkowa** [fault protection] – ochrona przed porażeniem elektrycznym w stanie pojedynczego uszkodzenia.
- 1.4.1.8.15 **Stan pojedynczego uszkodzenia** [single-fault] – stan, kiedy występuje uszkodzenie pojedynczego środka ochrony (ale nie izolacji wzmocnionej) albo pojedynczego podzespołu urządzenia.
- 1.4.1.8.16 **Ochrona przeciwporażeniowa uzupełniająca** [additional protection] – środki chroniące przed porażeniem w przypadkach, kiedy ochrona podstawowa zawodzi lub zostaje ominięta, a ochrona przy uszkodzeniu nie zapobiega rażeniu.
- 1.4.1.8.17 **Samoczynne wyłączenie zasilania** [automatic disconnection of supply] – samoczynne rozłączenie jednego lub więcej przewodów liniowych przez urządzenie zabezpieczeniowe dla celów ochrony przy uszkodzeniu.
- 1.4.1.8.18 **Separacja ochronna** [electrical separation] – środek ochrony przy dotyku pośrednim polegający na zasilaniu urządzenia elektrycznego za pośrednictwem transformatora separacyjnego (przetwornicy separacyjnej),

przy czym wszystkie części czynne obwodu separowanego są niezawodnie oddzielone elektrycznie od innych obwodów i od ziemi; taką ochronę zapewnia też zespół spalinowo-elektryczny zasilający pojedynczy odbiornik.

- 1.4.1.8.19 **Obwód SELV** [SELV system] – obwód napięcia bardzo niskiego, bez uziemienia jakiegokolwiek części czynnej, zasilany ze źródła bezpiecznego, zapewniający niezawodne oddzielenie elektryczne od innych obwodów i od ziemi, stosowany w celu ochrony przy dotyku pośrednim.
- 1.4.1.8.20 **Obwód PELV** [PELV system] – obwód napięcia bardzo niskiego, z uziemieniem części czynnej, zasilany ze źródła bezpiecznego, zapewniający niezawodne oddzielenie elektryczne od innych obwodów, stosowany w celu ochrony przy dotyku pośrednim.
- 1.4.1.8.21 **Prąd upływowy** [leakage current] – prąd, który w obwodzie niedotkniętym uszkodzeniem płynie do ziemi lub do części przewodzących obcych.
- 1.4.1.8.22 **Prąd różnicowy** [residual current] – suma algebraiczna wartości prądów we wszystkich przewodach czynnych w tej samej chwili w danym punkcie obwodu instalacji elektrycznej.
- 1.4.1.8.23 **Urządzenie różnicowoprądowe RCD** [residual current device RCD] – łącznik mechanizmu przeznaczony do załączania, przewodzenia i wyłączenia prądu w normalnych warunkach roboczych i do samoczynnego otwarcia, jeżeli w przepisanych warunkach prąd różnicowy osiąga określoną wartość.
- 1.4.1.8.24 **Wyłącznik różnicowoprądowy bez wbudowanego zabezpieczenia nadprądowego RCCB** [residual current operated circuit-breaker without integral overcurrent protection] – wyłącznik różnicowoprądowy nieprzeznaczony do pełnienia funkcji zabezpieczenia przeciążeniowego i/lub zwarciovego.
- 1.4.1.8.25 **Wyłącznik różnicowoprądowy z wbudowanym zabezpieczeniem nadprądowym RCBO** [residual current operated circuit-breaker with integral overcurrent protection] – wyłącznik różnicowoprądowy przeznaczony do pełnienia funkcji zabezpieczenia przeciążeniowego i/lub zwarciovego.

- 1.4.1.8.26 **Napięcie dotykowe spodziewane U_{tp}** [prospective touch voltage] – napięcie między częściami przewodzącymi jednocześnie dostępnymi, kiedy tych części nie dotyka człowiek lub zwierzę.
- 1.4.1.8.27 **Napięcie dotykowe rzeczywiste U_{te}** [effective touch voltage] – napięcie dotykowe spodziewane (U_{tp}) w przypadku, gdy rezystancja stanowiska (R_{a2}) jest pomijalnie mała.
- 1.4.1.8.28 **Napięcie rażeniowe U_b** [body voltage] – iloczyn prądu rażeniowego i impedancji ciała.
- 1.4.1.8.29 **Przewód liniowy L** [line conductor L] – przewód będący pod napięciem w warunkach normalnego użytkowania, mogący uczestniczyć w przesyłaniu energii, a nie będący przewodem neutralnym lub przewodem środkowym.
- 1.4.1.8.30 **Przewód neutralny N** [neutral conductor N] – przewód wyprowadzony z punktu neutralnego układu i mogący uczestniczyć w przesyłaniu energii elektrycznej.
- 1.4.1.8.31 **Przewód ochronny PE** [protective conductor PE] – przewód, wymagany przez określone środki ochrony przeciwporażeniowej, przeznaczony do elektrycznego połączenia takich części jak: części przewodzące dostępne, części przewodzące obce, główna szyna uziemiająca, uziom, uziemiony naturalny lub sztuczny punkt neutralny źródła zasilania.
- 1.4.1.8.32 **Przewód PEN; przewód ochronno-neutralny** [PEN conductor] – przewód pełniący jednocześnie funkcje uziemionego przewodu ochronnego i przewodu neutralnego.
- 1.4.1.8.33 **Osoba wykwalifikowana (w zakresie elektryki)** [skilled person (in the electrical scope)] – osoba mająca stosowne wykształcenie i świadectwo kwalifikacji w zakresie eksploatacji lub dozoru w grupie elektroenergetycznej (gr. 1), podparte doświadczeniem zapewniającym rozumienie ryzyka i unikanie zagrożeń, jakie mogą stwarzać urządzenia elektryczne.
- 1.4.1.8.34 **Osoba poinstruowana (w zakresie elektryki)** [instructed person (in the electrical scope)] – osoba wystarczająco pouczona lub nadzorowana przez osoby wykwalifikowane, co pozwala jej dostrzegać zagrożenia elektryczne i unikać ich.

- 1.4.1.8.35 **Osoba postronna** [ordinary person] – osoba, która nie jest ani osobą wykwalifikowaną, ani osobą poinstruowaną.
- 1.4.1.8.36 **Obszar ogólnie dostępny** [public area] – teren, do którego wszyscy mają nieograniczony dostęp.
- 1.4.1.8.37 **Obszar ograniczonego dostępu** [restricted area] – teren, do którego dostęp jest dozwolony tylko dla osób uprawnionych.
- 1.4.1.9. **Uziemianie, połączenia wyrównawcze i uszynianie**
- 1.4.1.9.1 **Ziemia** [earth] – przewodząca masa ziemi, której potencjał w każdym punkcie jest przyjmowany umownie jako równy zeru.
- 1.4.1.9.2 **Uziom** [earth electrode] – element lub zespół elementów przewodzących pograżony w ziemi i mający z nią dobrą styczność zapewniającą połączenie elektryczne.
- 1.4.1.9.3 **Uziom sztuczny** [earth electrode, artificial earth electrode] – uziom wykonany dla celów uziemienia.
- 1.4.1.9.4 **Uziom naturalny** [structure earth, natural earth electrode] – element lub zespół elementów przewodzących pograżony w ziemi z innych powodów, które ubocznie mogą być wykorzystane jako uziom.
- 1.4.1.9.5 **Uziemienie** [earthing] – przyłączenie części przewodzącej do odpowiedniego uziomu.
- 1.4.1.9.6 **Uziemienie ochronne** [protective earthing] – uziemienie (punktu/ów sieci, instalacji, urządzenia) dla celów bezpieczeństwa.
- 1.4.1.9.7 **Uziemienie funkcjonalne; uziemienie robocze** [functional earthing] – uziemienie części czynnej.
- 1.4.1.9.8 **Potencjał szyn U_{RE}** [rail potential] – napięcie występujące między szynami jezdnyymi a ziemią.
- 1.4.1.9.9 **Przewód uziemiający** [earthing conductor] – przewód łączący dany punkt sieci, instalacji lub urządzenia z uziomem lub z siecią uziemiającą.
- 1.4.1.9.10 **Połączenie wyrównawcze** [equipotential bonding] – wykonanie połączenia elektrycznego między częściami przewodzącymi w celu wyrównania potencjałów.

- 1.4.1.9.11 **Szyna wyrównawcza główna MEB** [main equipotential busbar MEB] – szyna zbiorcza służąca do elektrycznego połączenia przewodów wyrównawczych.
- 1.4.1.9.12 **Sieć uszyniająca** [rail grounding system] – zespół uszynień indywidualnych i uszynień grupowych.
- 1.4.1.9.13 **Uszynienie bezpośrednie** [bonding to the traction return rail] – połączenie bezpośrednie części przewodzących z obwodem powrotnym.
- 1.4.1.9.14 **Uszynienie otwarte** [open connection] – połączenie części przewodzących z obwodem powrotnym za pośrednictwem ogranicznika napięcia dotykowego.
- 1.4.1.9.15 **Ogranicznik napięcia dotykowego VLD** [voltage-limiting device VLD] – urządzenie ochronne zapobiegające utrzymywaniu się niedopuszczalnie dużej wartości napięcia dotykowego dzięki temu, że czasowo lub trwale przekształca uszynienie otwarte w uszynienie bezpośrednie.
- 1.4.1.9.16 **Napięcie znamionowe ogranicznika niskiego napięcia U_r** [rated voltage of a low voltage limiter] – największa wartość napięcia stałego między zaciskami, którą ogranicznik niskiego napięcia wytrzyma długotrwale.
- 1.4.1.9.17 **Napięcie przełączania nominalne; nominalne napięcie przełączania U_{Tn} ogranicznika napięcia dotykowego VLD** [nominal triggering voltage] – przyłożona trwale wartość napięcia DC, przy której ogranicznik napięcia dotykowego VLD przechodzi w stan przewodzenia; parametr identyfikujący ogranicznik VLD.
- 1.4.1.9.18 **Napięcie nieprzełączania U_w ogranicznika napięcia dotykowego VLD** [non-triggering voltage] – najwyższa wartość napięcia, poniżej której ogranicznik napięcia dotykowego VLD nie przechodzi w stan przewodzenia, niezależnie od czasu przyłożenia napięcia.
- 1.4.1.9.19 **Napięcie przewodzenia U_{res} ogranicznika napięcia dotykowego VLD** [residual voltage] – wartość napięcia między zaciskami ogranicznika napięcia dotykowego VLD w stanie przewodzenia określonego prądu.
- 1.4.1.9.20 **Prąd impulsu dużej energii I_{imp-hc} ogranicznika napięcia dotykowego VLD** [high charged impulse current] – prąd impulsu dużej energii o kształcie 10/350 μ s lub o kształcie fali o tym samym przenoszonym ładunku i podobnym czasie trwania, który jest stosowany do testowania zdolności

wytrzymywania przez VLD prądów bezpośrednich wyładowań piorunowych z punktu widzenia zdolności energetycznej.

- 1.4.1.9.21 **Prąd upływowy I_L ogranicznika napięcia dotykowego VLD** [leakage current] – prąd płynący między zaciskami ogranicznika napięcia dotykowego VLD w stanie otwartym (blokowania).
- 1.4.1.9.22 **Prąd znamionowy I_r ogranicznika napięcia dotykowego VLD** [rated current] – największa wartość prądu DC, jaka może płynąć przez ogranicznik napięcia dotykowego VLD w ustalonym długim okresie czasu i w określonych warunkach środowiskowych, bez przekroczenia dopuszczalnych przyrostów temperatury.
- 1.4.1.9.23 **Prąd krótkotrwały wytrzymywany I_w IW ogranicznika napięcia dotykowego VLD** [short time withstand current] – wartość prądu wytrzymywana przez ogranicznik napięcia dotykowego VLD w stanie przewodzenia w deklarowanym krótkim okresie czasu i w określonych warunkach zastosowania.
- 1.4.1.10. **Koordinacja izolacji**
- 1.4.1.10.1 **Izolacja funkcjonalna** [functional insulation] – izolacja pomiędzy przewodzącymi częściami, która jest konieczna tylko dla właściwego funkcjonowania.
- 1.4.1.10.2 **Izolacja podstawowa** [basic insulation] – izolacja części czynnych, która zapewnia ochronę podstawową (to wymaganie niekoniecznie spełnia izolacja zastosowana dla celów funkcjonalnych).
- 1.4.1.10.3 **Izolacja dodatkowa** [supplementary insulation] – odrębna izolacja zastosowana oprócz izolacji podstawowej w celu zapewnienia ochrony w stanie pojedynczego uszkodzenia.
- 1.4.1.10.4 **Izolacja podwójna** [double insulation] – izolacja składająca się z izolacji podstawowej i niezależnej od niej izolacji dodatkowej.
- 1.4.1.10.5 **Izolacja wzmocniona** [reinforced insulation] – pojedynczy układ izolacyjny części czynnych zapewniający ochronę przed porażeniem w stopniu równoważnym izolacji podwójnej.
- 1.4.1.10.6 **Izolacja regenerująca się** [self-restoring insulation] – izolacja, która odzyskuje całkowicie swoje właściwości izolacyjne po wyładowaniu zupełnym.

- 1.4.1.10.7 **Izolacja nieregenerująca się** [non-self-restoring insulation] – izolacja, która traci swoje właściwości izolacyjne lub nie odzyskuje ich całkowicie po wyładowaniu zupełnym.
- 1.4.1.10.8 **Koordinacja izolacji** [insulation coordination] – dobór wytrzymałości elektrycznej urządzeń w zależności od napięć, jakie mogą pojawić się w sieci, do której te urządzenia są przeznaczone i z uwzględnieniem warunków środowiskowych eksploatacji oraz charakterystyk urządzeń ochronnych.
- 1.4.1.10.9 **Napięcie przemienne wytrzymywane (na sucho i na mokro) U_a** [power-frequency voltage withstand level (dry and wet)] – poziom napięcia probierczego o częstotliwości sieciowej, który – wytrzymywany przez urządzenie – dowodzi nienaruszalności jego izolacji w warunkach pracy.
- 1.4.1.10.10 **Napięcie udarowe wytrzymywane znamionowe U_{Ni} ; znamionowe napięcie udarowe wytrzymywane U_{Ni}** [rated impulse withstand voltage] – wartość szczytowa napięcia udarowego o przepisany kształcie i biegunowości, określona przez producenta dla sprzętu lub jego części, charakteryzująca określoną wytrzymałość jego izolacji na przepięcia (które urządzenie wytrzymuje bez uszkodzenia w określonych warunkach próby).
- 1.4.1.10.11 **Napięcie wytrzymywane U_w** [withstand voltage] – wartość napięcia impulsowego określana jako poziom odporności udarowej urządzenia lub kategoria wytrzymałości na przepięcia.
- 1.4.1.10.12 **Napięcie znamionowe izolacji U_{Nm}** [rated insulation voltage] – wartość skuteczna wytrzymywanego napięcia zmiennego lub maksymalna wartość napięcia stałego ustalona przez producenta urządzenia lub jego części, charakteryzującą trwałą (ponad 5 minut) zdolność izolacji do wytrzymywania napięcia o określonej wartości.
- UWAGA 1:** Napięcie U_{Nm} występuje między częścią będącą pod napięciem a ziemią lub inną częścią pod napięciem. Dla pojazdów potencjał ziemi odnosi się do pudła pojazdu.
- UWAGA 2:** Napięcie U_{Nm} jest nie mniejsze niż napięcie robocze. W konsekwencji dla obwodów bezpośrednio przyłączonych do sieci jezdnej, napięcie U_{Nm} jest co najmniej równe U_{max1} .
- 1.4.1.10.13 **Ograniczanie inherentne** [inherent control] – przypadek ograniczania przepięć, gdy własna charakterystyka systemu elektrycznego przewiduje

ograniczenie spodziewanych przepięć przejściowych do określonego poziomu.

1.4.1.10.14 **Ograniczanie ochronne** [protective control] – przypadek ograniczania przepięć dla ochrony systemu elektrycznego, gdy do ograniczania przepięć do określonego poziomu stosuje się specjalne środki ograniczania spodziewanych przepięć przejściowych.

1.4.1.11. **Ochrona odgromowa**

1.4.1.11.1 **Obiekt chroniony** [structure to be protected] – obiekt budowlany lub urządzenie usługowe poddawane ochronie przed skutkami oddziaływania pioruna.

1.4.1.11.2 **Piorunowy impuls elektromagnetyczny LEMP** [lightning electromagnetic pulse] – wszelkie elektromagnetyczne oddziaływania prądu wyładowania piorunowego w wyniku sprzężeń rezystancyjnych, indukcyjnych i pojemnościowych, w wyniku których powstają przepięcia i wypromieniowują pola elektromagnetyczne.

1.4.1.11.3 **Poziom ochrony odgromowej LPL** [lightning protection level] – liczba odniesiona do zestawu wartości parametrów prądu pioruna związanych z prawdopodobieństwem tego, że odpowiednie maksymalne i minimalne wartości przyjęte do projektowania nie będą przekroczone podczas wyładowań piorunowych występujących w naturze.

1.4.1.11.4 **Sieć połączeń wyrównawczych** [bonding network] – sieć łącząca wzajemnie wszystkie części przewodzące obiektu i wewnętrznych urządzeń (z wyjątkiem przewodów czynnych) i połączona z układem uziomów.

1.4.1.11.5 **Strefa ochrony odgromowej LPZ** [lightning protection zone] – strefa, dla której piorunowe środowisko elektromagnetyczne zostało określone.
UWAGA: Granice stref LPZ niekoniecznie muszą być granicami fizycznymi obiektów (np. ścianami, podłogą lub sufitem).

1.4.1.11.6 **Urządzenie piorunochronne LPS** [lightning protection system] – kompletny system środków zastosowanych do zredukowania szkód fizycznych spowodowanych wyładowaniami piorunowymi w obiekt.
UWAGA: Zawiera zarówno zewnętrzne jak i wewnętrzne urządzenie piorunochronne.

1.4.1.11.7 **Urządzenie piorunochronne wewnętrzne** [internal lightning protection system] – część LPS składająca się z piorunowych połączeń wyrównawczych i/lub elektrycznego izolowania zewnętrznego LPS.

- 1.4.1.11.8 **Urządzenie piorunochronne zewnętrzne** [external lightning protection system] – część LPS składająca się ze zwodów, przewodów odprowadzających i uziomów.
- 1.4.1.11.9 **Zespół środków ochrony przed LEMP – LPMS** [lightning protection measures system] – kompletny zespół środków ochrony przed LEMP.
- 1.4.1.12. **Ochrona przed przepięciami**
- 1.4.1.12.1 **Energia właściwa W/R** [specific energy of impulse current] – energia o wartości wynikającej z całkowania kwadratu prądu pioruna w przedziale czasowym obejmującym cały okres wyładowania.
UWAGA: Przedstawia ona energię rozproszoną w jednostkowej rezystancji 1Ω przez impulsowy prąd udarowy I_{imp} (odpowiada ona wartości całki z kwadratu prądu ($W/R = \int I^2 dt$)).
- 1.4.1.12.2 **Przepięcie** [overvoltage] – każde napięcie o wartości szczytowej przekraczającej maksymalną wartość szczytową (w tym przepięcia powtarzalne) odpowiadającego mu największego napięcia dopuszczalnego w warunkach pracy ciągłej.
- 1.4.1.12.3 **Przepięcie długotrwałe** [long-term overvoltage] – każde napięcie o wartości szczytowej przekraczającej maksymalną wartość szczytową odpowiadającego mu największego napięcia dopuszczalnego w warunkach pracy ciągłej.
- 1.4.1.12.4 **Przepięcie dorywcze** [temporary overvoltage] – przepięcie trwające stosunkowo długo spowodowane zmianami napięcia.
UWAGA: Przepięcie dorywcze jest niezależne od obciążenia sieci.
- 1.4.1.12.5 **Przepięcie łączeniowe** [switching overvoltage] – przepięcie przejściowe w dowolnym miejscu systemu spowodowane procesem łączeniowym lub defektem (związany z wystąpieniem obwodu zwarciovego).
- 1.4.1.12.6 **Przepięcie piorunowe** [lightning overvoltage] – przepięcie przejściowe w dowolnym miejscu systemu spowodowane wyładowaniem piorunowym (bezpośrednim).
- 1.4.1.12.7 **Przepięcie przejściowe** [transient overvoltage] – przepięcie trwające kilka milisekund lub mniej spowodowane przepływem prądu.
UWAGA: Przepięcie przejściowe jest zależne od obciążenia sieci. Nie może być określane krzywą napięcie-czas. Zasadniczo przepięcie przejściowe jest wynikiem przepływu prądu ze źródła do obciążenia (sieć).
- 1.4.1.12.8 **Ogranicznik przepięć SPD** [arrester, surge protective device SPD] – urządzenie przeznaczone do ograniczania przepięć przejściowych

i odprowadzania prądów piorunowych. Zawiera ono co najmniej jeden element nieliniowy.

- 1.4.1.12.9 **Skoordynowany układ SPD, skoordynowany układ ograniczników przepięć** [coordinated SPD system] – właściwie dobrane, skoordynowane i zainstalowane SPD w celu utworzenia układu przeznaczonego do zredukowania uszkodzeń systemów elektrycznych i elektronicznych.
- 1.4.1.12.10 **Odłącznik ogranicznika przepięć** [arrester disconnecter] urządzenie przeznaczone do odłączenia ogranicznika przepięć od chronionej sieci lub obwodu w przypadku uszkodzenia ogranicznika w celu niedopuszczenia do powstania trwałego zwarcia w sieci oraz uzyskania widocznego wskazania uszkodzonego ogranicznika.
- 1.4.1.12.11 **Napięcie trwałej pracy ogranicznika przepięć U_c** [maximum continuous operating voltage of an arrester] – deklarowana dopuszczalna maksymalna wartość napięcia (wartość skuteczna częstotliwości sieciowej), jaka może być doprowadzona trwale do zacisków ogranicznika, napięcie odpowiadające najwyższemu dopuszczalnemu napięciu robocznemu U_{max}
- 1.4.1.12.12 **Napięcie znamionowe ogranicznika przepięć U_r** [rated voltage of a gapless arrester] – największa wartość napięcia stałego między zaciskami, przy której ogranicznik beziskiernikowy powinien poprawnie działać w warunkach występowania przepięć przejściowych określone w próbach działania.
- 1.4.1.12.13 **Napięcie znamionowe ogranicznika przepięć przy prądzie stałym U_r^{DC}** [rated voltage of a gapped arrester] największa wartość napięcia stałego między zaciskami, którą ogranicznik iskiernikowy powinien wytrzymać długotrwale.
- 1.4.1.12.14 **Napięcie znamionowe udarowe $U_{r imp}$; znamionowe napięcie udarowe** [rated impulse withstand voltage] – wartość szczytowa napięcia udarowego o określonym kształcie i biegunowości, które urządzenie wytrzymuje bez uszkodzenia w określonych warunkach próby.
- 1.4.1.12.15 **Napięcie obniżone U_{res}** [residual voltage] – wartość szczytowa napięcia, jakie pojawia się między zaciskami ogranicznika przepięć podczas przepływu prądu wyładowczego.
- 1.4.1.12.16 **Napięcie zapłonu (ogranicznika iskiernikowego) U_{as}** [sparkover voltage] – maksymalna wartość napięcia przed wystąpieniem przebicia przerwy między elektrodami ogranicznika iskiernikowego.

- 1.4.1.12.17 **Napięciowy poziom ochrony ogranicznika przepięć U_p** [protective voltage level of a arrester] – szczytowa wartość napięcia między zaciskami ogranicznika występująca po jego zadziałaniu w wyniku oddziaływania przepięcia o określonej stromości napięcia i prądzie rozładowania o określonej wartości szczytowej i kształcie fali.
- 1.4.1.12.18 **Napięciowy poziom ochrony iskiernikowego ogranicznika przepięć U_p** [protective voltage level of a gapped arrester] – szczytowa wartość napięcia, deklarowana przez dostawcę, większa niż największa z trzech następujących wartości napięcia między zaciskami ogranicznika: napięcie obniżone przy prądzie I_n , najwyższe impulsowe napięcie zapłonu przy udarze piorunowym normalnym i najwyższe napięcie zapłonu na czole udaru podzielone przez 1,15.
- 1.4.1.12.19 **Napięciowy poziom ochrony beziskiernikowego ogranicznika przepięć U_p** [protective voltage level for gapless arrester] – impulsowy poziom ochrony ogranicznika, obejmujący najwyższe napięcie obniżone przy znamionowym prądzie wyładowczym I_n .
- 1.4.1.12.20 **Prąd trwały beziskiernikowego ogranicznika przepięć I_c** [continuous current of a gapless arrester] – prąd płynący przez ogranicznik pod wpływem doprowadzonego napięcia trwałej pracy.
- 1.4.1.12.21 **Prąd następczy I_f** [follow current] – prąd płynący przez ogranicznik przepięć pod wpływem napięcia sieci po przepływie udarowego prądu wyładowczego. Prąd następczy różni się znacznie od trwałego prądu pracy I_c .
- 1.4.1.12.22 **Prąd udarowy I_{imp}** [impulse current] – prąd płynący przez ogranicznik w określonym czasie, definiowany przez wartość szczytową I_{peak} , przenoszony ładunek QT oraz energię właściwą W/R, sprawdzany zgodnie z sekwencją próby działania, prąd udarowy (w próbie klasy I ograniczników przepięć) o kształcie 10/350 μ s w kA.
- 1.4.1.12.23 **Prąd wyładowczy największy I_{max} w próbie klasy II** [maximum discharge current I_{max} for class II test] – wartość szczytowa prądu udarowego 8/20 μ s przepływającego przez ogranicznik przepięć, o amplitudzie zgodnej z sekwencją próby działania klasy II. Prąd I_{max} jest większy od prądu I_n .
- 1.4.1.12.24 **Prąd zwarciovzy znamionowy ogranicznika przepięć I_s** [rated short circuit current of an arrester] – wartość maksymalna prądu zwarciovego wytrzymywana przez ogranicznik bez jego uszkodzenia.

- 1.4.1.12.25 **Prąd zwarciový znamionowy ogranicznika przepięć I_{SC}^{DC}** [rated short circuit DC current of an arrester] – wartość maksymalna prądu zwarciového stałego wytrzymywana przez ogranicznik bez jego uszkodzenia.
- 1.4.1.12.26 **Prąd zwarciový znamionowy ogranicznika przepięć przy prądzie zmiennym I_{SC}^{AC}** [rated short circuit AC current of an arrester] – wartość maksymalna prądu zwarciového zmiennego wytrzymywana przez ogranicznik bez jego uszkodzenia.
- 1.4.1.12.27 **Prąd zwarciový ogranicznika przepięć przy maksymalnym obciążeniu I_{Sgr}^{AC}** [rated short circuit current of an arrester at maximum load] – wartość maksymalna prądu zwarciového wytrzymywana przez ogranicznik bez jego uszkodzenia przez określony cykl jego pracy, np. 1 raz przez 250 ms dla prądu zmiennego o częstotliwości 50 Hz.
- 1.4.1.12.28 **Zdolność przenoszenia ładunku Q_T** [charge transfer capability] – maksymalny ładunek w impulsie, który może być przenoszony podczas testu przenoszenia ładunku oraz testu obciążalności roboczej.

1.4.2. Skróty nazw technicznych

AC	[<i>ang.</i> alternating current] prąd przemienny
BOT	bezzłączowy obwód torowy
CA	[<i>ang.</i> catenary wire] lina nośna sieci jezdnej
CCZ	[<i>ang.</i> current collector zone] strefa odbieraka prądu
CW	[<i>ang.</i> contact wire] przewód jezdny
CWH	[<i>ang.</i> contact wire height] wysokość zawieszenia przewodu jezdnego (nad poziomem główki szyny)
CWR	[<i>ang.</i> continuous welded rail] tor bezстыkowy
DC	[<i>ang.</i> direct current] prąd stały
DSAT	detekcja stanów awaryjnych taboru
ESD	[<i>ang.</i> electrostatic discharge] wyładowanie elektrostatyczne
ELV	[<i>ang.</i> extra-low voltage] napięcie bardzo niskie (nie większe niż AC 50 V bądź DC o pomijalnym tętnieniu 120 V)
EON	elektroniczny obwód (torowy) nakładany
Eor	elektryczne ogrzewanie rozjazdów
ERTMS	[<i>ang.</i> European Rail Traffic Management System] Europejski System Zarządzania Ruchem Kolejowym
EZZ	urządzenie ochrony ziemnozwarciowej (w podstacji trakcyjnej)
FB	[<i>ang.</i> functional bonding] połączenie wyrównawcze funkcjonalne
FELV	[<i>ang.</i> functional extra-low voltage] obwód napięcia bardzo niskiego dla celów funkcjonalnych (oddzielony galwanicznie od innych obwodów)
GSM-R	[<i>ang.</i> Global System for Mobile communications – Railways] Globalny System Kolejowej Radiokomunikacji Ruchomej
HP	[<i>ang.</i> highest point of the overhead contact line] najwyższy punkt górnej sieci jezdnej
HV	[<i>ang.</i> high voltage] wysokie napięcie
IEV	[<i>ang.</i> International Electrotechnical Vocabulary; Electropedia] Międzynarodowy Słownik Elektrotechniczny; Elektropedia
IMD	[<i>ang.</i> insulation monitoring device] urządzenie do stałej kontroli stanu izolacji doziemnej
ISA	[<i>ang.</i> Independent Safety Assessor] niezależny organ ds. oceny bezpieczeństwa

KLK	kategoria linii kolejowej
L	[<i>ang.</i> line (conductor, terminal, busbar)] (przewód, zacisk, szyna) liniowy(a)
L1 L2 L3	Trzy przewody liniowe układu trójfazowego
L+ L-	Dwa przewody liniowe układu prądu stałego
LCS	Lokalne Centrum Sterowania ruchem kolejowym na określonym odcinku linii kolejowej
LEMP	[<i>ang.</i> lightning electromagnetic pulse] piorunowy impuls elektromagnetyczny
LEU	[<i>ang.</i> lineside electronic unit] Elektroniczny Koder Przytorowy - urządzenie przetwarzające sygnały z urządzeń przytorowych na odpowiednie sygnały eurobalis
LPL	[<i>ang.</i> lightning protection level] poziom ochrony odgromowej
LPS	[<i>ang.</i> lightning protection system] urządzenie piorunochronne
LPZ	[<i>ang.</i> lightning protection zone] strefa ochrony odgromowej
LV	[<i>ang.</i> low voltage] niskie napięcie
M	[<i>ang.</i> mid-point (conductor, terminal, busbar)] (przewód, zacisk, szyna) środkowy(a), np. w układzie prądu stałego
MEB	[<i>ang.</i> main equipotential busbar] główna szyna wyrównawcza
MTBF	[<i>ang.</i> mean time between failure] średni czas pracy między uszkodzeniami
MV	[<i>ang.</i> medium voltage] średnie napięcie
N	[<i>ang.</i> neutral (conductor, terminal, busbar)] (przewód, zacisk, szyna) neutralny(a)
nN	napięcie niskie
OCL	[<i>ang.</i> overhead contact line] górna sieć jezdna
OCLZ	[<i>ang.</i> overhead contact line zone] strefa górnej sieci jezdnej
OCS	[<i>ang.</i> overhead contact line system] system górnej sieci jezdnej
PB	[<i>ang.</i> protective bonding] połączenie wyrównawcze ochronne
PBE	[<i>ang.</i> protective bonding earthed] uziemione połączenie wyrównawcze ochronne
PBU	[<i>ang.</i> protective bonding unearthed] nieuziemione połączenie wyrównawcze ochronne
PE	[<i>ang.</i> protective earthing (conductor, terminal, busbar)] (przewód, zacisk, szyna) ochronny(a)

PELV	[<i>ang. protective extra-low voltage</i>] obwód napięcia bardzo niskiego dla celów bezpieczeństwa (napięcia bardzo niskiego ze źródła bezpiecznego) z uziemieniem funkcjonalnym
PEN	[<i>ang. combining protective earthing and neutral (conductor, terminal, busbar)</i>] (przewód, zacisk, szyna) ochronno-neutralny(a)
RAMS	[<i>ang. reliability, availability, maintainability, safety</i>] Procedura skojarzonego planowania, kształtowania i wykazywania jakości czterech parametrów (niezawodności, dyspozycyjności, podatności utrzymaniowej i bezpieczeństwa) urządzeń oraz systemów
RCBO	[<i>ang. residual current operated circuit-breaker with integral overcurrent protection</i>] wyłącznik różnicowoprądowy z wbudowanym zabezpieczeniem nadprądowym
RCCB	[<i>ang. residual current operated circuit-breaker without integral overcurrent protection</i>] wyłącznik różnicowoprądowy bez wbudowanego zabezpieczenia nadprądowego
RCD	[<i>ang. residual current device</i>] urządzenie różnicowoprądowe
RBC	[<i>ang. Radio Block Centre</i>] radiowe centrum sterowania
rms	[<i>ang. root mean square</i>] średnia kwadratowa (wartość skuteczna)
RSS	[<i>ang. rectifier substation</i>] podstacja prostownikowa
sbl	samoczynna blokada liniowa
SCPD	[<i>ang. short-circuit protective device</i>] zabezpieczenie zwarciove
SELV	[<i>ang. safety extra-low voltage</i>] obwód napięcia bardzo niskiego dla celów bezpieczeństwa (napięcia bardzo niskiego ze źródła bezpiecznego) bez uziemienia funkcjonalnego
SIL	[<i>ang. safety integrity level</i>] poziom nienaruszalności bezpieczeństwa
SPD	[<i>ang. surge protective device</i>] ogranicznik przepięć
srk	sterowanie ruchem kolejowym
SSP	samoczynna systemy przejazdowe
SWS	[<i>ang. switching station</i>] kabina sekcyjna
TCL	[<i>ang. track centre line</i>] oś toru
TES	[<i>ang. traction electrification system</i>] system trakcji elektrycznej
THR	[<i>ang. tolerable hazard rate</i>] współczynnik tolerowanego zagrożenia
TOR	[<i>ang. top of rail level</i>] poziom główki szyny
TSI	[<i>ang. Technical Specifications for Interoperability</i>] Techniczne specyfikacje

	interoperacyjności
układ IT	sieć/installacja niskiego napięcia bez uziemienia funkcjonalnego, w której przy pierwszym uszkodzeniu pętla zwarcia doziemnego zamyka się przez doziemne pojemności i upływności UWAGA: Klasyfikacja IT, TN, TT nie dotyczy obwodów bardzo niskiego napięcia ELV ani sieci/installacji wysokiego napięcia HV.
układ TN	sieć/installacja niskiego napięcia z uziemieniem funkcjonalnym, w której przy pierwszym uszkodzeniu pętla zwarcia doziemnego jest metaliczna, składająca się głównie z przewodów
układ TT	sieć/installacja niskiego napięcia z uziemieniem funkcjonalnym, w której przy pierwszym uszkodzeniu pętla zwarcia doziemnego zamyka się przez ziemię (uziemienie ochronne i uziemienie funkcjonalne)
UZK	urządzenie zdalnej kontroli
VLD	[<i>ang.</i> voltage-limiting device] ogranicznik napięcia dotykowego
VLD-F	VLD działający przy uszkodzeniu izolacji głównej sieci jezdnej
VLD-O	VLD działający przy przerwaniu ciągłości sieci powrotnej
VLD-O+F	VLD łączący funkcje VLD-O oraz VLD-F
WN	napięcie wysokie
WS	wyłącznik szybki
ZOP	złącze ochrony przed przepięciami

1.4.3. Oznaczenia wielkości fizycznych

1.4.3.1. Podstawowe parametry urządzeń elektrycznych

U_n	napięcie nominalne (sieci, urządzenia) [nominal voltage]
U_{Ne}	napięcie znamionowe (urządzenia) [rated voltage]
U_{max}	najwyższe dopuszczalne napięcie robocze [highest system voltage]
U_{min}	najniższe dopuszczalne napięcie robocze [lowest system voltage]

1.4.3.2. Izolacja urządzeń

U_{Nm}	napięcie znamionowe izolacji [rated insulation voltage]
U_a	napięcie przemienne wytrzymywane (na sucho i na mokro) [power-frequency voltage withstand level (dry and wet)]
U_{Ni}	znamionowe napięcie wytrzymywane udarowe [rated impulse withstand voltage]

U_{max1}	napięcie najwyższe trwałe [highest permanent voltage]
U_{max2}	napięcie najwyższe nietrwałe [highest non permanent voltage]
U_{min1}	napięcie najniższe trwałe [lowest permanent voltage]
U_{min2}	napięcie najniższe nietrwałe [lowest non permanent voltage]
U_{max3}	przebiecie długotrwałe [highest long term overvoltage]

1.4.3.3. Obciążalność cieplna urządzeń

I_{Ne}	prąd znamionowy (przy pracy ciągłej) [rated service current]
I_{th}	prąd umowny cieplny bez obudowy [conventional free-air thermal current]
I_{the}	prąd umowny cieplny w obudowie [conventional enclosed thermal current]

1.4.3.4. Ochrona od porażen prądem elektrycznym

U_b	napięcie rażeniowe [body voltage]
U_{tp}	napięcie dotykowe spodziewane [prospective touch voltage]
U_{RE}	potencjał szyn [rail potential]
G'_{RE}	doziemna konduktancja jednostkowa szyn [conductance rails-to-ground per length]
R'_{RE}	doziemna rezystancja jednostkowa szyn [resistance rails-to-ground per length]
U_o	nominalne napięcie przewodu liniowego względem ziemi [nominal line to earth voltage]
I_a	prąd wyłączający urządzenia zabezpieczającego (najmniejszy prąd powodujący samoczynne wyłączenie zasilania w określonym czasie) [current causing the automatic disconnection of supply within the specified time]
$I_{\Delta n}$	znamionowy prąd różnicowy zadziałania urządzenia różnicowoprądowego [rated residual operating current of the RCD]
R_A	rezystancja uziemienia (od głównego zacisku lub szyny uziemiającej do ziemi odniesienia) [sum of the resistance of the earth electrode and the protective conductor]
R_B	wypadkowa rezystancja uziemienia wszystkich uziemień funkcjonalnych (w układzie TN) [earth electrode resistance of all earth electrodes in parallel]

R_E	najmniejsza możliwa rezystancja przejścia między przewodem liniowym a ziemią odniesienia w razie zwarcia doziemnego z pominięciem przewodu ochronnego (zerwany przewód linii napowietrznej układu TN) [minimum contact resistance with earth of extraneous-conductive parts not connected to a protective conductor, through which a fault between line and earth may occur]
Z_s	impedancja pętli zwarciowej [impedance of the fault loop]
I_s	prąd błądzący [stray current]

1.4.3.5. Ochrona odgromowa

N_g	gęstość doziemnych wyładowań piorunowych (aut. na 1 km ²) [lightning ground flash density]
-------	--

1.4.3.6. Ochrona przed przepięciami

A	odległość między kolejnymi ogranicznikami iskiernikowymi górnej sieci jezdnej ($a/2$ - odległość między ogranicznikiem iskiernikowym a ogranicznikiem warystorowym)
B	odległość pierwszego ogranicznika warystorowego górnej sieci jezdnej w danej sekcji zasilania od izolatora sekcyjnego
D	odstęp między elektrodami odgromnika rozkowego
I_c	prąd trwały beziskiernikowego ogranicznika przepięć [continuous current of a gapless arrester]
I_f	prąd następczy [follow current]
I_{imp}	zdolność odprowadzania prądów piorunowych [lightning impulse current discharge capacity]
I_{max}	największy prąd wyładowczy 8/20 μ s (w próbie klasy II ograniczników przepięć) [maximum discharge current 8/20 μ s for class II test]
I_n	prąd wyładowczy znamionowy ogranicznika [nominal discharge current of an arrester]
I_{peak}	wartość szczytowa prądu udarowego [crest value of a discharge current]
I_s	znamionowy prąd zwarciowy ogranicznika przepięć [rated short circuit current of an arrester]
I_{S}^{AC}	znamionowy prąd zwarciowy ogranicznika przepięć przy prądzie zmiennym [rated short circuit AC current of an arrester]
I_{Sgr}^{AC}	prąd zwarciowy ogranicznika przepięć przy maksymalnym obciążeniu [rated

	short circuit current of an arrester]
I_{DC}	znamionowy prąd zwarciovyy ogranicznika przepięć przy prądzie stałym [rated short circuit DC current of an arrester]
Q_T	zdolność przenoszenia ładunku w [As] [charge transfer capability]
U_{as}	napięcie zapłonu (ogranicznika iskiernikowego) [sparkover voltage]
U_c	napięcie trwałej pracy ogranicznika przepięć [maximum continuous operating voltage of an arrester]
U_p	napięciowy poziom ochrony (ogranicznika przepięć) [protective voltage level of an arrester]
U_r	napięcie znamionowe ogranicznika przepięć [rated voltage of an arrester]
U_{DC}	napięcie znamionowe ogranicznika przepięć przy prądzie stałym [rated DC voltage of an arrester]
$U_{r\ imp}$	znamionowe napięcie udarowe wytrzymywane [rated impulse withstand voltage]
U_{res}	napięcie obniżone (ogranicznika przepięć) [residual voltage (of an arrester)]
U_w	napięcie wytrzymywane [withstand voltage]
W/R	energia właściwa [specific energy of impulse current]

1.4.3.7. **Ograniczniki napięcia dotykowego VLD**




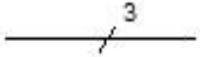




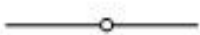


I_{imp-hc}	prąd impulsu dużej energii [high charge impulse current]
I_L	prąd upływowy ogranicznika napięcia dotykowego [leakage current of a voltage limiting device]
I_r	prąd znamionowy ogranicznika napięcia dotykowego [rated current of a voltage limiting device]
I_w	prąd krótkotrwały wytrzymywany ogranicznika napięcia dotykowego [short time withstand current of a voltage limiting device]
U_r	napięcie przewodzenia ogranicznika napięcia dotykowego [rated voltage of a voltage limiting device]
U_{res}	napięcie znamionowe ogranicznika napięcia dotykowego [residual voltage of a voltage limiting device]
U_{Tn}	napięcie przełączania nominalne; nominalne napięcie przełączania ogranicznika napięcia dotykowego [nominal triggering voltage of a voltage limiting device]
U_w	napięcie nieprzełączania ogranicznika napięcia dotykowego [non-triggering voltage of a voltage limiting device]






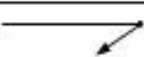

1.4.3.8. **Wyłączniki szybkie**

I_{ss}	wartość szczytowa spodziewanego prądu zwarciovego [peak of the short-circuit current]
I_{Nss}	znamionowy prąd zwarciovowy wytrzymywany (wyłącznika szybkiego) [rated sustained short-circuit current]
I_{Ncw}	znamionowy prąd krótkotrwały wytrzymywany (wyłącznika szybkiego) [rated short-time withstand current]
$I_{cut\ off}$	prąd ograniczony (wyłącznika szybkiego) [cut-off current (of the DC circuit-breaker)]
I_{cr}	prąd krytyczny (wyłącznika szybkiego) [critical current (of the DC circuit-breaker)]









1.4.4. Symbole graficzne stosowane w schematach i planach






1.4.4.1. Przewody i ich połączenia

Lp.	Symbol graficzny	Objaśnienie
1.		przewód ułożony na stałe
2.		przewód ruchomy (giętki)
3.	lub  	linia 3-przewodowa np. przewód 3-żyłowy
4.		przewód neutralny N
5.		przewód ochronny PE
6.		przewód ochronno-neutralny PEN
7.		linia trójfazowa 3L+N+PE (3 przewody liniowe, przewód neutralny i przewód ochronny)
8.		linia napowietrzna
9.		linia podwodna
10.		linia podziemna
11.	•	połączenie przewodów
12.	○	zacisk przyłączeniowy (rozłączalny)



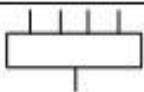


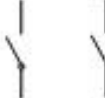



13.		listwa zaciskowa
14.		odgałęzienie od przewodu
15.	 	skrzyżowanie przewodów z połączeniem elektrycznym bez połączenia elektrycznego
16.		linia odchodząca do góry
17.		linia odchodząca w dół
18.		linia przechodząca pionowo








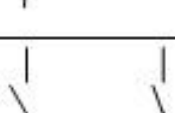
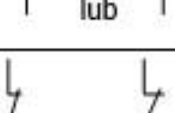
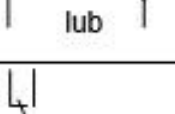
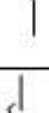
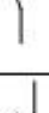

1.4.4.2. Ochrona od porażen prądem elektrycznym

Lp.	Symbol graficzny	Objaśnienie
1.		Trzy klasy ochronności urządzeń klasa ochronności I
2.		klasa ochronności II (dwa współśrodkowe kwadraty o stosunku boków 1:2)
3.		klasa ochronności III
4.		uziemienie (symbol ogólny)
5.		uziemienie ochronne
6.		Oznaczenia przewodów i ich zacisków przewód ochronny (PE)
7.		przewód wyrównawczy ochronny (PB)
8.		przewód wyrównawczy funkcjonalny (FB)

9.		przewód uziemienia funkcjonalnego (FE)
10.		wyłącznik różnicowoprądowy RCD o typie wyzwalania jak niżej
11.	 lub AC	RCD reagujący tylko na prąd różnicowy sinusoidalny 50/60 Hz (wyłącznik niezalecany)
12.	 lub A	RCD reagujący ponadto na prądy stałe pulsujące o dużym tętnieniu
13.		ogranicznik napięcia dotykowego (VLD)

1.4.4.3. Aparaty łączeniowe i urządzenia stacyjne


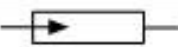

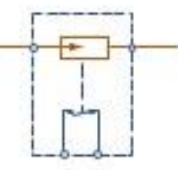
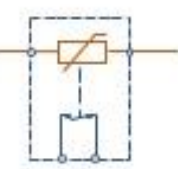
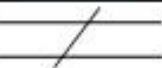
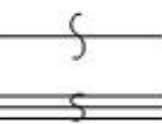
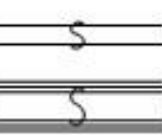

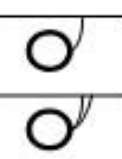

Lp.	Symbol graficzny	Objaśnienie
1.		stacja elektroenergetyczna
2.		stacja elektroenergetyczna planowana
3.		rozdzielnica
4.		linia podziału między polami rozdzielnicy
5.		łącze wtykowe
6.		łącznik (symbol ogólny)
7.		odłącznik
8.		rozłącznik
9.		rozłącznik izolacyjny

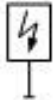
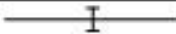



10.		rozłącznik bezpiecznikowy izolacyjny
11.		stycznik (zwierny)
12.		stycznik rozwierny
13.		wyłącznik
14.		łącznik statyczny (symbol ogólny)
15.		stycznik statyczny
16.		łącznik statyczny spolaryzowany
17.		zestyk zwierny
18.		zestyk rozwierny
19.		zestyk przełączny przerwowy
20.		zestyk zwierny o przyspieszonym zamykaniu (w stosunku do innych styków zespołu wielostykowego)
21.		zestyk zwierny o opóźnionym zamykaniu (w stosunku do innych styków zespołu wielostykowego)
22.		zestyk rozwierny o opóźnionym otwieraniu (w stosunku do innych styków zespołu wielostykowego)

23.		zestyk rozwierny o przyspieszonym otwieraniu (w stosunku do innych styków zespołu wielostykowego)
24.		wyłącznik nadprądowy instalacyjny
25.		bezpiecznik topikowy
26.		zestyk przełączny wybiórczy (o położeniu neutralnym styku ruchomego)

1.4.4.4. Urządzenia trakcyjne

Lp.	Symbol graficzny	Objaśnienie
1.		przewód sieci jezdnej: projektowanej istniejącej lub objętej innym projektem
2.		przewód wzmacniający: projektowany istniejący lub objęty innym projektem
3.		przewód uszynienia grupowego napowietrzny: projektowany istniejący lub objęty innym projektem
4.		przewód uszynienia grupowego podziemny: projektowany istniejący lub objęty innym projektem
5.		izolator sekcyjny
6.		odgromnik różkowy
7.		odgromnik zaworowy

8.		iskiernik
9.		ogranicznik przepięć iskiernikowy
10.		ogranicznik przepięć beziskiernikowy, warystor
11.		ogranicznik przepięć iskiernikowy z sygnalizacją stanu uszkodzenia
12.		ogranicznik przepięć warystorowy z sygnalizacją stanu uszkodzenia
13.		połączenie elektryczne między przewodami sieci jezdnych
14.		łącznik międzytokowy jeżeli tor jest narysowany jedną linią jeżeli tor jest narysowany dwiema liniami
15.		łącznik międzytorowy jeżeli tor jest narysowany jedną linią jeżeli tor jest narysowany dwiema liniami
16.		doprowadzenie zasilania: linią kablową linią napowietrzną
17.		uszynienie bezpośrednie: pojedyncze podwójne
18.		złączka w sieci jezdnej

19.		tablica ostrzegawcza na peronie lub przed przejazdem
20.		złącze izolowane odcinków obwodów torowych
21.		dławik torowy
22.		elektroniczny obwód nakładany (EON)
23.		bezzłączowy obwód torowy (SOT)

1.5. Spis tabel i rysunków

1.5.1. Spis tabel

Tabela 2.1.1.	Bezpośrednie skutki rażenia prądem przemiennym (15÷100) Hz	52
Tabela 2.1.2.	Bezpośrednie skutki rażenia prądem stałym o kierunku wstępującym	53
Tabela 2.7.1.	Rodzaje uszynienia	77
Tabela 2.7.2.	Największe dopuszczalne wymiary małych części przewodzących niepodlegających uszynieniu, znajdujących się w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej wg PN-EN 50122-1:2011	82
Tabela 2.7.3.	Parametry napięcia przebicia rozmaitych powłok elektroizolacyjnych	86
Tabela 2.7.4.	Środki ochrony od porażeń przy konstrukcjach naziemnych z wyposażeniem elektrycznym w bezpośrednim pobliżu metalowego słupa trakcyjnego	91
Tabela 3.3.1.	Największe dopuszczalne napięcie dotykowe rażeniowe $U_{te,max}$ zależnie od czasu rażenia *) t wg PN-EN 50122-1:2011	109
Tabela 3.3.2.	Największe dopuszczalne wymiary małych części przewodzących niepodlegających uszynieniu, znajdujących się w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej wg PN-EN 50122-1:2011	112
Tabela 3.9.1.	Największy dopuszczalny czas wyłączenia zasilania w sekundach dla obwodów odbiorczych o prądzie znamionowym nieprzekraczającym 32 A	119
Tabela 3.10.1.	Klasy ograniczników napięcia dotykowego VLD według normy PN-EN 50526-2:2014-09	125
Tabela 4.4.1.	Klasyfikacja źródeł zagrożeń piorunowych infrastruktury kolejowej i rodzaje oddziaływania	130
Tabela 4.7.1.	Charakterystyka europejskiego systemu napięciowego trakcji DC 3 kV: napięcie znamionowe i jego poziomy ograniczające z podziałem w odniesieniu do czasu trwania	141

Tabela 4.9.1.	Spadki napięć na całkowitej indukcyjności podłączeń ogranicznika przepięć	151
Tabela 5.1.1.	Klasyfikacja poziomu ochrony odgromowej sieci trakcyjnej dla różnych kategorii linii kolejowej	153
Tabela 5.2.1.	Klasa LPS i odpowiadające jej maksymalne wartości prądu pioruna przyjmowane do założeń projektowych wg PN-EN 62305-1:2011	155
Tabela 5.2.2.	Parametry zewnętrznego urządzenia piorunochronnego (LPS) w zależności od jego klasy i odpowiadających im poziomów ochrony odgromowej (LPL)	158
Tabela 5.3.1.	Odległości przyjmowane dla lokalizacji elementów ochrony przed przepięciami wzdłuż trasy sekcji zasilania sieci trakcyjnej DC 3 kV	161
Tabela 5.3.2.	Odgromnik różkowy – minimalne wymagane parametry techniczne	164
Tabela 5.5.1.	Materiały i najmniejsze dopuszczalne wymiary poprzeczne drutów stosowanych na uziomy poziome	174
Tabela 5.5.2.	Materiały i najmniejsze dopuszczalne wymiary poprzeczne płaskowników stosowanych na uziomy poziome	174
Tabela 5.5.3.	Materiały i najmniejsze dopuszczalne wymiary poprzeczne prętów stosowanych na uziomy pionowe	175
Tabela 5.5.4.	Materiały i najmniejsze dopuszczalne wymiary przewodów uziemiających	177
Tabela 5.5.5.	Materiały i najmniejsze dopuszczalne wymiary elementów stosowanych jako połączenia wyrównawcze	181
Tabela 6.3.1.	Minimalne odległości między kablami ułożonymi w ziemi	184

1.5.2. Spis rysunków

Rys. 2.1.1.	Krzywe graniczne reakcji organizmu człowieka przy rażeniu prądem przemiennym o częstotliwości (15÷100) Hz na drodze lewa ręka – stopy, wg IEC TS 60479-1:2005	51
Rys. 2.1.2.	Krzywe graniczne reakcji organizmu człowieka przy rażeniu prądem stałym o pomijalnym tętnieniu, o kierunku wstępującym od stóp do lewej ręki, wg IEC TS 60479-1:2005	51
Rys. 2.1.3.	Kierunek przepływu prądu ważny przy rażeniu prądem stałym na drodze ręka – stopy oraz ręka – ręka:	54
Rys. 2.2.1.	Strefa oddziaływania trakcji elektrycznej; strefa górnej sieci jezdnej OCLZ i strefa pantografu CCZ (wg PN-EN 50122-1:2011)	58
Rys. 2.5.1.	Dotyk bezpośredni – rażenie na drodze ręka – stopy	67
Rys. 2.5.2.	Dotyk pośredni – rażenie na drodze ręka – stopy	67
Rys. 2.6.1.	Przykład wymagań stawianych przesłonie przeciwporażeniowej na obszarze ogólnie dostępnym	73

Rys. 2.6.2.	Przykład wymagań stawianych przesłonie przeciwporażeniowej na obszarze ogólnie dostępnym.....	74
Rys. 2.6.3.	Drabiniaste konstrukcje wsporcze ułatwiające wspinanie się	75
Rys. 2.6.4.	Gładkopowierzchniowe konstrukcje wsporcze utrudniające wspinanie się	75
Rys. 2.7.1.	Słup trakcyjny, który wchodzi w skład systemu grupowego uszynienia otwartego:	78
Rys. 2.7.2.	System zasilania trakcji elektrycznej DC o napięciu 3 kV z uszynieniem otwartym	80
Rys. 2.7.3.	Sekcja izolująca w przewodzącym ogrodzeniu prostopadłym do osi toru	81
Rys. 2.7.4.	Usytuowanie uziomu wyrównawczego na peronie stacji osobowej	82
Rys. 2.7.5.	Sygnalizator w bezpośrednim pobliżu słupa (w odległości nieprzekraczającej 2,50 m). Stan wyjściowy, bez uzupełniających środków ochrony – napięcie dotykowe U_T o niebezpiecznie dużej wartości utrzymuje się do chwili wyłączenia zasilania w podstacji trakcyjnej	83
Rys. 2.7.6.	Sygnalizator w bezpośrednim pobliżu słupa z grupowym uszynieniem otwartym, z zastosowaniem bezpośredniego wyrównania potencjałów konstrukcji obydwu słupów przez połączenie ich przewodem wyrównawczym oraz uszynienie masztu sygnalizatora przez VLD	87
Rys. 2.7.7.	Sygnalizator w bezpośrednim pobliżu słupa z grupowym uszynieniem otwartym z zastosowaniem zasady podwójnej lub wzmocnionej izolacji obwodu zasilania lamp sygnałowych 230 V 50 Hz w maszcie sygnalizatora: przewody o dwóch warstwach izolacyjnych (izolacja podstawowa + powłoka albo giętka rura izolacyjna); skrzynki i puszki łączeniowe o obudowach izolacyjnych).....	88
Rys. 2.7.8.	Sygnalizator w bezpośrednim pobliżu słupa z grupowym uszynieniem otwartym z zastosowaniem pośredniego wyrównania potencjałów konstrukcji obydwu słupów przez ogranicznik napięć dotykowych (VLD)	89
Rys. 2.7.9.	Sygnalizator w bezpośrednim pobliżu słupa z grupowym uszynieniem otwartym z zastosowaniem malowania jednego ze słupów powłoką elektroizolacyjną (np. lepikiem asfaltowym) o wartości średniej napięcia przebicia większej niż 3 kV 90	
Rys. 2.8.1a.	Wykorzystanie układu TN do zasilania kolejowych urządzeń przytorowych znajdujących się w strefie oddziaływania	94
Rys. 2.8.2a.	Wykorzystanie układu TT do zasilania kolejowych urządzeń przytorowych znajdujących się w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej; ochrona przy dotyku pośrednim kolejowych urządzeń przytorowych niskiego napięcia jest realizowana przez samoczynne wyłączenie zasilania z wykorzystaniem zabezpieczeń nadprądowych	99

Rys. 2.8.3.	Nieuziemione połączenia wyrównawcze łączące części przewodzące dostępne w obwodzie separowanym. PBU (ang. protective bonding unearthed) – przewód wyrównawczy ochronny nieuziemiony.....	102
Rys. 2.8.4.	Przepływ prądu w układzie IT (bez przewodu neutralnego) przy dwumiejscowym zwarciu z ziemią,	103
Rys. 3.2.1.	Najmniejsze dopuszczalne odstępy izolacyjne powietrzne (w metrach) między gołymi częściami czynnymi trakcji wysokiego napięcia a stanowiskiem dostępnym (wg PN-EN 50122-1:2011).....	106
Rys. 3.3.1.	Największe dopuszczalne napięcie dotykowe rażeniowe w funkcji czasu przepływu prądu rażeniowego DC (wg PN-EN 50122-1:2011),	108
Rys. 4.5.1.	Mapa średniej gęstości doziemnych wyładowań piorunowych odniesiona do linii kolejowych w latach 2011÷2015.....	133
Rys. 4.6.1.	Przewody uszynienia grupowego nad siecią trakcyjną DC 3 kV	136
Rys. 4.6.2.	Sposoby włączenia ograniczników przepięć do ochrony systemu zasilania trakcji elektrycznej o napięciu DC 3 kV z uszynieniem bezpośrednim i uszynieniem otwartym grupowym	137
Rys. 4.6.3.	Definicja parametrów krótkotrwałego impulsu piorunowego	138
Rys. 4.6.4.	Porównanie kształtów udarów prądu pioruna (10/350 μ s)	140
Rys. 4.7.1.	Podział największych spodziewanych wartości napięcia zasilającego w sieci trakcyjnej wg czasu trwania (na podstawie , podziałka logarytmiczna).....	142
Rys. 4.9.1.	Napięcie ograniczania rzeczywistego układu z ogranicznikiem przepięć.....	149
Rys. 4.9.2.	Wpływ sposobu włączenia ograniczników przepięć w chroniony obwód na rzeczywiste napięcie ograniczania	150
Rys. 5.2.1.	Porównanie metod kąta ochronnego i toczącej się kuli, gdzie: α - kąt ochronny, R – promień toczzonej kuli.....	157
Rys. 5.2.2.	Idea wyznaczania stref ochrony odgromowej sieci trakcyjnej	159
Rys. 5.2.3.	Strefy ochrony odgromowej (LPZ) linii wielotorowej z uszynieniem	159
Rys. 5.4.1.	Zalecana lokalizacja złącza ochrony przed przepięciami (ZOP) przy kontenerze	167
Rys. 5.4.2.	Dopuszczalna lokalizacja ograniczników przepięć wewnątrz dedykowanej przestrzeni w zewnętrznej szafie aparaturowej lub w kontenerze,	167
Rys. 5.5.1.	Minimalna głębokość pograżania uziomów w gruncie h_z określona na podstawie mapy stref przemarzania gruntu w Polsce wg PN-81/B-03020.....	173
Rys. 6.4.1.	Wykonanie przepustów kablowych pod torami.....	185

2. Charakterystyka i ogólne wymagania stawiane ochronie przed porażeniem prądem elektrycznym

2.1. Zagrożenie porażeniem prądem elektrycznym – przyczyny, przebieg i skutki

2.1.1. Skutki porażenia prądem – pierwotne kryteria bezpieczeństwa

2.1.1.1. Do rażenia prądem elektrycznym dochodzi, kiedy człowiek dotyka jednocześnie dwóch punktów, między którymi występuje napięcie, czyli różnica potencjałów. Tuż przed dotknięciem tych części występuje między nimi napięcie dotykowe spodziewane, czyli siła elektromotoryczna obwodu rażeniowego. Człowiek dotykając ich zamyka ten obwód i napięcie między wspomnianymi punktami może się zmniejszyć. Na rezystancji ciała człowieka występuje wtedy napięcie dotykowe rażeniowe. Przy rażeniu na drodze ręka – stopy może być ono nawet wielokrotnie mniejsze od napięcia dotykowego spodziewanego, jeżeli człowiek stoi na źle przewodzącym albo izolacyjnym stanowisku i/lub ma obuwie źle przewodzące albo elektroizolacyjne.

2.1.1.2. O bezpośrednich skutkach rażenia decyduje wiele czynników, z których dwa pierwsze w poniższym wyliczeniu są najważniejsze:

- a) **wartość prądu rażeniowego** płynącego przez ciało, wynikająca z ilorazu napięcia obwodu rażeniowego i jego sumarycznej rezystancji obejmującej ciało człowieka na drodze przepływu prądu ($500\div 2000\ \Omega$) oraz inne składniki: obuwie, stanowisko, warunki środowiskowe itd.,
- b) **czas rażenia**, czyli czas przepływu prądu rażeniowego do chwili samoczynnego wyłączenia zasilania lub do chwili uwolnienia rażonego spod napięcia przez osobę udzielającą pomocy. Skutki rażenia są łagodniejsze przy rażeniu krótkotrwałym, zwłaszcza jeżeli czas rażenia jest mniejszy niż 1 s,
- c) **droga przepływu prądu rażeniowego** – szczególnie groźny jest prąd płynący przez klatkę piersiową (okolice serca), a tak jest w większości wypadków porażenia, kiedy prąd płynie na drodze ręka – ręka lub ręka – stopy,
- d) **rodzaj prądu i jego przebieg w czasie**, a więc czy jest to prąd przemienny i o jakiej częstotliwości, czy prąd stały i o jakim tętnieniu, czy też prąd udarowy przy rozładowaniu pojemności albo przy wyładowaniu atmosferycznym. Przy tej samej wartości szczególnie groźny jest prąd przemienny o częstotliwości ($15\div 100$) Hz.

- e) **uprzedni stan zdrowotny i psychiczny porażonego** – czynnikami ryzyka są zły ogólny stan zdrowia, zwłaszcza dolegliwości kardiologiczne, przemęczenie i stres.

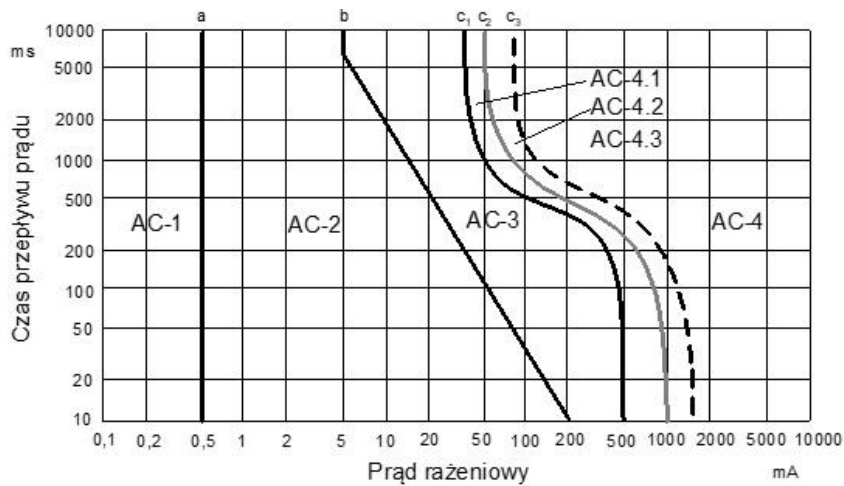
- 2.1.1.3. Wśród wymienionych czynników nie ma napięcia, bo jego znaczenie jest pośrednie. Wpływa ono na wartość prądu rażeniowego bezpośrednio, co wynika z prawa Ohma. Wpływa też pośrednio, bo przy wyższym napięciu mniejsza jest rezystancja ciała. W obu przypadkach decyduje jednak nie napięcie nominalne sieci czy urządzenia, lecz napięcie w doraźnie powstałym obwodzie rażeniowym. Znane są liczne śmiertelne porażenia napięciem AC 70 V z obwodu spawalniczego i znane są ciężkie wypadki porażenia przy urządzeniach o napięciu AC 15 kV, a nawet wyższym, po których okaleczone ofiary żyły wiele lat. Znane są przypadki, gdy osoby porażone - w wyniku zbiegu korzystnych okoliczności – przeżyły porażenie napięciem DC 3 kV. W Polsce w ostatnich latach prąd corocznie zabija sto kilkadziesiąt osób, z czego ogromną większość – podobnie jak w innych krajach – przy urządzeniach niskiego napięcia AC 230 V.
- 2.1.1.4. Na rys. 2.1.1 oraz w tabeli 2.1.1 przedstawiono bezpośrednie skutki rażenia prądem przemiennym (AC), a na rys. 2.1.2 oraz w tabeli 2.1.2 – prądem stałym (DC). W obu sytuacjach dane dotyczą rażenia prądem na drodze lewa ręka – stopy, czyli prądem o kierunku wzdłużnym (wzdłuż ciała), co ma znaczenie z punktu widzenia zagrożenia czynności serca. Z tego samego powodu przy rażeniu prądem stałym ma ponadto znaczenie kierunek prądu: wstępujący czy zstępujący (rys. 2.1.3). Podane wartości liczbowe są graniczne dla całej populacji, reakcje osobnicze mogą się od nich różnić. Te dane stanowią pierwotne kryteria bezpieczeństwa, ważne dla techniki ochrony przeciwporażeniowej.
- 2.1.1.5. Aby dobrze rozumieć mechanizm i skutki rażenia prądem, trzeba zwrócić uwagę na dwa ważne aspekty. Po pierwsze, człowiek nie ma zmysłu, który ostrzegłby go przed grożącym porażeniem, musi się zatem przed nim chronić rozważnym postępowaniem, przestrzeganiem zasad bezpieczeństwa. Po drugie, ważne czynności organizmu są sterowane za pomocą bodźców elektrycznych o bardzo małych wartościach. Dzięki rejestracji tych prądów czynnościowych diagnozuje się pracę serca (elektrokardiogram, ekg), mózgu (elektroencefalogram, eeg), mięśni szkieletowych (elektromiogram, emg), oka (elektroretinogram, erg) i innych organów bądź tkanek. Nawet nieduży prąd

rażeniowy, zwłaszcza zmienny w czasie, zakłóca te naturalne procesy sterowania i może zagrozić życiu:

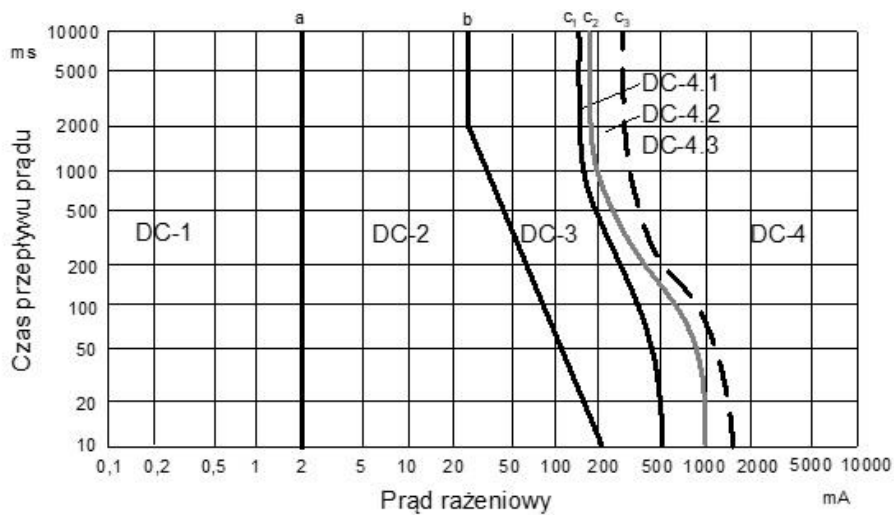
- a) pośrednio – już po przekroczeniu granicy samouwolnienia, kiedy skurcz tężcowy mięśni ręki nie pozwala porażonemu samodzielnie uwolnić się od uchwyconego przedmiotu,
- b) bezpośrednio – w razie zatrzymania oddychania i/lub zatrzymania krążenia krwi, jeżeli nie zostanie podjęta akcja ratownicza przed upływem 4÷6 min, bo po tym czasie rozpoczyna się obumieranie niedotlenionej kory mózgowej.

W takich sytuacjach nierzadko dochodzi do zgonu człowieka, któremu prąd rażeniowy nie uszkodził żadnego organu. On tylko zakłócił naturalne procesy sterowania podstawowych funkcji życiowych, spowodował zatrzymanie krążenia krwi i/lub czynności oddechowej. A po trwałym zatrzymaniu jednej z tych czynności wkrótce nieuchronnie ustaje druga i człowiek umiera, jeżeli nie udzieli mu się natychmiast pomocy, sztucznie przywracając oddychanie i krążenie krwi. Bezczyńne oczekiwanie na pogotowie, które pojawi się w najlepszym razie po kwadransie, oznacza pogodzenie się ze śmiercią osoby wymagającej natychmiastowej pomocy.

- 2.1.1.6. Z punktu widzenia elektropobudliwości tkanek bezpośrednio skutki rażenia wygładzonym prądem stałym (rys. 2.1.2 oraz tabeli 2.1.2) są łagodniejsze niż przy prądzie przemiennym o tej samej wartości (rys. 2.1.1 oraz tabela 2.1.1). Natomiast skutki cieplne (oparzenia) nie zależą od rodzaju prądu, lecz tylko od wartości skutecznej prądu i czasu jego przepływu, a ściślej – od wartości całki Joule'a $\int t$.



Rys 2.1.1. Krzywe graniczne reakcji organizmu człowieka przy rażeniu prądem przemiennym o częstotliwości (15÷100) Hz na drodze lewa ręka – stopy, wg IEC TS 60479-1:2005



Rys 2.1.2. Krzywe graniczne reakcji organizmu człowieka przy rażeniu prądem stałym o pomijalnym tętnieniu, o kierunku wstępującym od stóp do lewej ręki, wg IEC TS 60479-1:2005

Tabela 2.1.1. Bezpośrednie skutki rażenia prądem przemiennym (15÷100) Hz

Strefa I-t	Granice strefy	Skutki fizjologiczne
AC-1	mniej niż 0,5 mA (linia a)	Przepływ prądu nieodczuwalny lub ledwie odczuwalny
AC-2	linia a – linia b	Uczucie mrowienia (skurcze pojedynczych włókien mięśni szkieletowych), rażenie niegroźne
AC-3	linia b – linia c ₁	Możliwy skurcz tężcowy (trwający tak długo, jak długo płynie prąd) mięśni szkieletowych: ręki (rażony nie potrafi uwolnić się od uchwyconej części przewodzącej), klatki piersiowej (zaburzenie czynności oddechowej). Możliwe zaburzenia czynności serca, nasilające się przy większym prądzie i większym czasie jego przepływu
AC-4	na prawo od linii c ₁	Zagrożenie migotaniem (fibrylacją) komór serca, czyli nieskoordynowanymi skurczami włókien mięśnia sercowego, a rzadziej i przy rażeniu dużym prądem – zagrożenie ustaniem czynności elektrycznej mięśnia sercowego. W obydwu sytuacjach ustaje krążenie krwi. Możliwe zaburzenia oddychania, możliwe oparzenia
AC-4.1	c ₁ – c ₂	Prawdopodobieństwo migotania komór serca poniżej 5%
AC-4.2	c ₂ – c ₃	Prawdopodobieństwo migotania komór serca 5÷50%
AC-4.3	powyżej linii c ₃	Prawdopodobieństwo migotania komór serca ponad 50%

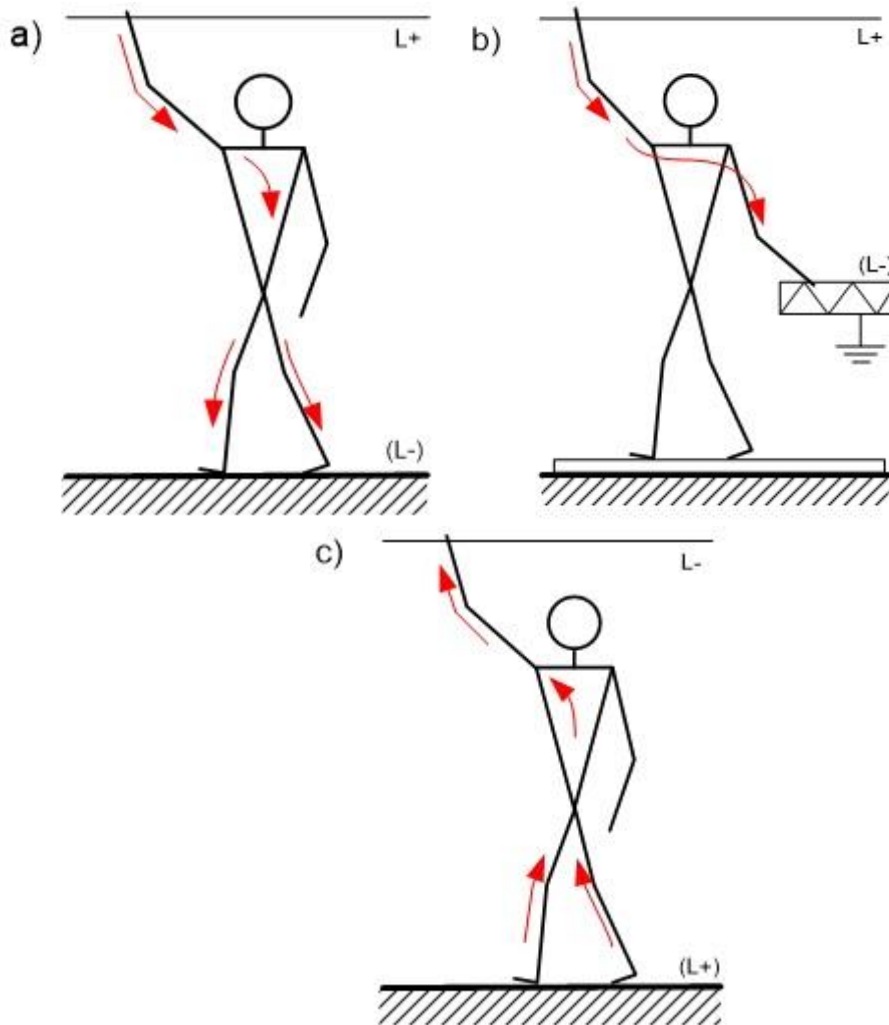
Tabela 2.1.2. Bezpośrednie skutki rażenia prądem stałym o kierunku wstępującym

Strefa I-t	Granice strefy	Skutki fizjologiczne
DC-1	mniej niż 2 mA (linia a)	Przepływ prądu nieodczuwalny, wrażenie lekkiego ułucia przy szybkiej zmianie wartości prądu, w tym przy jego pojawieniu się i zaniku
DC-2	linia a – linia b	Niegroźne skurcze mięśni szkieletowych przy szybkiej zmianie wartości prądu, w tym przy jego pojawieniu się i zaniku
DC-3	linia b – linia c ₁	Silne skurcze mięśni szkieletowych, odwracalne zaburzenia czynności serca tym większe, im większy prąd i czas jego przepływu; zwykle bez uszkodzeń somatycznych
DC-4	na prawo od linii c ₁	Możliwe zatrzymanie akcji serca, zatrzymanie czynności oddechowej i ciężkie oparzenia; możliwa fibrylacja komór serca z prawdopodobieństwem tym większym, im większy prąd i czas jego przepływu, jak niżej
DC-4.1	c ₁ – c ₂	Prawdopodobieństwo migotania komór serca poniżej 5%
DC-4.2	c ₂ – c ₃	Prawdopodobieństwo migotania komór serca 5÷50%
DC-4.3	powyżej linii c ₃	Prawdopodobieństwo migotania komór serca ponad 50%

2.1.1.7. Przepływ prądu stałego wygładzonego (o pomijalnym tętnieniu) nie wywołuje skurczu mięśni szkieletowych. Odczuwa się tylko szybkie zmiany wartości prądu, w tym jego pojawienie się i zanik. Dla przykładu podczas zabiegu fizyoterapeutycznego polegającego na kąpeli elektryczno-wodnej czterokomorowej; stosownie do stanu zdrowia i celu kuracji lekarz ordynuje czas zabiegu (około kwadransu) oraz kierunek prądu (wstępujący lub zstępujący) i jego wartość w granicach (10÷30) mA.

2.1.1.8. Przy prądzie stałym wygładzonym nie ma zatem zagrożenia skurczem tężcowym mięśni i wobec tego nie ma granicy samouwolnienia. Próg migotania komór serca jest parokrotnie wyższy i zależy od kierunku prądu rażeniowego. Mniejsze wartości (140 mA) dotyczą kierunku wstępującego, od stóp do ręki

(rys. 2.1.3.c), a większe (280 mA) – kierunku zstępującego od ręki do stóp (rys. 2.1.3.a). Podczas rażenia prądem stałym o kierunku poprzecznym, płynącym od dłoni do dłoni, wystąpienie fibrylacji komór serca jest mało prawdopodobne. Przy urządzeniach trakcji DC 3 kV, o biegunie dodatnim na przewodzie jezdnym, przeważają rażenia mniej groźnym prądem o kierunku zstępującym (rys. 2.1.3a).



Rys 2.1.3. Kierunek przepływu prądu ważny przy rażeniu prądem stałym na drodze ręka – stopy oraz ręka – ręka:

- a) wzdłużny zstępujący,
- b) poprzeczny,
- c) wzdłużny wstępujący

Uwaga:

Przypadki a) oraz b) są mniej groźne.

Przypadek c) jest najbardziej niekorzystny.

- 2.1.1.9. Przy rażeniu wysokim napięciem AC lub DC prąd rażeniowy może być szczególnie duży. Płynąc przez klatkę piersiową może wywołać ustanie krążenia krwi, jeżeli spowoduje rozszynchronizowanie akcji elektrycznej mięśnia sercowego (migotanie komór, czyli fibrylację) albo jej całkowite wstrzymanie i bezruch serca (asystolię). Wysoce prawdopodobne są groźne oparzenia elektrotermiczne, wynikające z cieplnego działania prądu, i to nie tylko oparzenia powierzchniowe. Umiarkowanym oparzeniom skóry i warstw podskórnych, w miejscach wpływu i wypływu prądu, mogą towarzyszyć groźne dla życia i trudne do leczenia oparzenia mięśni i organów wewnętrznych. Takie przypadki wymagają szybkiej i rozszerzonej diagnostyki, specjalistycznego leczenia i monitorowania gospodarki wodno-elektrolitowej. Po oparzeniu mięśni szkieletowych do krwi przedostaje się ich barwnik – mioglobina, a podwyższenie jej stężenia powinno być wykryte jak najwcześniej.
- 2.1.1.10. W urządzeniach wysokiego napięcia do porażenia może dojść bez dotykania czegokolwiek. Nadmierne zbliżenie może doprowadzić do zapłonu łuku elektrycznego między częścią czynną a zbliżającą się częścią ciała lub metalowym narzędziem trzymanym w ręku. Łuk elektryczny jest przewodzącym kanałem gazowym, zawierającym pary metalu pochodzącego ze stóp łuku. Łuk ma temperaturę do kilkunastu tysięcy stopni Celsjusza i ogromną luminancję (jasność). Zagrożenie stanowi nie tylko prąd rażeniowy płynący przez ciało, ale samo sąsiedztwo łuku i jego skutki: oparzenia łukowe z metalizacją skóry, oślnienie i uszkodzenia wzroku oraz ciśnieniowa fala uderzeniowa zdolna powalić człowieka. Te efekty są szczególnie nasilone, jeżeli dojdzie do przekształcenia małoprądowego doziemnego wyładowania łukowego w wieloprądowe międzybiegunowe zwarcie łukowe.
- 2.1.2. Przyczyny i skutki wypadków przy pracy związanych z porażeniem prądem elektrycznym
- 2.1.2.1. Wypadkom przy pracy ulegają w pierwszym rzędzie osoby wykwalifikowane, które zostały dopuszczone do wykonywania określonych prac przy urządzeniach elektrycznych i/lub kierowania tymi pracami. Legitymują się one dokumentami potwierdzającym stosowne wykształcenie zawodowe, a także świadectwem kwalifikacyjnym uprawniającym do zajmowania się eksploatacją urządzeń, instalacji i sieci na stanowisku eksploatacji i/lub na stanowisku dozoru. Wydanie świadectwa jest poprzedzone szkoleniem i egzaminem z zakresu bezpieczeństwa pracy na przypisanym stanowisku. Te i podobne wymagane dokumenty informują dość dobrze o kompetencjach twardych

pracownika, opisywanych w systemie zero-jedynkowym (ma – nie ma). Natomiast rzeczywisty poziom kompetencji miękkich, dotyczących cech psychofizycznych i umiejętności społecznych ujawnia się stopniowo dopiero w toku pracy, jako że przy wstępnych badaniach psychofizycznych niełatwo je zweryfikować. O podatności pracownika na wypadek przy pracy oraz na zachowanie się w razie obecności przy czymś wypadku niedoceniane kompetencje miękkie decydują co najmniej w równym stopniu, co łatwo sprawdzalne kompetencje twarde.

- 2.1.2.2. Porażenie prądem elektrycznym, jak każdy nieszczęśliwy wypadek, na ogół jest zdarzeniem wieloprzyczynowym. Oczywiście przyczynę bezpośrednią, która wywołuje uraz, poprzedza wiele przyczyn pośrednich układających się w ciąg okoliczności i zdarzeń, które do wypadku doprowadzają. Składają się na to błędy, a nawet drobne zaniedbania, klasyfikowane jako czynniki techniczne, czynniki organizacyjne, a przede wszystkim czynniki ludzkie. Dochodzenie powypadkowe powinno je ustalić i przedstawić w postaci przekonującego, logicznego ciągu zdarzeń. Pomijanie lub ukrywanie przez którąkolwiek stronę niewygodnych okoliczności czy zdarzeń jest nie tylko naruszeniem prawa i prowadzi do ograniczenia wzajemnego zaufania w zespole. Nieuchronnie sprzyja to wypadkom powtarzalnym, czyli powstałym w wyniku podobnych okoliczności i zdarzeń. Ważne jest, by wykrywać i objaśniać wszelkie błędy o skutkach odroczonych. Chodzi o takie odchylenia od obowiązujących procedur i inne ryzykowne zachowania, tolerowane na co dzień, które samoistnie nie powodują wypadku, ale przy jednoczesnym wystąpieniu innych niesprzyjających okoliczności bądź zachowań, nieuchronnie mu sprzyjają.
- 2.1.2.3. Większość wypadków podczas powtarzalnych prac konserwacyjnych i naprawczych jest spowodowanych czynnikiem ludzkim, rutyną, niedostatkiem wyobraźni, omijaniem bądź „upraszczaniem” regulaminowych metod pracy. Ze statystyk ogólnokrajowych, a także z danych posiadanych przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., wynika, że najwięcej wypadków przydarza się pracownikom ze stażem pracy powyżej 20 lat, co potwierdza, że rutynowe postępowanie jest najczęstszą przyczyną wypadków przy pracy. Takim pracownikom wydaje się, że skoro bezpiecznie przeżyli już wszelkie możliwe scenariusze sytuacji zawodowych, to nic nie jest w stanie ich zaskoczyć i z każdej wyjdą obronną ręką. Co gorsza, wielu tych pracowników jest skłonnych upraszczać sobie albo omijać obowiązujące procedury bezpiecznej

pracy. Nie dopuszczają myśli, że w najmniej spodziewanej chwili może ich zaskoczyć zbieg niecodziennych okoliczności.

- 2.1.2.4. Kodeks pracy (dział dziesiąty KP) nakłada na pracodawcę obowiązki z zakresu bezpieczeństwa i higieny pracy, zwłaszcza dotyczące profilaktyki, w tym trybu szkoleń i innych środków organizacyjnych. Pracodawca jest m.in. obowiązany zapewnić pierwszą pomoc osobom poszkodowanym w wypadkach przy pracy. W przypadku elektryków utrzymania ruchu chodzi przede wszystkim o pierwszą pomoc ofiarom wypadku porażenia prądem elektrycznym, będącym w stanie bezpośredniego zagrożenia życia. Pierwszej pomocy musi udzielić ten, kto jest na miejscu, czyli kolega elektryk. W związku z tym do takiej roli musi być należycie przygotowany każdy elektryk zatrudniony w utrzymaniu ruchu elektrycznego.

2.2. Strefa oddziaływania sieci trakcyjnej

Sieć trakcyjna w następstwie uszkodzeń lub pojawiających się w niej przepięć może oddziaływać na znajdujące się w jej pobliżu przewodzące konstrukcje oraz urządzenia przytorowe. Do najistotniejszych przejawów oddziaływania sieci trakcyjnej należy zaliczyć:

- a) przeniesienie potencjału sieci trakcyjnej prądu stałego DC 3 kV na pobliskie przewodzące elementy i konstrukcje w wyniku zerwania i/lub opadnięcia przewodu górnej sieci jezdnej, innego rodzaju uszkodzenia izolacji głównej sieci jezdnej bądź zerwania odbieraka prądu,
- b) upływ części trakcyjnego prądu powrotnego, poza przeznaczony dla niego obwód powrotny, przez ziemię i/lub naturalne bądź sztuczne uziomy, co w przypadku trakcji prądu stałego zagraża korozją infrastruktury podziemnej,
- c) wzrost potencjału szyn (względem ziemi) w następstwie wystąpienia przerwy w obwodzie powrotnym, np. wskutek pęknięcia szyny albo uszkodzenia bądź kradzieży łączników szynowych,
- d) oddziaływanie całkowitego lub częściowego prądu pioruna, jaki może pojawić się w sieci trakcyjnej w wyniku bezpośredniego wyładowania atmosferycznego w sieć trakcyjną, objawiające się skutkami cieplnymi oraz przepięciami.

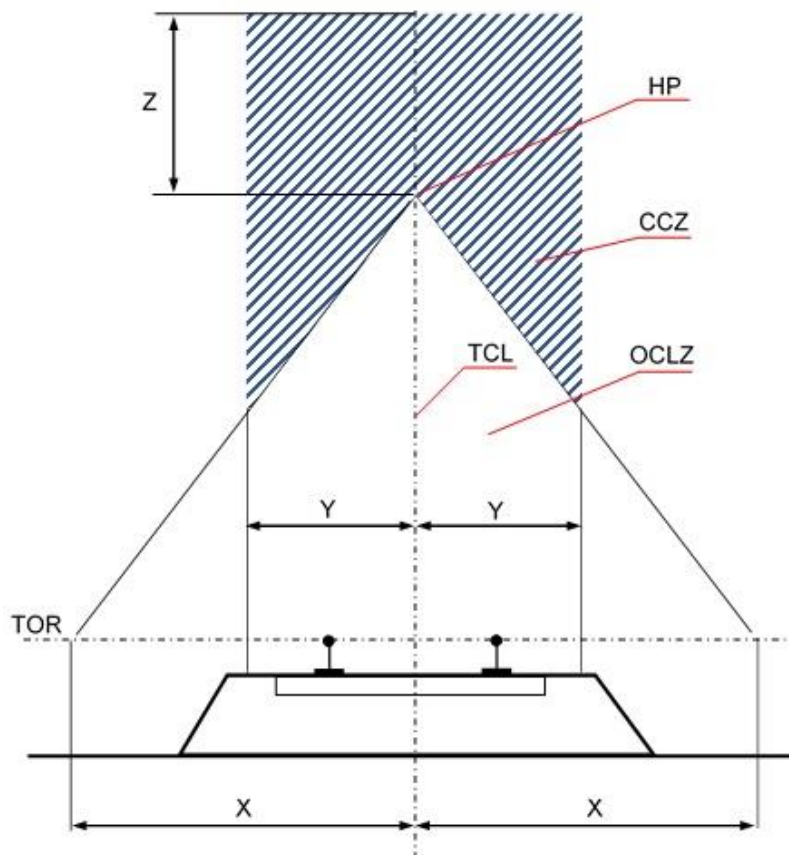
2.2.1. Strefa górnej sieci jezdnej i strefa odbieraka prądu

- 2.2.1.1. Strefa górnej sieci jezdnej i strefa odbieraka prądu to strefa, której granice w zasadzie nie są przekraczane przez zerwaną górną sieć jezdnią ani przez odbierak prądu będący pod napięciem w przypadku jego zerwania bądź

złamania. Wewnątrz tej strefy przewodzące konstrukcje i urządzenia przytorowe mogą przypadkowo zetknąć się z będącą pod napięciem zerwaną górną siecią jezdnią lub częściami czynnymi zerwanego lub złamanego odbieraka prądu. Strefa ta jest przedstawiona na rys. 2.2.1.

2.2.1.2. Na określenie strefy zagrożenia ze strony zarówno przewodów górnej sieci jezdnej, jak również ze strony odbieraka prądu, norma PN-EN 50122-1 podaje termin „strefa górnej sieci jezdnej i strefa odbieraka prądu” albo „strefa górnej sieci jezdnej i strefa pantografu” (PN-EN 50122-1:2002, pkt. 3.3.8).

W piśmiennictwie anglojęzycznym występuje termin: „combined overhead contact line and current collector zone”. W piśmiennictwie polskim spotyka się też wersje skrócone: „strefa oddziaływania trakcji elektrycznej” lub „strefa oddziaływania sieci trakcyjnej”, ale mnożenie synonimów jest niezgodne z terminologiczną zasadą jednomianowości.



Rys 2.2.1. Strefa oddziaływania trakcji elektrycznej; strefa górnej sieci jezdnej OCLZ i strefa pantografu CCZ (wg PN-EN 50122-1:2011), gdzie:

HP – najwyższy punkt górnej sieci jezdnej, OCLZ – strefa górnej sieci jezdnej,

TOR – pozioma głowki szyny, CCZ – strefa pantografu, TCL – oś toru

$X = 5,00 \text{ m}$ $Y = 1,7 \text{ m}$ $Z = 0,7 \text{ m}$

- 2.2.1.3. Termin określający strefy zagrożenia w pobliżu sieci trakcyjnej DC 3 kV był poprawnie powoływany i definiowany w kolejnych wersjach Instrukcji utrzymania sieci trakcyjnej – let-2, np. z roku 2014 (§2.1, punkt 30): „strefa oddziaływania trakcji elektrycznej (strefa górnej sieci jezdnej i strefa pantografu) – obszar, w którym na konstrukcjach wsporczych sieci trakcyjnej oraz innych konstrukcjach przewodzących może pojawić się napięcie niebezpieczne w przypadku zerwania i opadnięcia przewodów sieci jezdnej, uszkodzenia izolacji głównej sieci jezdnej bądź uszkodzenia odbieraka prądu”.
- 2.2.1.4. W razie zwarcia części czynnej górnej sieci jezdnej albo odbieraka prądu z pobliską konstrukcją albo inną częścią przewodzącą, której mógłby dotknąć człowiek, powinno dojść do bezzwłocznego samoczynnego wyłączenia zasilania górnej sieci jezdnej przez wyłącznik szybki w podstacji trakcyjnej. Aby do tego doprowadzić omawiany stan uszkodzenia powinien być jak najszybciej przekształcony w zwarcie międzybiegunowe, zapewniające dostatecznie dużą wartość prądu. W tym celu części przewodzące dostępne i części przewodzące obce znajdujące się w obrębie strefy górnej sieci jezdnej i strefy odbieraka prądu (strefy oddziaływania sieci trakcyjnej) powinny być połączone z obwodem powrotnym, po prostu – z szynami jezdny, czyli powinny być uszynione.
- 2.2.1.5. Uszynienie bezpośrednio, czyli połączenie bezpośrednio części przewodzącej usytuowanej w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej z szynami jezdny, byłoby rozwiązaniem najprostszym i najtańszym. Niestety, skutkowałoby to trwającym stale odgałęzianiem części prądu powrotnego, tym większym, im mniejsza jest rezystancja naturalnego lub sztucznego uziemienia części przewodzącej podlegającej uszynieniu. W wypadku trakcji prądu stałego stanowi to zagrożenie korozyjne infrastruktury podziemnej. Dawniej takie rozwiązanie akceptowano i są linie kolejowe od dawna niemodernizowane, na których ono dominuje. Natomiast na liniach nowobudowanych bądź modernizowanych uszynienie bezpośrednio dopuszcza się w drodze wyjątku, mianowicie w odniesieniu do pojedynczych części przewodzących (uszynienie indywidualne) i to takich, których rezystancja uziemienia jest dostatecznie duża, np. nie mniejsza niż 50 Ω .
- 2.2.1.6. Uszynienie otwarte, czyli połączenie części przewodzących w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej z szynami jezdny, za pośrednictwem ogranicznika napięcia dotykowego (VLD), eliminuje zagrożenie związane z wpływem prądów błędnych. Ogranicznik typu VLD-F stanowi przerwę

w obwodzie w normalnych warunkach pracy, a jest samoczynnie przełączany w stan przewodzenia w razie wystąpienia niebezpiecznego napięcia (ponad DC 120 V) na jego zaciskach, świadczącego o zwarciu z ziemią w sieci DC 3 kV. Dzięki temu ogranicznik przekształca małoprądowe zwarcie doziemne w wieloprądowe zwarcie międzybiegunowe, co sprzyja samoczynnemu wyłączeniu zasilania sieci trakcyjnej. Alternatywnie to zadanie spełnia ogranicznik kombinowany VLD-O+F, reagujący na nadmierne napięcie dotykowe dowolnej biegunowości.

Ograniczniki VLD są kosztowne, wobec czego indywidualne uszynienie otwarte (w odniesieniu do pojedynczej części przewodzącej) stosuje się wyjątkowo, tylko w uzasadnionych przypadkach. Standardowym rozwiązaniem jest grupowe uszynienie otwarte obejmujące wiele części i konstrukcji przewodzących usytuowanych w obrębie strefy oddziaływania sieci trakcyjnej. Części te są łączone ze sobą przewodem uszynienia grupowego, który następnie jest łączony za pośrednictwem ogranicznika VLD z szynami jezdnyymi:

- a) w jednym miejscu, w przybliżeniu pośrodku swojej długości, w przypadku obiektów o niedużej długości (peron, wiadukt lub inna budowla inżynierska),
- b) w dwóch miejscach, w pobliżu końców, w przypadku sekcji uszynienia grupowego konstrukcji wsporczych górnej sieci jezdnej; według aktualnej praktyki stosuje się sekcje o długości ok. 3 km.

2.2.2. Strefa oddziaływania sieci powrotnej

2.2.2.1. W obowiązujących normach nie terminu „strefa oddziaływania sieci powrotnej”. Używany jest termin „obwód powrotny” rozumiany jako ogół przewodów tworzących zamierzoną drogę dla trakcyjnego prądu powrotnego (szyny jezdne bądź szyny prądowe powrotne, przewody powrotne i kable powrotne). Jest też termin podrzędny „obwód powrotny szynowy” rozumiany jako system, w którym szyny jezdne toru tworzą część obwodu powrotnego prądu trakcyjnego i takie rozwiązanie jest przyjęte w Polsce dla sieci trakcyjnej DC 3 kV.

2.2.2.2. Określone zagrożenia ze strony szynowego obwodu powrotnego mają miejsce przede wszystkim w następujących sytuacjach:

- a) w razie naruszenia ciągłości szynowego obwodu powrotnego, co zmienia rozptyw trakcyjnego prądu powrotnego, może zwiększać się udział prądów

błądzących płynących przypadkowymi drogami i podnosić potencjał szyn względem ziemi. Przyczyną może być pęknięcie szyny albo uszkodzenie bądź kradzież łączników szynowych podłużnych, a także wspomagających ciągłość obwodu powrotnego łączników poprzecznych (międzytokowych i międzytorowych). Ochrona polega na zabiegach profilaktycznych – okresowych oględzinach stanu szyn i łączników szynowych oraz okresowej detekcji uszkodzeń szyn z użyciem szynowego pojazdu diagnostycznego. Zabezpieczenie polega na instalowaniu ograniczników napięcia dotykowego VLD-O, które są samoczynnie przełączane przy nadmiernym wzroście potencjału szyn względem ziemi. Alternatywnie to zadanie spełnia ogranicznik kombinowany VLD-O+F, reagujący na nadmierne napięcie dotykowe dowolnej biegunowości,

- b) w razie uszkodzenia izolacji głównej sieci trakcyjnej, zetknięcia części czynnej będącej pod napięciem DC 3 kV bezpośrednio z szynami jezdnyymi lub z uszynioną częścią przewodzącą. Zabezpieczenia na wypadek takiego uszkodzenia przedstawiono w pkt 2.2.1,
- c) w razie odprowadzania przez szynowy obwód powrotny prądu piorunowego w następstwie wyładowania w część przewodzącą górnej sieci jezdnej (uziemiony słup albo przewód pod napięciem) lub w uziemiony przewód uszynienia grupowego. Dla szyn jezdnych nie są groźne skutki cieplne przepływu prądu piorunowego, ale dla ludzi i dla przytorowych urządzeń sterowania i sygnalizacji groźne mogą być przepięcia pochodzenia piorunowego, w tym przepięcia indukowane. Ochrona polega na umieszczaniu wrażliwych elementów i układów w miarę możliwości w odpowiednich miejscach i obudowach oraz na właściwym doborze, rozmieszczeniu i odpowiednim uziemieniu ograniczników przepięć.

2.2.3. Strefa prądów błędzących

- 2.2.3.1. Strefa prądów błędzących to termin następująco zdefiniowany w normie PN-EN 50122-2:2002, pkt. 3.2:

„Strefa prądów błędzących – strefa, w której mogą płynąć prądy błędzące pomiędzy urządzeniami trakcyjnymi prądu stałego a konstrukcjami metalowymi lub ziemią.

UWAGA: Strefa prądów błędzących może rozciągać się na odległość kilku kilometrów.”

- 2.2.3.2. Zjawiskiem charakterystycznym dla wszelkich systemów trakcji (DC i AC) z obwodem powrotnym szynowym jest występowanie prądów błędzących, wpływających z szyn ze względu na ich niewystarczającą izolację względem ziemi. Stan izolacji szyn uważa się za poprawny, jeżeli odcinek 1 km toru wykazuje rezystancję izolacji względem ziemi na poziomie 2Ω . Od linii kablowej o tej długości wymaga się rezystancji izolacji na poziomie dziesiątków megaomów, czyli dziesięć milionów razy większej. Upływ prądów błędzących jest szczególnym zagrożeniem w przypadku trakcji DC, ze względu na wywoływaną przez prąd stały korozję elektrolityczną.
- 2.2.3.3. Przepływ prądów błędzących ułatwiają ułożone wzdłuż torów metalowe rurociągi, kable o zewnętrznych warstwach przewodzących, rozległe fundamenty stalowe lub z betonu zbrojonego i inne tego rodzaju elementy infrastruktury podziemnej. Rozpływ prądów błędzących kształtuje się odwrotnie proporcjonalnie do rezystancji możliwych dróg równoległych od miejsca upływu do szyny minusowej w podstacji trakcyjnej. Korozyjny ubytek metalu – wyrażony prawem Faradaya – występuje w strefach anodowych części podziemnych, w których mają one potencjał wyższy niż otaczający grunt. Z uwagi na zmienność wielu warunków (obciążenie elektryczne trakcji, stan izolacji oraz stan ciągłości toków szynowych, wilgotność oraz chemiczne zanieczyszczenia gruntu itd.) proces ma charakter losowy, ale jego bilans w dłuższym czasie może być bardzo dotkliwy. Dobre rozeznanie wszystkich uwarunkowań pomaga w planowaniu środków zaradczych. Jeżeli upowszechnienie uszynienia otwartego nie wystarcza, to mogą być konieczne specjalne układy elektrochemicznej ochrony od korozji wrażliwych instalacji czy konstrukcji podziemnych.

2.3. Możliwości wykonania uziemień dla potrzeb ochrony

- 2.3.1. W obrębie strefy oddziaływania sieci trakcyjnej w sposób nieunikniony mogą się znaleźć uziomy naturalne i/lub uziomy sztuczne konstrukcji wsporczych górnej sieci jezdnej (pojedynczych słupów, szerokich bramek obejmujących kilka torów), a także podobne uziomy różnych urządzeń przytorowych. Przy ich projektowaniu, budowie i eksploatacji trzeba uwzględniać pewne uwarunkowania i ograniczenia, swego rodzaju zasady kompatybilności, czyli zasady ich współistnienia przy koniecznym ograniczeniu ewentualnych niepożądanych oddziaływań wzajemnych.

- 2.3.2. Nie należy łączyć bezpośrednio z obwodem powrotnym (uszyniać bezpośrednio) części przewodzących o małej rezystancji uziemienia (poniżej 50 Ω) w celu ograniczenia prądów błędzących i korozji elektrolitycznej.
- 2.3.3. Nie należy dopuszczać w obrębie strefy oddziaływania sieci trakcyjnej ani w bezpośrednim jej sąsiedztwie układania bezpośrednio w gruncie rurociągów, kabli elektrycznych i podobnych instalacji liniowych bez trwałej zewnętrznej elektroizolacyjnej warstwy ochronnej bądź rury osłonowej. W ten sposób unika się wprowadzania do strefy prądów błędzących nowej gałęzi przewodzącej o niedużej rezystancji i zarazem zagrożenia korozją elektrolityczną rozważanej instalacji.
- 2.3.4. W razie konieczności uziemienia żył powrotnych kabli średniego napięcia bądź ekranów, pancerzy czy przewodzących powłok przewodów telekomunikacyjnych, uziemienie należy wykonać na jednym końcu, w miarę możliwości poza strefą oddziaływania sieci trakcyjnej, a drugi koniec tej żyły, ekranu czy powłoki należy izolować od ziemi i od obwodu powrotnego. W razie uzasadnionych przeciwwskazań uziemienie na rozważanym drugim końcu należy wykonać jako otwarte, za pośrednictwem ogranicznika niskiego napięcia.
- 2.3.5. Poza zagrożeniem korozją elektrolityczną, wywołaną prądem z obcego źródła (z sieci trakcyjnej), nie należy pomijać zagrożenia korozją galwaniczną. Zagrożeńa ona w razie umieszczenia w elektrolitycznym środowisku gruntu, zwłaszcza w niedużej odległości od siebie, uziomów wykonanych z różnych metali. Tworzą one ogniwo galwaniczne o łącznym potencjale elektrochemicznym (sile elektromotorycznej utworzonego ogniwa) zależnym od obu metali. Jeżeli części połączone z rozważanymi uziomami mają jakiegokolwiek połączenie poza gruntem, to w utworzonym obwodzie płynie prąd wywołujący korozję galwaniczną uziomu o polaryzacji anodowej, czyli o niższym potencjale elektrochemicznym. Zagrożenie jest tym większe, im mniejszą powierzchnię styczności z gruntem ma ten uziom w porównaniu z innymi uziomami. Wartość tego prądu jest niewielka w porównaniu z wartością prądów błędzących, ale ten prąd płynie stale, również w czasie, kiedy sieć trakcyjna nie jest w ogóle obciążona i prądy błędzące nie płyną.

2.4. Możliwości stosowania mieszanego systemu uszynień – zalecenia i obostrzenia

- 2.4.1. Do chwili pełnej modernizacji szlaku kolejowego może się zdarzyć, że na danym odcinku niektóre obiekty są uszynione bezpośrednio, a inne z wykorzystaniem uszynienia otwartego. Wśród zarówno jednych, jak i drugich obiektów mogą być takie, które są uszynione indywidualnie oraz takie, które są uszynione grupowo. Na

zmodernizowanych odcinkach z grupowym uszynieniem otwartym w odniesieniu do niektórych obiektów może zająć konieczność wykonania uszynienia otwartego indywidualnego. Zatem występuje wtedy mieszany system uszynień.

- 2.4.2. Poniżej przedstawiono zestawienie przykładowych rodzajów uszynienia, które mogą współistnieć na danym odcinku szlaku kolejowego, wraz z uwagami co do ich stosowania:
- a) uszynienie otwarte grupowe i uszynienie otwarte indywidualne – dopuszcza się indywidualne uszynianie obiektów na odcinku szlaku kolejowego z uszynieniem otwartym grupowym pod warunkiem, że części przewodzące uszynione indywidualne i części przewodzące uszynione grupowo nie będą jednocześnie dostępne. Części przewodzące nie są jednocześnie dostępne, jeżeli zachowano pomiędzy nimi odległość co najmniej 2,50 m wzdłuż linii pomiaru zasięgu ręki. Jeżeli spełnienie tego warunku nie jest możliwe, to pomiędzy rozpatrywanymi częściami przewodzącymi należy zastosować taką przegrodę, aby po linii łamanej uwzględniającej tę przegrodę części te były oddalone na wymaganą odległość. Alternatywnie jedną z rozpatrywanych części jednocześnie dostępnych należy pokryć warstwą elektroizolacyjną do wysokości 2,50 m od powierzchni stanowiska,
 - b) uszynienie otwarte grupowe i uszynienie bezpośrednie – uszynienie bezpośrednie na odcinku szlaku kolejowego z uszynieniem otwartym grupowym jest dopuszczone wyjątkowo w istniejących liniach do czasu ich modernizacji. Dopuszcza się bezpośrednie uszynianie części przewodzących pod warunkiem, że ich rezystancja uziemienia jest większa niż 50 Ω . W przeciwnym przypadku części te należy objąć systemem uszynienia otwartego grupowego (zalecane) lub uszynienia otwartego indywidualnego. Części przewodzące uszynione bezpośrednio i części przewodzące uszynione za pomocą uszynienia otwartego nie powinny być jednocześnie dostępne – należy zachować pomiędzy nimi odległość co najmniej 2,50 m wzdłuż linii pomiaru zasięgu ręki. Jeżeli spełnienie tego warunku nie jest możliwe, to należy zastosować przegrodę lub warstwę elektroizolacyjną zgodnie z opisem podanym w punkcie a). Dopuszcza się połączenie części objętych uszynieniem otwartym z częściami uszynionymi bezpośrednio, za pośrednictwem ogranicznika napięcia dotykowego VLD,
 - c) uszynienie bezpośrednie i uszynienie otwarte indywidualne – uszynienie otwarte indywidualne na odcinku szlaku kolejowego z uszynieniem bezpośrednim jest dopuszczone wyjątkowo, w istniejących liniach do czasu ich

modernizacji. Części przewodzące uszynione bezpośrednio i części przewodzące uszynione za pomocą uszynienia otwartego nie powinny być jednocześnie dostępne – w tym zakresie powinny być spełnione warunki podane w punkcie a). Dopuszcza się połączenie części objętych uszynieniem otwartym z częściami uszynionymi bezpośrednio, za pośrednictwem ogranicznika napięcia dotykowego VLD.

2.4.3. W związku z powyższym należy stosować następujące postanowienia przejściowe (PP) dotyczące mieszanego systemu uszynień:

- a) **PP.1** – niniejsze wymagania dotyczą obiektów nowo budowanych i przebudowywanych. W pracach związanych z utrzymaniem obiektów istniejących zaleca się uwzględniać podane niżej postanowienia przejściowe,
- b) **PP.2** – podane niżej odstępstwa dopuszczające stosowanie różnego systemu uszynień w odniesieniu do części usytuowanych blisko siebie są uwarunkowane wymaganiem, że części przewodzące objęte różnym systemem uszynienia nie powinny być jednocześnie dostępne, tzn. są oddalone co najmniej o 2,50 m. Alternatywnie co najmniej jedną z tych części należy pokryć powłoką elektroizolacyjną do wysokości 2,50 m od powierzchni stanowiska,
- c) **PP.3** – na odcinku szlaku z grupowym uszynieniem otwartym dopuszcza się indywidualne uszynienie otwarte określonych części przewodzących,
- d) **PP.4** – na odcinku szlaku z grupowym uszynieniem otwartym dopuszcza się uszynienie bezpośrednie części przewodzących pod warunkiem, że ich rezystancja uziemienia jest większa niż 50Ω ,
- e) **PP.5** – dopuszcza się połączenie za pośrednictwem ogranicznika napięcia dotykowego VLD części przewodzących objętych uszynieniem otwartym z częściami uszynionymi bezpośrednio.

2.5. Wymagania ogólne ochrony przeciwporażeniowej

2.5.1. W klasyfikacji wypadków porażenia, a także w technice ochrony od porażień rozróżnia się dwie sytuacje, w jakich dochodzi do porażenia prądem przy dotykaniu urządzenia elektrycznego. Sytuacje te to dotyk bezpośredni oraz dotyk pośredni:

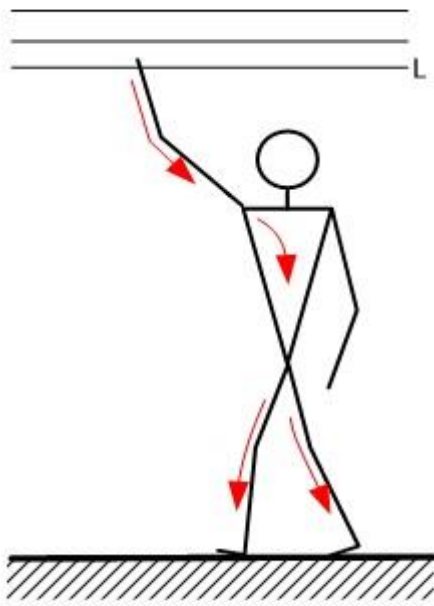
- a) dotyk bezpośredni – kiedy porażony dotyka co najmniej jednej części czynnej (należącej do obwodu elektrycznego). Może dotknąć dwóch części czynnych o różnym potencjale, ale taka sytuacja rzadko się zdarza. Znacznie częściej powodem jest styczność z częścią czynną oraz z częścią przewodzącą o potencjale zbliżonym do potencjału ziemi (metalową obudową lub konstrukcją

wsporczą, szyną jezdnią, pudłem pojazdu szynowego) bądź po prostu z ziemią (rys. 2.5.1). Takim wypadkom ma zapobiegać ochrona przed dotykiem bezpośrednim (ochrona przeciwporażeniowa podstawowa). Polega ona na stosowaniu co najmniej jednego z następujących środków:

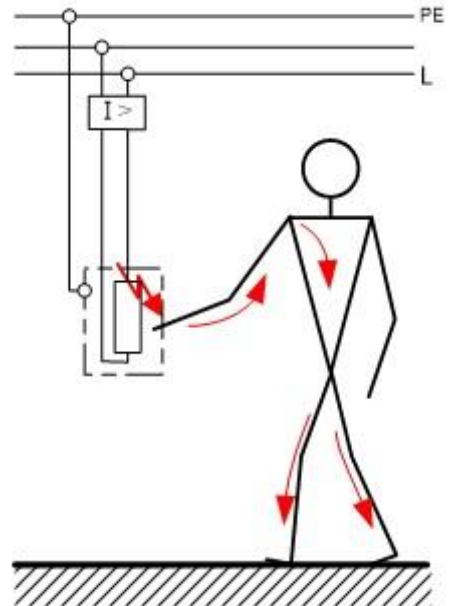
- izolacja podstawowa części czynnych, osłaniająca je całkowicie i dająca się usunąć tylko przez zniszczenie,
- osłona lub obudowa zakrywająca części czynne ze wszystkich dostępnych kierunków dostępu, o wymaganym stopniu ochrony IP i zamykana we właściwy sposób,
- przesłona, przegroda lub odgrodzenie (pełne bądź ażurowe) zapobiegające możliwości zetknięcia się z częściami czynnymi z niektórych kierunków,
- uniedostępnienie części czynnych przez umieszczenie ich poza zasięgiem ręki z dostępnych stanowisk, czyli przy zachowaniu wymaganych odstępów izolacyjnych powietrznych, mierzonych w linii prostej albo – w razie zastosowania przegród – wzdłuż linii łamanej;

b) dotyk pośredni – kiedy porażony nie dotyka części czynnej, lecz część przewodzącą dostępną (obudowę, konstrukcję wsporczą), która znalazła się pod napięciem w następstwie uszkodzenia izolacji podstawowej, a jednocześnie styka się z częścią o potencjale zbliżonym do potencjału ziemi jak na rys. 2.5.2. Takim zdarzeniom ma zapobiegać ochrona przy dotyku pośrednim (ochrona przy uszkodzeniu). W urządzeniach wysokiego napięcia polega ona na stosowaniu uziemień ochronnych zapewniających pożądany rozkład potencjału na powierzchni ziemi podczas zwarć doziemnych i na możliwie szybkim wyłączeniu tych zwarć. W urządzeniach niskiego napięcia stosuje się co najmniej jeden z następujących środków:

- samoczynne wyłączenie zasilania obwodu dotkniętego uszkodzeniem,
- izolacja ochronna w postaci izolacji podwójnej, izolacji wzmocnionej lub ochronnej osłony izolacyjnej,
- separacja ochronna,
- bardzo niskie napięcie ze źródła bezpiecznego (SELV, PELV);



Rys 2.5.1. Dotyk bezpośredni –
rażenie na drodze ręka – stopy



Rys 2.5.2. Dotyk pośredni –
rażenie na drodze ręka – stopy

2.5.2. W warunkach szczególnego zagrożenia porażeniem stosuje się ponadto ochronę przeciwporażeniową uzupełniającą ochronę podstawową bądź ochronę przy uszkodzeniu, czyli środki chroniące przed porażeniem w przypadkach, kiedy ochrona podstawowa zawodzi lub zostaje ominięta, a ochrona przy uszkodzeniu nie zapobiega porażeniu. Są to, zależnie od okoliczności, trwałe pokrycia elektroizolacyjne części przewodzących obcych bądź części przewodzących dostępnych albo połączenia wyrównawcze i/lub uziomy wyrównawcze, a w urządzeniach AC niskiego napięcia ponadto wyłączniki różnicowoprądowe wysokoczułe.

2.5.3. Wymagania odnośnie do ochrony przeciwporażeniowej zawarte w normach, przepisach i innych dokumentach normatywnych wynikają z podstawowych zasad techniki bezpieczeństwa. Podstawowe dokumenty normatywne określające te zagadnienia to:

- a) **ISO/IEC Guide 51:2014: Aspekty bezpieczeństwa – Wytyczne wprowadzania ich w normach** – podstawowa norma międzynarodowa postępowania w kwestiach bezpieczeństwa w różnych dziedzinach techniki i we wszelkich dokumentach normatywnych (*International Standards, Technical Specifications, Publicly Available Specifications, Technical Reports and Guides*),

- b) **PN-EN 61140:2005: Ochrona przed porażeniem prądem elektrycznym – Wspólne aspekty instalacji i urządzeń** – podstawowa norma bezpieczeństwa w elektrotechnice,
- c) **PN-HD 60364-4-41:2009: Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 4-41: Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa** – Ochrona przed porażeniem elektrycznym – grupowa norma bezpieczeństwa w elektrotechnice,
- d) **PN-EN 50122-1:2011: Zastosowania kolejowe – Urządzenia stacyjne – Bezpieczeństwo elektryczne, uziemianie i sieć powrotna – Część 1: Środki ochrony przed porażeniem elektrycznym** – grupowa norma bezpieczeństwa w zakresie infrastruktury trakcji elektrycznej.

2.5.4. Na podstawie wymienionych powyżej dokumentów normatywnych fundamentalne zasady ochrony przeciwporażeniowej można sformułować następująco:

- a) **zasada 1** – bezpieczeństwo absolutne, stuprocentowe, jest nieosiągalne. Celem zabiegów poprawiających poziom bezpieczeństwa ludzi, mienia i środowiska jest zmniejszenie nieuniknionego ryzyka szkody ze strony urządzeń i zjawisk elektrycznych do akceptowalnego poziomu ryzyka szczątkowego. Osiąga się to przez rozpoznanie możliwych zagrożeń, eliminację tych, które daje się uniknąć i wdrożenie środków ochronnych zmniejszających ryzyko szkody ze strony pozostałych. Jest ważne, aby nie przeoczyć żadnego istotnego zagrożenia, bo wtedy ryzyko szczątkowe byłoby ocenione niepoprawnie, zbyt optymistycznie,
- b) **zasada 2** – w analizie ryzyka nie ma potrzeby zakładać jednoczesnego zbiegu wielu różnych uszkodzeń;
Koncepcja ochrony wynika z założenia, że urządzenie obsługiwane przez osoby wykwalifikowane jest użytkowane zgodnie z przeznaczeniem (ang. *intended use*) i występuje w nim pojedyncze uszkodzenie (ang. *single fault condition*).
W odniesieniu do urządzeń powszechnego użytku należy brać pod uwagę dające się przewidzieć użycie niewłaściwe (ang. *reasonably foreseeable misuse*).
Podobnie, w odniesieniu do urządzeń instalowanych na obszarze ogólnie dostępnym (uliczne latarnie, stacje i rozdzielnice) albo na kolejowym obszarze ograniczonego dostępu (konstrukcje wsporcze sieci trakcyjnej) należy brać pod uwagę dające się przewidzieć zachowanie niewłaściwe (ang. *reasonably foreseeable misbehaviour*).
W uzasadnionych przypadkach szczególnego zagrożenia (np. praca z użyciem narzędzi elektrycznych w miejscach mokrych i/lub w ograniczonych przestrzeniach przewodzących) uwzględnia się możliwość wystąpienia dwóch, a wyjątkowo trzech

uszkodzeń. Zbyt surowe założenie skłania do mnożenia środków ochrony, system ochrony czyni niezrozumiałym i zawodnym, komplikuje eksploatację i na ogół daje efekt przeciwny do zamierzonego. Podobnie, przy określaniu największego dopuszczalnego napięcia dotykowego, czas trwania zwarcia doziemnego (jednego uszkodzenia) należy przyjąć przy założeniu poprawnego działania zabezpieczeń i aparatury łączeniowej. W przeciwnym razie oznaczałoby to uwzględnianie jednoczesnego wystąpienia dwóch uszkodzeń. Przy okazji tego postanowienia w pkt 9.1.4 normy PN-EN 50122-1:2011 wspomniana zasada jest przytoczona dosłownie: Nie ma potrzeby uwzględniania jednoczesnego wystąpienia wielu uszkodzeń (ang. *Multiple simultaneously occurring faults do not need to be considered*);

- c) **zasada 3** – w miarę możliwości należy preferować inherentne środki ochrony. Chodzi o środki ochrony tkwiące w istocie rozwiązań technicznych, w koncepcji konstrukcji urządzenia bądź struktury systemu oraz w koncepcji ich działania (ang. *inherently safe design*). Środkiem ochrony przy dotyku pośrednim powszechnie stosowanym w instalacjach niskiego napięcia jest samoczynne wyłączenie zasilania, co wymaga użycia przewodu ochronnego PE. Ochrona zawodzi w razie przerwania ciągłości tego przewodu, czyli banalnego uszkodzenia, np. obłuzowania zacisku ochronnego. Co gorsza, przewód ten może przenieść do w pełni sprawnego obwodu niebezpieczne napięcie dotykowe z innego, uszkodzonego bądź wadliwie wykonanego obwodu. Jednego i drugiego ryzyka jest pozbawiony środek ochrony polegający na wykonaniu urządzenia według zasad klasy ochronności II (izolacja ochronna). Nawet jeśli takie urządzenie ma części przewodzące dostępne, nie wolno do nich przyłączać przewodu ochronnego PE. Takie podejście w wielu językach świata wyraża slogan: **lepiej izolować niż uziemiać!**
- d) **zasada 4** – nie należy używać pochopnie określeń: bezpieczeństwo i bezpieczny. Nie należy, zwłaszcza w aktach normatywnych i w publicznym komunikowaniu się, nadużywać w roli przydawek określeń *bezpieczeństwo* oraz *bezpieczny* (ang. *safety and safe*) sugerujących eliminację wszelkiego ryzyka szkody. Dokument *ISO/IEC Guide 51:2014* zaleca określenia pozbawione tego odcienia znaczeniowego i podaje przykłady nazw informujących raczej o wprowadzeniu środków ochronnych ograniczających ryzyko szkody, a nie o wyeliminowaniu tego ryzyka:
- *hełm ochronny*, a nie *hełm bezpieczny* (*protective helmet instead of safety helmet*),

- *wykładzina podłogowa przeciwpoślizgowa, a nie wykładzina podłogowa bezpieczna (slip resistant floor-covering instead of safety floor-covering).*

Wśród przykładów brakuje najbardziej nadużywanego w elektryce określenia *napięcie bezpieczne* (ang. *safe voltage*), rozpowszechnionego na całym świecie mimo wieloletniego napiętnowania go w normalizacji i w poważnej literaturze technicznej;

- e) **zasada 5** – wymagania ochrony przeciwporażeniowej są nadrzędne w stosunku do innych wymagań technicznych i środowiskowych.

Jeżeli w trakcie projektowania, budowy lub eksploatacji występuje konflikt postanowień norm lub przepisów regulujących różne dziedziny techniki, to nadrzędne znaczenie mają wymagania bezpieczeństwa, a inne aspekty rozwiązań technicznych należy do nich dostosować. To stanowisko jest wyrażone w wielu aktach normatywnych, na przykład:

- *spełnienie wymagań ochrony przeciwporażeniowej jest nadrzędne nad innymi wymaganiami technicznymi i środowiskowymi,¹*
- *środki ochrony przeciwporażeniowej mają pierwszeństwo przed środkami ochrony przed oddziaływaniem prądów błędzących.²*

2.6. Wymagania ochrony przed dotykiem bezpośrednim w sieci trakcyjnej DC 3 kV

- 1) W przypadku górnej sieci jezdnej głównym środkiem ochrony przed dotykiem bezpośrednim jest uniedostępnienie gołych części czynnych, czyli takie wzajemne usytuowanie stanowisk dostępnych dla ludzi (odpowiednio osób postronnych bądź upoważnionych osób wykwalifikowanych) oraz gołych części czynnych, aby nie był możliwy dotyk bezpośredni tych części (odpowiednio dotyk umyślny bądź dotyk nieumyślny).
- 2) Najmniejsze dopuszczalne odstępstwa izolacyjne powietrzne wywodzą się z wymiarów strefy zasięgu ręki w załączniku B normy HD 60364-4-41, do których dodano margines bezpieczeństwa³ zależny od napięcia nominalnego górnej sieci jezdnej (niskie czy wysokie) i od dostępności stanowiska (obszar ograniczonego dostępu – tylko dla upoważnionych osób wykwalifikowanych, czy obszar ogólnie

¹ [7] Standardy techniczne. Szczegółowe warunki techniczne... Tom IV Urządzenia trakcji elektrycznej / Elektroenergetyki trakcyjnej. Wersja 1.1. Warszawa 2009, pkt 3.7.1.1

² PN-EN 50122-2:2002, pkt 4.1, PN-EN 50122-2:2011, pkt 4

³ PN-EN 50122-1:2011, pkt 5.2.1, Uwaga 3.

dostępny dla osób postronnych). Zgodnie z ogólnymi zasadami techniki bezpieczeństwa w odniesieniu do osób wykwalifikowanych może wystarczyć ochrona przed nieumyślnym (przypadkowym) dotykiem bezpośrednim. Natomiast w odniesieniu do osób postronnych, wśród których bywają jednostki skłonne do zachowania niewłaściwego, a nawet nieobliczalnego, stosuje się ochronę przed umyślnym (zamierzonym) dotykiem bezpośrednim, również za pośrednictwem pręta albo strumienia cieczy (PN-HD 50122-1:2011, pkt. 5.3.2.2, 3. akapit).

- 3) Wystarczające uniedostępnienie zapewniają odstępy izolacyjne powietrzne, mierzone w linii prostej (ang. *clearance in air, clearance*), wymagane przez normę PN-EN 50122-1:2011 (rys. 2.7.1). Powinny być one dotrzymane niezależnie od temperatury powietrza i natężenia promieniowania słonecznego, w pełnym zakresie możliwych obciążeń przewodów, zarówno obciążeń elektrycznych (prąd roboczy, prąd zwarciovowy), jak i mechanicznych (naciąg roboczy, parcie wiatru, ciężar sadzi lub oblodzenia).

2.6.1. Warunki stosowania przeszkód ochronnych

2.6.1.1. W przypadku, gdy nie ma miejsca na zachowanie odstępów izolacyjnych według rys. 2.6.1 i/lub jeżeli chodzi o zwiększenie skuteczności ochrony, to między stanowiskiem dostępnym dla człowieka a przestrzenią z gołymi częściami czynnymi można posadowić przeszkodę ochronną w postaci:

- a) przesłony pełnej, bez otworów ani szczelin,
- b) przesłony ażurowej o powierzchni oka siatki nie większej niż 1200 mm²,
- c) przesłony będącej kombinacją obu powyższych rozwiązań, wykonana w sposób wskazany w normie PN-EN 50122-1:2011 (rys. 7, 8, 9, 10, 11), która – stosownie do przeznaczenia – określa jej geometrię oraz najmniejsze dopuszczalne odstępy izolacyjne jej krawędzi od części czynnych, a także materiały, z jakich powinna być wykonana.

Powyższe kwestie zostaną wyjaśnione na przykładzie sytuacji z rys. 7a w normie PN-EN 50122-1:2011 i dwóch sytuacji pochodnych.

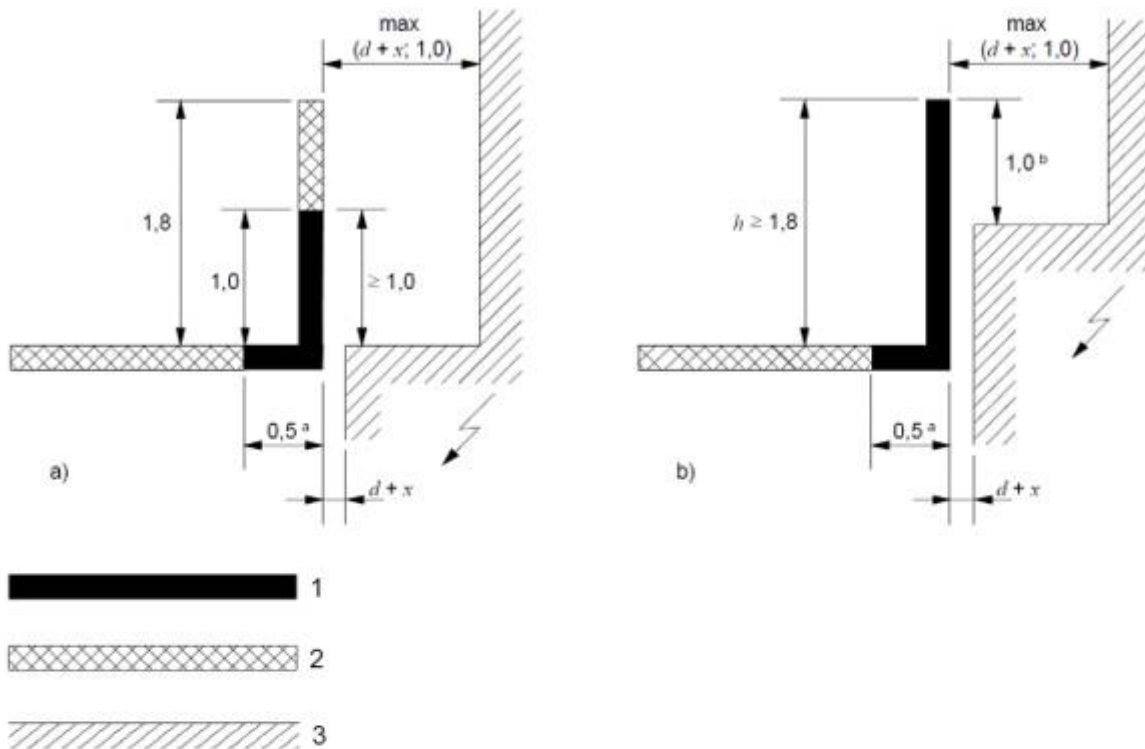
2.6.1.2. W sytuacji wyjściowej, przedstawionej na rys. 2.6.1a stanowisko dostępne dla osób postronnych znajduje się nie bezpośrednio nad i nie pod, lecz obok przestrzeni z gołymi częściami czynnymi. Ponadto powierzchnia stanowiska jest usytuowana na poziomie, na którym przestrzeń z gołymi częściami czynnymi skokowo zbliża się do jego krawędzi. W tej sytuacji wymiary ważne ze względu na ochronę przed dotykiem bezpośrednim ustala się następująco:

- a) wysokość przesłony (pkt. 5.3.2.1 normy) powinna wynosić co najmniej 1,80 m, a ze względu na zbliżenie u dołu do części czynnych, od dolnej krawędzi do wysokości co najmniej 1,00 m przesłona powinna być pełna,
- b) przed następnymi krokami trzeba ustalić wartość wymiaru d w sposób określony w pkt 5.3.1 normy. Punktem wyjścia jest podstawowy (statyczny) odstęp izolacyjny powietrzny części czynnych górnej sieci jezdnej względem części uziemionych, określony w normie PN-EN 50119. Dla trakcji DC 3 kV wynosi on 0,150 m. Ta wartość jest zarazem wymiarem d w przypadku przesłony pełnej sztywnej, nienarażonej na wypaczenie bądź skoszenie. Natomiast do tej wartości należy dodać 0,03 m w przypadku przesłony pełnej nie dość sztywnej ($d = 0,18$ m), a 0,10 m w przypadku przesłony ażurowej ($d = 0,25$ m),
- c) odległość pozioma przesłony ażurowej od obrysu strefy gołych części czynnych powinna wynosić co najmniej $(d + x) = 0,25 + 1,50 = 1,75$ m, ale nie mniej niż 1,00 m. Decyduje pierwszy warunek: 1,75 m,
- d) część pozioma przesłony w części położonej nad obrysem strefy gołych części czynnych powinna być pełna (bez otworów i szczelin) w pasie o szerokości co najmniej 0,50 m (pkt. 5.3.2.2 normy). Odległość pozioma narożnika osłony pełnej ($x = 0$ m) od obrysu strefy gołych części czynnych powinna wynosić co najmniej $(d + x) = 0,25 + 0 = 0,25$ m.

2.6.1.3. W pierwszej sytuacji pochodnej, przedstawionej na rys. 2.6.1b stanowisko dostępne dla osób postronnych jest usytuowane wyraźnie niżej niż w sytuacji wyjściowej. Wymiary ważne ze względu na ochronę przed dotykiem bezpośrednim ustala się następująco:

- a) wysokość przesłony (pkt. 5.3.2.1 normy) powinna wynosić co najmniej 1,80 m i powinna być pełna do wysokości co najmniej 1,00 m powyżej wystającej krawędzi zasięgu gołych części czynnych. Podany wymiar 1,00 m wolno zmniejszyć o taki odcinek, o jaki wysokość przesłony przekracza 1,8 m, co oznacza, że przy wysokości przesłony 2,80 m jej górna krawędź mogłaby być na wysokości wystającej krawędzi zasięgu gołych części czynnych,
- b) część pozioma przesłony w części położonej nad obrysem strefy gołych części czynnych powinna być pełna (bez otworów i szczelin) w pasie o szerokości co najmniej 0,50 m (pkt. 5.3.2.2 normy). Odległość pozioma

narożnika osłony pełnej ($x = 0$ m) od obrysu strefy gołych części czynnych powinna wynosić co najmniej $(d + x) = 0,25 + 0 = 0,25$ m.



- h – wysokość przesłony
- d – podstawowy odstęp izolacyjny powietrzny między przesłoną a częściami czynnymi (wg pkt 5.3.1 normy)
- x – dodatkowy odstęp izolacyjny powietrzny między przesłoną a częściami czynnymi
- $x = 0$ m dla przesłony pełnej

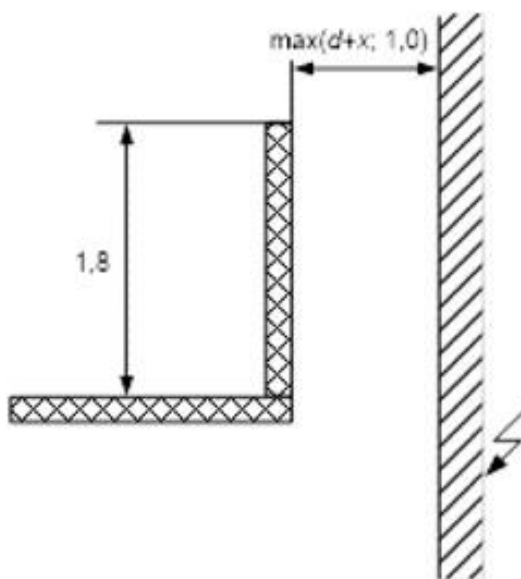
- $x = 1,50$ m dla przesłony ażurowej (oka siatki nie większe niż 1200 mm^2)
- ^a wynika z wymagania pkt 5.3.2.2 normy
- ^b wymiar można zmniejszyć o tyle, o ile wysokość h przekracza wartość $1,80$ m
- $\max(d + x; 1,00)$ oznacza większą z dwóch wartości w nawiasie, czyli $(d + x)$, ale nie mniej niż $1,00$ m

Rys 2.6.1. Przykład wymagań stawianych przesłonie przeciwporażeniowej na obszarze ogólnie dostępnym

2.6.1.4. W drugiej sytuacji pochodnej, przedstawionej na rys. 2.6.2 stanowisko dostępne dla osób postronnych jest usytuowane obok płaszczyzny ograniczającej przestrzeń z gołymi częściami czynnymi, nie ma takich części pod stanowiskiem. Jeżeli całą przesłonę wykonać jako ażurową, co w tym

przypadku jest dopuszczalne, to oznaczone na rysunku wymiary ważne ze względu na ochronę przed dotykiem bezpośrednim ustala się następująco:

- a) wysokość przesłony (pkt. 5.3.2.1 normy) powinna wynosić co najmniej 1,80 m,
- b) odległość pozioma przesłony ażurowej od obrysu strefy gołych części czynnych powinna wynosić co najmniej $(d + x) = 0,25 + 1,50 = 1,75$ m, ale nie mniej niż 1,00 m. Decyduje pierwszy warunek: 1,75 m.



Rys 2.6.2. Przykład wymagań stawianych przesłonie przeciwporażeniowej na obszarze ogólnie dostępnym

2.6.1.5. Zarządcy infrastruktury kolejowej mogą wprowadzać własne uregulowania, ostrzejsze niż norma PN-EN 50122-1. W trakcie projektowania i budowy wskazane są marginesy bezpieczeństwa, aby wymagane odstępy izolacyjne były dotrzymane mimo nieuniknionych niedokładności wykonawczych i późniejszych procesów starzeniowych.

2.6.2. Bezpieczne konstrukcje wsparcze górnej sieci jezdnej

W nowobudowanych bądź przebudowywanych sieciach trakcyjnych nie należy stosować konstrukcji wsparczych ułatwiających wspinanie się na nie (rys. 2.6.3). Powszechnie, a na obszarach ogólnie dostępnych wyłącznie, powinny być stosowane słupy (rys. 2.6.4), które dzięki swojej budowie, nie dopuszczają do wspinania się po nich bez środków pomocniczych (słupolazy, drabina, podnośnik) albo słupy wyposażone w dodatkowe zabezpieczenie przed wspinaniem się (ang. *anti-climbing guard* lub *anti-climbing device*) np. w lokalizacjach gdzie słupy

przestrzenne ze skratowaniem mogą polepszyć warunki widoczności na przejazdach kolejowo-drogowych, w porównaniu z konstrukcjami gładkopowierzchniowymi.



Rys 2.6.3. Drabiniaste konstrukcje wsporcze ułatwiające wspinanie się



Rys 2.6.4. Gładkopowierzchniowe konstrukcje wsporcze utrudniające wspinanie się

2.7. Wymagania ochrony przy dotyku pośrednim w sieci trakcyjnej DC 3 kV

Określone wymagania, dotyczące ochrony przy dotyku pośrednim, oparto głównie na wymaganiach następujących przepisów i norm:

- 1) **Rozporządzenie** Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 10 września 1998 r. **w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowie kolejowe i ich usytuowanie** (Dz. U. 1998, Nr 151, poz. 987 z późn. zmianami),
- 2) **PN-EN 50122-1:2011** – wersja angielska: Zastosowania kolejowe – Urządzenia stacjonarne – Bezpieczeństwo elektryczne, uziemianie i sieć powrotna – Część 1: Środki ochrony przed porażeniem elektrycznym,
- 3) **PN-EN 50122-2:2011** – wersja angielska: Zastosowania kolejowe – Urządzenia stacjonarne – Bezpieczeństwo elektryczne, uziemianie i sieć powrotna – Część 2: Środki ochrony przed skutkami prądów błędzących powodowanych przez systemy trakcji prądu stałego,
- 4) **PN-HD 60364-4-41:2009** – wersja polska: Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 4-41: Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa – Ochrona przed porażeniem elektrycznym,
- 5) **PN-HD 60364-5-51:2011** – wersja angielska: Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Część 5-54: Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego – Układy uziemiające i przewody ochronne,
- 6) **PN-EN 50162:2006** – wersja polska: Ochrona przed korozją powodowaną przez prądy błędzące z układów prądu stałego,
- 7) **PN-E-05024:1992** – wersja polska: Ochrona przed korozją – Ograniczanie upływu prądów błędzących z trakcyjnych sieci powrotnych prądu stałego,
- 8) **PN-EN 50526-2:2014-09** – wersja angielska: Zastosowania kolejowe – Urządzenia stacjonarne – Ograniczniki przepięć prądu stałego i urządzenia ograniczające napięcie – Część 2: Urządzenia ograniczające napięcie,
- 9) **PN-EN 50526-3:2016-08** – wersja angielska: Zastosowania kolejowe – Urządzenia stacjonarne – Ograniczniki przepięć prądu stałego i urządzenia ograniczające napięcie – Część 3: Przewodnik Stosowania.

2.7.1. Rodzaje ochron przy dotyku pośrednim w sieci trakcyjnej DC 3 kV

- 2.7.1.1. Jeżeli dojdzie do uszkodzenia izolacji głównej górnej sieci jezdnej prądu stałego 3 kV to powinno nastąpić samoczynne wyłączenie zasilania. Aby to spełnić, metalowe konstrukcje naziemne (konstrukcje wsporcze systemu

górną sieci jezdnej, części przewodzące dostępne innych urządzeń elektrycznych, części przewodzące obce), usytuowane w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej, powinny być przyłączone do obwodu powrotnego, czyli powinny być uszynione w jeden ze sposobów podanych w tabeli 2.7.1.

Tabela 2.7.1. Rodzaje uszynienia

Nazwa		Objaśnienie
uszynienie bezpośrednie	indywidualne	połączenie każdej konstrukcji chronionej bezpośrednio z szyną jezdnią
	grupowe	grupowe połączenie konstrukcji chronionych bezpośrednio z szyną jezdnią
uszynienie otwarte	indywidualne	połączenie każdej konstrukcji chronionej z szyną jezdnią przez ogranicznik napięcia dotykowego VLD
	grupowe	grupowe połączenie konstrukcji chronionych z szyną jezdnią przez ograniczniki napięcia dotykowego VLD

- 2.7.1.2. Połączenie elektryczne przewodzących części oraz konstrukcji naziemnych i nadziemnych z szynami jezdnyimi powinno następować tylko w przypadku pojawienia się niebezpiecznej różnicy potencjałów pomiędzy tymi częściami a szynami jezdnyimi. Taka różnica potencjałów może pojawić się w przypadku uszkodzenia izolacji głównej sieci DC 3 kV lub przy przepływie prądu obciążenia pociągu, gdy wystąpiła przerwa w obwodzie powrotnym. Uszynienie bezpośrednie, które nadal występuje na krajowych szlakach kolejowych, nie spełnia tego warunku. Konstrukcje nadziemne są na stałe połączone elektrycznie z szynami jezdnyimi, co jest niekorzystne ze względu na rozptył prądów błędnych. W nowobudowanych lub modernizowanych liniach nie należy zatem stosować uszynienia bezpośredniego. Należy stosować uszynienie otwarte grupowe lub indywidualne.
- 2.7.1.3. Uszynienie otwarte grupowe (uszynianie za pośrednictwem ogranicznika napięcia dotykowego VLD więcej niż jednego obiektu) jest rozwiązaniem zalecanym. Na szlaku kolejowym uszynienie otwarte indywidualne (uszynianie pojedynczego obiektu za pośrednictwem ogranicznika napięcia dotykowego) powinno być stosowane wyjątkowo, np. wtedy, gdy występują trudności z przyłączeniem części przewodzących urządzenia (np. urządzenia przytorowego) do przewodu uszynienia grupowego.

Metalowe nadziemne konstrukcje wsporcze górnej sieci jezdnej, objęte uszynieniem otwartym, powinny być oddzielone od fundamentów izolacją na napięcie co najmniej 750 V (rys. 2.7.1). Dzięki temu eliminuje się przepływu prądu przez fundamenty i ich korozję. W uzasadnionych przypadkach takie oddzielenie należy stosować również w odniesieniu do innych konstrukcji nadziemnych.



Rys 2.7.1. Słup trakcyjny, który wchodzi w skład systemu grupowego uszynienia otwartego:
a) widok z góry połączenia słupa z fundamentem,
b) widok z dołu połączenia z fundamentem izolowanego za pomocą przekładek i tulei izolacyjnych

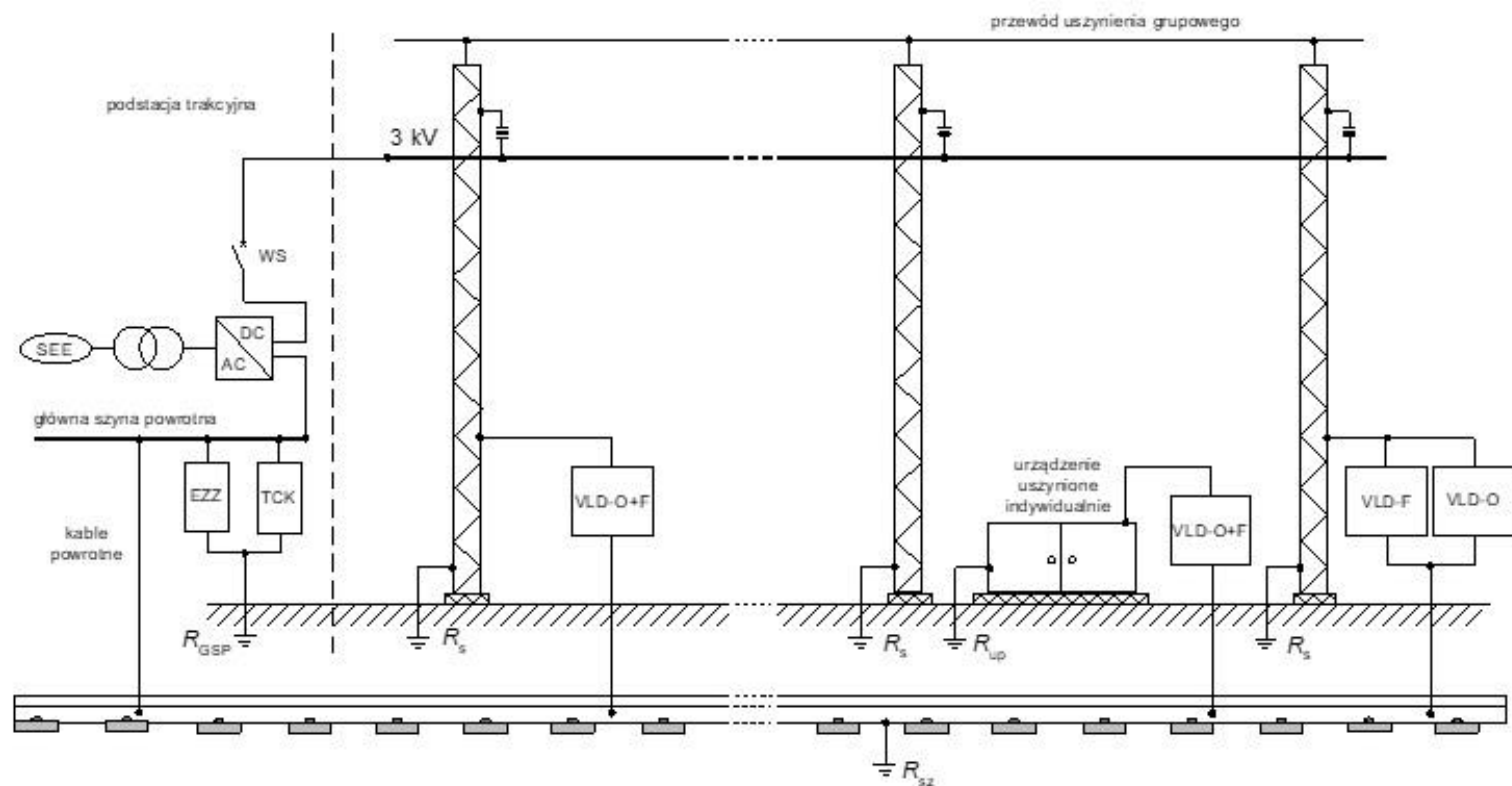
- 2.7.1.5. Przy stosowaniu uszynienia grupowego konstrukcje wsporcze górnej sieci jezdnej usytuowane w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej powinny być przyłączone do przewodu uszynienia grupowego (rys. 2.7.2).
- 2.7.1.6. Uszynienie powinno być wykonane za pośrednictwem ograniczników napięcia dotykowego VLD. Wyróżnia się następujące ograniczniki napięcia dotykowego:
- a) **VLD-F** – ogranicznik napięcia dotykowego, który ma zadziałać przy uszkodzeniu izolacji głównej obwodu DC o napięciu 3 kV. Od urządzenia tego nie wymaga się przerywania przepływu prądu zwarciego (zwarcie

ma wyłączyć wyłącznik szybki w podstacji) i wystarczy, aby było ono przystosowane do przewodzenia prądu zwarciovego przez krótki czas,

- b) **VLD-O** – ogranicznik napięcia dotykowego, który ma zadziałać przy nadmiernym wzroście potencjału szyn, spowodowanym przepływem trakcyjnego prądu obciążenia przy przerwaniu obwodu powrotnym (np. z powodu pękniętej szyny),
- c) **VLD-O+F** – ogranicznik napięcia dotykowego łączący obie powyższe funkcje (ogranicznik dwukierunkowy).

2.7.1.7. Należy stosować ograniczniki dwukierunkowe VLD-O+F. Dopuszcza się zamiennie równoległe połączenie ograniczników jednokierunkowych VLD-F i VLD-O, co jednak jest niezalecane ze względu na wyższy koszt i większy gabaryt urządzenia ochronnego.

2.7.1.8. Należy zadbać, aby obwód powrotny systemu trakcji elektrycznej był oddzielony elektrycznie od układów uziemiających innych sieci elektrycznych, w tym sieci rozdzielczych publicznych zasilających potrzeby nieatrakcyjne. Ma to zapobiec przepływowi prądów błędnych i wynoszeniu potencjału z obwodu powrotnego.



WS - wyłącznik szybki w podstacji trakcyjnej,

EZZ - urządzenie ochrony ziemnozwarciowej w podstacji trakcyjnej,

TCK - tester ciągłości kabli powrotnych,

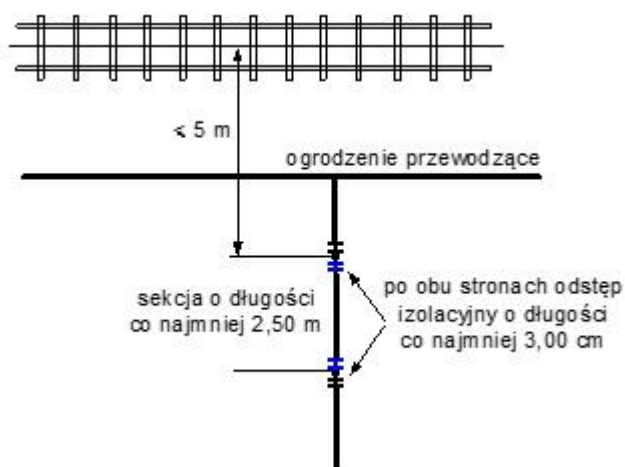
VLD-F - ogranicznik napięcia dotykowego działający przy doziemieniu w sieci 3 kV,

VLD-O+F - ogranicznik napięcia dotykowego dwukierunkowy, tzn. działający zarówno przy doziemieniu w sieci 3 kV, jak i przy braku ciągłości obwodu powrotnego,

R_{GSP} - rezystancja uziemienia ochronnego podstacji trakcyjnej,

Rys 2.7.2. System zasilania trakcji elektrycznej DC o napięciu 3 kV z uszynieniem otwartym

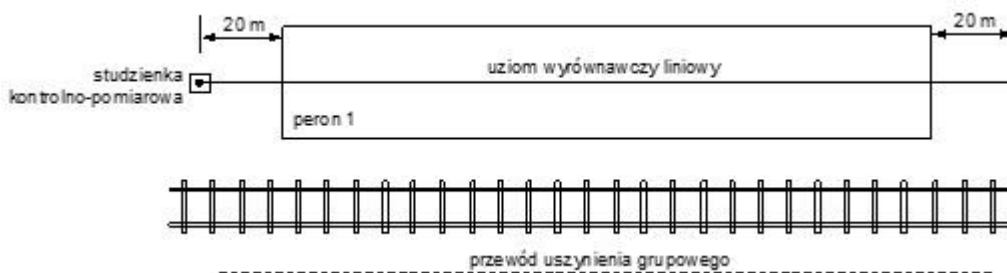
- 2.7.1.9. Aby ograniczyć długotrwały wpływ prądów błędnych zaleca się monitorowanie rozptyłu prądu powrotnego. W szczególności istotna jest informacja, jaka część prądu powrotnego wraca przez ziemię. Można ją uzyskać mierząc prąd obciążenia wypływający ze stacji i prąd powracający do stacji kablami powrotnymi. Różnica tych prądów to prąd powracający przez ziemię. Jego wartość większa niż np. 20% prądu wypływającego ze stacji powinna być sygnalizowana. Monitorowanie rozptyłu prądu powrotnego umożliwia system SCADA.
- 2.7.1.10. Należy stosować sekcje izolujące w ogrodzeniach usytuowanych prostopadle do osi toru, aby nie wynosić na znaczne odległości potencjału ze strefy oddziaływania sieci trakcyjnej (rys. 2.7.3). Sekcja ta powinna mieć długość nie mniejszą niż 2,50 m z odstępem izolacyjnym co najmniej 3,00 cm po obu stronach.



Rys 2.7.3. Sekcja izolująca w przewodzącym ogrodzeniu prostopadłym do osi toru

- 2.7.1.11. Perony stacji osobowych to miejsce, w którym może się gromadzić znaczna liczba ludzi. Ludzie znajdujący się na peronie mogą dotykać części przewodzących urządzeń elektrycznych (np. automatów biletowych) i/lub części przewodzących obcych (np. konstrukcji wsporczych zadaszenia peronu). Aby nie doszło do porażenia w przypadku uszkodzenia izolacji sieci DC 3 kV należy zadbać, aby części przewodzące nieobjęte uszynieniem i części przewodzące dostępne uszynione nie były jednocześnie dostępne. Zatem należy je tak sytuować, aby były oddalone od siebie co najmniej o 2,50 m, wzdłuż linii pomiaru zasięgu ręki. Jeżeli nie jest możliwe zachowanie tej odległości, to część uszyniona do wysokości 2,50 m od powierzchni stanowiska powinna być pokryta warstwą elektroizolacyjną.

2.7.1.12. W celu wyrównania potencjału zaleca się ułożenie wzdłuż linii środkowej każdego peronu uziomu wyrównawczego liniowego na całej długości peronu z obustronnym naddatkiem około 20 m sięgającym poza jego krańce. W obrębie peronu uziom powinien być ułożony na głębokości ok. 0,30 m (rys. 2.7.4).



Rys 2.7.4. Usytuowanie uziomu wyrównawczego na peronie stacji osobowej

2.7.1.13. Zgodnie z normą PN-EN 50122-1:2011, można odstąpić od uszyniania części przewodzących o małych wymiarach (usytuowanych w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej), jeżeli łącznie są spełnione następujące warunki:

- a) nie są na nich zainstalowane urządzenia elektryczne klasy ochronności I,
- b) osoba zbliżająca się do takich części jest w stanie zauważyć, że dotyka do nich przewód górnej sieci jezdnej,
- c) wymiary tych części są nie większe niż podane w tabeli 2.7.2.

Przykładem części niewymagających uszyniania są znaki sygnalizacyjne, maszty ze znakami, pojemniki na śmieci, pokrywy włazów, podjazdy dla wózków inwalidzkich, liny urządzeń napinających.

Tabela 2.7.2. Największe dopuszczalne wymiary małych części przewodzących niepodlegających uszynieniu, znajdujących się w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej wg PN-EN 50122-1:2011

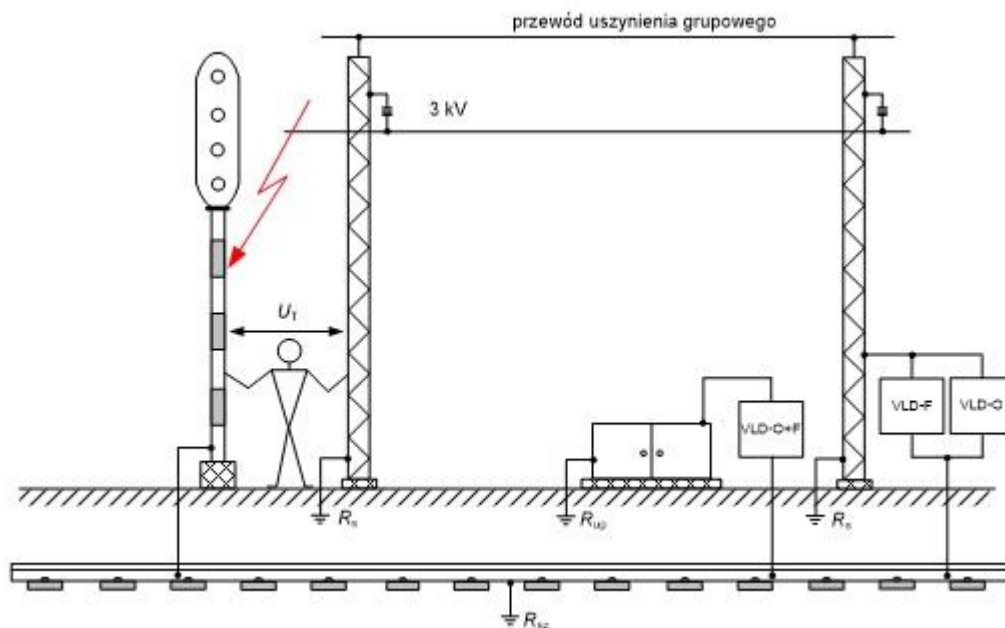
Rodzaj części przewodzącej	Część przewodząca ułożona względem torów	
	równoległe	prostopadle
przewodząca na całej długości	3 m	2 m
przewodząca nie na całej długości	15 m	2 m

2.7.2. Rezystancja uziemienia

Rezystancja uziemienia pojedynczego obiektu nie powinna przekraczać 50Ω , a wypadkowa rezystancja jednej sekcji uszynienia grupowego na szlaku kolejowym nie powinna przekraczać 2Ω . Wprowadzono wymaganie odnoszące się do rezystancji uziemienia konstrukcji wsporczych lub innych obiektów (np. wiaduktów i peronów), na których zainstalowano ogranicznik napięcia dotykowego VLD. Rezystancja uziemienia tej budowli nie powinna być większa niż 10Ω w gruncie o rezystywności nieprzekraczającej $100 \Omega \text{ m}$, a w innych gruntach – nie większa niż 20Ω

2.7.3. Mieszany system uszynień

Z mieszanym systemem uszynień wiąże się kłopotliwy przypadek ochrony przy dotyku pośrednim, jakim jest nadmierne zbliżenie części przewodzących dostępnych dwóch różnych funkcjonalnie obiektów z wyposażeniem elektrycznym, co pokazano na rysunku 2.7.5. Chodzi o takie zbliżenie, nieprzekraczające $2,50 \text{ m}$ (mierzone po linii łamanej, jeżeli są przeszkody), gdy części te są jednocześnie dostępne, a człowiek może je dotknąć jednocześnie i ulec porażeniu prądem, jeżeli występuje między nimi różnica potencjałów większa niż dopuszczalna w określonym czasie. Takich zbliżeń należy unikać przy projektowaniu i budowie nowych obiektów. Przy rozwiązywaniu problemów związanych z tym zagadnieniem w urządzeniach istniejących należy wziąć pod uwagę zagrożenia i możliwe sposoby ich eliminowania przedstawione w pkt 2.7.5.



Rys 2.7.5. Sygnalizator w bezpośrednim pobliżu słupa (w odległości nieprzekraczającej $2,50 \text{ m}$). Stan wyjściowy, bez uzupełniających środków

ochrony – napięcie dotykowe U_T o niebezpiecznie dużej wartości utrzymuje się do chwili wyłączenia zasilania w podstacji trakcyjnej

2.7.4. Mieszany system uszynień urządzeń istniejących

2.7.4.1. Zwykły przypadek to zbliżenie słupa trakcyjnego (podtrzymującego górną sieć jezdnią o napięciu DC 3 kV) z sygnalizatorem, słupem oświetleniowym bądź telekomunikacyjnym, bramką sygnałową, kontenerem albo szafką z wyposażeniem elektrycznym bądź metalową konstrukcją zadaszenia peronu z oświetleniem elektrycznym lub też mechaniczne urządzenia pędni kolejowych. We wszystkich wymienionych przypadkach chodzi na ogół o wyposażenie o napięciu niskim nieprzekraczającym AC 230/400 V, bądź bardzo niskim nieprzekraczającym AC 42 V. Dla uniknięcia powtarzania powyższego wyliczenia, poniżej użyto sformułowania sygnalizator jako reprezentatywny przedstawiciel wspomnianych konstrukcji naziemnych. Podstawowe ustalenia w rozważanej sprawie są następujące, jeżeli chodzi o zagrożenie ze strony sieci jezdnej DC 3 kV (zerwanie górnej sieci jezdnej lub inne uszkodzenie izolacji głównej):

- a) sygnalizator usytuowany w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej powinien być uszyniony, aby ewentualne zwarcie doziemne za jego pośrednictwem przekształcić w zwarcie międzybiegunowe, co ma zapewnić szybkie wyłączenie,
- b) jeżeli maszt sygnalizatora jest odizolowany od ziemi, to w istniejących obiektach może on być uszyniony bezpośrednio (EN 50122-1:2011, pkt. 6.2.2.1) bez obawy o zagrożenie korozyjne od prądów błędzących. Oczywiście w takim przypadku można alternatywnie zastosować uszynienie otwarte, jeżeli okazuje się to bardziej korzystne,
- c) jeżeli natomiast maszt sygnalizatora nie jest odizolowany od ziemi, to dozwolone jest zastosowanie tylko uszynienia otwartego.

2.7.4.2. Nie można też pomijać zagrożenia ze strony sygnalizatora, a tym bardziej – innych wspomnianych konstrukcji naziemnych zawierających wyposażenie również o wyższym napięciu, które w razie uszkodzenia izolacji podstawowej mogłoby pojawić się na częściach przewodzących dostępnych. Zagrożenie to można wyeliminować na dwa sposoby:

- a) unikając metalowych konstrukcji naziemnych w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej, zastępując je konstrukcjami z materiałów izolacyjnych we

wszystkich przypadkach, kiedy są one dostępne (skrzynki i szafki przytorowe),

- b) stosując wyposażenie elektryczne o podwójnej izolacji albo w wykonaniu równoważnym, jeżeli nie można uniknąć metalowej obudowy. Wszelkie przewody połączeń wewnętrznych powinny mieć co najmniej dwie warstwy izolacyjne (np. izolację żył plus izolacyjną powłokę lub rurę osłonową dodaną przy montażu, a niebędącą integralną częścią przewodu). To wymaganie powinno być spełnione również w miejscu wprowadzenia bądź wyprowadzenia przewodów z obudowy. Montowane we wnętrzu wyposażenie powinno mieć osłony bądź korpusy z materiału izolacyjnego tak pomyślane, aby między częścią czynną a metalową obudową były dwa układy izolacyjne.

2.7.4.3. Maszty i słupy, o których mowa, ze względów wytrzymałościowych nie są wykonywane z materiałów izolacyjnych. Problem z ochroną od porażeń prądem elektrycznym można jednak łatwo rozwiązać pokrywając ich powierzchnię powłoką elektroizolacyjną. Od dawna stosują to operatorzy sieci dystrybucyjnych elektroenergetycznych w odniesieniu do słupów betonowych i słupów stalowych linii wysokiego napięcia, przy których są przekroczone dopuszczalne wartości napięć dotykowych w razie zwarcia doziemnego. Do wysokości zasięgu ręki (2,50 m od powierzchni ziemi) słupy pokrywa się używanym w budownictwie produktem na bazie masy asfaltowej, odpornym na zmienne warunki atmosferyczne. Parametry elektroizolacyjne powłok nie są podawane przez producenta, wobec czego zostały sprawdzone w Instytucie Energetyki (tabela 2.7.3). Na podstawie wyników badania dużej liczby próbek dla poszczególnych powłok podano wartość średnią arytmetyczną napięcia przebicia, kwantyl 9% (wartości mniejsze lub równe od podanej w trzeciej kolumnie tabeli występują z prawdopodobieństwem co najmniej 9%) oraz kwantyl 1% (wartości mniejsze lub równe od podanej w 4. kolumnie tabeli występują z prawdopodobieństwem co najmniej 1%).

Tabela 2.7.3. Parametry napięcia przebicia rozmaitych powłok elektroizolacyjnych⁴

Materiał powłoki	Napięcie przebicia		
	Wartość średnia	Kwantyl 9%	Kwantyl 1%
	V	V	V
Abizol R	1480	750	400
Dacholeum	2100	1550	1300
Abizol D	2300	1400	1150
Abizol R + Dacholeum	4380	3350	2900
Abizol R + Abizol D	4470	3500	3150
Abizol P	2500	1800	1600
Abizol P + Dacholeum	4500	3650	3350
Abizol P + Abizol D	4880	4000	3650
Abizol R + Abizol P	4840	2800	2500
Zapis ze znakiem + oznacza dwuwarstwową powłokę ze wskazanych materiałów, nakładaną w podanej kolejności.			

2.7.4.4. Instytut Energetyki zalecił tak dobierać materiał powłoki, aby jej napięcie przebicia było nie mniejsze niż 0,375 napięcia uziomowego przy słupie. W rozważanym tu przypadku trakcji DC 3 kV to wymaganie z nadmiarem spełniają wszystkie materiały podane w tabeli 2.7.3 z wyjątkiem pierwszej pozycji (jednowarstwowa powłoka Abizol R). Z doświadczenia wynika, że trwałość poprawnie nałożonych powłok wynosi co najmniej 15 lat. Badania elektroizolacyjności były wprawdzie wykonywane w roku 1975, ale nic nie wskazuje na to, by od tego czasu nastąpiły takie zmiany składu omawianych preparatów asfaltowych, które by niekorzystnie zmieniły ich właściwości elektroizolacyjne. Decydując się na takie rozwiązanie można sprawdzić wytrzymałość otrzymanej powłoki megaomierzem induktorowym o napięciu pomiarowym 2500 V po wyschnięciu próbnie nałożonych powłok, a następnie: po kilku miesiącach i po dłuższym czasie. Napięcie pomiarowe należy

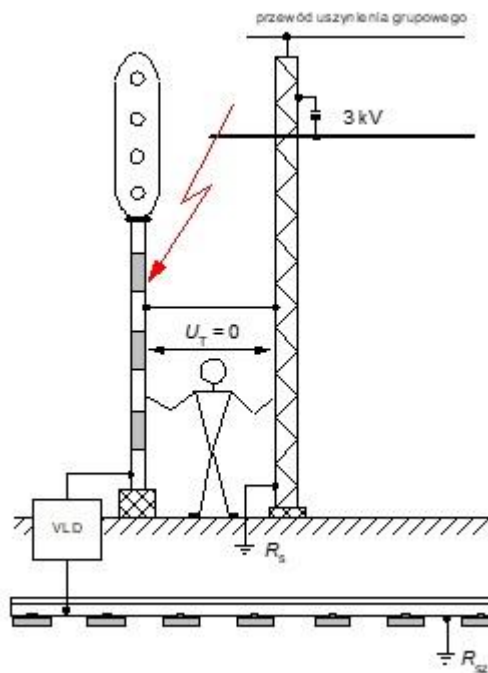
⁴ Analiza możliwości zastosowania powłok elektroizolacyjnych do ochrony od porażień przy słupach linii 110 kV Gdańsk 2 – Ostrów Basen Górniczy. Instytut Energetyki, Zakład Wysokich Napięć, Temat NWN/12/75, Warszawa 1975.

przykładać między odsłonięty fragment gołego metalu konstrukcji a przewodzącą elektrodę płaską przykładaną do powłoki w kilku wybranych miejscach.

2.7.5. Poprawa bezpieczeństwa przy mieszanych systemach uszynień

2.7.5.1. W rozwiązaniu przedstawionym na rysunku 2.7.6:

- jeżeli napięcie na zaciskach ogranicznika VLD przekroczy wartość dopuszczalną, to zadziała on i nastąpi wyłączenie zasilania w podstacji trakcyjnej,
- słup trakcyjny jest uziemiony i przyłączony do przewodu uszynienia grupowego. Naziemna konstrukcja słupa trakcyjnego odizolowana jest od jego fundamentu,
- maszt sygnalizatora ma uszynienie otwarte przez VLD. Naziemna konstrukcja masztu odizolowana jest od jego fundamentu.



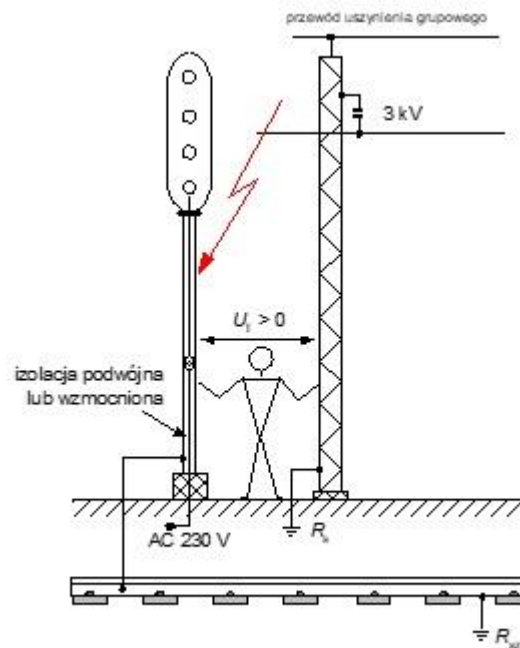
Rys 2.7.6. Sygnalizator w bezpośrednim pobliżu słupa z grupowym uszynieniem otwartym, z zastosowaniem bezpośredniego wyrównania potencjałów konstrukcji obydwu słupów przez połączenie ich przewodem wyrównawczym oraz uszynienie masztu sygnalizatora przez VLD

R_s – rezystancja uziemienia słupa trakcyjnego,

R_{sz} – rezystancja doziemna szyn,

U_T – napięcie dotykowe pomiędzy masztem sygnalizatora a słupem trakcyjnym

2.7.5.2. W rozwiązaniu przedstawionym na rysunku 2.7.7:



Rys 2.7.7. Sygnalizator w bezpośrednim pobliżu słupa z grupowym uszynieniem otwartym z zastosowaniem zasady podwójnej lub wzmocnionej izolacji obwodu zasilania lamp sygnalowych 230 V 50 Hz w maszcie sygnalizatora: przewody o dwóch warstwach izolacyjnych (izolacja podstawowa + powłoka albo giętka rura izolacyjna); skrzynki i puszki łączeniowe o obudowach izolacyjnych)

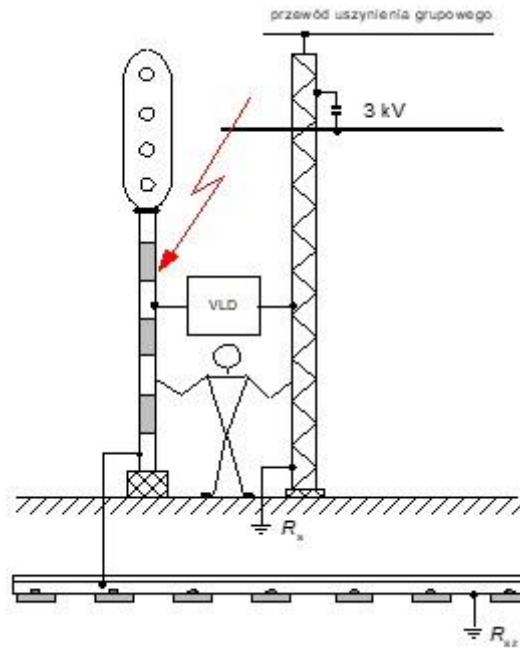
R_s – rezystancja uziemia słupa trakcyjnego,

R_{sz} – rezystancja doziemna szyn,

U_t – napięcie dotykowe pomiędzy masztem sygnalizatora a słupem trakcyjnym

2.7.5.3. W rozwiązaniu przedstawionym na rysunku 2.7.8:

- a) urządzenie VLD zadziała po pojawieniu się różnicy potencjałów większej niż 120 V (60 V),
- b) słup trakcyjny jest uzziemiony i przyłączony do przewodu uszynienia grupowego,
- c) naziemna konstrukcja słupa trakcyjnego odizolowana jest od jego fundamentu,
- d) maszt sygnalizatora uszyniony jest bezpośrednio,
- e) naziemna konstrukcja masztu sygnalizatora odizolowana od jego fundamentu.



Rys 2.7.8. Sygnalizator w bezpośrednim pobliżu słupa z grupowym uszynieniem otwartym z zastosowaniem pośredniego wyrównania potencjałów konstrukcji obydwu słupów przez ogranicznik napięć dotykowych (VLD)

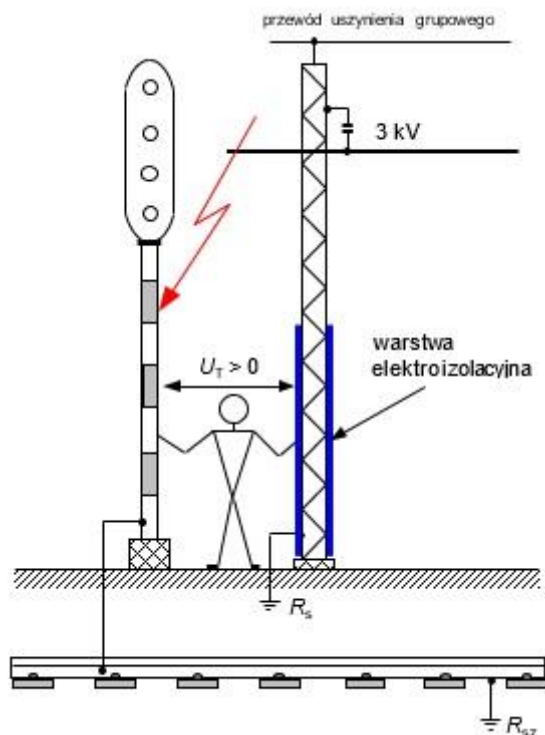
R_s – ezystancja uziemienia słupa trakcyjnego,

R_{sz} – rezystancja doziemna szyn,

VLD – ogranicznik napięcia dotykowego

2.7.5.4. W rozwiązaniu przedstawionym na rysunku 2.7.9:

- słup trakcyjny pokryty jest powłoką elektroizolacyjną do wysokości dostępnej dla monterów, do której ochrona przed niebezpiecznym napięciem dotykowym ma być zapewniona (co najmniej 2,50 m od powierzchni ziemi),
- słup trakcyjny jest uziemiony i przyłączony do przewodu uszynienia grupowego,
- naziemna konstrukcja słupa trakcyjnego odizolowana jest od jego fundamentu,
- maszt sygnalizatora uszyniony jest bezpośrednio,
- naziemna konstrukcja masztu sygnalizatora odizolowana od jego fundamentu.



Rys 2.7.9. Sygnalizator w bezpośrednim pobliżu słupa z grupowym uszynieniem otwartym z zastosowaniem malowania jednego ze słupów powłoką elektroizolacyjną (np. lepikiem asfaltowym) o wartości średniej napięcia przebicia większej niż 3 kV
 R_s – rezystancja uziemienia słupa trakcyjnego,
 R_{sz} – rezystancja doziemna szyn,
 U_T – napięcie dotykowe pomiędzy masztem sygnalizatora a słupem trakcyjnym

2.7.5.5. Zestawienie proponowanych rozwiązań umieszczono w tabeli 2.7.4.

Tabela 2.7.4. Środki ochrony od porażenia przy konstrukcjach naziemnych z wyposażeniem elektrycznym w bezpośrednim pobliżu metalowego słupa trakcyjnego

p.	Opis sytuacji		Uzupełniające środki ochrony		UWAGI
	Słup trakcyjny metalowy	Maszt sygnalizatora metalowy			
1.			Słup trakcyjny pomalować warstwą elektroizolacyjną (np. lepikiem asfaltowym) o wartości średniej napięcia przebicia większej niż 3 kV		Rys. 2.7.9
2.	Słup trakcyjny uziemiony i przyłączony do przewodu uszynienia grupowego. Naziemna konstrukcja słupa odizolowana od jego fundamentu	Maszt sygnalizatora uszyniony bezpośrednio. Naziemna konstrukcja masztu odizolowana od jego fundamentu	Zasilanie lamp sygnałowych 230 V 50 Hz w maszcie sygnalizatora wykonać wg zasad izolacji podwójnej lub wzmocnionej; przewody o dwóch warstwach izolacyjnych (izolacja	Lampy sygnałowe o napięciu bardzo niskim (ELV) zasilac przez transformator bezpieczeństwa (spełniający wymagania PN-EN	Rys. 2.7.7 Pomimo zastosowania dwóch środków ochrony uzupełniającej nadal jest możliwe jednoczesne dotknięcie obu pobliskich konstrukcji słupów, których
3.	konstrukcja słupa odizolowana od jego fundamentu		Zastosować pośrednie wyrównanie potencjałów		Rys. 2.7.8
4.		Maszt sygnalizatora ma uszynienie otwarte wykonane przez VLD. Naziemna	Zastosować bezpośrednie wyrównanie potencjałów konstrukcji obydwu słupów przez połączenie ich przewodem wyrównawczym		Rys. 2.7.6

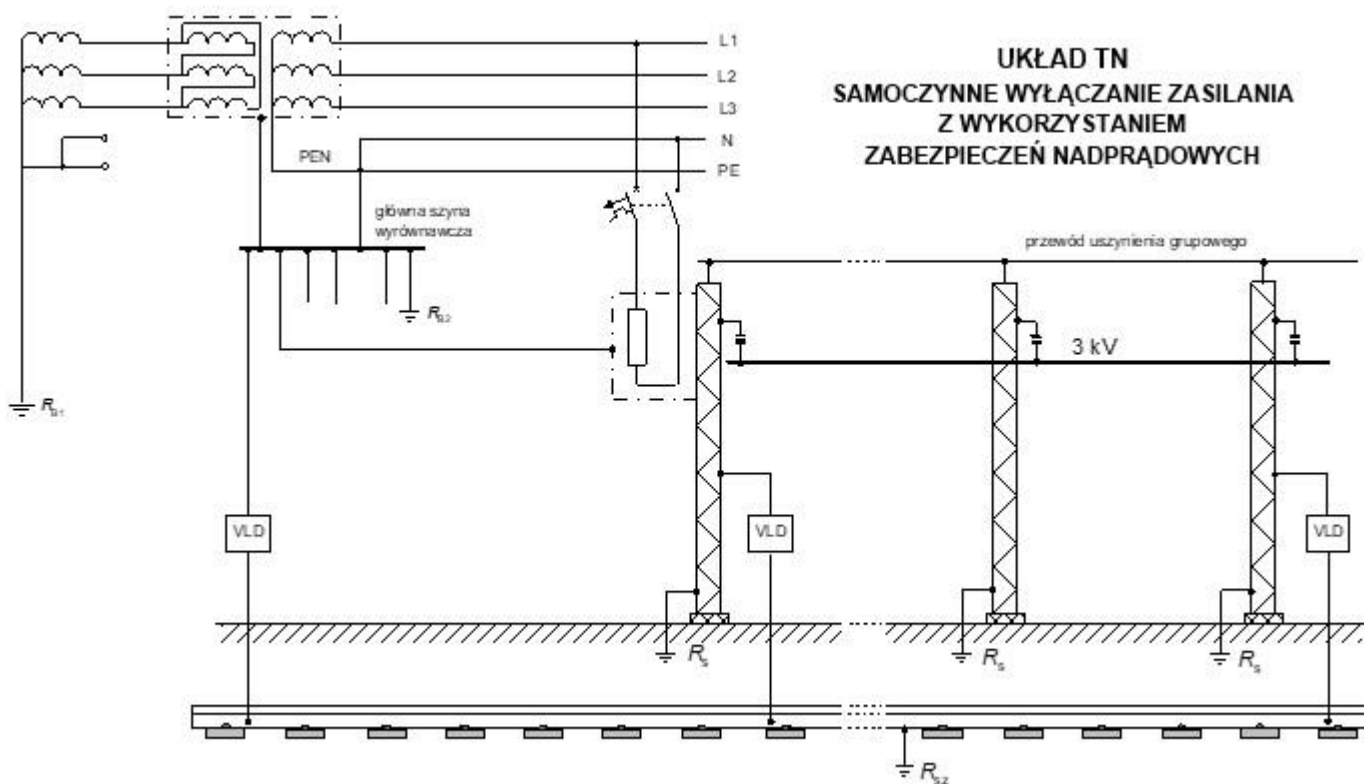
2.8. Kolejowe urządzenia przytorowe

- 1) Instalacje elektryczne zasilające kolejowe urządzenia przytorowe, w szczególności w odniesieniu do ochrony przeciwporażeniowej, należy projektować zgodnie z postanowieniami normy grupowej *PN-HD 60364 Instalacje elektryczne niskiego napięcia*, chyba że wymagania niniejszych wytycznych stanowią inaczej.
- 2) W przypadku ochrony przy dotyku bezpośrednim dopuszcza się stosowanie następujących środków ochrony:
 - a) izolacja podstawowa części czynnych,
 - b) osłony i obudowy.
- 3) Nie dopuszcza się barier oraz umieszczania poza zasięgiem ręki.
- 4) W przypadku ochrony przy dotyku pośrednim dopuszcza się stosowanie następujących środków:
 - a) samoczynne wyłączenie zasilania,
 - b) izolację ochronną w postaci izolacji podwójnej, izolację wzmocnioną lub ochronną osłonę izolacyjną,
 - c) separację ochronną,
 - d) bardzo niskie napięcie ze źródła bezpiecznego (SELV, PELV).
- 5) Nie dopuszcza się środka ochrony w postaci izolowania stanowiska. Ten środek ochrony poza instalacjami związanymi z trakcją elektryczną też ma ograniczone zastosowanie - może być stosowany jedynie w miejscach wydzielonych do celów elektroenergetycznych.

2.8.1. Zasilanie kolejowych urządzeń przytorowych w układzie TN

- 2.8.1.1. W przypadku zasilania kolejowych urządzeń przytorowych w układzie TN, istnieje ryzyko przeniesienia się poprzez przewody PE/PEN, a także instalację uziemiającą niebezpiecznych napięć lub prądów (w szczególności prądów błędnych) z sieci trakcji elektrycznej do sieci publicznej, w szczególności wtedy, kiedy urządzenia te znajdują się w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej. Aby temu zapobiec, zaleca się odseparowanie instalacji kolejowych urządzeń przytorowych od sieci publicznej. Jest to spełnione wtedy, gdy sieć publiczna jest siecią średniego napięcia – wtedy stosuje się transformator SN/nN.
- 2.8.1.2. Jeżeli sieć publiczna jest siecią niskiego napięcia, to do jej odseparowania od instalacji kolejowych urządzeń przytorowych zaleca się zastosowanie

transformatora separacyjnego. Powinien to być transformator nN/nN. System uziemień sieci publicznej nie powinien być wykorzystywany do uziemiania urządzeń w instalacji kolejowych urządzeń przytorowych. Punkt neutralny po stronie wtórnej transformatora i jego części przewodzące dostępne powinny być przyłączone do głównej szyny wyrównawczej. Przykładowe sposoby zasilania w układzie TN kolejowych urządzeń przytorowych znajdujących się w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej przedstawiono na rys. 2.8.1.a÷c.



Rys 2.8.1a. Wykorzystanie układu TN do zasilania kolejowych urządzeń przytorowych znajdujących się w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej; ochrona przy dotyku pośrednim kolejowych urządzeń przytorowych niskiego napięcia jest realizowana przez samoczynne wyłączenie zasilania z wykorzystaniem zabezpieczeń nadprądowych

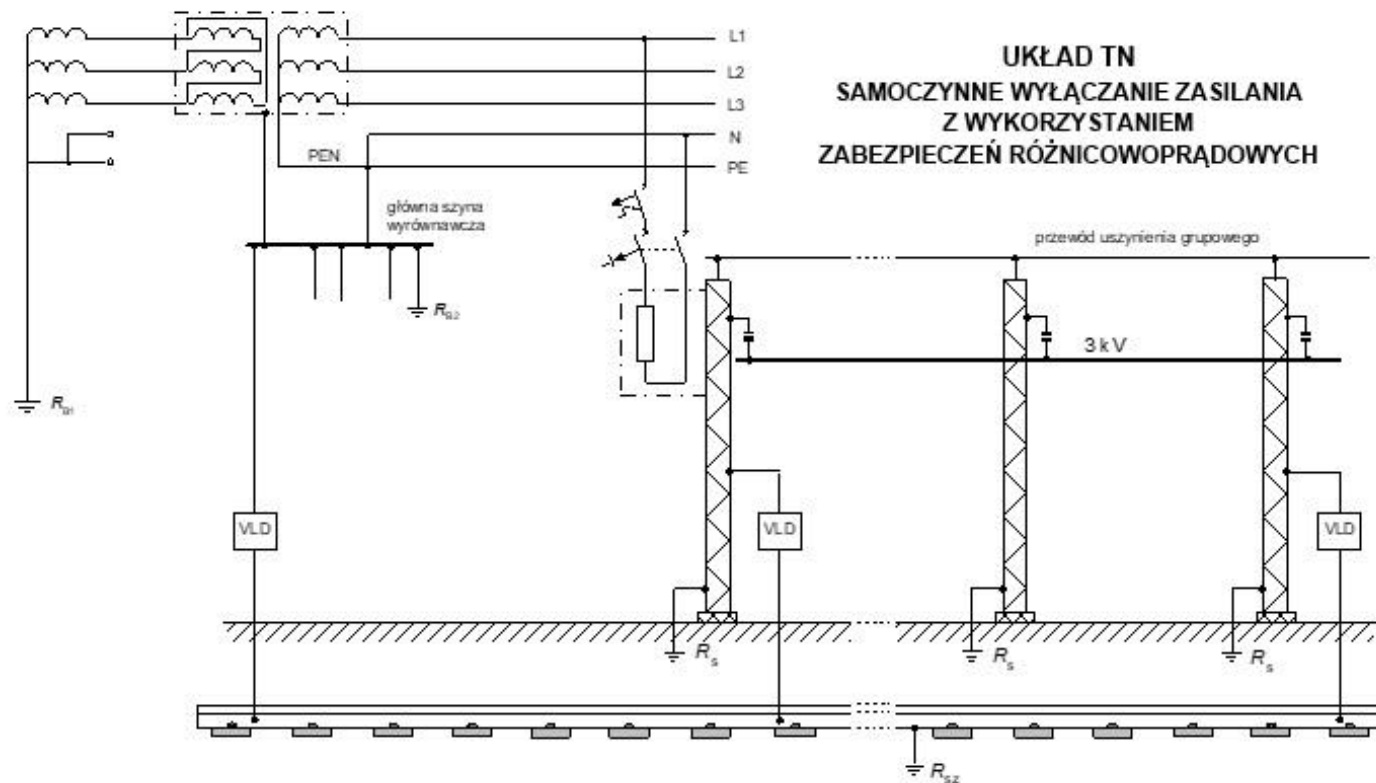
R_s – rezystancja uziemienia słupa trakcyjnego

R_{sz} – rezystancja doziemna szyn

VLD – ogranicznik napięcia dotykowego

R_{B1} – rezystancja uziemienia punktu neutralnego sieci rozdzielczej

R_{B2} – rezystancja uziemienia głównej szyny wyrównawczej



Rys 2.8.1b. Wykorzystanie układu TN do zasilania kolejowych urządzeń przytorowych znajdujących się w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej; ochrona przy dotyku pośrednim kolejowych urządzeń przytorowych niskiego napięcia jest realizowana przez samoczynne wyłączenie zasilania z wykorzystaniem zabezpieczeń różnicowoprądowych

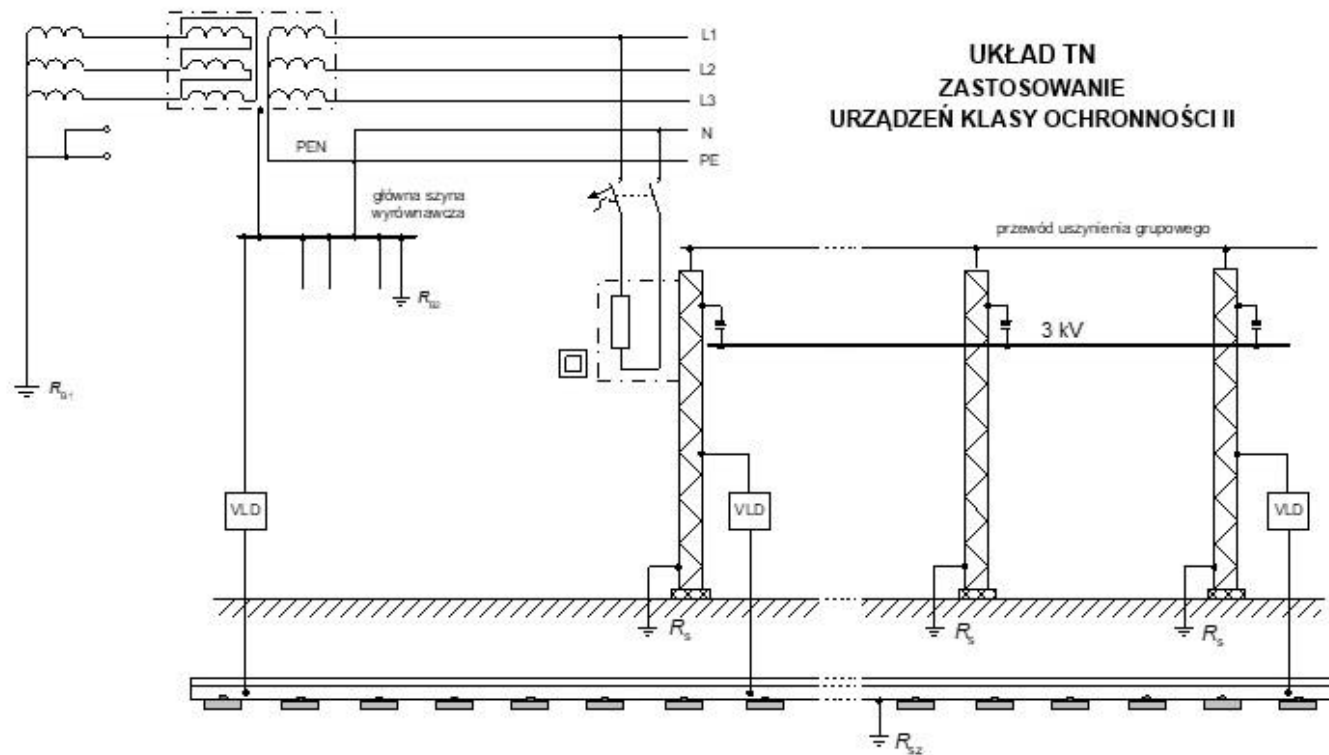
R_s – rezystancja uziemienia słupa trakcyjnego

R_{sz} – rezystancja doziemna szyn

VLD – ogranicznik napięcia dotykowego

R_{B1} – rezystancja uziemienia punktu neutralnego sieci rozdzielczej

R_{B2} – rezystancja uziemienia głównej szyny wyrównawczej



Rys 2.8.1c. Wykorzystanie układu TN do zasilania kolejowych urządzeń przytorowych znajdujących się w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej; ochrona przy dotyku pośrednim kolejowych urządzeń przytorowych niskiego napięcia jest realizowana przez zastosowanie urządzeń klasy ochronności II

R_s – rezystancja uziemienia słupa trakcyjnego

R_{sz} – rezystancja doziemna szyn

VLD – ogranicznik napięcia dotykowego Rys. 2.8.1.c.

R_{B1} – rezystancja uziemienia punktu neutralnego sieci rozdzielczej

R_{B2} – rezystancja uziemienia głównej szyny wyrównawczej

2.8.1.3. Należy zwrócić uwagę na rys. 2.8.1.b – obudowa urządzenia klasy ochronności I, stykająca się ze słupem trakcyjnym, nie jest połączona z przewodem ochronnym PE ani główną szyną wyrównawczą. W razie doziemienia w tym urządzeniu prąd nie płynie w pętli metalicznej tylko przez uziemienie słupa (zespół uziemień połączonych z przewodem uszynienia grupowego), ziemię i uziemienie głównej szyny wyrównawczej połączonej z punktem neutralnym transformatora. Jest to dopuszczalne pod warunkiem, że w obwodzie urządzenia klasy ochronności I zainstalowano wyłącznik różnicowoprądowy. Znamionowy prąd różnicowy tego wyłącznika różnicowoprądowego nie powinien przekraczać 500 mA.

2.8.2. Zasilanie kolejowych urządzeń przytorowych w układzie TT

2.8.2.1. Korzyścią z zastosowania układu TT dla instalacji kolejowych urządzeń przytorowych jest możliwość jej bezpośredniego zasilania (bez dodatkowego transformatora separacyjnego) z sieci publicznej niskiego napięcia. Podobnie jak dla układu TN główna szyna wyrównawcza instalacji kolejowych urządzeń przytorowych nie powinna być elektrycznie połączona z systemem uziemień sieci publicznej (rys. 2.8.2).

2.8.2.2. Dla układu TT w opracowanych wymaganiach podano warunek skuteczności ochrony przeciwporażeniowej przez samoczynne wyłączenie zasilania zgodnie z normą PN-EN 50122-2:2011, która w tym przypadku stawia nieco inne wymagania niż norma PN-HD 60364-4-41:2009.

2.8.2.3. Warunek skuteczności ochrony przeciwporażeniowej przez samoczynne wyłączenie zasilania wg PN-EN 50122-2:2011 jest następujący:

$$R_A \leq \frac{U_L}{I_a} \quad (2.8.1)$$

gdzie:

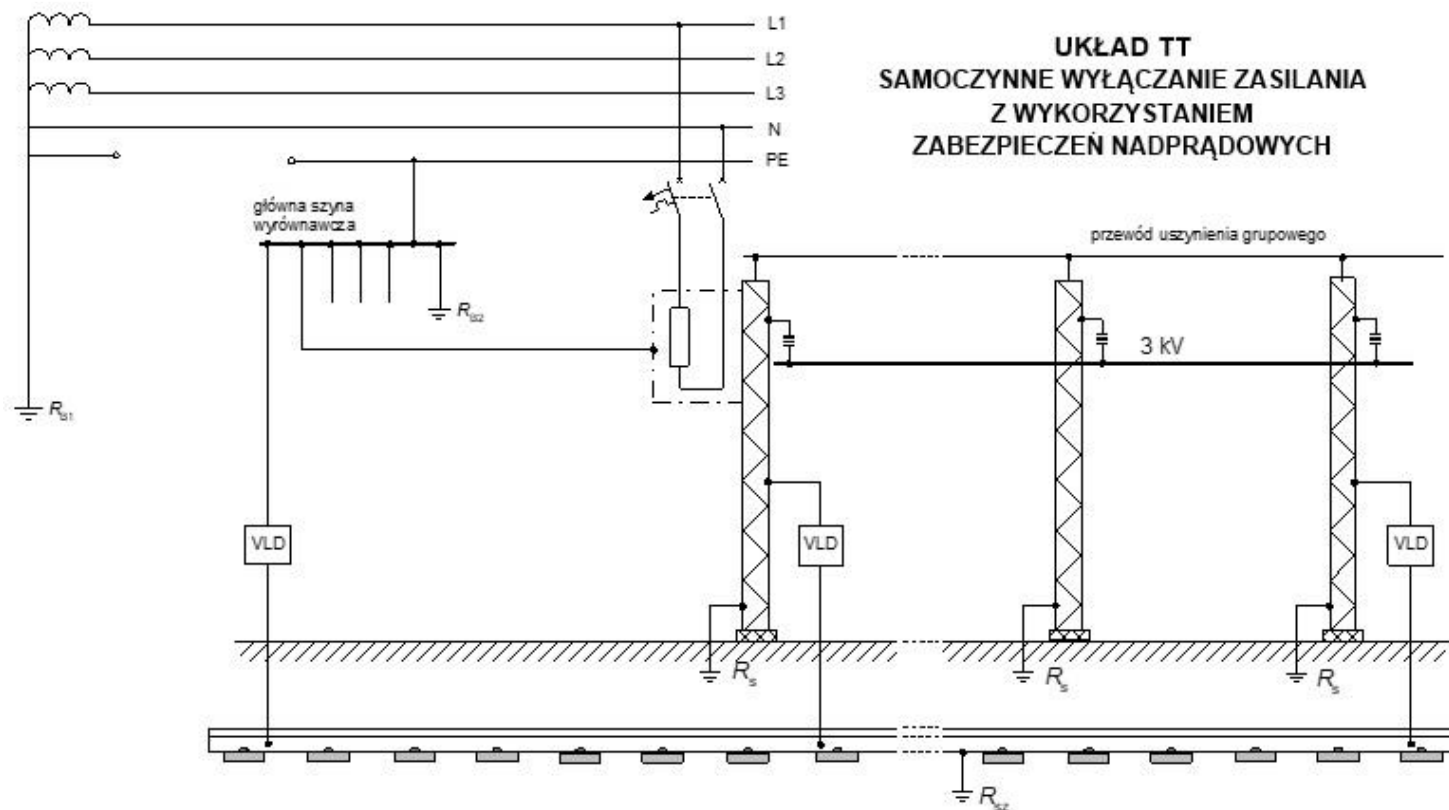
U_L – napięcie dotykowe dopuszczalne długotrwale, w voltach,

R_A – rezystancja uziemienia przewodu ochronnego, w omach,

I_a – prąd wyłączający zabezpieczenia, w amperach, zapewniający wyłączenie zasilania w czasie nie dłuższym niż 0,4 s.

W normie PN-EN 50122-2:2011 wydłużono największy dopuszczalny czas wyłączania zasilania. Wyróżniono go powyżej – wynosi on 0,4 s i jest dwukrotnie większy niż w normie PN-HD 60364-4-41:2009.

- 2.8.2.4. W przypadku zastosowania separacji elektrycznej do zasilania więcej niż jednego odbiornika z jednego transformatora separacyjnego (bądź jednego uzwojenia wtórnego transformatora separacyjnego o wielu uzwojeniach wtórnych), części przewodzące dostępne odbiorników należy połączyć nieziemionymi połączeniami wyrównawczymi PBU (rys. 2.8.3). W razie zwarcia dwumiejscowego za pośrednictwem nieziemionych połączeń wyrównawczych powinno nastąpić samoczynne wyłączenie zasilania w czasie nieprzekraczającym 0,4 s.



Rys 2.8.2a. Wykorzystanie układu TT do zasilania kolejowych urządzeń przytorowych znajdujących się w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej; ochrona przy dotyku pośrednim kolejowych urządzeń przytorowych niskiego napięcia jest realizowana przez samoczynne wyłączenie zasilania z wykorzystaniem zabezpieczeń nadprądowych

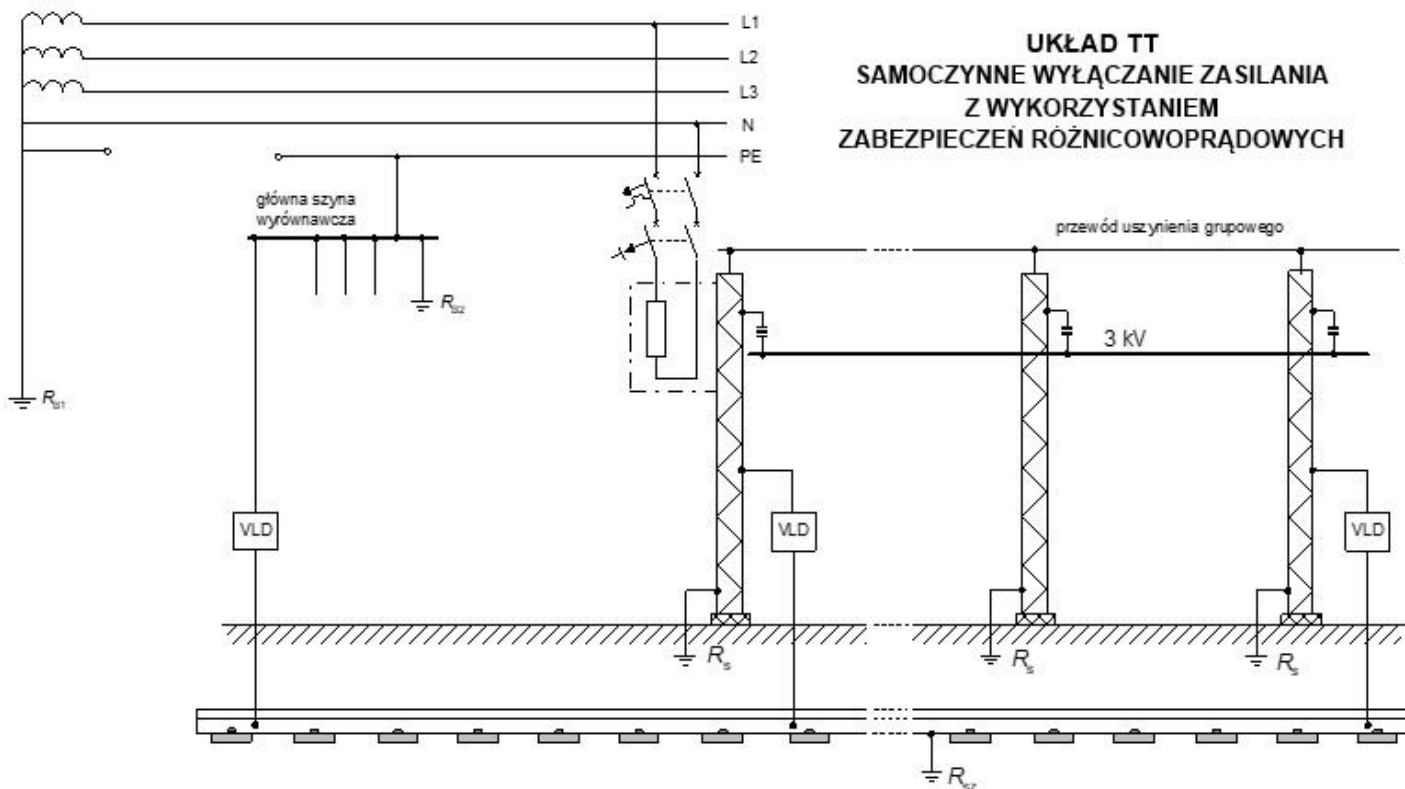
R_s – ezystancja uziemienia słupa trakcyjnego

R_{sz} – rezystancja doziemna szyn

VLD – ogranicznik napięcia dotykowego

R_{B1} – rezystancja uziemienia punktu neutralnego sieci rozdzielczej

R_{B2} – rezystancja uziemienia głównej szyny wyrównawczej



Rys 2.8.2b. Wykorzystanie układu TT do zasilania kolejowych urządzeń przytorowych znajdujących się w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej; ochrona przy dotyku pośrednim kolejowych urządzeń przytorowych niskiego napięcia jest realizowana przez samoczynne wyłączenie zasilania z wykorzystaniem zabezpieczeń różnicowoprądowych

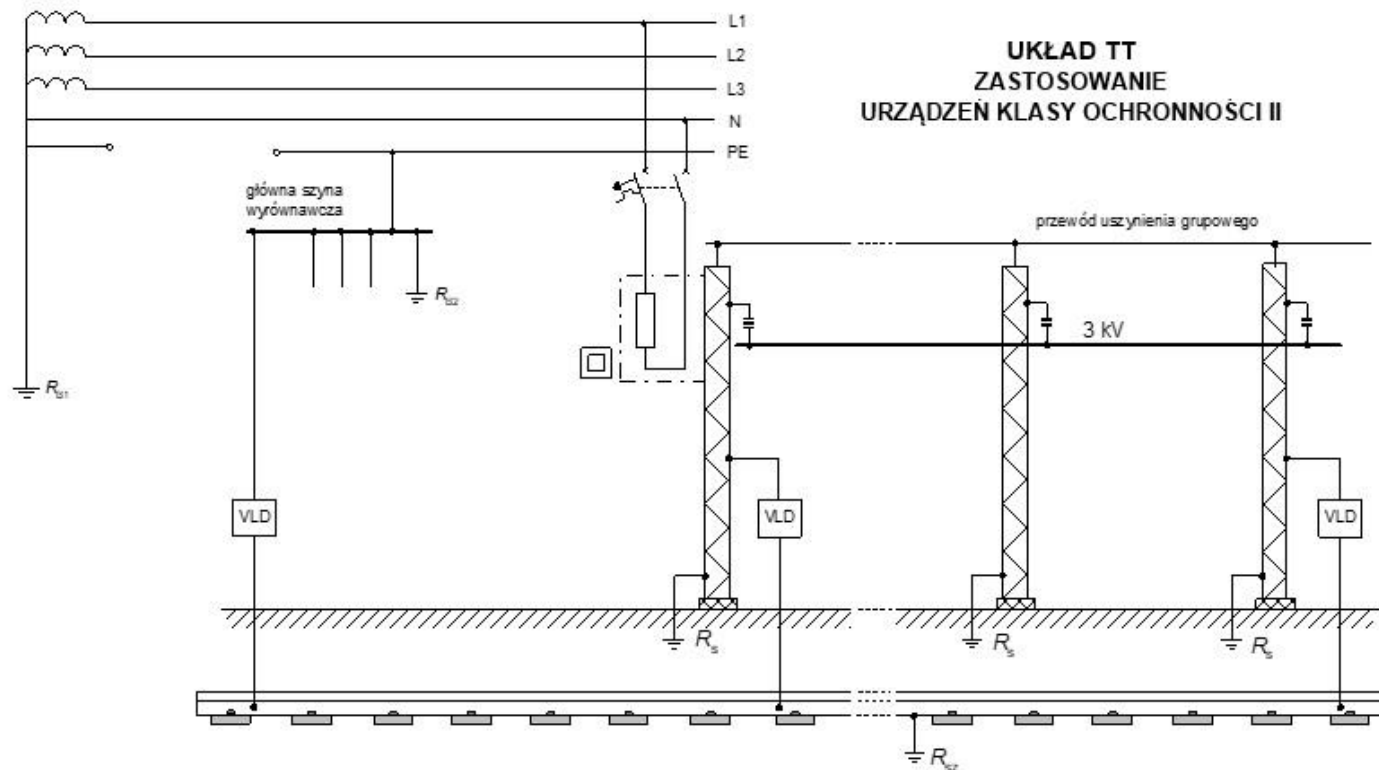
R_s – rezystancja uziemienia słupa trakcyjnego

R_{sz} – rezystancja doziemna szyn

VLD – ogranicznik napięcia dotykowego

R_{B1} – rezystancja uziemienia punktu neutralnego sieci rozdzielczej

R_{B2} – rezystancja uziemienia głównej szyny wyrównawczej



Rys 2.8.2c. Wykorzystanie układu TT do zasilania kolejowych urządzeń przytorowych znajdujących się w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej; ochrona przy dotyku pośrednim kolejowych urządzeń przytorowych niskiego napięcia jest realizowana przez zastosowanie urządzeń klasy ochronności II

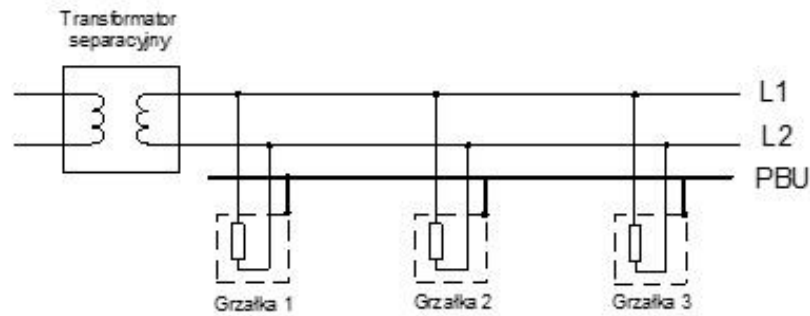
R_s – rezystancja uziemienia słupa trakcyjnego

R_{sz} – rezystancja doziemna szyn

VLD – ogranicznik napięcia dotykowego

R_{B1} – rezystancja uziemienia punktu neutralnego sieci rozdzielczej

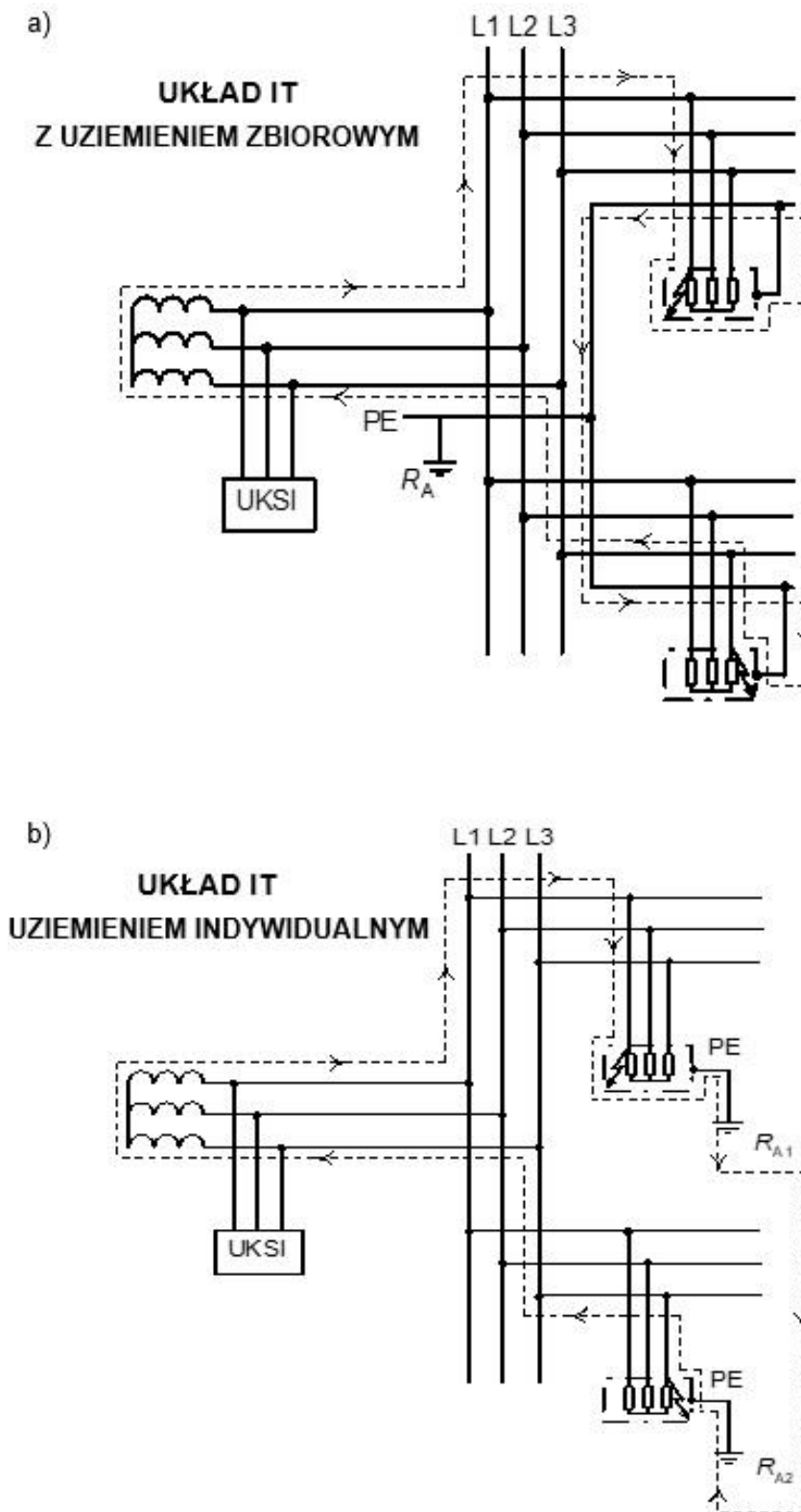
R_{B2} – rezystancja uziemienia głównej szyny wyrównawczej



Rys 2.8.3. Nieziemione połączenia wyrównawcze łączące części przewodzące dostępne w obwodzie separowanym. PBU (ang. protective bonding unearthed) – przewód wyrównawczy ochronny nieziemiony

2.8.3. Zasilanie kolejowych urządzeń przytorowych w układzie IT

- 2.8.3.1. Jeżeli urządzenia niskiego napięcia mają być zasilane w układzie IT, to należy zainstalować urządzenie do kontroli stanu izolacji w celu wykrycia pierwszego doziemienia pomiędzy częścią czynną a częścią przewodzącą dostępną lub ziemią. W razie obniżenia wypadkowej rezystancji izolacji doziemnej poniżej nastawionej wartości, urządzenie do kontroli stanu izolacji powinno włączać sygnał optyczny i akustyczny. Dzięki temu urządzenia są zasilane, mimo wystąpienia pojedynczego doziemienia. Uszkodzenie powinno być bez zbędnej zwłoki usunięte przez służby eksploatacji.
- 2.8.3.2. Samoczynne wyłączenie zasilania powinno nastąpić przy dwumiejscowym zwarciu z ziemią. Powinno zadziałać zabezpieczenie zwarciove co najmniej jednego z uszkodzonych obwodów. Wymaganie to powinno być spełnione niezależnie od umiejscowienia obu zwarc i niezależnie od tego, w których przewodach czynnych one wystąpiły. Przepływ prądu przy dwumiejscowym zwarcu przedstawiono na rys. 2.8.4.
- 2.8.3.3. Niezależnie od zastosowanego układu sieci niskiego napięcia tam, gdzie to możliwe należy stosować urządzenia klasy ochronności II. Dzięki temu uzyskuje się ochronę przy dotyku pośrednim bardziej niezawodną niż stosując środek wymagający przyłączenia do urządzenia przewodu ochronnego. Nie ma też ryzyka wyniesienia potencjału przez przewód ochronny poza strefę oddziaływania sieci trakcyjnej przy uszkodzeniu izolacji głównej sieci DC 3 kV.



Rys 2.8.4. Przepływ prądu w układzie IT (bez przewodu neutralnego) przy dwumiejscowym zwarceniu z ziemią, gdzie UKSI – urządzenie do kontroli stanu izolacji

3. Szczegółowe wymagania stawiane ochronie przed porażeniem prądem elektrycznym

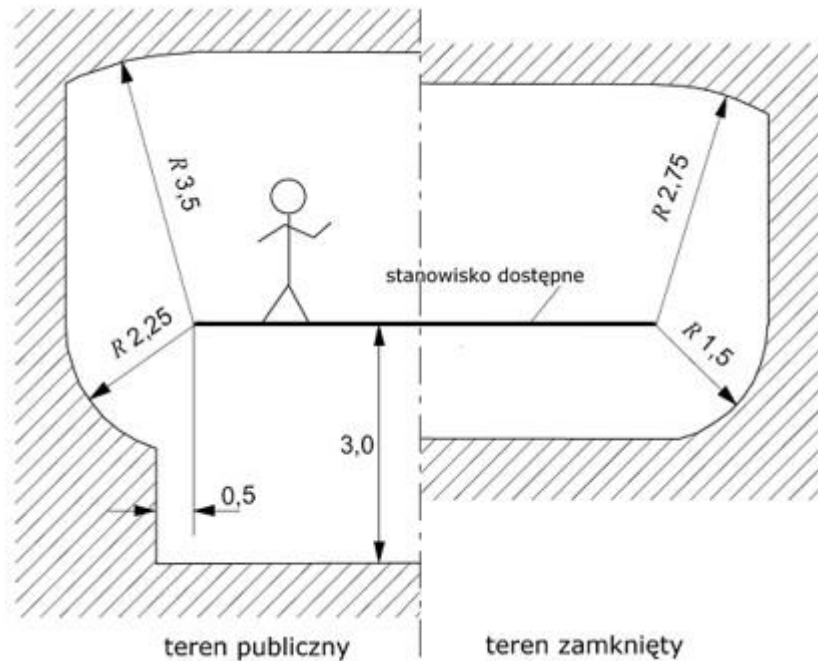
3.1. Wymagania podstawowe

- 3.1.1. W każdej części instalacji elektrycznej powinien być zastosowany jeden lub więcej środków ochrony przeciwporażeniowej. Ochrona może polegać na zapobieganiu przepływowi prądu elektrycznego przez ciało człowieka lub zwierzęcia albo na ograniczeniu wartości prądu rażeniowego i/lub czasu jego przepływu w stopniu wystarczająco ograniczającym skutki patofizjologiczne rażenia.
- 3.1.2. Środki ochrony przeciwporażeniowej powinny być dobrane z uwzględnieniem stopnia zagrożenia porażeniem, który zależy od charakteryzującego instalację napięcia względem ziemi i od warunków środowiskowych, jak praca na wolnym powietrzu albo w pomieszczeniach wilgotnych bądź mokrych, nieustanna styczność człowieka z potencjałem ziemi, narażenie urządzeń na akty wandalizmu.
- 3.1.3. Zastosowana ochrona przeciwporażeniowa powinna obejmować środek ochrony podstawowej (ochrony przed dotykiem bezpośrednim) i niezależny od niego środek ochrony przy uszkodzeniu (ochrony przy dotyku pośrednim). W instalacjach niskiego napięcia dopuszcza się pojedynczy wzmocniony środek ochrony, zapewniający równoważny stopień ochrony: izolację ochronną (urządzenie klasy ochronności II) albo zasilanie bardzo niskim napięciem ze źródła bezpiecznego (układ SELV, układ PELV).
- 3.1.4. W instalacjach niskiego napięcia do szczególnych zastosowań i/lub w niekorzystnych warunkach środowiskowych powinien być ponadto zastosowany środek ochrony uzupełniającej, który chroni przed porażeniem, kiedy ochrona podstawowa zawodzi lub zostaje ominięta, a ochrona przy uszkodzeniu nie zapobiega porażeniu.
- 3.1.5. Dobór środków ochrony przeciwporażeniowej oraz ich wykonanie techniczne powinny uwzględniać wymagania funkcjonalne stawiane instalacjom i urządzeniom elektrycznym, w których ochrona jest stosowana, oraz warunki środowiskowe, w których te środki są wdrażane.
- 3.1.6. Jeżeli pewne wymagania dotyczące środka ochrony nie mogą być spełnione, należy w zamian zastosować takie środki kompensacyjne, aby system ochrony zapewniał równoważny poziom bezpieczeństwa.

- 3.1.7. Zastosowana ochrona powinna zapobiegać porażeniu prądem w razie wystąpienia pojedynczego uszkodzenia. Uwzględnienie jednoczesnego utrzymywania się większej liczby uszkodzeń wymaga uzasadnienia.
- 3.1.8. Wymagania ochrony przeciwporażeniowej należy uważać za nadrzędne w stosunku do innych wymagań technicznych i środowiskowych.

3.2. Wymagania podstawowe ochrony przed dotykiem bezpośrednim w sieci trakcyjnej DC 3 kV

- 3.2.1. Części czynne górnej sieci jezdnej oraz wyposażenia elektrotrakcyjnego mocowanego na zewnątrz pojazdu szynowego (np. odbieraka prądu, łączników i rezystorów na dachu elektrowozu) powinny być niedostępne dla osób znajdujących się na stanowiskach dostępnych. Przy określaniu wymaganych odstępów izolacyjnych powietrznych za część czynną uważa się również powierzchnię izolatora połączoną bezpośrednio z przewodzącą częścią czynną.
- 3.2.2. Najmniejsze dopuszczalne odstępy izolacyjne powietrzne dotyczące trakcji wysokiego napięcia są określone na rys. 3.2.1. Większe wartości, po lewej stronie rysunku, dotyczą obszaru ogólnie dostępnego, wymagającego ochrony przed umyślnym dotykiem bezpośrednim. Mniejsze wartości, po prawej stronie rysunku, dotyczą obszaru ograniczonego dostępu, dostępnego tylko dla uprawnionego personelu wykwalifikowanego, chronionego przed nieumyślnym dotykiem bezpośrednim. Podane odstępy izolacyjne, określone w linii prostej, powinny być dotrzymane niezależnie od temperatury otoczenia i niezależnie od obciążenia elektrycznego i obciążenia mechanicznego przewodów.



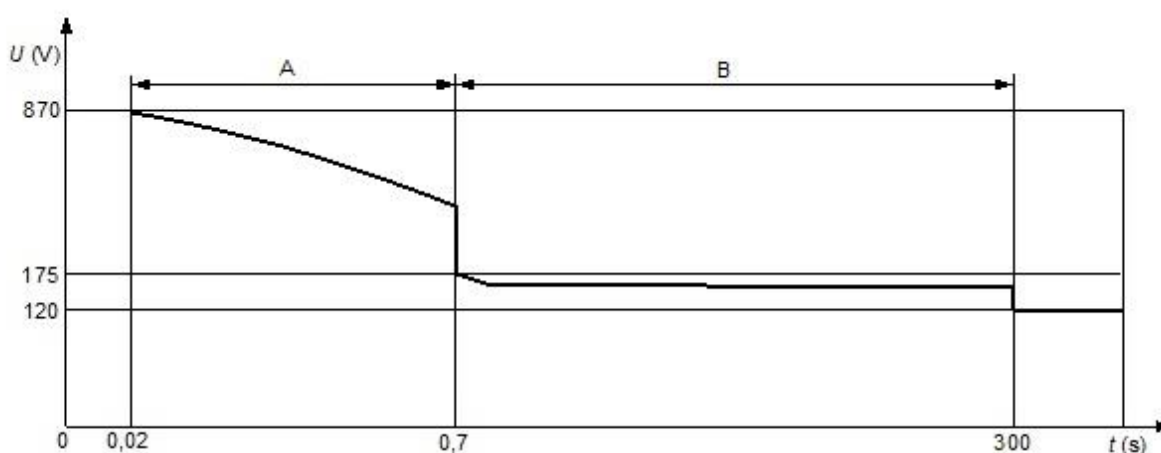
Rys 3.2.1. Najmniejsze dopuszczalne odstępy izolacyjne powietrzne (w metrach) między gołymi częściami czynnymi trakcji wysokiego napięcia a stanowiskiem dostępnym (wg PN-EN 50122-1:2011)

- 3.2.3. Dopuszcza się odstępy izolacyjne powietrzne mniejsze niż określone w pkt 3.2.2, jeżeli w celu uniedostępnienia części czynnych wprowadzono przeszkodę ochronną, np. w postaci przesłony pełnej lub przesłony ażurowej. Rodzaj, kształt i wymiary przeszkody oraz odstępy izolacyjne wymagane po jej zastosowaniu są określone – stosownie do okoliczności – w objaśnieniach do rysunków 6, 7, 8, 9, 10, 11 i 12 normy PN-EN 50122-1:2011. Wymagania podane przy wymienionych rysunkach mogą być odnoszone do sytuacji podobnych, nieprzedstawionych na rysunkach w normie.
- 3.2.4. Ogólnie dostępne mosty, wiadukty, kładki oraz inne budowle, pod którymi jest prowadzona górna sieć jezdna, powinny być zaopatrzone w pionowe przesłony pełne chroniące ludzi od umyślnego dotknięcia elementów sieci jezdnej pod napięciem. Zasięg przesłony powinien być tak dobrany, aby odstęp izolacyjny powietrzny od jej krawędzi do sieci jezdnej, wynosił co najmniej 2,00 m. Na kładkach lub pomostach przeznaczonych tylko dla personelu kolejowego ten wymiar może być zmniejszony do 1,00 m.
- 3.2.5. W strefie oddziaływania sieci trakcyjnej DC 3 kV obowiązują następujące wymagania dodatkowe:
- a) przeszkody ochronne z materiału nieprzewodzącego powinny być przesłonami pełnymi,

- b) przeszkody ochronne usytuowane w odległości nie większej niż 0,60 m od części czynnych powinny mieć uziemioną ramę,
 - c) nie dopuszcza się przesłon ażurowych wykonanych z elementów metalowych pokrytych powłoką z tworzywa sztucznego.
- 3.2.6. Konstrukcje wsporcze górnej sieci jezdnej powinny mieć budowę utrudniającą wspinanie się na nie osobom postronnym albo dla kratownicowych konstrukcji wsporczych, stosowanych np. na terenach szkód górniczych, należy zastosować dodatkowe zabezpieczenie przed wspinaniem się.
- 3.2.7. W miejscach skrzyżowania zelektryfikowanej linii kolejowej z publiczną drogą kołową odległość między najniższym punktem górnej sieci jezdnej, będącym pod napięciem w normalnych warunkach pracy, a powierzchnią drogi powinna być nie mniejsza niż 5,50 m. Jeżeli ta odległość nie może być zachowana, to między najniższym punktem górnej sieci jezdnej a najwyższym punktem pojazdu kołowego powinien być zapewniony odstęp co najmniej:
- a) 1,00 m – w miejscach, gdzie jedynie znaki drogowe wskazują największą dopuszczalną wysokość pojazdu,
 - b) 0,50 m – w miejscach, gdzie przed przejazdem znajduje się stały ogranicznik wysokości, uniemożliwiający wjechanie zbyt wysokiego pojazdu.
- 3.2.8. Tablice ostrzegawcze informujące o zagrożeniu porażeniem w razie zbliżenia do przewodów sieci jezdnej na odległość mniejszą niż 1,00 m powinny być trwale umocowane w następujących miejscach:
- a) na przesłonach przeciwporażeń, o których mowa w pkt 3.2.5, w liczbie nie mniejszej niż jedna tablica na 5,00 m długości przesłony,
 - b) na skrzyżowaniach zelektryfikowanej linii kolejowej z publiczną drogą kołową po obu stronach skrzyżowania,
 - c) na każdym peronie stacji i przystanku osobowego linii zelektryfikowanej co najmniej w dwóch dobrze widocznych miejscach,
 - d) na przeciwnych dobrze widocznych stronach konstrukcji wsporczych górnej sieci jezdnej, ustawionych na peronach, rampach i w innych ogólnie dostępnych miejscach,
 - e) w innych miejscach wskazanych przez zarządcę terenu.
- 3.2.9. Odległość części górnej sieci jezdnej, będących pod napięciem podczas normalnej pracy, od gałęzi drzew i krzewów powinna wynosić co najmniej 2,50 m w warunkach atmosferycznych bez wiatru i bez oblodzenia.

3.3. Wymagania podstawowe ochrony przy dotyku pośrednim w sieci trakcyjnej DC 3 kV

- 3.3.1. W razie uszkodzenia izolacji głównej górnej sieci jezdnej DC 3 kV na częściach przewodzących dostępnych i na częściach przewodzących obcych, znajdujących się w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej, może pojawić się napięcie dotykowe zagrażające porażeniem. Jako ochronę przy dotyku pośrednim należy stosować samoczynne wyłączenie zasilania, które powinno nastąpić w takim czasie, aby nie zostało przekroczone największe dopuszczalne napięcie dotykowe podane na rys. 3.3.1 i w tabeli 3.3.1. Czas trwania zwarcia należy przyjąć równy czasowi wyłączenia wskutek zadziałania zabezpieczenia podstawowego.



Rys 3.3.1. Największe dopuszczalne napięcie dotykowe rażeniowe w funkcji czasu przepływu prądu rażeniowego DC (wg PN-EN 50122-1:2011), gdzie: A – krótki czas rażenia, B – długi czas rażenia

- 3.3.2. Przy rażeniu prądem stałym o pomijalnym tętnieniu jako wartość napięcia dotykowego dopuszczalnego długotrwale należy przyjmować 120 V w warunkach środowiskowych normalnych, a 60 V w warunkach zwiększonego zagrożenia porażeniem (pomieszczenia warsztatowe i podobne, zwłaszcza wilgotne bądź stwarzające sposobność częstej styczności z potencjałem ziemi).
- 3.3.3. Usytuowane w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej naziemne i nadziemne części przewodzące (części przewodzące dostępne urządzeń elektrycznych, w tym konstrukcje wsporcze górnej sieci jezdnej, oraz części przewodzące obce) powinny być uszynione, czyli połączone z siecią powrotną w celu stworzenia małoporowego obwodu ziemnozwarciowego i zapewnienia samoczynnego wyłączenia zasilania w razie uszkodzenia izolacji głównej sieci jezdnej.

Tabela 3.3.1. Największe dopuszczalne napięcie dotykowe rażeniowe $U_{te,max}$ zależnie od czasu rażenia *) t wg PN-EN 50122-1:2011

t, s	$U_{te,max}, V$	
	A – długi czas rażenia	B – krótki czas rażenia
> 300	150	-
300	120	-
1	160	-
0,9	165	-
0,8	170	-
0,7	175	-
< 0,7	-	350
0,6	-	360
0,5	-	385
0,4	-	420
0,3	-	460
0,2	-	520
0,1	-	625
0,05	-	735
0,02	-	870
*) Czas rażenia należy przyjmować jako równy czasowi trwania zwarcia doziemnego		

- 3.3.4. W nowobudowanych lub modernizowanych obiektach nie należy stosować uszynienia bezpośredniego. Należy stosować grupowe uszynienie otwarte, ale w szczególnie uzasadnionych przypadkach dopuszcza się indywidualne uszynienie otwarte.
- 3.3.5. Metalowe nadziemne części konstrukcji wsporczych górnej sieci jezdnej, objęte uszynieniem otwartym, powinny być uziemione przez przyłączenie do nich uziomu sztucznego i powinny być galwanicznie oddzielone od swego fundamentu izolacją o napięciu znamionowym co najmniej 750 V. W uzasadnionych przypadkach takie

oddzielenie należy stosować również w odniesieniu do innych konstrukcji nadziemnych. Wymaganą wartość rezystancji uziemienia tych konstrukcji podano w pkt 5.5.2 niniejszych wymagań.

- 3.3.6. Przy stosowaniu uszynienia grupowego konstrukcje wsporcze górnej sieci jezdnej usytuowane w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej powinny być połączone galwanicznie z przewodem uszynienia grupowego.
- 3.3.7. Przewód uszynienia grupowego może być wykorzystany dla celów ochrony odgromowej.
- 3.3.8. Sekcja uszynienia grupowego powinna obejmować co najmniej dwa obwody torowe. Za standardową jej długość należy uznać $3\pm 0,5$ km, którą w uzasadnionych przypadkach można zmniejszyć.
- 3.3.9. Przekrój przewodu uszynienia grupowego powinien być dobrany do warunków zwarciovych, ale nie mniejszy niż AFL 120 mm² lub równoważny, o tej samej konduktancji elektrycznej, z innego materiału.
- 3.3.10. Jako przewodu uszynienia grupowego należy używać przewodu gołego zawieszzonego na konstrukcjach wsporczych górnej sieci jezdnej. Dopuszcza się do tego celu ułożenie w ziemi przewodu izolowanego o napięciu znamionowym co najmniej 750 V.
- 3.3.11. Przewód uszynienia grupowego powinien być połączony z szynami jezdnyymi za pośrednictwem ograniczników napięcia dotykowego VLD.
- 3.3.12. Na szlaku wyposażonym w układ kontroli zajętości torów, ogranicznik napięcia dotykowego VLD należy połączyć z punktem środkowym uzwojenia dławika torowego. Dławik torowy powinien być usytuowany jak najbliżej słupa z ogranicznikiem napięcia dotykowego VLD.
- 3.3.13. Należy stosować ograniczniki dwukierunkowe VLD-O+F. Dopuszcza się zamiennie równoległe połączenie ograniczników jednokierunkowych VLD-F i VLD-O.
- 3.3.14. Ograniczniki VLD zaleca się instalować na konstrukcji wsporczej sieci trakcyjnej na wysokości nie mniejszej niż 3,0 m od poziomu główki szyny.
- 3.3.15. Połączenie ogranicznika VLD z przewodem uszynienia grupowego oraz z szynami jezdnyymi powinno być wykonane przewodem AFL o przekroju co najmniej 120 mm². Dopuszcza się przewód z innego materiału o przekroju zapewniającym nie mniejszą konduktancję elektryczną. Przewód łączący ogranicznik VLD z szynami jezdnyymi powinien mieć izolację o napięciu znamionowym co najmniej 750 V.

- 3.3.16. Połączenie konstrukcji wsporczej z przewodem uszynienia grupowego należy wykonać przewodem AFL o przekroju nie mniejszym niż 95 mm². Dopuszcza się przewód z innego materiału o przekroju zapewniającym nie mniejszą konduktancję elektryczną.
- 3.3.17. Ograniczniki VLD zaleca się instalować na obu końcach sekcji uszynienia grupowego. Ograniczniki na przeciwległych końcach sekcji nie powinny być przyłączone do tego samego toku szynowego.
- 3.3.18. Ogranicznik VLD należy montować na konstrukcji wsporczej, która należy do sekcji uszynienia grupowego związanej z tym ogranicznikiem.
- 3.3.19. Części przewodzące należące do różnych sekcji uszynienia nie powinny być jednocześnie dostępne.
- 3.3.20. Obwód powrotny systemu trakcji elektrycznej nie powinien być galwanicznie połączony z układami uziemiającymi innych sieci elektrycznych, w tym sieci rozdzielczych publicznych zasilających potrzeby nietrakcyjne.
- 3.3.21. Usytuowane w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej obiekty liniowe (ogrodzenia, ekrany akustyczne itp.) o znacznej długości, które mogą wzdłużnie prze-nosić potencjał zerwanego przewodu górnej sieci jezdnej, powinny być uszynione przez ogranicznik napięcia dotykowego w odstępach nieprzekraczających 1000 m, z tym jednak zastrzeżeniem, że obiekty o długościach do 1500 m mogą być uszynione poprzez jeden ogranicznik napięcia dotykowego, pośrodku tego obiektu. Obiekty liniowe powinny posiadać po obu swoich końcach uziomy sztuczne o rezystancjach uziemienia nie większych niż 10 Ω każdy.
- 3.3.22. Jeżeli na danym odcinku przebiegają równolegle obwód powrotny linii kolejowej głównej i obwód powrotny linii kolejowej lokalnej, to powinny być one bezpośrednio połączone. Jeżeli bezpośrednio ich połączenie nie jest wskazane, to zaleca się je połączyć przez ogranicznik napięcia dotykowego VLD.
- 3.3.23. Nie wymaga się uszyniania części przewodzących o małych wymiarach, jeżeli są spełnione wszystkie następujące warunki:
- a) nie są na nich zainstalowane urządzenia elektryczne klasy ochronności I,
 - b) osoba zbliżająca się do takich części jest w stanie zauważyć, że dotyka do nich przewód górnej sieci jezdnej,
 - c) wymiary tych części są nie większe niż podane w tabeli 3.3.2.

Tabela 3.3.2. Największe dopuszczalne wymiary małych części przewodzących niepodlegających uszynieniu, znajdujących się w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej wg PN-EN 50122-1:2011

Rodzaj części przewodzącej	Część przewodząca ułożona względem torów	
	równolegle	prostopadle
przewodząca na całej długości	3 m	2 m
przewodząca nie na całej długości	15 m	2 m

Przykładem części niepodlegających uszynieniu są:

- znaki sygnalizacyjne, maszty ze znakami,
- pojemniki na śmieci, pokrywy włazów,
- podjazdy dla wózków inwalidzkich,
- liny urządzeń napinających.

3.3.24. W podstacji trakcyjnej szyna powrotna (szyna minusowa) powinna być oddzielona od uziemienia podstacji trakcyjnej izolacją o napięciu znamionowym nie mniejszym niż 1 kV.

3.3.25. Rezystancja izolacji szyny powrotnej w podstacji trakcyjnej, po odłączeniu zabezpieczenia ziemnozwarciowego, powinna być nie mniejsza niż 0,5 MΩ.

3.3.26. Połączenie galwanicznie szyny powrotnej z uziemieniem podstacji trakcyjnej jest dopuszczalne tylko na czas wykonywania w podstacji trakcyjnej prac wymagających takich połączeń w celu zapewnienia skutecznej ochrony przeciwporażeniowej.

3.3.27. Obwód powrotny powinien być tak wykonany, aby prąd powrotny z szyn jezdnych toru zelektryfikowanego do podstacji trakcyjnej płynął wyłącznie kablami powrotnymi.

3.3.28. Przewody powrotne powinny mieć izolację doziemną o napięciu znamionowym co najmniej 750 V i rezystancji co najmniej 0,5 MΩ.

3.3.29. Kable powrotne powinny być jak najkrótsze i powinny mieć jak najmniejszą impedancję. Powinny one zapewniać niezawodne odprowadzanie prądu

powrotnego według zasady (N-1), tzn. jeżeli obliczenia wskazują na potrzebę ułożenia N kabli, to należy zainstalować (N+1) kabli.

3.3.30. Zaleca się monitorować rozptył prądu powrotnego, w szczególności prądu płynącego w kablach powrotnych, np. przy użyciu systemu SCADA.

3.4. Wymagania dodatkowe ochrony przy dotyku pośrednim w sieci trakcyjnej DC 3 kV na szlakach kolejowych

- 3.4.1. Ochrona przy dotyku pośrednim na szlakach kolejowych powinna spełniać wymagania ogólne podane w rozdziale 3.3 niniejszych wytycznych oraz następujące wymagania dodatkowe.
- 3.4.2. Średnia jednostkowa rezystancja doziemna szyn jednego toru na torowisku odkrytym nie powinna być mniejsza niż 2 Ω km.
- 3.4.3. Na szlaku kolejowym zelektryfikowanym należy stosować łączniki poprzeczne szyn, czyli połączenia międzypokładowe i połączenia międzytorowe. Łączniki te powinny być przyłączone do szyn w sposób zapewniający trwałość połączenia oraz niezmienną jego rezystancję.
- 3.4.4. W przypadku torów bez obwodów torowych połączenia międzypokładowe należy wykonać w odstępach nie większych niż 300 m. Do tego celu należy zastosować łączniki międzypokładowe z linki miedzianej o przekroju nie mniejszym niż 95 mm². Dopuszcza się przewód z innego materiału o przekroju zapewniającym nie mniejszą konduktancję elektryczną.
- 3.4.5. Na torach z obwodami torowymi dwutorowymi należy stosować dławiki torowe i punkty środkowe ich uzwojeń łączyć z dwoma szynami jezdnyymi możliwie krótkimi linkami miedzianymi o przekroju co najmniej 150 mm². Dopuszcza się przewód z innego materiału o przekroju zapewniającym nie mniejszą konduktancję elektryczną.
- 3.4.6. Nie należy stosować łączników międzypokładowych w torach z obwodami torowymi jednotorowymi.
- 3.4.7. Na torach z elektronicznymi obwodami nakładanymi (EON) łączniki międzypokładowe należy zakładać na podobnych zasadach, jak w torach bez obwodów torowych, ale nie bliżej niż 50 m od miejsca przyłączenia urządzeń EON.
- 3.4.8. Na szlakach, z co najmniej dwoma torami zelektryfikowanymi, należy stosować łączniki międzytorowe. Łączniki te powinny być wykonane z linek miedzianych o przekroju nie mniejszym niż 95 mm². Dopuszcza się przewód z innego materiału

o przekroju zapewniającym nie mniejszą konduktancję elektryczną. Łączniki powinny być umieszczone w osłonie izolacyjnej na napięcie co najmniej 750 V i powinny być chronione przed uszkodzeniami mechanicznymi.

3.4.9. Łączniki międzytorowe należy instalować:

- a) na torach bez obwodów torowych – w odstępach nie większych niż 600 m,
- b) na torach z obwodami torowymi – przy co trzecim dławiku torowym.

3.4.10. Na torach z obwodami torowymi dwutokowymi lub obwodami torowymi bezzłączowymi przewody połączeń międzytorowych należy przyłączyć do punktów środkowych uzwojeń dławików torowych. W przypadku innego typu obwodów torowych lub ich braku, przewody te należy przyłączyć w miejscach przyłączenia łączników międzytokowych do toków przewodzących prąd trakcyjny.

3.4.11. Szyny jezdne torów niezelektryfikowanych powinny być odizolowane od szyn jezdnych torów zelektryfikowanych czterema złączami szynowymi izolacyjnymi (po dwa w każdym toku toru niezelektryfikowanego) umieszczonymi w odległości około 30 m od siebie.

3.4.12. Dopuszcza się wykorzystanie szyn jezdnych torów niezelektryfikowanych jako części obwodu powrotnego lub części obwodu uszyniającego pod warunkiem, że odpowiadają one wymaganiom stawianym sieci powrotnej i są połączone elektrycznie z szynami jezdnymi torów zelektryfikowanych.

3.5. Wymagania dodatkowe ochrony przy dotyku pośrednim w sieci trakcyjnej DC 3 kV na peronach

3.5.1. Ochrona przy dotyku pośrednim na peronach stacji i przystanków kolejowych powinna spełniać wymagania ogólne podane w rozdziale 3.3 niniejszych wytycznych oraz następujące wymagania dodatkowe.

3.5.2. Znajdujące się na peronach części przewodzące, wymagające uszynienia, powinny być ze sobą galwanicznie połączone, uziemione oraz uszynione przez jeden ogranicznik napięcia dotykowego VLD. Uszynienie zaleca się wykonać pośrodku długości peronu. Rezystancja uziemienia ogranicznika VLD nie powinna być większa niż 10 Ω w gruncie o rezystywności nieprzekraczającej 100 Ω m, a w innych gruntach – nie większa niż 20 Ω .

3.5.3. Usytuowane na peronach konstrukcje wsporcze oraz inne części przewodzące, wymagające uszynienia, powinny stanowić odrębną sekcję uszynienia grupowego.

Ma to zapobiec przeniesieniu w obręb peronu niebezpiecznego potencjału spoza stacji kolejowej lub przystanku osobowego, przez przewód uszynienia grupowego.

- 3.5.4. Zaleca się ułożenie wzdłuż linii środkowej każdego peronu uziomu wyrównawczego liniowego na całej długości peronu, z obustronnym naddatkiem około 20 m sięgającym poza jego krańce. Uziom powinien być ułożony na głębokości ok. 0,30 m w obrębie peronu i ok. 0,80 m poza nim. Do tego uziomu można przyłączać tylko części podlegające uszynieniu. Połączenia z uziomem powinny być dostępne do kontroli.
- 3.5.5. W obrębie peronu jednocześnie dostępne części przewodzące, które nie podlegają uszynieniu, powinny być połączone ze sobą przewodami wyrównawczymi.
- 3.5.6. Części przewodzące objęte połączeniami wyrównawczymi według pkt 3.5.5 powinny być oddalone co najmniej o 2,50 m od części przewodzących podlegających uszynieniu. Jeżeli tej odległości nie można zachować, to część uszyniona do wysokości 2,50 m od powierzchni stanowiska powinna być pokryta warstwą elektroizolacyjną.
- 3.5.7. Zbrojenie płyty peronu, usytuowanego na budowli z betonu zbrojonego (np. na estakadzie), powinno być połączone elektrycznie ze zbrojeniem tej budowli. Rezystancja uziemienia tej budowli nie powinna być większa niż 10 Ω w gruncie o rezystywności nieprzekraczającej 100 Ω m, a w innych gruntach – nie większa niż 20 Ω .
- 3.5.8. Budynek stacyjny powinien mieć jeden wspólny system uziemiający. Jeżeli budynek jest zasilany z dwóch lub więcej źródeł, to przewody ochronne wszystkich linii zasilających powinny być wprowadzone do budynku w jednym miejscu i przyłączone do tej samej głównej szyny wyrównawczej.
- 3.5.9. Uziomy wykonane do celów ochrony odgromowej powinny być połączone z innymi instalacjami uziemiającymi obiektu.

3.6. Wymagania dodatkowe ochrony przy dotyku pośrednim w sieci trakcyjnej D 3 kV dla budowli inżynierskich

- 3.6.1. Ochrona przy dotyku pośrednim w obrębie budowli inżynierskich powinna spełniać wymagania ogólne podane w rozdziale 3.3 niniejszych wytycznych oraz następujące wymagania dodatkowe.
- 3.6.2. Konstrukcje stalowe budowli inżynierskich ani ich zbrojenie nie powinny mieć połączenia elektrycznego z szynami jezdnyymi.

- 3.6.3. Części przewodzące budowli inżynierskiej, wymagające uszynienia i związane z określonym torem, powinny być:
- a) przyłączone do przewodu grupowego uszynienia otwartego sieci trakcyjnej tego toru przebiegającego przez budowlę albo
 - b) połączone ze sobą i uszynione przez osobny ogranicznik napięcia dotykowego VLD, najlepiej pośrodku długości budowli inżynierskiej.
- 3.6.4. Odcinek górnej sieci jezdnej w tunelu powinien być po obu stronach wyposażony w odłączniki ze stykiem uszyniającym, aby umożliwić odłączenie tego odcinka od górnej sieci jezdnej poza tunelem. Odłączniki powinny być tak sprzężone, aby następowało jednoczesne uszynienie po obu stronach tunelu.
- 3.6.5. Części przewodzące dostępne urządzeń niskiego napięcia znajdujących się na budowlach inżynierskich powinny być połączone przewodami wyrównawczymi z przewodzącą konstrukcją budowli, jeżeli nie są do niej umocowane w sposób zapewniający niezawodne połączenie elektryczne.
- 3.6.6. Części przewodzące jednocześnie dostępne urządzeń niskiego napięcia powinny być połączone za pomocą przewodów wyrównawczych.

3.7. Wymagania dodatkowe ochrony przy dotyku pośrednim w sieci trakcyjnej DC 3 kV w budynkach z wprowadzoną siecią trakcyjną

- 3.7.1. Ochrona przy dotyku pośrednim w budynkach z wprowadzoną siecią trakcyjną powinna spełniać wymagania ogólne podane w rozdziale 3.3 niniejszych wytycznych oraz następujące wymagania dodatkowe.
- 3.7.2. Górna sieć jezdna usytuowana w budynku powinna być tak wykonana, aby było możliwe jej odłączenie od sieci poza budynkiem. Do tego celu należy stosować odłączniki zapewniające uszynienie sieci jezdnej w budynku tuż po odłączeniu napięcia DC 3 kV. Odłączniki te powinny być wyposażone w sygnalizację stanu pracy (otwarty, zamknięty) umożliwiającą rozpoznanie tego stanu wewnątrz i na zewnątrz budynku.
- 3.7.3. Konstrukcje wsporcze górnej sieci jezdnej w budynku powinny być elektrycznie izolowane od metalowych elementów konstrukcyjnych tego budynku.
- 3.7.4. Konstrukcje stalowe budynków ani ich zbrojenie nie powinny mieć połączenia elektrycznego z szynami jezdnyymi.

3.8. Wymagania dodatkowe ochrony przy dotyku pośrednim w sieci trakcyjnej DC 3 kV w odniesieniu do kabli i rurociągów

- 3.8.1. Rurociągi przewodzące w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej powinny być pokryte warstwą elektroizolacyjną.
- 3.8.2. Przewody i kable bez zewnętrznej warstwy przewodzącej, przechodzące przez strefę oddziaływania sieci trakcyjnej, nie wymagają analizy zagrożenia porażeniowego.
- 3.8.3. Przewody i kable o zewnętrznej warstwie przewodzącej w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej powinny być układane w nieprzewodzących rurach lub przepustach.
- 3.8.4. Żyły powrotne kabli elektroenergetycznych wysokiego napięcia, metalowe rurociągi i inne przewodzące części instalacji ułożone w ziemi i uziemione poza strefą oddziaływania sieci trakcyjnej, nie powinny mieć połączenia elektrycznego z częściami uszynionymi.

3.9. Wymagania ochrony przeciwporażeniowej w kolejowych urządzeniach przytorowych niskiego napięcia

3.9.1. Wymagania podstawowe

- 3.9.1.1. Kolejowe urządzenia przytorowe niskiego napięcia znajdujące się w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej powinny być zasilane w sposób eliminujący zagrożenie porażeniowe i zagrożenie od prądów błędnych pochodzące ze strony sieci trakcyjnej DC 3 kV.
- 3.9.1.2. Kolejowe urządzenia przytorowe niskiego napięcia zasilane z instalacji o układzie TN, znajdujące się w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej, nie powinny być połączone z siecią publiczną bez pośrednictwa transformatora separacyjnego.
- 3.9.1.3. Żadna część obwodu powrotnego nie powinna być połączona elektrycznie z główną szyną wyrównawczą układu zasilania kolejowych urządzeń przytorowych.
- 3.9.1.4. Dla celów ochrony przed dotykiem bezpośrednim w kolejowych urządzeniach technicznych należy stosować:
 - a) izolację podstawową części czynnych, osłaniającą je całkowicie i dającą się usunąć tylko przez zniszczenie i/lub

b) osłonę lub obudowę zakrywającą części czynne ze wszystkich dostępnych kierunków dostępu, o wymaganym stopniu ochrony IP.

3.9.1.5. W instalacjach zasilających kolejowe urządzenia przytorowe dopuszcza się następujące środki ochrony przy dotyku pośrednim według normy PN-HD 60364-4-41:

- a) samoczynne wyłączenie zasilania,
- b) izolację ochronną w postaci izolacji podwójnej, izolacji wzmocnionej lub ochronnej osłony izolacyjnej,
- c) separację ochronną,
- d) bardzo niskie napięcie ze źródła bezpiecznego (SELV, PELV).

Tam, gdzie to możliwe, zaleca się stosować izolację ochronną, czyli urządzenia elektryczne o klasie ochronności II.

3.9.1.6. W obwodach zasilających kolejowe urządzenia przytorowe nie należy stosować bezpieczników. Wyłączniki nadprądowe i wyłączniki różnicowoprądowe powinny rozłączać wszystkie bieguny czynne, łącznie z biegunem neutralnym.

3.9.1.7. Obwody gniazd wtyczkowych ogólnego przeznaczenia o prądzie znamionowym nieprzekraczającym 20 A, które są użytkowane np. przez pracowników biurowych i mechaników oraz obwody urządzeń przenośnych o znamionowym prądzie nieprzekraczającym 32 A użytkowane na wolnym powietrzu powinny być chronione za pomocą wyłączników różnicowoprądowych wysokoczułych ($I_{\Delta n} \leq 30 \text{ mA}$).

3.9.1.8. W przypadku separacji ochronnej zaleca się zasilanie z transformatora separacyjnego tylko jednego odbiornika. W uzasadnionych przypadkach dopuszcza się zasilanie więcej niż jednego odbiornika, pod warunkiem objęcia nieziemionymi połączeniami wyrównawczymi części przewodzących dostępnych w obwodzie separowanym, zgodnie z wymaganiami normy PN-HD 60364-4-41.

3.9.2. Zasilanie urządzeń z instalacji o układzie TN

Wszystkie części przewodzące dostępne urządzeń niskiego napięcia powinny być połączone z uziemionym punktem neutralnym źródła zasilania za pośrednictwem przewodu ochronnego. Należy stosować podukład TN-S. Obwody odbiorcze zaleca się chronić wyłącznikami różnicowoprądowymi.

3.9.2.2. Jeżeli stosuje się ochronę przez samoczynne wyłączenie zasilania, to uważa się ją za skuteczną, jeżeli w następstwie zwarcia L-PE:

- a) nastąpi wyłączenie zasilania w czasie podanym w tabeli 3.9.1 lub
- b) nie będą przekroczone napięcia dotykowe dopuszczalne długotrwałe.

3.9.2.3. Największy dopuszczalny czas wyłączenia zasilania równy 5 s można przyjąć dla obwodów rozdzielczych oraz dla obwodów odbiorczych o prądzie znamionowym większym niż 32 A.

Tabela 3.9.1. Największy dopuszczalny czas wyłączenia zasilania w sekundach dla obwodów odbiorczych o prądzie znamionowym nieprzekraczającym 32 A

Układ	50 V < U _o ≤ 120 V		120 V < U _o ≤ 230 V		230 V < U _o ≤ 400 V		U _o > 400 V	
	AC	DC	AC	DC	AC	DC	AC	DC
TN	0,8	1)	0,4	5	0,2	0,4	0,1	0,1
1) Wyłączenie może być wymagane z innych powodów niż zagrożenie porażeniem, AC – prąd przemienny, DC – prąd stały, U _o – napięcie instalacji względem ziemi.								

3.9.2.4. Warunek skuteczności ochrony przeciwporażeniowej przez samoczynne wyłączenie zasilania jest następujący:

$$Z_{sTN} \leq \frac{U_o}{I_a} \quad (3.9.1)$$

gdzie:

Z_{sTN} – impedancja pętli zwarciowej w układzie TN obejmująca przewód skrajny i przewód ochronny, w omach,

U_o – napięcie nominalne sieci względem ziemi, w voltach,

I_a – prąd wyłączający zabezpieczenia, w amperach, zapewniający wyłączenie zasilania w wymaganym czasie.

3.9.3. Zasilanie urządzeń z instalacji o układzie TT

3.9.3.1. Jeżeli stosuje się ochronę przez samoczynne wyłączenie zasilania, to uważa się ją za skuteczną, jeżeli podczas zwarcia L-PE:

- a) nastąpi wyłączenie zasilania w czasie nie dłuższym niż 0,4 s, lub
- b) nie będą przekroczone napięcia dotykowe dopuszczalne długotrwałe.

3.9.3.2. Warunek skuteczności ochrony przeciwporażeniowej przez samoczynne wyłączenie zasilania jest następujący:

$$R_A \leq \frac{U_L}{I_a} \quad (3.9.2)$$

gdzie:

U_L – napięcie dotykowe dopuszczalne długotrwałe, w woltach,

R_A – rezystancja uziemienia przewodu ochronnego, w omach,

I_a – prąd wyłączający zabezpieczenia, w amperach, zapewniający wyłączenie zasilania w czasie nie dłuższym niż 0,4 s.

3.9.3.3. Największy dopuszczalny czas wyłączenia zasilania równy 1 s można przyjąć dla obwodów rozdzielczych oraz dla obwodów z odbiornikami zainstalowanymi na stałe.

3.9.4. Zasilanie urządzeń z instalacji o układzie IT

3.9.4.1. Układ IT należy stosować wtedy, kiedy pierwszorzędne znaczenie ma ciągłość zasilania i przy pierwszym doziemieniu nie powinno nastąpić wyłączenie zasilania.

Należy zainstalować urządzenie do kontroli stanu izolacji w celu wykrycia pierwszego doziemienia pomiędzy częścią czynną a częścią przewodzącą dostępną lub ziemią. W razie obniżenia wypadkowej rezystancji izolacji doziemnej poniżej nastawionej wartości, urządzenie do kontroli stanu izolacji powinno włączać sygnał optyczny i akustyczny. Uszkodzenie powinno być niezwłocznie usunięte przez służby eksploatacji.

Części przewodzące dostępne urządzeń powinny być uziemione indywidualnie lub zbiorowo. Rezystancja uziemienia przewodu ochronnego nie powinna przekraczać wartości określonej zależnością:

$$R_A \leq \frac{U_L}{I_d} \quad (3.9.3)$$

gdzie:

U_L – napięcie dotykowe dopuszczalne długotrwałe, w woltach,

R_A – rezystancja uziemienia przewodu ochronnego, w omach,

I_d – prąd jednofazowego zwarcia z ziemią, w amperach.

3.9.4.2. Samoczynne wyłączenie zasilania powinno nastąpić przy dwumiejscowym zwarciu z ziemią. Powinno zadziałać zabezpieczenie zwarciove co najmniej jednego z uszkodzonych obwodów. Wymaganie to powinno być spełnione niezależnie od umiejscowienia obu zwarć i niezależnie od tego, w których przewodach czynnych one wystąpiły. Jeżeli części przewodzące dostępne wszystkich odbiorników są przyłączone do wspólnego przewodu ochronnego (uziemiaenie zbiorowe), to warunek skuteczności ochrony przeciwporażeniowej wyraża się zależnościami:

a) dla układu bez przewodu neutralnego

$$Z_{sIT} \leq \frac{\sqrt{3} \cdot U_o}{2 \cdot I_a} \quad (3.9.4)$$

b) dla układu z przewodem neutralnym

$$Z'_{sIT} \leq \frac{U_o}{2 \cdot I_a} \quad (3.9.5)$$

gdzie:

U_o – napięcie nominalne między fazą i punktem neutralnym, w woltach,

I_a – prąd wyłączający zabezpieczenia, w amperach,

Z_{sIT} – impedancja pętli zwarciovej od źródła zasilania do rozpatrywanego odbiornika obejmująca przewód skrajny i przewód ochronny, w omach,

Z'_{sIT} – impedancja pętli zwarciovej od źródła zasilania do rozpatrywanego odbiornika obejmująca przewód neutralny i przewód ochronny, w omach.

Jeżeli zastosowano indywidualne uziemiaenie odbiorników, to warunek skuteczności ochrony jest taki sam, jak dla układu TT.

3.9.5. Instalacje oświetlenia zewnętrznego w pobliżu sieci jezdnej

- 3.9.5.1. Ochrona przeciwporażeniowa w instalacjach oświetlenia zewnętrznego w pobliżu sieci jezdnej powinna spełniać wymagania ogólne podane w punktach od 3.1.1 do 3.1.8 oraz od 3.9.1 do 3.9.4 niniejszych wytycznych oraz poniższe wymagania dodatkowe.
- 3.9.5.2. Urządzenia oświetleniowe zaleca się umieszczać poza strefą oddziaływania sieci trakcyjnej.
- 3.9.5.3. Zaleca się stosować słupy oświetleniowe i wysięgniki z materiałów nieprzewodzących. Oprawy oświetleniowe powinny być klasy ochronności II.

- 3.9.5.4. Jeżeli w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej instaluje się urządzenia klasy ochronności I, to nie należy ich zasiląć z obwodu o układzie TN.
- 3.9.5.5. Znajdujące się w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej urządzenia oświetleniowe klasy ochronności I wraz z ich przewodzącą konstrukcją wsporczą powinny być przyłączone do przewodu grupowego uszynienia otwartego. W uzasadnionych przypadkach dopuszcza się ich indywidualne uszynienie otwarte.
- 3.9.5.6. W strefie oddziaływania sieci trakcyjnej zaleca się stosowanie szaf oświetleniowych o klasie ochronności II. Jeżeli to zalecenie nie jest spełnione, to części przewodzące dostępne szaf powinny być:
 - a) przyłączone do przewodu uszynienia grupowego, przy czym dopuszcza się przyłączenie ich do metalowego słupa trakcyjnego mającego połączenie z przewodem uszynienia grupowego albo
 - b) uszynione indywidualnie przez ogranicznik napięcia dotykowego VLD.

3.9.6. Urządzenia elektrycznego ogrzewania rozjazdów

- 3.9.6.1. Ochrona przeciwporażeniowa w instalacjach urządzeń ogrzewania rozjazdów powinna spełniać wymagania ogólne podane w punktach od 3.1.1 do 3.1.8 oraz od 3.9.1 do 3.9.4 niniejszych wytycznych oraz poniższe wymagania dodatkowe.
- 3.9.6.2. Urządzenia grzejne elektrycznego ogrzewania rozjazdów (eor) powinny być zasilane przez transformator separacyjny.
- 3.9.6.3. W strefie oddziaływania sieci trakcyjnej przewody elektryczne eor powinny być tak układane i tak zabezpieczone, aby nie były narażone na styczność z zerwanym przewodem górnej sieci jezdnej.
- 3.9.6.4. Skrzynie zasilająco-transformatorowe instalowane w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej powinny mieć klasę ochronności II.
- 3.9.6.5. W strefie oddziaływania sieci trakcyjnej zaleca się stosowanie szaf rozdzielczych eor o klasie ochronności II. Jeżeli to zalecenie nie jest spełnione, to części przewodzące dostępne szaf powinny być:
 - a) przyłączone do przewodu uszynienia grupowego, przy czym dopuszcza się przyłączenie do metalowego słupa trakcyjnego mającego połączenie z przewodem uszynienia grupowego, albo
 - b) uszynione indywidualnie przez ogranicznik napięcia dotykowego VLD.

- 3.9.6.6. Jeżeli szafy rozdzielcze urządzeń eor nie są klasy ochronności II, to należy je zasilać z instalacji o układzie TT lub IT.
- 3.9.6.7. Metalowe puszkę łączeniowe znajdujące się w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej, służące do połączenia transformatorów separacyjnych eor z przewodami grzejników eor, spełniające wymagania podane w pkt 3.3.23 nie wymagają uszyniania. W przeciwnym wypadku należy je objąć systemem uszynienia otwartego.
- 3.9.6.8. Jeżeli grzejniki eor mają części przewodzące dostępne, to te części grzejników zasilanych z tego samego transformatora separacyjnego należy objąć nieuziemiającymi połączeniami wyrównawczymi. Przewody wyrównawcze i ich zaciski w puszcze łączeniowej bądź w skrzyni transformatorowej powinny być izolowane od potencjału ziemi.
- 3.9.6.9. W liniach niezelektryfikowanych urządzenia grzejne rozjazdów można zasilać bezpośrednio z sieci prądu przemiennego 230 V, bez użycia transformatora separacyjnego.

3.9.7. Urządzenia sterowania ruchem kolejowym

- 3.9.7.1. Ochrona przeciwporażeniowa w instalacjach urządzeń sterowania ruchem kolejowym powinna spełniać wymagania ogólne podane w punktach od 3.1.1 do 3.1.8 oraz od 3.9.1 do 3.9.4 niniejszych wytycznych oraz poniższe wymagania dodatkowe.
- 3.9.7.2. Urządzenia sterowania ruchem kolejowym zaleca się w miarę możliwości instalować poza strefą oddziaływania sieci trakcyjnej. Jeżeli nie można tego uniknąć, to należy je zasilać z instalacji o układzie TT lub IT. Układ IT jest zalecany, jeżeli ważna jest zwiększona niezawodność zasilania.
- 3.9.7.3. Instalacja uziemiająca urządzeń sterowania ruchem kolejowym nie powinna mieć bezpośredniego połączenia elektrycznego z szynami jezdnyymi.

3.10. Wymagania techniczne dla zalecanych elementów systemu ochrony przeciwporażeniowej

3.10.1. Ograniczniki napięcia dotykowego VLD

- 3.10.1.1. Stosowane w sieci trakcyjnej DC 3 kV ograniczniki napięcia dotykowego VLD powinny spełniać wymagania normy PN-EN 50526-2. Zastosowania kolejowe – Urządzenia stacjonarne – Ograniczniki przepięć prądu stałego i urządzenia ograniczające napięcie – Część 2: Urządzenia ograniczające napięcie.

- 3.10.1.2. Wyróżnia się ograniczniki napięcia dotykowego opisane w pkt 2.7.1.6.
- 3.10.1.3. Zgodnie z normą rozróżnia się klasy ograniczników napięcia dotykowego VLD przedstawione w tabeli 3.10.1.
- 3.10.1.4. Zaleca się stosować ograniczniki tyrystorowe, czyli ograniczniki klasy 2.1 (jednokierunkowe) i klasy 2.2 (dwukierunkowe) według normy PN-EN 50526-2:2014. Ograniczniki te nie wymagają napięcia pomocniczego. Powinny charakteryzować się czasem odpowiedzi TR nie dłuższym niż 5 ms. Czas odpowiedzi TR – jest to czas od chwili pojawienia się nominalnego napięcia przełączania UTn do chwili przejścia ogranicznika w stan przewodzenia.
- 3.10.1.5. Należy stosować ograniczniki napięcia dotykowego o następujących wartościach nominalnego napięcia przełączania UTn:
- a) 120 V – jeżeli należy zapewnić ochronę przeciwporażeniową w normalnych warunkach środowiskowych,
 - b) 60 V – jeżeli należy zapewnić ochronę przeciwporażeniową w warunkach zwiększonego zagrożenia porażeniem (pomieszczenia warsztatowe i podobne, zwłaszcza wilgotne bądź stwarzające sposobność częstej styczności potencjałem ziemi).

Tabela 3.10.1. Klasy ograniczników napięcia dotykowego VLD według normy PN-EN 50526-2:2014-09

Klasa	Metoda przełączania	Wymagane zasilanie pomocnicze	Polaryzacja	Odzyskiwanie zdolności zaworowej	Zdolność wyłączania prądu
1	szczępienie elektrod	nie	dwukierunkowy	tylko po przewodzeniu małego prądu	nie
2.1	przełączenie tyrystora	nie	jednokierunkowy	tak	tylko przy naturalnym przejściu prądu przez zero
2.2	przełączenie tyrystora	nie	dwukierunkowy	tak	tylko przy naturalnym przejściu prądu przez zero
3.1	przełączenie stycznika	tak	dwukierunkowy	tak	tak
3.2	przełączenie stycznika	tak	dwukierunkowy	tak	tak
3.3	przełączenie stycznika	tak	dwukierunkowy	tak	tak
4.1	układ tyrystorowo-stycznikowy	tak	dwukierunkowy	tak	tak
4.2	układ tyrystorowo-stycznikowy	tak	dwukierunkowy	tak	tak
4.3	układ tyrystorowo-stycznikowy	tak	dwukierunkowy	tak	tak

3.10.1.6. Ponadto ograniczniki napięcia dotykowego VLD (klasy 2.1 i klasy 2.2) powinny mieć następujące parametry i cechy:

- a) prąd znamionowy w granicach $I_r = (50\div 500) \text{ A}$, przy czym zaleca się stosować wartość nie mniejszą niż **400 A**,
- b) prąd krótkotrwały wytrzymawany I_w tak dobrany, aby całka Joule'a dla czasu trwania zwarcia w przedziale 20÷250 ms zawierała się w granicach (0,4÷50) kA²s,

- c) największy prąd upływowy w stanie nieprzewodzenia nie większy niż
 $I_L = 50 \text{ mA}$,
- d) graniczny prąd wyładowczy 8/20 μs dobrany z przedziału $I_n = (40 \div 100) \text{ kA}$,
- e) uszkodzenie ogranicznika powinno być łatwe do zdiagnozowania i nie powinno powodować trwałego zwarcia jego elektrod (należy preferować rozwiązania z lokalną sygnalizacją uszkodzenia ogranicznika).

4. Charakterystyka i ogólne wymagania stawiane ochronie przed wyładowaniami atmosferycznymi i przepięciami w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej DC 3 kV

4.1. Znaczenie wyładowań atmosferycznych i przepięć w eksploatacji sieci trakcyjnej DC 3 kV

- 4.1.1. System zasilania trakcji elektrycznej ze względu na rozległość charakterystyczną dla sieci trakcyjnej oraz linii elektroenergetycznych zasilających podstacje trakcyjne podlega w naturalnych warunkach pracy wielu czynnikom zmieniającym się w funkcji czasu. Każda napowietrzna sieć zasilająca zagrożona jest oddziaływaniem wyładowań piorunowych i przepięć. Dotyczy to również sieci trakcyjnej DC 3 kV. W takich systemach częstotliwość występowania przepięć, jak również ich parametry szacuje się w zasadzie głównie w oparciu o dane statystyczne.
- 4.1.2. Z praktyki eksploatacyjnej napowietrznych linii elektroenergetycznych wynika, że największym zagrożeniem dla izolacji podstawowej i urządzeń stacyjnych są przepięcia spowodowane wyładowaniem piorunowym bezpośrednim w linię (przepięcia przewodzone) lub pośrednim w pobliżu linii (przepięcia indukowane). Analogicznie jest w przypadku sieci trakcyjnej. Jej główne elementy są z założenia przewodzące, więc przepięcia piorunowe rozprzestrzeniają się wzdłuż sieci trakcyjnej na znaczne odległości w postaci fal napięciowych określanych falami wędrownymi lub udarowymi. Urazy napięciowe wpływają destrukcyjnie na izolację sieci zasilania elektroenergetycznego, jak również podłączonych do nich urządzeń odbiorczych, a udary prądowe powodują przekroczenie wytrzymałości termicznej urządzeń m.in. w wyniku przegrzania aktywnych przestrzeni urządzeń: półprzewodnikowych, rezystancyjnych lub indukcyjnych.
- 4.1.3. Aktualnie znaczna część urządzeń i szaf przytorowych na sieci objętej systemem uszyniania bezpośredniego posiada galwaniczne połączenie z obwodem powrotnym prądu (z szyną) poprzez przewód uszyniający. Należy zdawać sobie sprawę, że w takiej sytuacji wszelkie wzrosty potencjałów w obwodzie powrotnym,

spowodowane np. wyładowaniem piorunowym, przeniosą się przez te galwaniczne połączenia na metalowe obudowy uszynionych urządzeń lub szaf aparaturowych oraz wszelkie metalowe elementy w ich wnętrzu z nimi połączone. W takim przypadku należy również spodziewać się zdecydowanie większych wartości przepięć przenikających do szafy przytorowej niż gdyby szafa była tylko uziemiona. Przekroczenie granicznych wartości napięć udarowych wytrzymywanych w obwodach urządzeń uszynionych jest w takim przypadku tylko kwestią niekorzystnego zbiegu okoliczności i zależy od:

- wartości prądu w kanale piorunowym,
- odległości wyładowania piorunowego od uszynionego urządzenia,
- włączenia się lub nie ograniczników zamontowanych na sieci trakcyjnej w celu ograniczania przepięć wędrujących wzdłuż przewodu jezdnego,
- odległości ograniczników przepięć od rozpatrywanego urządzenia.

4.2. Skutki braku skutecznej ochrony odgromowej i ochrony przed przepięciami sieci trakcyjnej DC 3 kV

4.2.1. Z prowadzonych analiz wynika, iż oddziaływanie wyładowań atmosferycznych przy braku odpowiedniej ochrony odgromowej i przed przepięciami może prowadzić do:

- a) zagrożenia życia ludzkiego (utrata życia lub trwałe uszczerbek na zdrowiu):
 - bezpośrednio wskutek pożaru obiektu trafionego przez piorun lub wskutek wystąpienia niebezpiecznych napięć krokowych i dotykowych powstających w wyniku przepływu prądu pioruna,
 - pośrednio wskutek niebezpiecznych wypadków lub kolizji kolejowych (np.: zderzenia pociągów lub wypadki na przejazdach kolejowych) spowodowanych awarią lub błędną sygnalizacją systemów srk (np. SSP, SBL),
- b) całkowitego zniszczenia lub uszkodzenia urządzeń powiązanych z systemami energetycznymi wskutek oddziaływania całkowitego lub częściowego prądu pioruna i/lub prądów indukowanych,
- c) strat ekonomicznych:
 - wskutek konieczności wymiany urządzeń lub ich naprawy,
 - wynikających z opóźnień w ruchu kolejowym (zarówno pasażerskim jak i towarowym) wskutek konieczności wypłaty odszkodowań lub kar

umownych za opóźnienia związane z tymczasowym wstrzymaniem ruchu kolejowego lub koniecznością ograniczenia prędkości pociągów wskutek awarii systemów kolejowych,

d) utraty prestiżu zarządcy infrastruktury kolejowej.

4.3. Klasy ochrony odgromowej w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej DC 3 kV

4.3.1. Wprowadzany podział na trzy klasy ochrony odgromowej w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej DC 3 kV:

- a) ochrona premium,
- b) ochrona normalna,
- c) ochrona obniżona,

ma na celu umiejętny dobór środków ochrony do kategorii linii kolejowych określonych w Rozporządzeniu Ministra Transportu i Gospodarki Wodnej w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle kolejowe i ich usytuowanie (Dz.U. 1998, poz. 987 z późn. zmianami).

4.3.2. Należy jednak pamiętać, że takie założenie zawiera znaczne uproszczenie. Z tego powodu konieczne jest stosowanie ochrony odgromowej wyższej klasy wszędzie tam, gdzie na podstawie doświadczeń stwierdzono występowanie szkód podczas wyładowań piorunowych, niezależnie od kategorii lokalnej linii kolejowej. Decyzje o ostatecznej kategorii danego odcinka linii kolejowej podejmuje projektant w uzgodnieniu z zarządcą infrastruktury kolejowej. Pomocna w tym zakresie będzie również mapa zagrożeń burzowych zawierająca gęstość wyładowań burzowych N_g w danym terenie, zatwierdzona przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Jeśli na danym odcinku sieci trakcyjnej w okresie 5 lat poprzedzających jego planowaną modernizację stwierdzono odbiegającą znacznie od średniej, zwiększoną liczbę uszkodzeń urządzeń przytorowych pochodzenia piorunowego i przepięciowego, to projektant może przyjąć wyższy poziom ochrony odgromowej nawet wtedy, gdy dane map burzowych wskazują, iż w tym miejscu $N_g < 3$ wyładowania/km²/rok.

4.4. Źródła zagrożeń piorunowych infrastruktury kolejowej

4.4.1. W warunkach oddziaływania wyładowań atmosferycznych, jako podstawowe źródła zagrożeń występujących w obiektach budowlanych według klasyfikacji norm odgromowych PN-EN 62305, wyróżnia się:

- a) S1: wylądowanie bezpośrednio w obiekt budowlany (dworce, nastawnie, LCS, RBC, wieże GSM-R),
 - b) S2: wylądowanie pobliskie,
 - c) S3: wylądowanie bezpośrednio w linie zewnętrzne (zasilające, telekomunikacyjne),
 - d) S4: wylądowanie w pobliżu linii zewnętrznych.
- 4.4.2. Rozpatrując sieć trakcyjną jako obiekt oddziaływania wylądowań atmosferycznych, dla określenia ich skutków w infrastrukturze kolejowej, dodatkowo należy zdefiniować następujące zagrożenia:
- a) S5: wylądowanie bezpośrednio w sieć trakcyjną,
 - b) S6: wylądowanie w pobliżu sieci trakcyjnej.
- 4.4.3. Przepięcia indukowane w liniach sygnałowych biegnących równolegle z linią kolejową (transmisja do urządzenia zdalnej kontroli (UZK), sterowanie sygnalizatorami, linie do czujników koła itp.) rozważa się w pierwszym przybliżeniu jako powiązane z wylądowaniami w pobliżu sieci trakcyjnej a nie w pobliżu linii zewnętrznych.
- 4.4.4. Dla systemów zasilania energetycznego sieci trakcyjnej DC 3 kV główne zagrożenie stanowi oddziaływanie całkowitego lub częściowego prądu pioruna w wyniku bezpośredniego wylądowania atmosferycznego w sieć trakcyjną oraz linie elektroenergetyczne zasilające podstacje trakcyjne lub kabiny sekcyjne.
- 4.4.5. Zagrożenie dla systemów słaboprądowych (linie sygnałowe, linie telekomunikacyjne, linie dozoru wizyjnego, itp.) wskutek oddziaływania prądów piorunowych przejawia się w wyniku sprzężeń galwanicznych, pojemnościowych bądź indukcyjnych, które są przyczyną:
- a) wzrostu potencjału w sieci uszynienia lub układzie uziomów wskutek przepływu prądu pioruna,
 - b) przeskoków iskrowych między przewodzącymi częściami sieci trakcyjnej a okablowaniem instalacji przytorowych,
 - c) przepięć indukowanych w okablowaniu (szczególnie istotne przy znacznych długościach linii transmisji danych do UZK, obwodów czujników koła, sygnalizatorów, itp.),
 - d) przepięć występujących w obwodach zasilających urządzenia przytorowe,
 - e) przepięć występujących w szynach oddziałujących na obwody torowe.

4.4.6. W tabeli 4.4.1 przedstawiono rodzaje oddziaływania wyładowań atmosferycznych na infrastrukturę kolejową przyporządkowane poszczególnym źródłom zagrożeń oraz na związane z tym zagrożenie dla istot żywych (dla ludzi i zwierząt).

Tabela 4.4.1. Klasyfikacja źródeł zagrożeń piorunowych infrastruktury kolejowej i rodzaje oddziaływania

S1	wyładowanie bezpośrednie w obiekt budowlany	bezpośrednie oddziaływanie prądu pioruna, mogące powodować uszkodzenia fizyczne obiektu oraz instalacji wewnętrznych oraz utratę życia istot żywych wskutek porażenia niebezpiecznymi napięciami dotykowymi i krokowymi
S2	wyładowanie w pobliżu obiektu budowlanego	oddziaływanie impulsowego pola elektromagnetycznego wywołanego przepływem prądu w kanale pioruna, mogące powodować indukowanie się przepięć w instalacjach wewnętrznych
S3	wyładowanie bezpośrednie w linii zewnętrzne	bezpośrednie oddziaływanie częściowego prądu pioruna wnikającego do obiektu, mogące powodować uszkodzenia fizyczne instalacji wewnętrznych oraz utratę życia istot żywych wskutek porażenia niebezpiecznymi napięciami dotykowymi i krokowymi
S4	wyładowanie w pobliżu linii zewnętrznych	oddziaływanie impulsowego pola elektromagnetycznego wywołanego przepływem prądu w kanale pioruna, mogące powodować indukowanie się przepięć w liniach zewnętrznych doprowadzonych do obiektu
S5	wyładowanie bezpośrednie w sieć trakcyjną	bezpośrednie oddziaływanie prądu pioruna, mogące powodować uszkodzenia fizyczne sieci trakcyjnej, powiązanych z nią instalacji przytorowych oraz utratę życia istot żywych wskutek porażenia niebezpiecznymi napięciami dotykowymi i krokowymi
S6	wyładowanie w pobliżu sieci trakcyjnej	oddziaływanie impulsowego pola elektromagnetycznego wywołanego przepływem prądu w kanale pioruna, mogące powodować indukowanie się przepięć w obwodzie instalacjach przytorowych

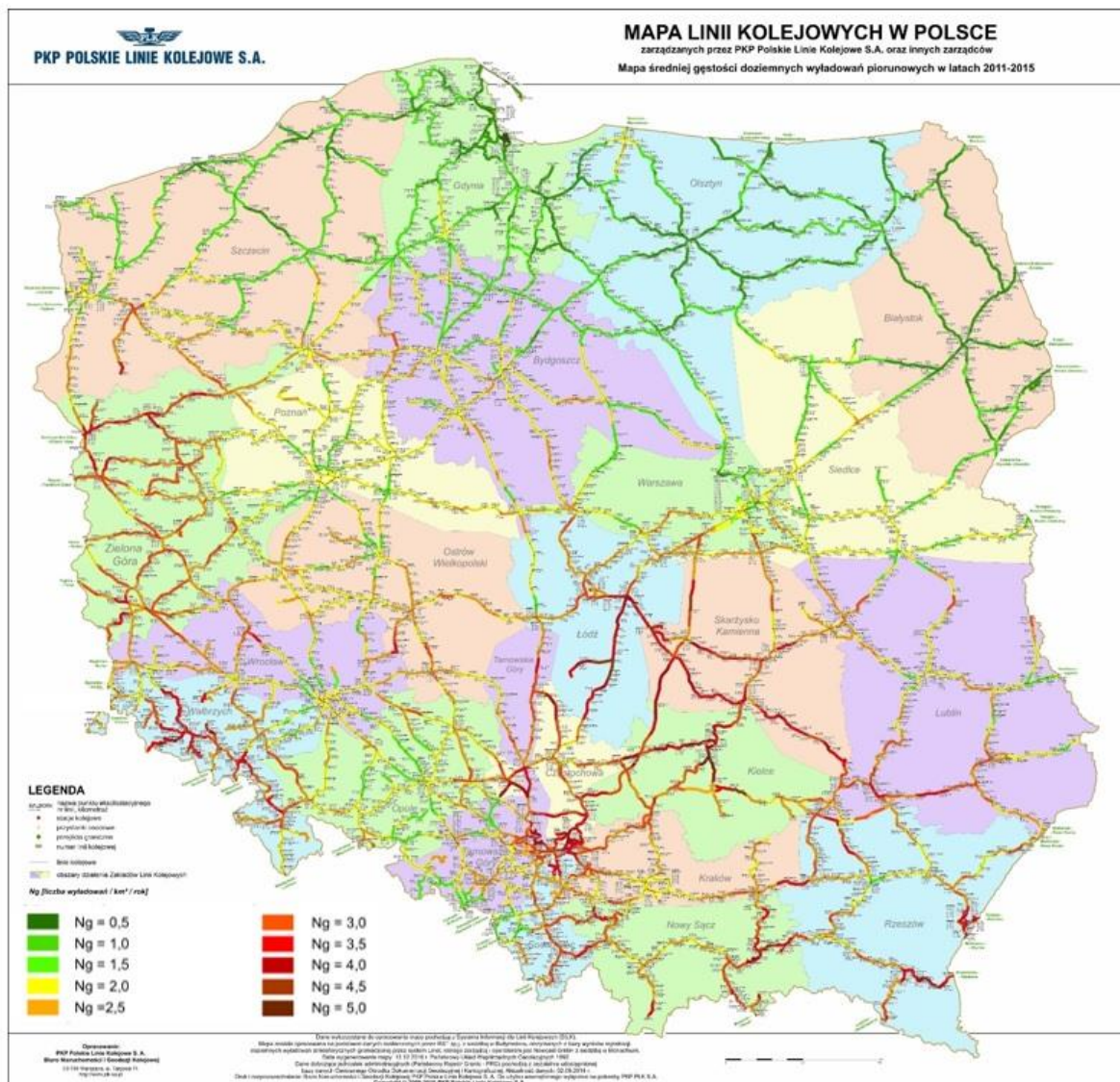
4.5. Mapa zagrożeń burzowych infrastruktury kolejowej w Polsce⁵

- 4.5.1. Częstość występowania piorunów w danym obszarze przekłada się bezpośrednio na ryzyko wystąpienia uszkodzenia obiektu i systemów elektronicznych, a jej znajomość stanowi punkt początkowy każdej analizy zagrożenia piorunowego. Liczbowo wartość ta wyrażana jest przez gęstość doziemnych wyładowań atmosferycznych N_g określaną jako średnią liczbę wyładowań przypadających na powierzchnię 1 km² w ciągu jednego roku.
- 4.5.2. Na podstawie danych otrzymanych z bazy wyników rejestracji doziemnych wyładowań atmosferycznych gromadzonej przez system LINET, którego zarządcą i operatorem jest Nowcast GmbH z siedzibą w Monachium, opracowana została mapa obszaru Polski z danymi dotyczącymi lat 2011 – 2015. Średnie wartości rocznej gęstości wyładowań atmosferycznych N_g , w analizowanym okresie pięciu lat na obszarze Polski nie przekraczają wartości 5 wyładowań na 1 km².
- 4.5.3. Z map wynika, że najmniejsze zagrożenie występuje na obszarach Polski północnej i północno-wschodniej, gdzie gęstość wyładowań nie przekracza w zasadzie wartości 1,5 wyładowania na km². Dotyczy to obszarów Zakładów Linii Kolejowych: Gdynia, Olsztyn i Białystok. Największa intensywność burzowa występuje natomiast w południowych oraz zachodnich obszarach Polski. Na terenach obejmowanych przez IZ Łódź, IZ Skarżysko Kamienna oraz IZ Kielce w znacznej części obszarów wartość N_g przekracza 3 wyładowania na km² osiągając maksymalnie wartości powyżej 4 wyładowań.
- 4.5.4. Linie kolejowe przebiegające w obszarach o najwyższej intensywności burzowej stanowią:
- a) linia nr 1 na odcinku Koluszki – Radomsko,
 - b) linia nr 4 na obszarach IZ Skarżysko Kamienna i IZ Kielce,
 - c) linia nr 22,
 - d) linia nr 25 na odcinku Koluszki – Skarżysko Kamienna – Sandomierz,
 - e) linia nr 61 na obszarze IZ Kielce.
- 4.5.5. Potwierdzenie zagrożenia tych linii odzwierciedlają opinie zakładów oraz statystyka rejestrowanych awarii urządzeń przytorowych w ostatnich latach. Dotyczy to szczególnie linii nr 25, na której w latach 2015 i 2016 po burzach odnotowano

⁵ Na podstawie opracowania pt. „Zagrożenia burzowe występujące na sieci linii kolejowych zarządzanych przez PKP PLK S.A. i stosowane obecnie sposoby zabezpieczenia urządzeń sterowania ruchem kolejowym” zrealizowanego przez RST sp.j. na zlecenie PKP PLK S.A., grudzień 2016 r.

łącznie ponad 60 przypadków awarii i uszkodzeń dotyczących głównie systemów urządzeń na przejazdach kolejowo-drogowych.

- 4.5.6. Dla celów projektowych opracowano mapę średniej gęstości wyładowań przyporządkowaną do wszystkich tras linii kolejowych PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. (rys. 4.5.1).
- 4.5.7. Mapa może być wykorzystywana wyłącznie na potrzeby PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.



Rys 4.5.1. Mapa średniej gęstości doziemnych wyładowań piorunowych odniesiona do linii kolejowych w latach 2011+2015

4.6. Ochrona przed bezpośrednim uderzeniem pioruna

4.6.1. Zewnętrzna ochrona odgromowa sieci trakcyjnej

- 4.6.1.1. Znaczącą kwestią przy analizie oddziaływania bezpośrednich wyładowań piorunowych na sieć trakcyjną jest brak obecnie odpowiednich środków zewnętrznej ochrony odgromowej zdolnych do przechwycenia wyładowania piorunowego i bezpiecznego odprowadzenia jego prądu do ziemi w celu rozproszenia go w ziemi. Idea zewnętrznej ochrony odgromowej sieci trakcyjnej nie była dotychczas dyskutowana z uwagi na przewidywane znaczne koszty, jakie by trzeba było przeznaczyć na jej ewentualne wykonanie.
- 4.6.1.2. Zgodnie z aktualnie obowiązującymi standardami technicznymi PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. (pkt. 3.7.8 w Standardach Technicznych Interoperacyjności⁶) wymagana jest ochrona odgromowa sieci jezdnej i polega ona wyłącznie na ograniczaniu pośrednich skutków wyładowań atmosferycznych bez stosowania środków przechwytyjących prądy bezpośrednich wyładowań atmosferycznych w sieć trakcyjną. Za ochronę odgromową uznaje się w tym przypadku stosowanie ograniczników przepięć w postaci odgromników rożkowych lub ograniczników przepięć zaworowych oraz półprzewodnikowych. Pomimo zastosowania pojęcia ochrony odgromowej w najnowszych standardach technicznych PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., znacznie szerszego niż rozpatrywany w niniejszej części pracy termin „ochrona przed przepięciami”, to użycia środków ochrony bezpośredniej w postaci zewnętrznego urządzenia piorunochronnego (zwodów odgromowych) w stosunku do górnych elementów sieci jezdnej, nie przewiduje się.
- 4.6.1.3. Należy zwrócić uwagę na fakt, iż wprowadzeniu systemu ochrony przeciwporażeniowej, w postaci uszynienia grupowego w układzie otwartym, towarzyszy zmiana konfiguracji sieci trakcyjnej, w wyniku dodania napowietrznego przewodu uszynienia grupowego w postaci liny zawieszanej na specjalnych wysięgnikach nad górną siecią jezdną, montowanej bezpośrednio do słupów trakcyjnych, co przedstawiono na rys. 4.6.1. Przewód

⁶ Standardy Techniczne PKP PLK S.A. - szczegółowe warunki techniczne dla modernizacji lub budowy linii kolejowych do prędkości $V_{max} \leq 200$ km/h (dla taboru konwencjonalnego) / 250 km/h (dla taboru z wychylnym pudłem). TOM IV - Urządzenia trakcji elektrycznej i elektroenergetyki trakcyjnej - Wersja 1.1, WARSZAWA 2009

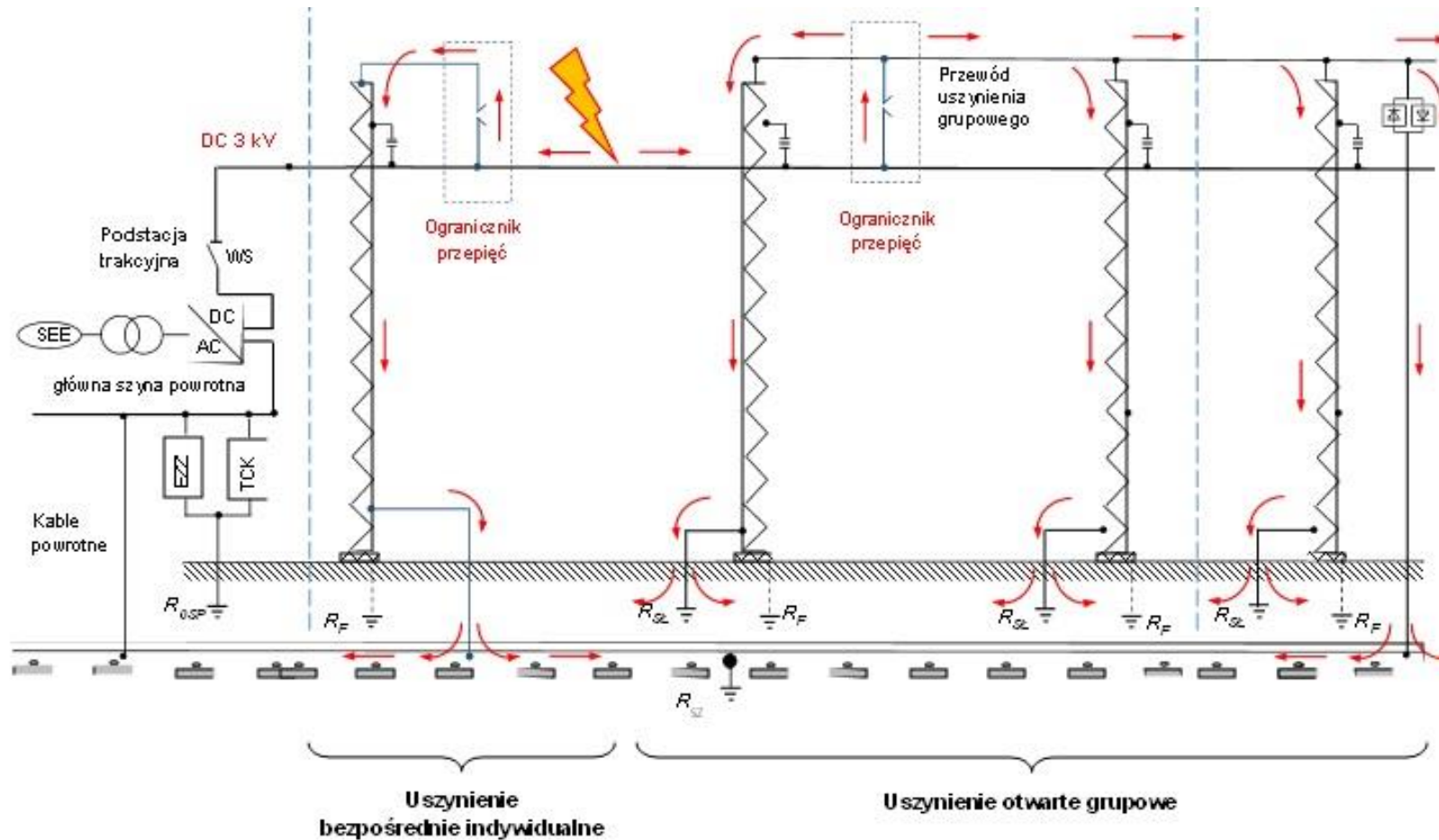
uszynienia grupowego umieszczony jest nad siecią trakcyjną DC 3 kV (oznaczone czerwoną strzałką z linią ciągłą), może więc pełnić rolę zwodu poziomego zewnętrznego urządzenia piorunochronnego tej sieci, a przewody uziemiające linię uszynienia grupowego na każdym słupie trakcyjnym mogą pełnić rolę przewodów odprowadzających (oznaczone żółtą strzałką z linii przerywaną), gdyż spełniają wymogi norm odgromowych PN-EN 62305-3 pod względem wymaganego minimalnego przekroju poprzecznego. Przewód uszynienia grupowego nie wstępuje w systemie uszynienia bezpośredniego (rys. 4.6.2).

- 4.6.1.4. Wykorzystanie napowietrznej sieci uszynienia grupowego jako urządzenia ochrony odgromowej pozwoli na radykalne zmniejszenie zagrożenia wyładowaniami atmosferycznymi w wyniku odprowadzania prądów bezpośrednich wyładowań piorunowych za pośrednictwem lin uszynienia otwartego grupowego i ich przewodów uziemiających, które łączą przewód uszynienia z uziomem każdego słupa trakcyjnego. W tej sytuacji nastąpi znaczne zmniejszenie obciążenia prądowego układów kaskadowej ochrony przed przepięciami sieci trakcyjnej w wyniku korzystnego podziału prądu pioruna między uziomy słupów i obwody ograniczników przepięć.





Rys 4.6.1. Przewody uszynienia grupowego nad siecią trakcyjną DC 3 kV (na górnym zdjęciu z lewej strony strzałką niebieską z linią przerywaną wskazano linię niezmodyfikowaną, wykonaną w systemie uszynienia bezpośredniego - bez przewodu uszynienia grupowego)



Rys 4.6.2. Sposoby włączenia ograniczników przepięć do ochrony systemu zasilania trakcji elektrycznej o napięciu DC 3 kV z uszynieniem bezpośrednim i uszynieniem otwartym grupowym

4.6.2. Znormalizowane parametry prądów udarowych

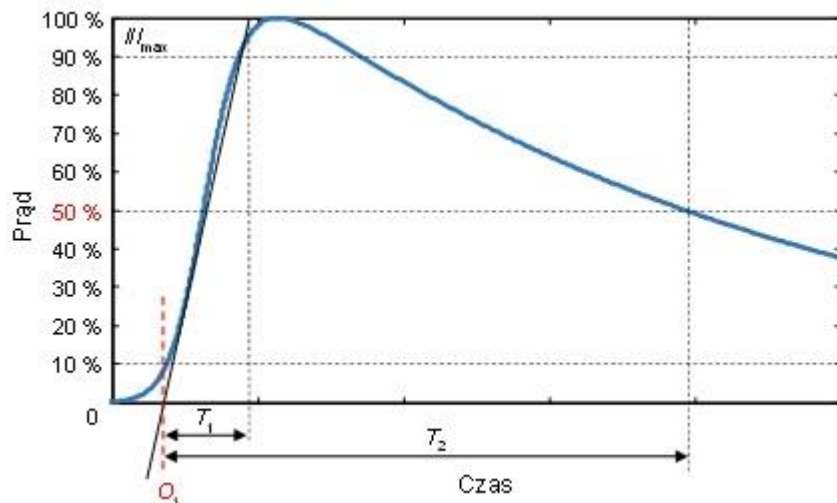
4.6.2.1. Prąd pioruna składać się może z jednego lub większej liczby udarów następujących po sobie. Zgodnie z definicjami przyjętymi w normach odgromowych PN-EN 62305 wyróżnia się udary krótko- i długotrwałe. Ze względu na ich znaczenie, w dzisiejszej ochronie odgromowej, konieczne jest przybliżenie tych charakterystyk szerszemu ogółowi specjalistów zajmujących się siecią trakcyjną DC 3 kV i urządzeniami pracującymi w jej strefie oddziaływania.

4.6.2.2. Kształt krótkotrwałego impulsu piorunowego, nazywanego udarem piorunowym, scharakteryzowany jest przez trzy podstawowe parametry:

- wartość szczytową (I_{max}) - maksymalną wartość, jaką osiąga prąd pioruna,
- czas trwania czoła T_1 - wirtualny parametr otrzymywany jako wynik pomnożenia przez 1,25 czasu trwania przedziału czasowego pomiędzy chwilami, w których impuls piorunowy osiąga 10% i 90% wartości szczytowej,
- czas do półszczytu T_2 - czas od początku trwania udaru do osiągnięcia 50% wartości szczytowej na zboczu opadającym impulsu

i oznaczany jako w literaturze technicznej jako $I_{max} T_1 / T_2$ (np. 100 kA 10/350 μ s).

4.6.2.3. Graficzna interpretacja parametrów przedstawiona została na rysunku 4.6.3.



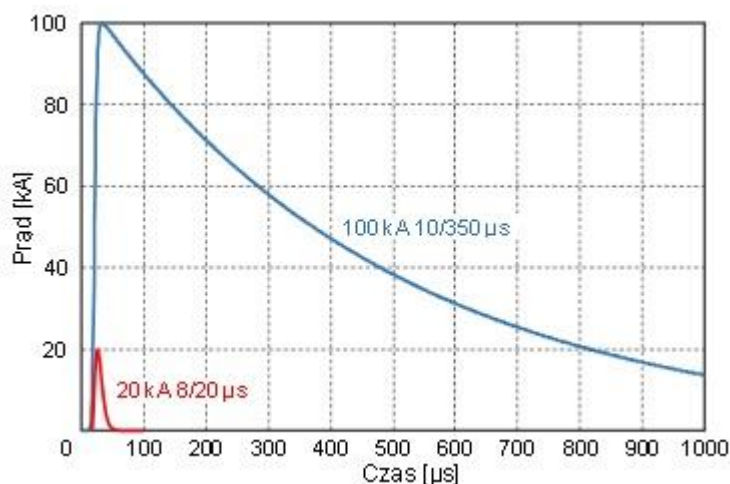
Rys 4.6.3. Definicja parametrów krótkotrwałego impulsu piorunowego

(punkt O1 nazywany jest wirtualnym początkiem udaru krótkotrwałego, wyznaczanym w punkcie przecięcia z osią czasu linii prostej poprowadzonej przez punkty 10 % i 90 % wartości maksymalnej na czole impulsu)

- 4.6.2.4. Dla udarów piorunowych krótkotrwałych, o czasie trwania poniżej 2 ms, określono następujące znormalizowane kształty:
- udar pierwszy dodatni o kształcie 10/350 μ s,
 - udar pierwszy ujemny o kształcie 1/200 μ s,
 - udary następne ujemne o kształcie 0,25/100 μ s.
- 4.6.2.5. Udary długotrwałe osiągają czasy trwania powyżej 2 ms.
- 4.6.2.6. Z punktu widzenia ochrony odgromowej do analizy oddziaływania całkowitego lub częściowego prądu pioruna przyjmuje się udar o kształcie 10/350 μ s. Wartość szczytowa prądu pioruna według założeń normatywnych osiąga wartości nawet do 200 kA. Spotyka się wyładowania o prądach przekraczających tę wartość jednak przyjmuje się, że prawdopodobieństwo ich wystąpienia wynosi mniej niż 1 % (z danych otrzymanych w ostatnich latach podczas analizy rozległych szkód piorunowych w urządzeniach przytorowych wynika, że wartości powyżej 200 kA nie należy lekceważyć).
- 4.6.2.7. Dla prądów indukowanych wskutek oddziaływania impulsowego pola elektromagnetycznego pioruna przyjęto znormalizowany kształt udaru 8/20 μ s.
- 4.6.2.8. Na rysunku 4.6.4 przedstawiono porównanie prądów udarowych:
- 100 kA 10/350 μ s, którego wartość maksymalna (100 kA) jest przyjmowana do przybliżonych obliczeń wymaganej odporności udarowej ograniczników przepięć w liniach zasilania elektroenergetycznego przeznaczonych do odprowadzania energii bezpośredniego wyładowania piorunowego na granicy stref ochrony odgromowej LPZ 0 / LPZ 1 montowanych na wejściu kabli do strefy LPZ 1 (np. na ścianie budynku, kontenera, szafy aparaturowej lub ściance puszek) przy założeniu, że dla klasy ochrony odgromowej LPS I – 50 % prądu piorunowego spływa do układu uziomów, a pozostałe 50 % wpływa do instalacji budynku lub instalacji zlokalizowanej w terenie (poza budynkiem, w danym przypadku - do sieci trakcyjnej),
 - 20 kA 8/20 μ s, którego wartość maksymalna (20 kA) jest przyjmowana do przybliżonych obliczeń wymaganej odporności udarowej ograniczników przepięć przeznaczonych do odprowadzenia prądu indukowanego w obwodach instalacji zasilania elektroenergetycznego w wyniku pobliskiego

wyładowania piorunowego, montowanych na granicy stref ochrony odgromowej LPZ 1 / LPZ 2 np. na wejściu kabli do strefy LPZ 1 w lokalnych rozdzielnicach piętrowych lub na granicy stref ochrony odgromowej LPZ 0 / LPZ 1, obiektu nie zagrożonego bezpośrednim wyładowaniem piorunowym - (np. na ścianie kontenera, szafy aparaturowej lub ściance puszkii).

- 4.6.2.9. Jeśli wziąć pod uwagę, iż pole powierzchni pod każdą krzywą przedstawioną na rys. 4.6.4, opisującą przebieg udaru prądowego w funkcji czasu, charakteryzuje wartość energii niesionej w każdym z udarów prądowych, to widać zdecydowaną różnicę: energia przenoszona przez удар prądowy pioruna jest wielokrotnie większa niż energia udaru indukowanego. Z tego względu krytyczne dla bezpieczeństwa chronionych obiektów, instalacji lub urządzeń jest rozróżnienie obu typów udarów przy doborze środków ochrony. Tam, gdzie spodziewane jest oddziaływanie częściowych prądów pioruna konieczne jest stosowanie środków odpornych na udary o kształcie 10/350 μs , a nie 8/20 μs , co, prawdopodobnie dla oszczędności (pozornej), spotyka się dzisiaj powszechnie, również na terenach kolejowych.



Rys 4.6.4. Porównanie kształtów udarów prądu pioruna (10/350 μs) i prądu indukowanego (8/20 μs)

4.7. Ochrona przed przepięciami sieci jezdnej DC 3 kV

4.7.1. Rzeczywiste warunki pracy systemów zasilania trakcyjnego DC 3 kV

- 4.7.1.1. W warunkach pracy sieci DC 3 kV jej napięcie może się znajdować w zakresie od 2 ÷ 5,075 kV (tabela 4.7.1) zgodnie z zapisami norm⁷. Niestabilna wartość

⁷ PN-EN 50163:2004: Zastosowania kolejowe -- Napięcia zasilania systemów trakcyjnych

napięcia rodzi określone problemy z koordynacją izolacji wszelkich urządzeń podłączonych do sieci trakcyjnej.

Tabela 4.7.1. Charakterystyka europejskiego systemu napięciowego trakcji DC 3 kV: napięcie znamionowe i jego poziomy ograniczające z podziałem w odniesieniu do czasu trwania⁸

Średnie wartości napięć (prąd stały)	Najniższe napięcia		Napięcie znamionowe	Przebiecia, V		
	U_{min2} , [V]	U_{min1} , [V]	U_n , [V]	U_{max1} , [V]	U_{max2} , [V]	U_{max3} , [V]
	2000	2000	3000	3600	3900	5075

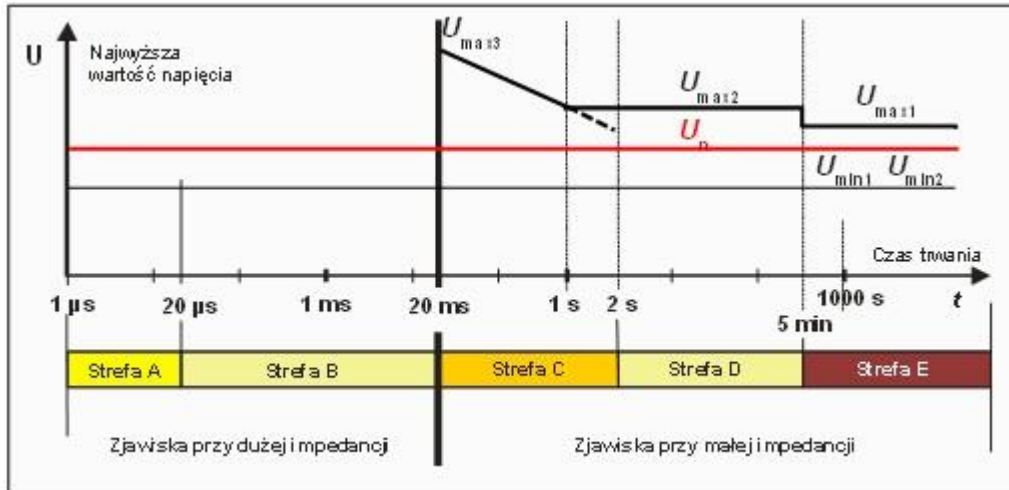
4.7.1.2. Dla prawidłowego doboru napięć wskazanych w tabeli 4.7.1 do faktycznych warunków panujących w sieci określa się szczególne wartości napięcia, w zależności od czasu trwania napięcia na pantografie, mierzonego między przewodem zasilającym sieci jezdnej a przewodem powrotnym (rys. 4.7.1):

- U_{min1} – **napięcie najniższe trwałe** – najmniejsza wartość napięcia, która może występować dowolnie długo,
- U_{min2} – **napięcie najniższe nietrwałe** – najmniejsza wartość napięcia, która może występować w ograniczonym czasie i jednocześnie najniższe dopuszczalne napięcie sieci jezdnej, przy której tabor szynowy może być jeszcze eksploatowany,
- U_{max1} – **napięcie najwyższe trwałe** – największa wartość napięcia, która może występować dowolnie długo (strefa E), pojęcie „trwałe” oznacza, iż dana wartość napięcia utrzymuje się dłużej niż 5 min.,
- U_{max2} – **napięcie najwyższe nietrwałe** – największa wartość napięcia, która może występować jako najwyższe napięcie przejściowe w ograniczonym czasie (strefa D),
- U_{max3} – **przebiecie długotrwałe** wyznaczane dla $t = 20$ ms,
- przebiecie długotrwałe** – przebiecie wyższe niż U_{max2} , trwające zazwyczaj dłużej niż 20 ms wywołany przez zjawiska małej impedancji - strefa C (np. wzrost napięcia pierwotnego na podstacji),
- przebiecie o średnim czasie trwania** – przejściowy wzrost napięcia trwający zwykle krócej niż 20 ms przy zaniku prądu wskutek wyłączenia

⁸ PN-EN 50163:2004: Zastosowania kolejowe -- Napięcia zasilania systemów trakcyjnych

prądów w obwodach indukcyjnych spowodowanego procesem łączeniowym lub awarią (zjawiska przy dużej impedancji – strefa B),

- h) **przebiecie krótkotrwałe** – przejściowy wzrost napięcia trwający krócej niż 20 μ s - strefa A.



Rys 4.7.1. Podział największych spodziewanych wartości napięcia zasilającego w sieci trakcyjnej wg czasu trwania (na podstawie ⁹, podziałka logarytmiczna)

- 4.7.1.3. Dla podstacji prądu stałego jest dopuszczalne, aby napięcie na jej szynie zbiorczej w warunkach braku obciążenia było $\leq U_{max2}$ przy założeniu, że w przypadku pojawienia się pociągu napięcie na jego pantografach powinno być zgodne z wymaganiami tabeli 4.7.1.
- 4.7.1.4. Czasy trwania napięć o wartościach występujących w przedziale U_{min1} do U_{min2} nie powinny być dłuższe od 2 minut, a w przedziale U_{max1} do U_{max2} nie powinny trwać dłużej od 5 minut.
- 4.7.1.5. Wartości liczbowe napięć i przebiec dla europejskiego systemu napięciowego trakcji DC 3 kV podane są w tabeli 4.7.1.
- 4.7.1.6. Przebiecia długotrwałe (trwające zwykle 20 ms \div 2 s), o średnim czasie trwania (zwykle 20 μ s \div 20 ms) i krótkotrwałe (zwykle mniej niż 20 μ s) są odpowiednikami przebiec dorywczych, przejściowych i wywołanych wylądowaniem atmosferycznym. Ich poziomy napięciowe nie są normowane w sposób, jaki przedstawiono w tabeli 4.7.1, gdyż zależą od dynamicznych zmian impedancji podczas przepływu prądów przebiec. Koordynacja izolacji

⁹ PN-EN 50124-2:2007: Zastosowania kolejowe. Koordynacja izolacji. Część 2: Przebiecia i ochrona przeciwprzebieciowa

w odniesieniu do przepięć przejściowych jest projektowana z uwzględnieniem środków ograniczających przepięcia.

- 4.7.1.7. W normalnych warunkach eksploatacji napięcie sieci powinno spełniać nierówność $U_{min1} \leq U \leq U_{max2}$.
- 4.7.1.8. W anormalnych warunkach napięcia z przedziału $U_{max1} \leq U \leq U_{max2}$ nie powinny powodować żadnych zniszczeń i uszkodzeń.
- 4.7.1.9. Napięcia pomiędzy U_{max1} i U_{max2} powinny występować tylko w stanach przejściowych, takich jak:
 - a) hamowanie z odzyskiem energii,
 - b) zmiana stanu systemów regulacji napięcia za pomocą mechanicznych przełączników zaczepów.

4.7.2. **Problemy związane ze stosowaniem ochrony przed przepięciami w sieci trakcyjnej DC 3 kV**

- 4.7.2.1. Potrzeba ochrony sieci trakcyjnej przed przepięciami wynika przede wszystkim z dużego prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzeń zarówno jej elementów (np. izolatory), jak i poruszających się wzdłuż niej pojazdów trakcyjnych, a także elementów systemu zasilania sieci trakcyjnej oraz urządzeń systemu sterowania ruchem kolejowym. Przykładowo ocenia się, że w skali jednego roku na sieci trakcyjnej PKP występuje 600 przeskoków na izolatorach czystych¹⁰. Z badań wynika, że wytrzymałość zabrudzonych izolatorów przy udarach piorunowych może obniżyć się znacznie poniżej 50% wartości mierzonych przy czystym izolatorze.
- 4.7.2.2. Obecny system ograniczania przepięć zbudowany na bazie iskierników różkowych, to klasyczny przykład realizacji ograniczania inherentnego, czyli systemu elektrycznego, którego własna charakterystyka powoduje ograniczenie spodziewanych przepięć do założonego poziomu.
- 4.7.2.3. Zastosowanie systemu ochrony przed przepięciami w sieci trakcyjnej DC 3 kV w swoim założeniu, oprócz ograniczania napięć do poziomów bezpiecznych, ma na celu odprowadzenie energii przepięć piorunowych z obwodów sieci trakcyjnej. W tym systemie ograniczania dla ograniczenia poziomu przepięć stosować należy ograniczniki, których głównym zadaniem jest lokalne

¹⁰ K. L. Chrzan: Wytrzymałość izolatorów trakcyjnych przy udarach piorunowych. Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej Nr 24, 2008

skupienie energii fal przepięciowych, przemieszczających się wzdłuż zelektryfikowanych szlaków kolejowych, z dala od wrażliwych urządzeń przytorowych.

4.7.2.4. Z punktu widzenia idei ograniczania przepięć przy istniejącym systemie odgromniki rożkowe włączone do układu w sposób następujący:

- a) dla uszynienia bezpośredniego - między przewód górnej sieci jezdnej a przewód powrotny,
- b) dla uszynienia grupowego - między przewód górnej sieci jezdnej a uziemiony przewód uszynienia grupowego.

4.7.2.5. Dzięki zastosowaniu ograniczników przepięć:

- a) dla uszynienia bezpośredniego energia przepięć rozpraszana jest bezpośrednio w sieci trakcyjnej, między punktem zainstalowania ograniczników przepięć, a zaciskami zasilaczy kablowych za pośrednictwem przewodów zasilaczy oraz kabli powrotnych, co należy uznać za przypadek najbardziej niekorzystny m.in. dla urządzeń przytorowych,
- b) dla uszynienia grupowego - dzięki podłączeniu jednego zacisku ogranicznika do uziemionego przewodu uszynienia grupowego - energia przepięć jest odprowadzana z sieci trakcyjnej do układu uziomów słupów trakcyjnych, dzieląc się między kilka najbliższych słupów za pośrednictwem przewodu uszynienia grupowego, co w rezultacie bardzo korzystnie wpływa na złagodzenie środowiska elektromagnetycznego w otoczeniu urządzeń przytorowych.

4.7.2.6. Stosunkowo nieznaczna część energii przepięć wydzieli się w roboczych objętościach ograniczników (iskiernikowych oraz beziskiernikowych) oraz w obwodach zasilaczy w stosunku do energii niesionej wyładowaniem piorunowym, która wydzieli się na impedancji obwodu powrotnego lub uziomach słupów trakcyjnych spiętych wzajemnie przewodem uszynienia grupowego.

4.7.2.7. Ze względu na oczywistą niedoskonałość odizolowania elektrycznego sieci trakcyjnej od otaczającego środowiska (jej części napowietrznej oraz szynowego obwodu powrotnego) część prądu bezpośrednich wyładowań atmosferycznych spłynie w sposób niekontrolowany do gruntu poprzez przewody uszyniające, obwód powrotny szynowy (szyny jezdne) i fundamenty

konstrukcji wsporczych sieci, po przekroczeniu w tych miejscach wartości udarowych napięć izolacji. W wyniku tego stanu występują pośrednie zjawiska oddziałujące na inne elementy infrastruktury linii kolejowych:

- a) sprzężenia pola elektromagnetycznego z kablami urządzeń przytorowych i portami tych urządzeń, będące wynikiem przepływu prądu ograniczanych przepięć w obwodzie przewodów sieci jezdnej – ogranicznik - obwód powrotny szynowy – zasilacz (w systemie uszyniania bezpośredniego) lub przewodów sieci jezdnej – ogranicznik – przewód uszynienia grupowego – uziom słupa trakcyjnego (w systemie uszyniania grupowego),
- b) wynoszenia wysokich potencjałów na porty urządzeń przytorowych podłączonych galwanicznie (bezpośrednio) do szyny - będących wynikiem odkładania się napięć na impedancjach obwodu powrotnego wskutek przepływu szybko narastających prądów udarowych przez indukcyjności elementów obwodu powrotnego.

4.7.2.8. Funkcjonujący obecnie system inherentnego ograniczania przepięć zbudowany na bazie iskierników rożkowych funkcjonuje w sieci trakcyjnej zarządzanej przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. od lat pięćdziesiątych XX wieku. Długoletnia praktyka eksploatacyjna potwierdziła jego skuteczność w dobie automatyki kolejowej opartej na przekaźnikach. Dopiero wprowadzenie do szerszego stosowania w latach osiemdziesiątych-dziewięćdziesiątych ubiegłego stulecia systemów rozwiązań technicznych bazujących na technologii półprzewodnikowej wykazało istotny stopień jej niedopasowania do poziomu napięciowego ochrony oferowanego przez odgromniki rożkowe. Sytuacja radykalnie pogorszyła się w ostatniej dekadzie, gdy w modernizowanych liniach kolejowych na szeroką skalę rozpoczęło się wdrażanie nowoczesnych systemów i rozwiązań technicznych opartych na układach mikroprocesorowych. Skala i rozległość uszkodzeń tych systemów, objawiających się, jak się wydaje głównie po przejściu nawałnic burzowych z wyładowaniami piorunowymi, oznacza zdecydowane przekroczenie odporności współczesnych systemów i rozwiązań technicznych w środowisku sieci trakcyjnej DC 3 kV z ograniczeniem inherentnym (tylko z udziałem odgromników rożkowych) i skłania do szukania nowych rozwiązań ochronnych, które pozwolą wykorzystać doskonale cechy nowych systemów mikroprocesorowych nawet w warunkach zagrożenia piorunowego, w postaci bezpośrednich wyładowań w sieć trakcyjną.

4.8. Problemy związane z ograniczaniem skutków przepięć zagrażających urządzeniom przytorowym

- 4.8.1. Przykłady opisanych ograniczników przepięć urządzeń przytorowych świadczą o stosowaniu do zabezpieczenia urządzeń infrastruktury kolejowej elementów niskiej jakości, niespełniających wymogów stosownych norm. W przypadku urządzeń kolejowych, u których jednym z najważniejszych parametrów jest ich niezawodność i spełnienie parametrów RAMS, powinno kłaść się szczególny nacisk na skuteczną ochronę przed przepięciami, gdyż, jak pokazuje praktyka, ich zła jakość obniża niezawodność urządzeń do poziomu nietolerowanego dla bezpieczeństwa ruchu kolejowego.
- 4.8.2. Parametry spełniane przez pojedynczy element układu ochronnego ogranicznika bardzo rzadko są spełnione przez układ złożony z kilku elementów. Szczególnie wytrzymałość udarowa konstrukcji ogranicznika może być mniejsza niż wytrzymałość jego elementów składowych na skutek wykonania zbyt słabych połączeń. Z tego względu nie można opierać się na parametrach katalogowych poszczególnych elementów, wchodzących w skład układu ochronnego ogranicznika przepięć, uznając je za wyniki badań. Należy zatem poddać testom kompletny ogranicznik, zgodnie z wymaganiami stosownych norm. Ograniczniki przepięć powinny być przebadane zgodnie z normami serii PN-EN 61643 w celu potwierdzenia parametrów deklarowanych przez producenta.
- 4.8.3. Określanie parametrów SPD bez weryfikowania ich na podstawie gruntownych badań zawsze obarczone jest ogromnym ryzykiem podania nieprawdziwych danych. Użytkownik takiego produktu jest w związku z tym wprowadzany w błąd kupując produkt o parametrach niezgodnych z deklaracją producenta o zazwyczaj znacznie niższej jakości. W oczywistej konsekwencji może to się stać przyczyną błędnego funkcjonowania instalacji, którą ogranicznik ma za zadanie chronić. Taki, nieprzebadany zgodnie z odpowiednimi normami, ogranicznik przepięć, z uwagi na „oszczędnościowy sposób jego produkcji” może charakteryzować się w rzeczywistości znacznie niższą od deklarowanej odpornością udarową, węższym pasmem częstotliwościowym jego pracy lub też nie będzie wytrzymywać deklarowanych warunków środowiskowych jego pracy (temperatur i wilgotności). Może się wydawać, że taka sytuacja w obszarze zastosowań kolejowych jest wynikiem braku konkretnych wymagań w zakresie ochrony przed przepięciami systemów infrastruktury kolejowej, co pozwala producentom na stosowanie dowolnych rozwiązań o wątpliwej jakości. Nie można jednak nie zauważyć, że takie gotowe wymagania już istnieją.

- 4.8.4. Zgodnie z regulacjami prawnymi Wspólnoty Europejskiej każdy produkt wprowadzany na teren Europejskiego Obszaru Gospodarczego powinien spełniać zasadnicze wymagania dotyczące bezpieczeństwa produktów. W przypadku Rzeczypospolitej Polskiej jest to uregulowane ustawą z dnia 12 grudnia 2003 r. o ogólnym bezpieczeństwie produktów ¹¹, której przepisy wdrażają postanowienia dyrektywy 2001/95/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 3 grudnia 2001 r. w sprawie ogólnego bezpieczeństwa produktów ¹². Zgodnie z jej zapisami:
„Domniemywa się, że produkt spełniający wymagania wynikające z norm krajowych państw członkowskich Unii Europejskiej, będących transpozycją norm europejskich uznanych przez Komisję Europejską za zgodne z przepisami dotyczącymi ogólnego bezpieczeństwa produktów, do których odniesienia Komisja Europejska opublikowała w Dzienniku Urzędowym Unii Europejskiej, jest produktem bezpiecznym w zakresie wymagań objętych tymi normami.”
- 4.8.5. W myśl zapisów ustawy z dnia 12 grudnia 2003 r. o ogólnym bezpieczeństwie produktów:
„Prezes Polskiego Komitetu Normalizacyjnego ogłasza dwa razy w roku, według stanu na dzień 30 czerwca i 31 grudnia każdego roku, w drodze obwieszczenia, w Dzienniku Urzędowym Rzeczypospolitej Polskiej „Monitor Polski”, numery i tytuły Polskich Norm, będących transpozycją norm europejskich, uznanych przez Komisję Europejską za zgodne z przepisami dotyczącymi ogólnego bezpieczeństwa produktów, do których odniesienia Komisja Europejska opublikowała w Dzienniku Urzędowym Unii Europejskiej”.
- 4.8.6. Każdy produkt przed wprowadzeniem na rynek powinien być rzetelnie przebadany zgodnie z wymaganiami stosownych norm wymienionych w tym wykazie i oznaczony skrótem „CE” pochodzącym od francuskiego określenia Conformité Européenne, co oznacza zgodny z dyrektywami Wspólnoty Europejskiej. Tylko taki wyrób ma prawo być wprowadzony na rynek dowolnego państwa członkowskiego Wspólnoty Europejskiej.
- 4.8.7. Zakres warunków probierczych oraz wymagań dla ograniczników przepięć dedykowanych do ochrony obwodów niskonapięciowych określają wspomniane już uprzednio normy PN-EN 61643-11 oraz PN-EN 61643-21 zharmonizowane z Dyrektywą 2006/95/WE – Niskonapięciowy sprzęt elektryczny (LVD), które

¹¹ Dz.U. 2003, poz. 2275: Ustawa z dnia 12 grudnia 2003 r. o ogólnym bezpieczeństwie produktów

¹² Dyrektywa 2001/95/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z 3 grudnia 2001 r. w sprawie ogólnego bezpieczeństwa produktów

możemy znaleźć w wykazie norm zharmonizowanych zamieszczanym w Obwieszczeniach Prezesa Polskiego Komitetu Normalizacyjnego.

4.9. Ograniczanie przepięć w kolejowych urządzeniach technicznych zasilanych napięciem 230/400 V 50 Hz

4.9.1. Najwyższe napięcie trwałej pracy ograniczników w sieci AC 230 V

Najwyższe napięcie trwałej pracy ograniczników U_c – to parametr decydujący o trwałości ograniczników w czasie i im jest ono wyższe od znamionowego napięcia sieci 230/400 V 50 Hz, tym ograniczniki są bardziej odporne na niestabilność sieci zasilającej. Z danych katalogowych wynika, iż producenci deklarują następujące poziomy napięcia między żyłami roboczymi L-N: 255 V, 275 V, 350 V, 440 V. Mając na uwadze, że znamionowe napięcie sieci powinno wynosić $230\text{ V} \pm 10\%$, to w normalnych warunkach pracy możemy się spodziewać w sieci zasilającej napięć o wartości nawet do 253 V. Napięcie U_c powinno być zatem większe niż 253 V i z tego względu zaleca się stosowanie ograniczników z deklarowaną wartością maksymalnych napięć trwałej pracy co najmniej 260 V.

4.9.2. Długości połączeń elektrycznych ograniczników przepięć

- 4.9.2.1. Koordynacja napięciowego poziomu ochrony ograniczników przepięć z udarową odpornością chronionych urządzeń często nie uwzględnia wpływu długości połączeń do chronionego obwodu. Należy pamiętać o tym, że dla SPD typu ograniczającego napięcie, w rzeczywistym układzie połączeń na zaciskach chronionego urządzenia pojawi się nie deklarowana wartość napięcia ograniczania zastosowanego ogranicznika przepięć, lecz wartość tego napięcia powiększona o spadki napięć na indukcyjnościach przewodów służących do włączenia ogranicznika w chronioną sieć zasilającą (rys. 4.9.1):

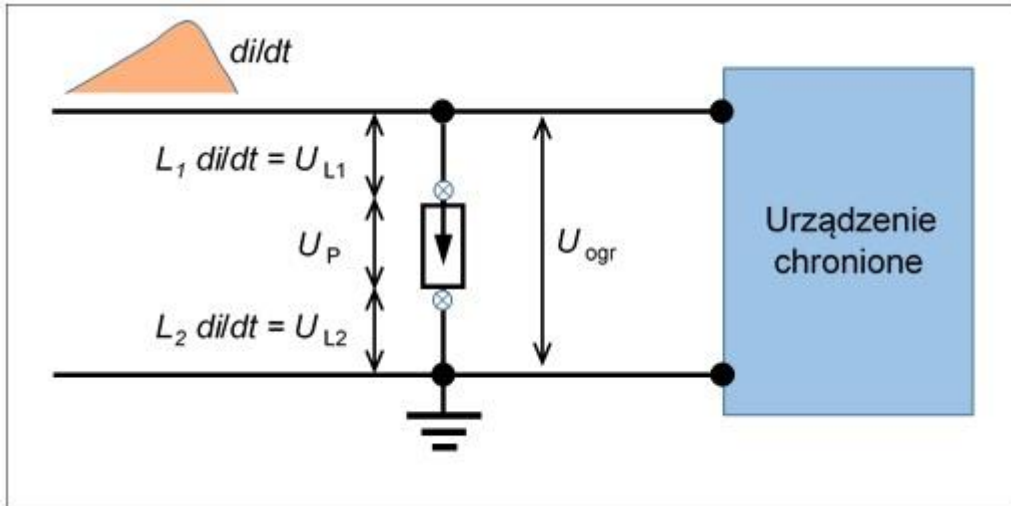
$$U_{ogr} = U_p + L \, di/dt \quad (4.9.1)$$

gdzie: U_{ogr} – sumaryczne napięcie ograniczania występujące na końcach przewodów podłączeniowych ogranicznika,

U_p – napięcie ograniczania na zaciskach ogranicznika,

$L = L_1 + L_2$ – sumaryczna indukcyjność połączeń ogranicznika w [H],

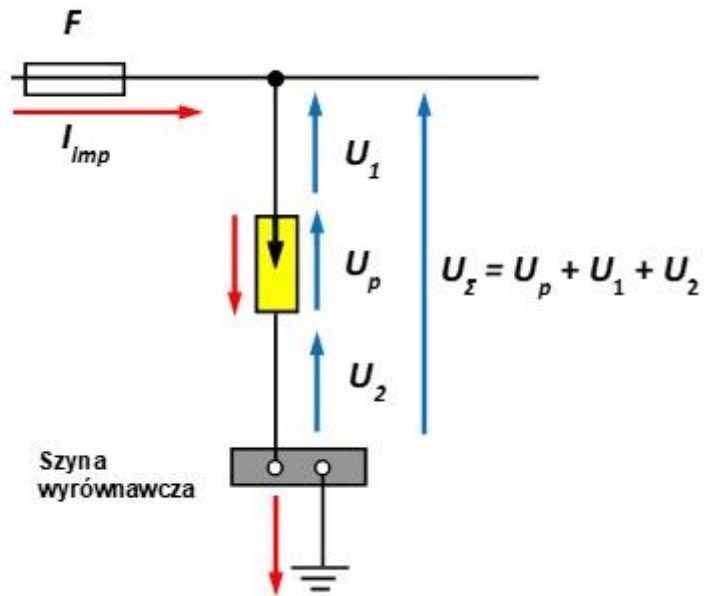
di/dt - szybkość narastania udaru prądowego w [A/s].



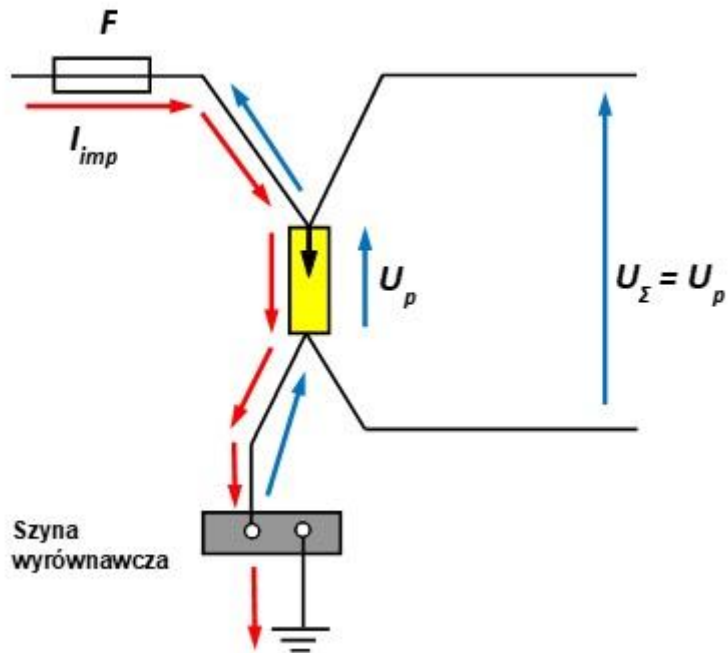
Rys 4.9.1. Napięcie ograniczania rzeczywistego układu z ogranicznikiem przepięć

- 4.9.2.2. Przewody stosowane do połączeń ograniczników (w tym także ograniczników typu 1) powinny być możliwie najkrótsze, gdyż zapobiega to powstawaniu dodatkowych spadków napięć na indukcyjnościach tych przewodów przy przepływie prądów udarowych. Zalecane jest stosownie do podłączenia ograniczników układu typu „V” przewodów (rys. 4.9.2), których długość nie przekracza 0,5 m.
- 4.9.2.3. W tabeli 4.9.1 zestawiono szacunkowe wyniki obliczeń spadków napięć na całkowitej indukcyjności podłączeń ogranicznika przeprowadzone dla różnych całkowitych długości podłączeń ogranicznika, przez które płynie prąd udarowy o wartości 25 kA (wymaganej w niniejszych wymaganiach jako minimalna dla ograniczników typu 1+2 i typu 1+2+3) impulsu piorunowego o kształcie 10/350 μ s i impulsu indukowanego o kształcie 8/20 μ s. Jak widać, już przy całkowitej długości podłączeń rzędu 20 cm, trudnych do osiągnięcia w praktyce, dodatkowy spadek napięcia na długościach przewodów połączeniowych ogranicznika wynosi 500 V i 625 V odpowiednio.

a) POŁĄCZENIE RÓWNOLEGŁE



b) POŁĄCZENIE TYPU V



Rys 4.9.2. Wpływ sposobu włączenia ograniczników przepięć w chroniony obwód na rzeczywiste napięcie ograniczania

Tabela 4.9.1. Spadki napięć na całkowitej indukcyjności połączeń ogranicznika przepięć

$U = L \cdot di/dt$					
Całkowita długość połączeń ogranicznika	Indukcyjność połączenia, L	Udar 25 kA 10/300 μ s		Udar 25 kA 8/20 μ s	
		di/dt	spadek napięcia na połączeniach	di/dt	spadek napięcia na połączeniach
m	H	A/s	U, V	A/s	U, V
0,01	1,00E-08	2,50E+0 9	25,00	3,13E+0 9	31,25
0,10	1,00E-07		250,00		312,50
0,15	1,50E-07		375,00		468,75
0,20	2,00E-07		500,00		625,00
0,25	2,50E-07		625,00		781,25
0,30	3,00E-07		750,00		937,50
0,35	3,50E-07		875,00		1093,75
0,40	4,00E-07		1000,00		1250,00
0,45	4,50E-07		1125,00		1406,25
0,50	5,00E-07		1250,00		1562,50
0,55	5,50E-07		1375,00		1718,75
0,60	6,00E-07		1500,00		1875,00
0,65	6,50E-07		1625,00		2031,25
0,70	7,00E-07		1750,00		2187,50
0,75	7,50E-07		1875,00		2343,75
0,80	8,00E-07		2000,00		2500,00
0,85	8,50E-07		2125,00		2656,25
0,90	9,00E-07		2250,00		2812,50
0,95	9,50E-07		2375,00		2968,75
1,00	1,00E-06		2500,00		3125,00

Obliczenia przeprowadzono przy założeniu, że długości 1 m przewodu połączeniowego odpowiada indukcyjność o średniej wartości 1 μ H.

- 4.9.2.4. Biorąc pod uwagę, iż zgodnie z wymaganiami norm¹³ dotyczących zasilania z sieci 230/400 V 50 Hz wymagana odporność impulsowa kategorii I urządzeń od strony zasilania wynosi 1500 V widzimy, że jedynie w przypadku ogranicznika z poziomem ograniczania $U_p \leq 1,0$ kV warunek bezpiecznego poziomu napięć na zaciskach chronionego urządzenia zostanie spełniony ($U \leq 1000+500 = 1500$ V). W związku z tym stosowanie ograniczników z wyższymi poziomami ograniczania niż 1 kV nie ma w praktyce merytorycznego uzasadnienia. Przykłady podobnych wyliczeń można znaleźć w normach. 1415

¹³ PN-HD 60364-4-443:2016-3: Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Część: 4-443: Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa. Ochrona przed zaburzeniami napięciowymi i zaburzeniami elektromagnetycznymi. Ochrona przed przepięciami atmosferycznymi lub łączeniowymi.

¹⁴ PKN-CLC/TS 61643-12:2007:- Low-voltage surge protective devices. Part 12: Surge protective devices connected to low-voltage power systems. Selection and application principles.

¹⁵ PN-EN 62305-4:2011: Ochrona odgromowa. Część 4: Urządzenia elektryczne i elektroniczne w obiektach

5. Szczegółowe wymagania stawiane ochronie odgromowej i przed przepięciami

5.1. Klasy ochrony odgromowej w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej DC 3 kV

5.1.1. Określa się trzy klasy ochrony odgromowej w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej DC 3 kV:

- a) ochrona premium,
- b) ochrona normalna,
- c) ochrona obniżona,

które są przyporządkowane do kategorii linii kolejowych określonych w Rozporządzeniu Ministra Transportu i Gospodarki Wodnej w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle kolejowe i ich usytuowanie (Dz.U. 1998, poz. 987 z późn. zmianami) Klasom ochrony odgromowej sieci trakcyjnej przyporządkowuje się odpowiednio wymagane poziomy ochrony odgromowej zgodnie z założeniami przedstawionymi w tabeli 5.1.1.

Tabela 5.1.1. Klasyfikacja poziomu ochrony odgromowej sieci trakcyjnej dla różnych kategorii linii kolejowej

Kategoria linii kolejowej		Klasa ochrony	Poziom ochrony odgromowej ^{**)}
0	Magistralna ^{*)}	Ochrona premium	LPL I
1	Pierwszorzędna	Ochrona normalna	LPL II
2	Drugorzędna	Ochrona obniżona	LPL III
3	Znaczenia miejscowego		
^{*)} w tym linie kolei szybkich z zastosowanym systemem ETCS			
^{**)} poziom ochrony odgromowej określony w PN-EN 62305			

5.2. Ochrona przed bezpośrednim uderzeniem pioruna

5.2.1. Zewnętrzną ochroną odgromową i ochroną przed przepięciami należy objąć wszystkie kolejowe urządzenia, instalacje i obiekty budowlane zlokalizowane w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej DC 3 kV lub z nią powiązane za pośrednictwem przewodzących:

- a) żył linii zasilających i sygnałowych urządzeń zlokalizowanych w tej strefie,
- b) kabli powrotnych, szyn jezdnych i innych elementów sieci trakcyjnej,
- c) innych instalacji lub konstrukcji przewodzących (np. rurociągów).

- 5.2.2. Celem zastosowania zewnętrznego urządzenia piorunochronnego (LPS) jest zapobieganie skutkom bezpośredniego uderzenia pioruna w obiekt poprzez:
- a) przechwycenie doziemnego wyładowania atmosferycznego za pomocą układu zwodów instalacji piorunochronnej,
 - b) bezpieczne odprowadzenie prądu pioruna za pomocą przewodów odprowadzających,
 - c) rozproszenie prądu pioruna w ziemi za pomocą układu uziomów.
- 5.2.3. Do projektowania ochrony odgromowej należy stosować zasady zawarte w aktualnej wersji norm serii PN-EN 62305.
- 5.2.4. Materiały na elementy urządzenia piorunochronnego (LPS) należy dobierać zgodnie z zaleceniami norm serii PN-EN 62305 i muszą one spełniać wymagania aktualnej wersji norm serii PN-EN 62561 w chwili ich wbudowywania.
- 5.2.5. Urządzenie piorunochronne kolejowego obiektu budowlanego (dworce, nastawnie, LCS, RBC, itp.) powinno być zaprojektowane według określonej klasy LPS, odpowiedniej dla poziomu ochrony odgromowej (LPL) określonego przez uprawnionego przedstawiciela zarządzającego danym obiektem budowlanym.
- 5.2.6. Jeżeli poziom ochrony odgromowej nie jest odgórnie narzucony w niniejszych wymaganiach lub przez uprawnionego przedstawiciela zarządzającego danym obiektem budowlanym, to należy go określić na podstawie analizy ryzyka zagrożenia piorunowego zgodnie z procedurami normy PN-EN 62305-2.
- 5.2.7. Maksymalne wartości szczytowe prądu pioruna, jakie należy przyjmować do założeń projektowych przedstawiono w tabeli 5.2.1. Im wyższy poziom ochrony odgromowej tym większa jest skuteczność LPS.

Tabela 5.2.1. Klasa LPS i odpowiadające jej maksymalne wartości prądu pioruna przyjmowane do założeń projektowych wg PN-EN 62305-1:2011

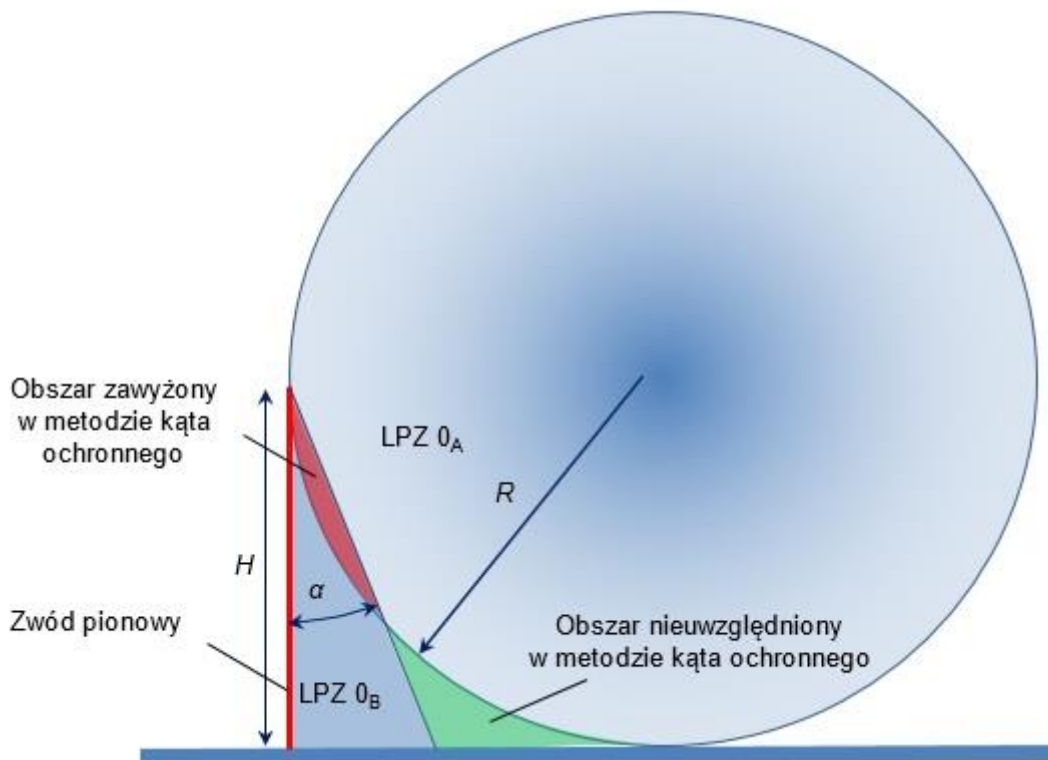
Poziom ochrony odgromowej	Klasa urządzenia piorunochronnego	Wartość szczytowa prądu pioruna $I (10/350 \mu s)$, kA
LPL I	LPS I	200
LPL II	LPS II	150
LPL III	LPS III	100
LPL IV	LPS IV	

- 5.2.8. Ochrona odgromowa powinna mieć charakter kompleksowy, uwzględniający zarówno środki ochrony przed bezpośrednim uderzeniem prądu pioruna, jak i środki ochrony przed przepięciami i powinna być realizowana zgodnie z zasadami koncepcji strefowej ochrony odgromowej przedstawionej w serii norm PN-EN 62305.
- 5.2.9. Zgodnie z zasadami koncepcji strefowej ochrony odgromowej w fazie projektowej należy dokonać podziału obiektu na strefy ochrony odgromowej LPZ, które ogólnie definiowane są jako:
- LPZ 0_A** – strefa na zewnątrz obiektu, w której występuje zagrożenie bezpośredniego wyładowania atmosferycznego oraz oddziaływanie całkowitego prądu pioruna i całkowitego pola magnetycznego,
 - LPZ 0_B** – strefa na zewnątrz obiektu, osłonięta przed wyładowaniem bezpośrednim, w której możliwe jest oddziaływanie częściowego prądu pioruna lub prądów indukowanych oraz całkowitego pola magnetycznego,
 - LPZ 1...N** – strefy wewnątrz obiektu, w których nie występuje zagrożenie wyładowaniem bezpośrednim, ale możliwe jest oddziaływanie ograniczonego prądu pioruna lub prądów indukowanych oraz całkowitego lub słumionego pola magnetycznego.
- 5.2.10. Strefy LPZ 1 obejmują typowo wnętrza budynków, wydzielonych pomieszczeń, kontenerów, szaf aparaturowych lub obudów urządzeń.

- 5.2.11. Strefy LPZ 2 i wyższe stanowiąc mogą wybrane pomieszczenia lub szafy aparaturowe wewnątrz LPZ 1, zawierające aparaturę szczególnie wrażliwą na zakłócenia lub ważną z punktu widzenia funkcjonalności całego systemu.
- 5.2.12. Wszelkie urządzenia elektryczne i elektroniczne znajdujące się na zewnątrz obiektu powinny być umieszczone wewnątrz strefy LPZ 0_B, której zasięg jest wyznaczany przez elementy zewnętrznego urządzenia piorunochronnego LPS.
- 5.2.13. Do rozmieszczenia zwodów odgromowych należy wykorzystywać następujące metody:
- a) kąta ochronnego,
 - b) toczonej kuli,
 - c) oczkową.
- 5.2.14. Metoda kąta ochronnego (rys. 5.2.1.) może być stosowana w przypadku budynków o prostych kształtach lub do wyznaczenia stref ochronnych tworzonych przez zwody pionowe (w postaci iglic i masztów odgromowych) do ochrony pojedynczych urządzeń.
- 5.2.14.1. Strefy LPZ 0_B w metodzie kąta ochronnego wyznaczane są na podstawie wartości kątów ochronnych zależnych od klasy LPS i wysokości zwodu względem rozpatrywanej płaszczyzny odniesienia.
- 5.2.14.2. Wartości kątów ochronnych w zależności od wysokości zwodu przedstawiono na rysunku w tabeli 5.2.2.
- 5.2.15. Metodę toczonej kuli (rys. 5.2.2.) można stosować w każdym przypadku, jako najbardziej dokładną, opartą na założeniach modelu elektroteometrycznego uderzenia pioruna.
- 5.2.15.1. Strefy ochronne w metodzie toczonej kuli należy wyznaczać poprzez przetaczanie po obiekcie wirtualnej kuli o promieniu R zależnym od klasy LPS zgodnie z tabelą 5.2.2.
- 5.2.15.2. Zwody powinny być rozmieszczone w taki sposób, aby przetaczana kula stykała się jedynie z instalacją LPS i w żadnym punkcie nie dotykała obiektu chronionego.
- 5.2.16. Metodę oczkową polegającą na zastosowaniu zwodów w formie siatki o określonym wymiarze oka zaleca się stosować do ochrony budynków z dachami płaskimi.

5.2.16.1. Przy projektowaniu należy uwzględnić fakt, iż metoda oczkowa - jako najmniej dokładna - będzie wymagała uzupełniania zewnętrznego urządzenia piorunochronnego o dodatkowe zwody pionowe dla ochrony urządzeń znajdujących się poza zasięgiem strefy osłonowej siatki zwodów.

5.2.16.2. Maksymalny wymiar oka siatki zwodów w metodzie oczkowej zależy jest od przyjętej do projektowania klasy LPS (tabela 5.2.2.). W przypadku stosowania metody oczkowej podwyższenie zwodów poziomych zwiększa skuteczność urządzenia piorunochronnego.



Rys 5.2.1. Porównanie metod kąta ochronnego i toczonej się kuli, gdzie: α - kąt ochronny, R - promień toczonej kuli

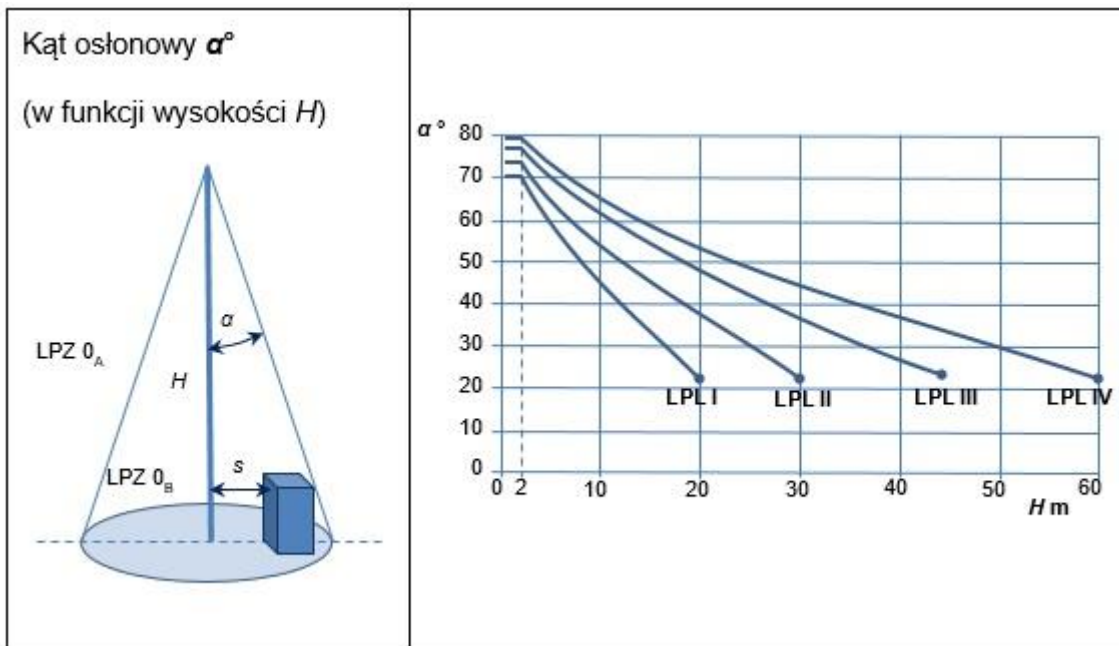
5.2.17. Sieć trakcyjną należy traktować jako naturalne urządzenie piorunochronne.

5.2.18. Dla sieci trakcyjnej jako naturalnego urządzenia piorunochronnego wyróżnia się następujące strefy LPZ:

- LPZ 0_A** – strefa narażona na bezpośrednie uderzenie pioruna,
- LPZ 0_B** – strefa chroniona przez elementy konstrukcyjne sieci trakcyjnej przed bezpośrednim uderzeniem pioruna,
- LPZ 1** – strefa chroniona przed bezpośrednim uderzeniem pioruna, stanowiąca wewnątrz budynku, kontenera lub szafy aparaturowej i uwzględniająca odporność na przepięcia urządzeń przytorowych.

Tabela 5.2.2. Parametry zewnętrznego urządzenia piorunochronnego (LPS) w zależności od jego klasy i odpowiadających im poziomów ochrony odgromowej (LPL)

Parametr	Klasa LPS (poziom LPL)			
	I	II	III	IV
Promień toczonej kuli r [m]	20	30	45	60
Wymiar siatki zwodów w [m]	5 × 5	10 × 10	15 × 15	20 × 20



5.2.19. W przypadku sieci trakcyjnej z uszynieniem bezpośrednim przewody sieci jezdnej są narażone na bezpośrednie uderzenie pioruna. Strefa ochronna LPZ 0B tworzona przez elementy sieci jezdnej (przewód jezdny, lina nośna wraz z konstrukcjami wsporczymi, łącznie z elementami mocującymi) może być rozpatrywana jedynie jako strefa chroniąca urządzenia przytorowe przed bezpośrednim uderzeniem pioruna (rys. 5.2.2).

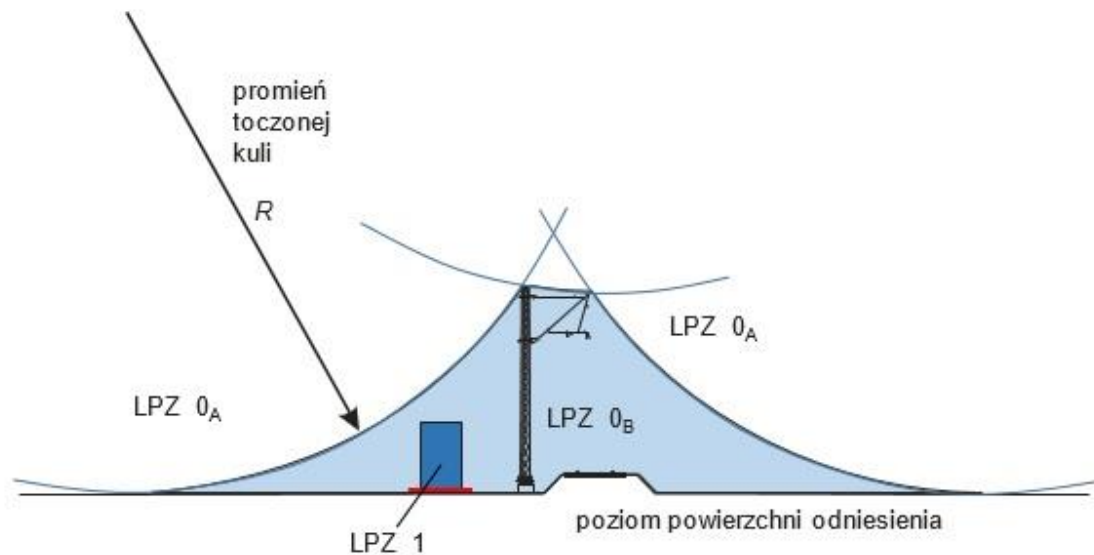
5.2.20. W przypadku sieci trakcyjnej z uszynieniem grupowym przewód uszynienia grupowego może skutecznie spełniać funkcję naturalnego zwodu poziomego do ochrony przewodów trakcyjnych.

5.2.21. W przypadku istniejących wielotorowych linii kolejowych z uszynieniem grupowym, przewód uszynienia grupowego jest najczęściej tak zamontowany, że skutecznie spełnia funkcję naturalnego zwodu poziomego do ochrony przewodów sieci jezdnej tworząc strefy ochronne LPZ 0B, zapewniając poziom ochrony odgromowej LPL I

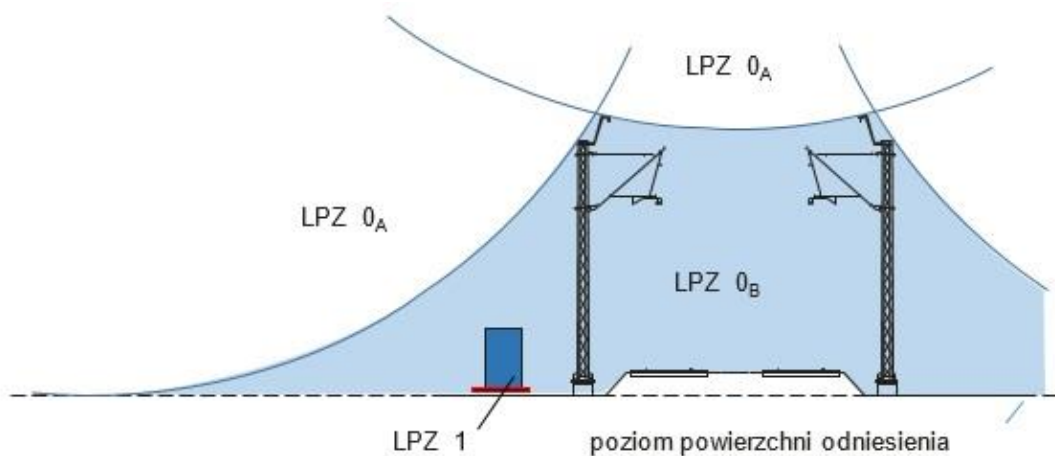
(rys. 5.2.3). Poziom terenu otaczającego linię wielotorową w takim przypadku nie ma wpływu na skuteczność ochrony przewodów trakcyjnych.

5.2.22. Dla istniejących linii jednotorowych z uszynieniem grupowym strefy ochronne mogą być rozpatrywane jedynie tak jak w przypadku sieci z uszynieniem bezpośrednim do ochrony urządzeń przytorowych.

5.2.23. Dla zapewnienia skutecznej ochrony odgromowej przewodów trakcyjnych nowych lub modernizowanych linii kolejowych jednotorowych niezbędne jest umieszczenie przewodu uszynienia grupowego jako zwodu odgromowego poziomego w odległości nie mniejszej niż 1 m bezpośrednio nad linią nośną, co jest związane z koniecznością zaprojektowania odpowiedniej konstrukcji podwieszenia przewodu uszynienia grupowego.



Rys 5.2.2. Idea wyznaczania stref ochrony odgromowej sieci trakcyjnej



Rys 5.2.3. Strefy ochrony odgromowej (LPZ) linii wielotorowej z uszynieniem otwartym grupowym

5.2.24. Wszystkie typowe konstrukcje i urządzenia przytorowe instalowane w pobliżu linii słupów trakcyjnych objęte są strefą LPZ 0B i nie są narażone na bezpośrednie uderzenia pioruna. W przypadku kontenerów ulokowanych w większej odległości od osi toru, poza strefą osłonową sieci trakcyjnej, niezbędna jest indywidualna analiza stref ochrony odgromowej.

5.2.25. Strefy LPZ 1 i wyższe mogą być lokalizowane jedynie we wnętrzach budynków, kontenerów, szaf aparaturowych i obudów urządzeń przytorowych znajdujących się w strefie LPZ 0B tworzonej przez konstrukcję sieci trakcyjnej.

5.3. Ochrona przed przepięciami sieci trakcyjnej DC 3 kV i urządzeń ją zasilających

5.3.1. Ograniczanie przepięć w sieci jezdnej DC 3 kV

5.3.1.1. System ochrony przed przepięciami sieci trakcyjnej DC 3 kV przeznaczony jest do ochrony przed skutkami bezpośrednich i pośrednich wyładowań piorunowych oraz przed przepięciami łączeniowymi:

- a) izolacji sieci jezdnej (izolatory liniowe, izolatory sekcjonowania wzdłużnego i poprzecznego, izolatory przęsła naprężenia) oraz pojazdów, urządzeń i infrastruktury do niej podłączonych, a w tym do ochrony: obwodu głównego pojazdów trakcyjnych, zasilaczy kablowych oraz urządzeń zainstalowanych w podstacjach trakcyjnych i w kabinach sekcyjnych,
- b) urządzeń przytorowych połączonych z szynami jezdnyymi lub znajdujących się w ich bezpośrednim otoczeniu.

5.3.1.2. Sieć jezdną DC 3 kV należy chronić przed przepięciami za pomocą ograniczników iskiernikowych (do których zaliczają się odgromniki rożkowe). Ograniczniki należy montować na konstrukcjach wsporczych sieci jezdnej.

5.3.1.3. W ramach realizowania ochrony przed przepięciami w sieci jezdnej DC 3 kV, z wykorzystaniem odgromników rożkowych należy:

- a) zachować odległość **a** między lokalizacjami kolejnych odgromników rożkowych zgodnie z tabelą 5.3.1,
- b) zapewnić odstęp **d** między elektrodami odgromnika rożkowego wynoszący 10 mm.

Tabela 5.3.1. Odległości przyjmowane dla lokalizacji elementów ochrony przed przepięciami wzdłuż trasy sekcji zasilania sieci trakcyjnej DC 3 kV

Odległość a , [m]	Aktywność burzowa ¹⁾
1200 ⁺¹³⁰ ₋₁₃₀	Obszary o zwykłej aktywności burzowej: $N_g < 3$ wyładowania/km ² /rok ²⁾
600 ⁺¹³⁰ ₋₁₃₀	Obszary o zwiększonej aktywności burzowej: $N_g \geq 3$ wyładowania/km ² /rok ³⁾
<p>UWAGI:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Gęstość wyładowań burzowych N_g należy określać na podstawie map burzowych zatwierdzonych przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. 2. Lokalnej gęstości wyładowań piorunowych $N_g = 3$ wyładowania/km²/rok odpowiada liczba 30 dni burzowych w roku. 3. Jeśli na danym odcinku sieci trakcyjnej w okresie 5 lat poprzedzających jego planowaną modernizację stwierdzono odbiegającą znacznie od średniej, zwiększoną liczbę uszkodzeń urządzeń przytorowych pochodzenia piorunowego i przepięciowego, to projektant może przyjąć wartość odległości $a = 600$ m także wtedy, gdy dane map burzowych wskazują, iż w tym miejscu $N_g < 3$ wyładowania/km²/rok. 	

5.3.1.4. Z uwagi na zasadnicze znaczenie odstępu między elektrodami odgromników rożkowych z regulowaną przerwą międzyelektrodową, dla zachowania znamionowych parametrów ich działania:

- a) wartości odległości między elektrodami należy ustawiać z dokładnością $\pm 1,0$ mm przy pomocy odpowiednich wzorników z zachowaniem należytej staranności,
- b) wysokości izolatora i wspornika odgromnika rożkowego powinny być takie same, tak aby elektrody odgromnika znajdowały się na jednym poziomie i nie były przesunięte względem siebie ani w pionie ani w poziomie.

5.3.1.5. Ograniczniki rożkowe należy sytuować wzdłuż sieci trakcyjnej z uwzględnieniem następujących szczególnych lokalizacji:

- a) na konstrukcjach wsporczych sieci jezdnej umiejscowionych najbliżej metalowych i żelbetowych konstrukcji mostów i wiaduktów o długości większej niż 15 m - z obydwu stron tych obiektów,
- b) na słupie trakcyjnym umiejscowionym najbliżej kładek, służących za

przejście dla pieszych nad torami kolejowymi o długości większej niż 15 m - z jednej strony kładki.

5.3.1.6. W przypadku prowadzenia linii odbiorów nietrakcyjnych po konstrukcjach wsporczych sieci jezdnej należy przy rozmieszczeniu odgromników rożkowych uwzględnić rodzaj poprzecznika linii. W szczególności nie należy umieszczać odgromników rożkowych:

- a) na słupach kotwowych i kotwienia środkowego,
- b) na słupach stanowiących przęsło naprężenia,
- c) w rejonach skrzyżowań z przejazdami w poziomie torów,
- d) na słupach, na których linia odbiorów nietrakcyjnych przechodzi z położenia osiowego w położenie boczne nad siecią jezdnią.

5.3.1.7. Dla zmniejszenia zagrożenia w otoczeniu sieci trakcyjnej, związanego z pośrednim oddziaływaniem na urządzenia przytorowe prądów udarowych odprowadzanych z sieci jezdnej w wyniku działania ograniczników przepięć, przejawiających się podczas ich rozplywu w sieci trakcyjnej i jej otoczeniu wymaga się dodatkowo, aby:

- a) iskiernikowe ograniczniki przepięć sieci jezdnej (odgromniki rożkowe) były umieszczone w odległości co najmniej 100 m od aparatury przytorowej, kontenerów i szaf aparaturowych, przejazdów i peronów,
- b) iskiernikowe ograniczniki przepięć sieci jezdnej były umieszczone nie bliżej niż na drugiej konstrukcji wsporczej licząc od konstrukcji z zainstalowanym ogranicznikiem niskonapięciowym napięć dotykowych, ale w odległości co najmniej 100 m od tych urządzeń,
- c) iskiernikowe ograniczniki przepięć sieci jezdnej, ze względu na łuk występujący między elektrodami w czasie ich działania, powinny być tak umieszczone na konstrukcjach wsporczych, aby wszelkie części konstrukcji, przewody oraz wszelkie inne urządzenia znajdowały się poniżej płaszczyzny poziomej przechodzącej przez obsadę rożków. W uzasadnionych przypadkach można umieszczać odgromnik poniżej tych elementów pod warunkiem zachowania następujących poziomych odległości:
 - 2500 mm dla kierunku wzdłuż płaszczyzny, w której znajdują się oba rożki odgromnika,
 - 1000 mm dla kierunku prostopadłego do tej płaszczyzny.

5.3.1.8. Ograniczniki przepięć stosowane do ochrony sieci jezdnej 3 kV powinny charakteryzować się następującymi właściwościami:

a) wszystkie rodzaje ograniczników:

- napięcie znamionowe najwyższe trwałej pracy U_c nie może być mniejsze od najwyższego dopuszczalnego napięcia sieci trakcyjnej,
- uszkodzenie ogranicznika powinno być łatwe do zdiagnozowania i nie powinno powodować trwałego zwarcia przewodów trakcyjnych do szyn (preferowane są rozwiązania z lokalną sygnalizacją uszkodzenia ogranicznika),

b) ograniczniki iskiernikowe (odgromniki rożkowe) powinny spełniać wszystkie wymagania zawarte w tabeli 5.3.2, z których za podstawowe uznaje się:

- wytrzymałość na częściowy prąd piorunowy 100 kA (10/350 μ s),
- zdolność gaszenia prądów następczych: samodzielna (preferowana) lub skoordynowana z wyłącznikami szybkimi zasilania sieci trakcyjnej.

5.3.1.9. Tabliczka znamionowa odgromnika rożkowego powinna zawierać następujące informacje:

- a) napięcie znamionowe U_f w kV,
- b) znamionowy prąd impulsowy I_{imp} o kształcie 10/350 μ s w kA,
- c) zdolność przenoszenia ładunku Q_T w As,
- d) nazwa producenta lub nazwa handlowa,
- e) typ i oznaczenie,
- f) rok produkcji i numer seryjny.

Tabela 5.3.2. Odgromnik różkowy – minimalne wymagane parametry techniczne

Napięcie znamionowe ogranicznika iskiernikowego	U_r	DC 5,1 kV
Napięcie zapłonu ogranicznika iskiernikowego	U_{as}	≤ 30 kV (1,2/50 μ s)
Wytrzymałość na prądy piorunowe (próba wg Załącznika B do PN-EN 50526-1 - zmodyfikowana)	I_{imp}	100 kA (10/350 μ s)
Wielkość przerwy izolacyjnej	d	$10 \pm 1,0$ mm
Znamionowy prąd zwarcia DC	I_{DC}	40 kA
Materiał na elektrody różka odgromnika		drut jezdny Djp 100 wg PN-64/E-90090 lub inny o równorzędnych lub lepszych parametrach mechanicznych
Pozostałe elementy odgromnika		wg BN-78/9317-87

5.4. Ochrona przed przepięciami kolejowych urządzeń technicznych

5.4.1. Wymagania podstawowe

- 5.4.1.1. Ochrona przed przepięciami urządzeń technicznych infrastruktury kolejowej zlokalizowanej w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej DC 3 kV powinna być projektowana i realizowana według założeń koncepcji stref ochrony odgromowej zgodnie z wymaganiami przedstawionymi w serii norm PN-EN 62305 przy założeniu poziomów ochrony odgromowej LPL przedstawionych w tabeli 5.1.1 dla różnych kategorii linii kolejowych. Należy koordynować przyjmowane rozwiązania z projektowanymi rozwiązaniami dla branży automatyki i telekomunikacji, wynikających z dokumentu Ie-120 „Wymagania techniczne dla zapewnienia ochrony przed przepięciami i od wyładowań atmosferycznych urządzeń sterowania ruchem kolejowym, łączności i dSAT”.
- 5.4.1.2. Ochrona przed przepięciami urządzeń technicznych infrastruktury kolejowej obiektów budowlanych powiązanych z urządzeniami zlokalizowanymi w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej powinna być projektowana i realizowana według założeń koncepcji stref ochrony odgromowej zgodnie z wymaganiami

przedstawionymi w serii norm PN-EN 62305 i poziomów ochrony odgromowej LPL określonych na etapie projektowania na podstawie wyników analizy ryzyka przeprowadzonej dla danego obiektu budowlanego w oparciu o PN-EN 62305.

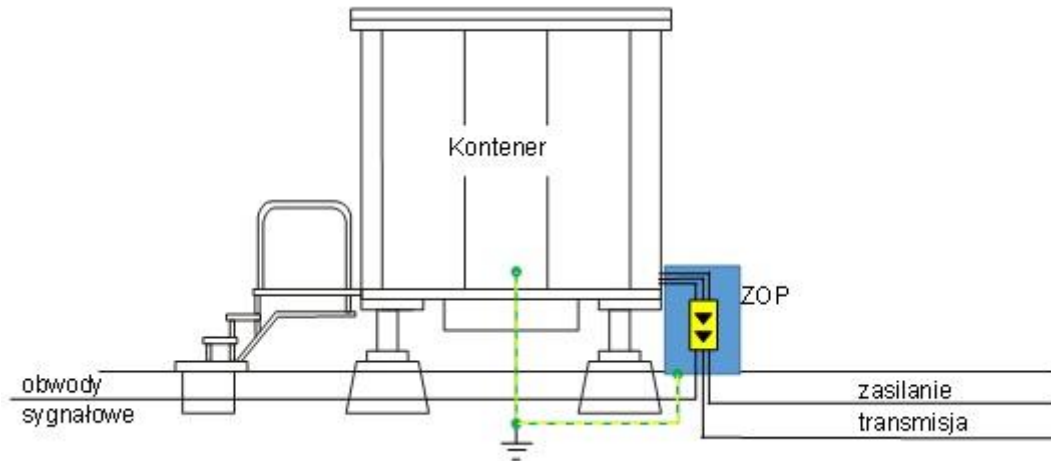
- 5.4.1.3. Urządzenie ochrony przed przepięciami może być zastosowane do ochrony urządzeń technicznych infrastruktury kolejowej na podstawie certyfikatu na zgodność urządzeń ochrony przed przepięciami z normami PN-EN 61643-11 oraz PN-EN 61643-21 zharmonizowanymi z Dyrektywą 2006/95/WE - Niskonapięciowy sprzęt elektryczny (LVD), dostarczonych wraz z raportem zawierającym wyniki badań wykonanych przez wytwórcę lub na jego zlecenie. Certyfikat ten powinien wydany być przez jednostkę certyfikującą legitymizującą się certyfikatem akredytacji Polskiego Centrum Akredytacji lub jednostki akredytującej będącej sygnatariuszem wielostronnych porozumień w ramach jednej z następujących organizacji międzynarodowych działających w obszarze akredytacji:
- a) EA - European Cooperation for Accreditation,
 - b) IAF - International Accreditation Forum,
 - c) ILAC - International Laboratory Accreditation Cooperation.

5.4.2. Złącza ochrony przed przepięciami

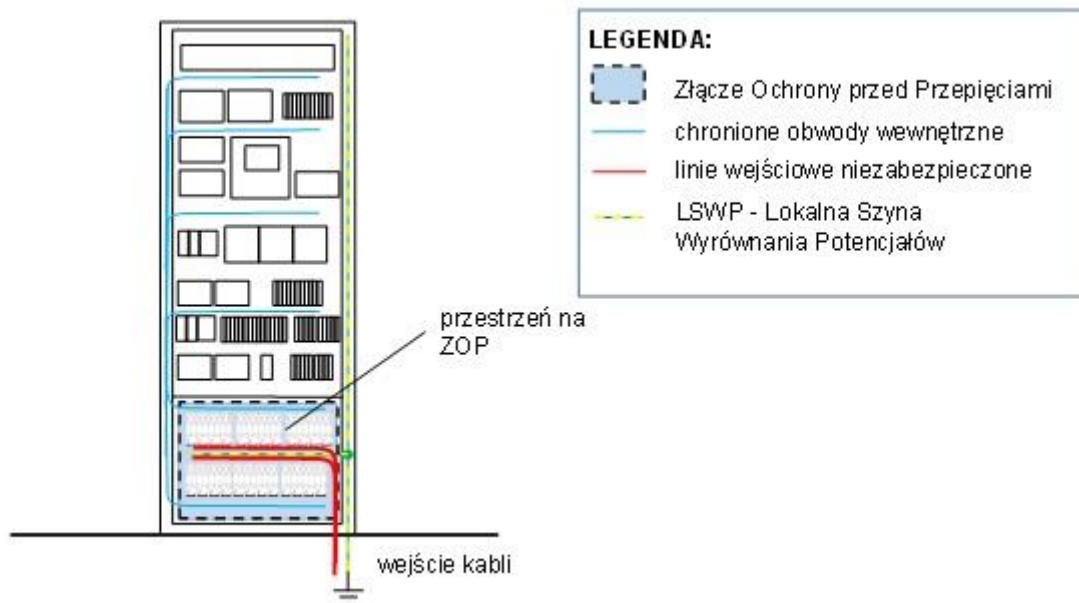
- 5.4.2.1. Strefowa koncepcja ochrony przed przepięciami powinna być realizowana poprzez stosowanie złączy ochrony przed przepięciami (ZOP) na wejściu kabli do chronionej strefy stanowiącej wewnątrz budynku, kontenera czy szafy aparaturowej, przy czym:
- a) preferuje się umiejscowienie układów ochronnych na zewnątrz obiektu (rys. 5.4.1),
 - b) dopuszcza się umiejscowienie układów ochronnych wewnątrz kontenera lub szafy aparaturowej, jedynie jeżeli przewidziano specjalną przestrzeń dedykowaną dla umiejscowienia ograniczników przepięć jak najbliższej wejścia kabli (rys. 5.4.2),
 - c) nie zezwala się na umieszcawianie ograniczników przepięć w szafach aparaturowych pomiędzy chronioną aparaturą, poza specjalną przestrzenią dedykowaną dla tego celu.
- 5.4.2.2. Zaleca się, aby wszystkie linie zasilające i sygnałowe przecinające granicę danej strefy ochrony odgromowej LPZ powinny być wprowadzane do niej w jednym punkcie i zabezpieczane układami ochrony przed przepięciami bezpośrednio na tej granicy w specjalnym złączu ochrony przed przepięciami

(ZOP) oznaczane odpowiednio do numeracji stref zlokalizowanych na danej granicy, np. ZOP 0A-1, ZOP 0B-1, ZOP 1-2, ZOP 2-3 itd.

- 5.4.2.3. W każdym ZOP powinny być skupione wszystkie skoordynowane układy tej ochrony obejmujące wszelkie żyły kabli przecinających daną strefę ochrony odgromowej i podłączone do wspólnej lokalnej szyny wyrównywania potencjałów (LSWP) każdego ZOP. Wolne żyły i ekrany kabli należy łączyć bezpośrednio na LSWP. Tam, gdzie takie bezpośrednie połączenie jest niemożliwe z określonych powodów, np. z uwagi na zagrożenie prądami błędzącymi, konieczne jest stosowanie iskiernikowych ograniczników przepięć o parametrach dobranych do zagrożenia określonego dla każdej LPZ.
- 5.4.2.4. Lokalne szyny wyrównania potencjałów każdego ZOP należy łączyć odpowiednio z uziomem lub lokalną siecią połączeń wyrównawczych możliwe najkrótszymi odcinkami przewodów uziemiających lub połączeń wyrównawczych, o długości nie większej niż 0,5 m.
- 5.4.2.5. Złącza ochrony przed przepięciami powinny zabezpieczać kompleksowo wszelkie obwody zasilające jak i sygnałowe wprowadzane do chronionej strefy. Dla wszystkich obwodów zasilania i obwodów sygnałowych, których linie przekraczają granice zdefiniowanych stref ochrony odgromowej (LPZ) należy na granicach tych stref kompleksowo instalować ograniczniki przepięć (SPD), których parametry powinny być dobrane odpowiednio zarówno co do poziomu odporności udarowej (U_w) urządzeń umieszczonych w strefie chronionej (wewnętrznej), jak i co do wartości spodziewanych prądów udarowych, jakie mogą przenikać ze strefy zewnętrznej.
- 5.4.2.6. Należy dobierać SPD o napięciowym poziomie ochrony U_p niższym niż napięcie udarowe wytrzymywane (U_w) przez obwody chronionej instalacji.
- 5.4.2.7. Wytrzymałość udarową SPD należy dobierać stosownie do poziomu ochrony odgromowej LPL określonego dla danego obiektu lub instalacji i według postanowień pkt 5.4.2.8 i pkt 5.4.2.9.



Rys 5.4.1. Zalecana lokalizacja złącza ochrony przed przepięciami (ZOP) przy kontenerze



Rys 5.4.2. Dopuszczalna lokalizacja ograniczników przepięć wewnątrz dedykowanej przestrzeni w zewnętrznej szafie aparaturowej lub w kontenerze,

5.4.2.8. SPD w obwodach o napięciu znamionowym niższym od 1 kV powinny spełniać wymagania następujących norm:

- a) PN-EN 61643-11 – dla obwodów zasilanych niskim napięciem,
- b) PN-EN 61643-21 – dla obwodów sygnałowych.

5.4.2.9. Dobór typu SPD do ochrony urządzeń przytorowych zależy od jego lokalizacji:

- a) na granicy stref LPZ 0/1 (na wejściu linii do obiektu budowlanego, kontenera, szafy aparaturowej lub puszdki) należy stosować SPD wytrzymujące częściowy prąd pioruna o typowym kształcie 10/350 μ s:
 - typu 1 (T1) - dla obwodów zasilania badane prądem udarowym I_{imp} ,

- kategorii D1 dla obwodów sygnałowych,
 - b) na granicy stref LPZ 1/2 (na wejściu linii do wyższych stref) i bezpośrednio przy chronionym urządzeniu należy stosować SPD wytrzymaujące prądy indukowane o typowym kształcie 8/20 μ s:
 - typu 2 (T2) dla obwodów zasilania (badane prądem udarowym I_n),
 - kategorii C2 dla obwodów sygnałowych.
- 5.4.2.10. Dopuszczalne jest zastosowanie ogranicznika typu 2 (T2) dla przypadku określonego w punkcie 5.4.2.9 a) w sytuacji gdy obiekt budowlany, kontener, szafa aparaturowa lub puszka zasilana jest z rozdzielnicy lub złącza kablowego, w którym zastosowano ogranicznik typu 1 (T1).
- 5.4.2.11. Jeżeli producent systemu zastosował własne ograniczniki przepięć dla ochrony wybranych obwodów i ograniczniki te spełniają wymagania przedstawione w pkt 5.4.2.9, to należy je umiejscowić w złączu ochrony przed przepięciami lub w dedykowanej dla tego celu przestrzeni dla układów ochronnych. Ograniczniki przepięć wstawione przez producenta, które nie spełniają wymagań punktu 5.4.2.9 należy zastąpić urządzeniami o parametrach zgodnych z niniejszymi wymaganiami.
- 5.4.2.12. Szczegółowe wymagania dla SPD przedstawiono w rozdziale 5.4.3 niniejszych wymagań.
- 5.4.2.13. Dla obwodów sygnałowych należy stosować kable ekranowane. Ekran kablów w kontenerach lub szafach aparaturowych należy uziemiać za pomocą specjalnych obejm lub złącz.
- 5.4.3. Wymagania stawiane ogranicznikom przepięć obwodów zasilanych niskim napięciem 230/400 V 50 Hz**
- 5.4.3.1. Ograniczniki typu 1**
- 5.4.3.1.1 Jako ograniczniki przepięć obwodów zasilanych niskim napięciem typu 1 należy stosować wyłącznie SPD, których główne elementy są wykonane w technologii iskierników gazowych bezwydmuchowych. Kategorycznie zabrania się stosować ograniczniki typu 1, których główne elementy są wykonane w technologii warystorowej z uwagi na ich małą odporność na oddziaływanie częściowych prądów piorunowych i przenoszonych przez nie ładunków elektrycznych.

5.4.3.1.2 Wymagane minimalne parametry ograniczników typu 1 w zależności od kategorii linii kolejowej (KLK):

a) odporność na udary o kształcie 10/350 μ s:

- ochrona premium (LPL I): $I_{imp} = 25,0$ kA/pole,
- ochrona normalna (LPL II): $I_{imp} = 17,5$ kA/pole,
- ochrona obniżona (LPL III): $I_{imp} = 12,5$ kA/pole,

b) napięciowy poziom ochrony dla wszystkich KLK: $U_c \leq U_p \leq 2,5$ kV,

c) napięcie trwałej pracy $U_c \geq AC 260$ V.

5.4.3.2. Ograniczniki typu 2

5.4.3.2.1 Dopuszcza się stosowanie ograniczników typu 2 wykonanych zarówno w technologii iskierników gazowych jak i warystorowej.

5.4.3.2.2 Wymagane minimalne parametry ograniczników typu 2 bez względu na przyjęty poziom ochrony odgromowej (LPL):

- a) odporność na udary 8/20 μ s $I_n = 20$ kA/pole,
- b) napięciowy poziom ochrony $U_c \leq U_p \leq 1,5$ kV,
- c) napięcie trwałej pracy $U_c \geq AC 260$ V.

5.4.3.2.3 Ograniczniki przepięć typu 2 należy stosować w rozdzielnicach lokalnych na granicy stref LPZ 1/2 poprzedzonych ogranicznikiem typu 1 w rozdzielnicy głównej na granicy stref LPZ 0/1.

5.4.3.2.4 W przypadku instalacji narażonych na częste przepięcia łączeniowe lub tam, gdzie nie jest dopuszczalna upływność obwodu zasilania należy stosować ograniczniki w technologii iskierników gazowych lub kombinacji szeregowo połączonych iskierników i warystorów.

5.4.3.3. Ograniczniki typu 3

5.4.3.3.1 Dopuszcza się stosowanie ograniczników typu 3 wykonanych zarówno w technologii iskierników gazowych jak i warystorowej lub ich kombinacji.

5.4.3.3.2 Wymagane minimalne parametry ograniczników typu 3 bez względu na przyjęty poziom ochrony odgromowej:

- a) odporność na udary 8/20 μ s $I_n = 5$ kA/pole,
- b) napięciowy poziom ochrony $U_c \leq U_p \leq 1,5$ kV,
- c) napięcie trwałej pracy $U_c \geq AC 260$ V.

5.4.3.3.3 Ograniczniki przepięć typu 3 służą do ochrony dokładnej i należy je stosować bezpośrednio przy chronionych urządzeniach pod warunkiem zastosowania ograniczników przepięć typu 1 i 2 lub typu 1+2 w chronionym układzie zasilania.

5.4.3.4. **Ograniczniki typu 1+2 oraz typu 1+2+3**

5.4.3.4.1 Jako ograniczniki przepięć obwodów zasilanych niskim napięciem typu 1+2 lub typu 1+2+3, w tym typu kombinowanego, należy stosować wyłącznie SPD, których główne elementy są wykonane w technologii iskierników gazowych bezwydmuchowych. Kategorycznie zabrania się stosować ograniczniki typu 1+2 lub typu 1+2+3, których główne elementy są wykonane w technologii warystorowej z uwagi na ich małą odporność na oddziaływanie częściowych prądów piorunowych i przenoszonych przez nie ładunków elektrycznych.

5.4.3.4.2 Wymagane minimalne parametry ograniczników typu 1+2 i typu 1+2+3:

a) odporność na udary 10/350 μ s $I_{imp} \geq 25,0$ kA/pole,

b) napięciowy poziom ochrony:

– $U_c \leq U_p \leq 1,5$ kV dla typu 1+2,

– $U_c \leq U_p \leq 1,3$ kV dla typu 1+2+3,

c) napięcie trwałej pracy $U_c \geq AC$ 260 V.

5.4.3.4.3 Ograniczniki 1+2 oraz 1+2+3 powinny charakteryzować się właściwościami wszystkich deklarowanych typów (np. typ 1+2: odporność udarowa jak dla typu 1, napięciowy poziom ochrony jak dla typu 2, itd.).

5.4.3.4.4 Wymaga się stosowania ograniczników typu 1+2 lub typu 1+2+3 (zalecany jest typ 1+2+3), w tym typu kombinowanego na granicach stref LPZ 0/1 w obiektach o małej kubaturze, takich jak: kontenery i szafy aparaturowe, gdzie ograniczniki przepięć typu 1 nie zapewniają dostatecznie niskiego napięciowego poziomu ochrony.

5.4.3.4.5 Dozwolone jest stosowanie ograniczników typu 1+2 lub typu 1+2+3, w tym typu kombinowanego w innych obiektach niż wymienione w pkt 5.4.3.4.4, w tym szczególnie w obiektach, w których zachodzi konieczność zastosowania sztucznej indukcyjności dla koordynacji pomiędzy elementami kolejnych stopni ochrony przed przepięciami. Zaleca się niestosowanie rozwiązań z takimi indukcyjnościami.

5.4.3.5. Ograniczniki przepięć do ochrony obwodów sygnałowych transmisji danych, kontroli i sterowania

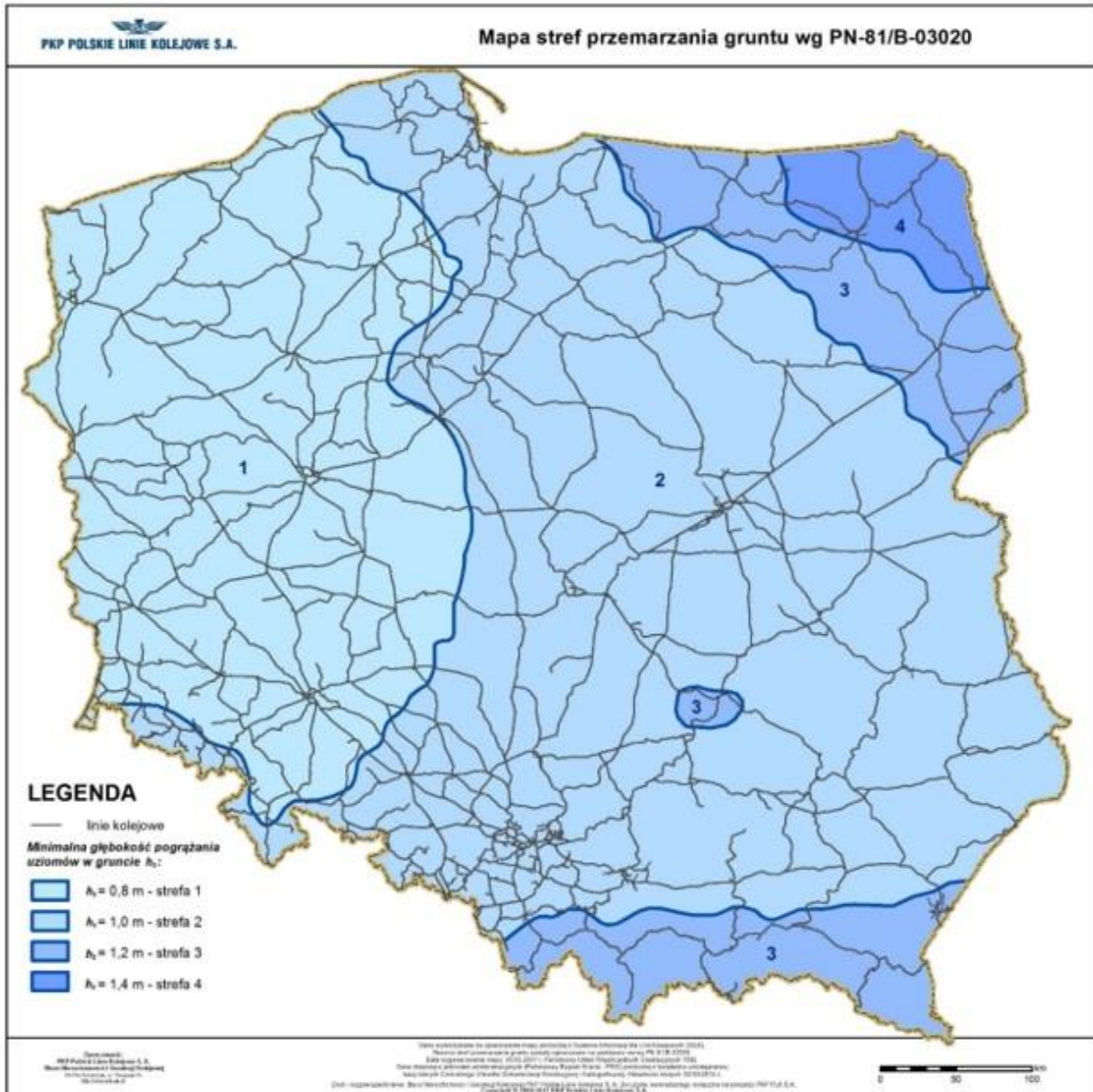
- 5.4.3.5.1 Układy ograniczników przepięć do ochrony obwodów sygnałowych transmisji danych, kontroli i sterowania powinny spełniać następujące wymagania:
- a) ogranicznik nie może powodować zakłóceń prawidłowej pracy systemu (konieczny jest prawidłowy dobór ogranicznika pod kątem maksymalnego napięcia trwałej pracy U_c , prądu znamionowego I_N , częstotliwościowego pasma roboczego f_g , rezystancji szeregowej R_S , itd.),
 - b) ich minimalna odporność udarowa powinna spełniać wymagania następujących kategorii testowania:
 - D1: $\geq 2,5 \text{ kA } 10/350 \text{ } \mu\text{s}$ na układ,
 - C2: $\geq 10 \text{ kA } 8/20 \text{ } \mu\text{s}$ na żyłę (5 kA dla ochrony obniżonej).
- 5.4.3.5.2 Kategoria D1 ograniczników przepięć wymagana jest dla SPD instalowanych na granicach stref LPZ 0/1.
- 5.4.3.5.3 Mniejsze od podanych w 5.4.3.5.1 kategorii odporności udarowej mogą być zastosowane w przypadku linii transmisji danych, gdzie występują złącza kablowe typu RJ 45 lub inne, dla których nie jest możliwe osiągnięcie takich odporności ze względów technicznych. Zaleca się unikanie tego typu złącz w zastosowaniach w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej z uwagi na ich stosunkowo małą odporność na oddziaływanie przepięć.
- 5.4.3.5.4 Dla linii transmisji danych, o których mowa w pkt 5.4.3.5.3 rekomendowane minimalne poziomy odporności dla poszczególnych kategorii wynoszą:
- a) $D1: \geq 1 \text{ kA } 10/350 \text{ } \mu\text{s}$ na żyłę,
 - b) $C2: \geq 2,5 \text{ kA } 8/20 \text{ } \mu\text{s}$ na żyłę,
 - c) $B2: \geq 6 \text{ kV } 10/700 \text{ } \mu\text{s}$ na żyłę (dla obwodów transmisji danych i gdy długość linii jest większa niż $> 500 \text{ m}$).
- 5.4.3.5.5 Ograniczniki przepięć do ochrony obwodów sygnałowych transmisji danych, kontroli i sterowania ruchem kolejowym powinny mieć zadeklarowane przez producenta następujące parametry określone na podstawie badań zgodnie z normą PN-EN 61643-21:

- a) napięcie znamionowe U_N ,
- b) najwyższe napięcie trwałej pracy U_C (DC i AC),
- c) prąd znamionowy (I_N),
- d) znamionową I_n i/lub maksymalną I_{max} wartość szczytową dla udaru kategorii C1 i C2 (udar 8/20 μ s),
- e) wartość szczytową I_{imp} dla udaru kategorii D1 (udar 10/350 μ s),
- f) napięciowy poziom ochrony (U_p) linia-ziemia podawany dla określonej kategorii udaru,
- g) częstotliwościowe pasmo pracy,
- h) rezystancję szeregową,
- i) zakres temperatur pracy.

5.5. Uziemienia, przewody uziemiające, przewody ochronne i uszyniające oraz połączeń wyrównawczych

5.5.1. Uziemienia i przewody uziemiające

- 5.5.1.1. Elementy układów uziemiających mogą być zastosowane do ochrony urządzeń infrastruktury kolejowej na podstawie deklaracji lub certyfikatu na ich zgodność z wymaganiami serii norm PN-EN 62561, dostarczonych wraz z raportem zawierającym wyniki badań wykonanych przez wytwórcę lub na jego zlecenie.
- 5.5.1.2. Konfiguracja i głębokość pograżenia uziomu powinny zapewniać, przez cały przewidywany okres jego eksploatacji, przy największej spodziewanej w ciągu roku wartości rezystywności gruntu, utrzymanie wymaganej rezystancji uziemienia i/lub ograniczenie napięć dotykowych do wartości dopuszczalnej. W związku z tym należy projektować i montować elementy układu uziomów, zarówno układane poziomo jak i pograżane pionowo, na głębokościach nie mniejszych niż lokalna głębokość przemarzania gruntu h_z (rys. 5.5.1).
- 5.5.1.3. Wymiary poprzeczne elementów instalacji uziemiającej powinny zapewniać, przez cały okres eksploatacji, ograniczenie ich temperatury podczas przepływu prądu zwarcia z ziemią, do wartości dopuszczalnej przy zwarcu.



Rys 5.5.1. Minimalna głębokość pograżania uzimów w gruncie h_z określona na podstawie mapy stref przemarzania gruntu w Polsce wg PN-81/B-03020

- 5.5.1.4. Materiał i wymiary poprzeczne elementów instalacji uziemiającej oraz zastosowane środki ochronne powinny zapewniać odporność na narażenia mechaniczne w trakcie budowy i eksploatacji instalacji oraz należyłą trwałość korozyjną.
- 5.5.1.5. W urządzeniach stałoprądowych uziomy naturalne (metalowe rury wodociągowe, metalowe konstrukcje budowlane, zbrojenie betonu, metalowe powłoki i osłony kabli), mogą być wykorzystywane, jeżeli prądy uziomowe są krótkotrwałe i nie zagrażają przyspieszoną korozją urządzeń podziemnych.
- 5.5.1.6. Wymiary poprzeczne wyrobów stosowanych na uziomy sztuczne poziome i pionowe oraz grubości pokryć ochronnych powinny spełniać wymagania normy

PN-EN 62561-2 i nie powinny być mniejsze niż podane w tabelach 5.5.1 ÷ 5.5.3.

Tabela 5.5.1. Materiały i najmniejsze dopuszczalne wymiary poprzeczne drutów stosowanych na uziomy poziome

Materiał	Najmniejsze dopuszczalne wymiary		
	średnica mm	przekrój mm ²	powłoka µm
Miedź goła / cynowana	8	50	- / 1
Stal miedziana elektrolitycznie	8	50	250
	10	78	70
Stal cynowana ogniowo	10	78	50
Stal goła w betonie	10	78	-
Stal nierdzewna	10	78	-

Tabela 5.5.2. Materiały i najmniejsze dopuszczalne wymiary poprzeczne płaskowników stosowanych na uziomy poziome

Materiał	Najmniejsze dopuszczalne wymiary		
	przekrój mm ²	grubość mm	powłoka µm
Miedź goła / cynowana	50	2	- / 1
Stal miedziana elektrolitycznie	90	3	70
Stal cynowana ogniowo	90	3	70
Stal goła w betonie	75	3	-
Stal nierdzewna	100	3	-

Tabela 5.5.3. Materiały i najmniejsze dopuszczalne wymiary poprzeczne prętów stosowanych na uziomy pionowe

Materiał	Najmniejsze dopuszczalne wymiary		
	średnica mm	przekrój mm ²	powłoka μm
Miedź goła / cynowana	15	176	- / 1
Stal miedziowana elektrolitycznie	14	150	250
Stal cynkowana ogniowo	16	200	50
Stal nierdzewna	16	200	-

- 5.5.1.7. Uziomów nie należy wykonywać z aluminium.
- 5.5.1.8. Połączenia elementów uziomu między sobą i z przewodem uziemiającym należy wykonywać przez spawanie łukowe, zgrzewanie egzotermiczne, spajanie lub za pomocą połączeń gwintowych. Przy łączeniu uziomów naturalnych z przewodem uziemiającym można stosować obejmy śrubowe, a przy łączeniu ze sobą elementów uziomu zalewanych betonem i przyłączaniu do nich przewodów uziemiających należy stosować złączki śrubowe lub złączki zaciskowe.
- 5.5.1.9. Podziemne połączenia elementów uziomu wykonanych ze stali cynkowanej lub miedziowanej, których pokrycia w czasie łączenia mogą ulec uszkodzeniu należy zabezpieczać przed korozją ziemną. Dopuszcza się nieprzewodzące powłoki antykorozyjne, np. warstwę asfaltu, farby ochronnej lub taśmy antykorozyjnej (np. typu DENSO lub równoważnej). Połączenia za pomocą zgrzewania egzotermicznego, elementów uziomów wykonanych z tego samego materiału, nie wymagają dodatkowej ochrony przed korozją.
- 5.5.1.10. Poszczególne uziomy pionowe układu uziomowego zaleca się tak rozmieszczać, aby odległości między nimi nie były mniejsze niż ich długość; nie wymaga się jednak odległości większych niż 10 m.
- 5.5.1.11. Uziomy sztuczne poziome powinny być zagłębione w gruncie na głębokości co najmniej 0,8 m, za wyjątkiem uziomów wyrównawczych, które mogą być umieszczone na głębokości mniejszej, ale co najmniej 0,2 m. Można zastosować układanie uziomów poziomych w układzie wielokrotnym (liczba promieni 2, 3 lub 4).

- 5.5.1.12. Rowy lub bruzdy, w których układa się uziomy poziome, należy zasypywać gruntem bez kamieni, żwiru, cegły lub gruzu. Uziomów nie należy zasypywać piaskiem lub żużlem. Nie należy ich umieszczać w korytach rzek lub na dnie jezior i stawów. Należy unikać układania uziomów pod warstwą nie przepuszczającą wody (np. asfaltu lub betonu) i w pobliżu urządzeń powodujących wysychanie gruntu (np. rurociągów wody gorącej lub pary).
- 5.5.1.13. W nowo wznoszonym budynku należy wykonać uziom fundamentowy. Zaleca się wykonywać uziom fundamentowy sztuczny.
- 5.5.1.14. Uziomy fundamentowe sztuczne należy wykonywać z taśmy stalowej o przekroju co najmniej 30x3,5 mm lub pręta stalowego okrągłego o średnicy co najmniej 10 mm. Zaleca się wyroby ze stali gołej.
- 5.5.1.15. Uziom fundamentowy sztuczny należy mocować do podłoża fundamentu co 2÷3 m, uchwyty wbijanymi w podłoże, aby przy zalewaniu betonem nie zmienił położenia. Taśmę stalową należy ustawić na żebro, pionowo dłuższym wymiarem przekroju. W fundamencie zbrojonym dopuszcza się mocować uziom fundamentowy sztuczny, np. zaciskami lub przez spawanie, co około 2 m, do dolnych prętów zbrojenia fundamentu.
- 5.5.1.16. Uziomy fundamentowe sztuczne powinny być zatapiane w fundamentach ścian zewnętrznych budynku i tworzyć zamknięty kontur. Jeśli jego wymiary są większe niż 20x20 m, to należy dodawać dalsze elementy uziomowe, zwłaszcza w fundamentach ścian wewnętrznych, by poszczególne kontury miały wymiary nie przekraczające podanej wartości.
- 5.5.1.17. W razie napotkania kolizji układów uziomowych ich zarządcy powinni pisemnie uzgodnić środki, jakie należy podjąć. W jednej strefie wzajemnego oddziaływania uziomów należy przyjąć ten sam środek ochrony.
- 5.5.1.18. Przewody uziemiające i przewody wyrównawcze powinny być chronione przed uszkodzeniami mechanicznymi.
- 5.5.1.19. Wszelkie połączenia uziemiające i ochronne powinny być jak najkrótsze i trwale, odporne na korozję.
- 5.5.1.20. Materiały na przewody uziemiające i ich najmniejsze dopuszczane przekroje podano w tabeli 5.5.4.
- 5.5.1.21. Przewody uziemiające, układane po wierzchu w miejscach ogólnie dostępnych powinny być chronione od uszkodzeń mechanicznych, np. przez osłonięcie rurą lub kątownikiem, do wysokości 1,5 m nad ziemią i do głębokości 0,2 m

w ziemi; nie wymaga się tej ochrony w przypadku przewodów o przekroju 50 mm² i większym.

- 5.5.1.22. Przewody uziemiające należy pokrywać powłoką ochronną nie przepuszczającą wody co najmniej na odcinku od 0,3 m nad powierzchnią ziemi do głębokości 0,3 m w ziemi. Zaleca się jednak czynić to na całym odcinku podziemnym, aż do uziomu.
- 5.5.1.23. Dla uziemienia słupów trakcyjnych, wykonanych ze stali pokrytej ochronną warstwą cynku, należy stosować przewody uziemiające ze stali miedziowanej cynowanej (StCuSn) o wymiarach zgodnych z tabelą 5.5.4, zapewniające bezpieczne z punktu widzenia ochrony przed korozją połączenie uziomów miedziowanych stosowanych w tych miejscach z cynkowaną powłoką stalowej konstrukcji słupa.

Tabela 5.5.4. Materiały i najmniejsze dopuszczalne wymiary przewodów uziemiających

Kształt	Materiał	Najmniejsze dopuszczalne wymiary		
		średnica mm	grubość mm	przekrój mm ²
Drut	miedź, stal cynkowana, stal miedziowana ¹⁾ , stal nierdzewna	8		50
Linka	miedź, stal cynkowana	1,7 ²⁾ dla pojedynczego o drutu		50
	stal nierdzewna			70
Taśma	miedź, stal nierdzewna		2	50
	stal cynkowana, stal miedziowana ¹⁾		2,5	50
1 – powłoka miedziana 70 μm				
2 – dodatkowa zewnętrzna powłoka cynowana 2 μm				

- 5.5.1.24. Miejsca połączeń przewodów ochronnych, wyrównawczych i uziemiających powinny być dostępne do kontroli. Jeżeli jest to niewykonalne, to połączenia powinny być wykonane w sposób zapewniający ich trwałość, np. przez spawanie lub zaprasowanie.

- 5.5.1.25. Uziomy sztuczne słupów trakcyjnych powinny być pionowe, wykonane z prętów uziomowych o długości co najmniej 3 m, pograżonych w odległości około 1 m od słupa. Wszystkie elementy układu uziomów słupów trakcyjnych (pręty i ich wzajemne połączenia poziome) w gruncie powinny być wykonane ze stali miedziowanej i połączone w ziemi zgrzewaniem egzotermicznym. Przewód uziemiający powinien znajdować się po prawej stronie słupa, patrząc od strony bliższego toru, aby był dobrze widoczny z kabiny pojazdu szynowego. W przypadku konstrukcji wsporczej z odciałem, uziom należy pograżyć po stronie odciału.
- 5.5.1.26. Przewód uziemiający należy łączyć z uziemianą konstrukcją lub z szyną uziemiającą (wyrównawczą) za pomocą zacisku probierczego uziomowego dającego się rozłączyć tylko przy użyciu narzędzia. Nie wymaga się zacisku probierczego uziomowego, jeśli rezystancję uziemienia można poprawnie zmierzyć bez odłączania przewodu uziemiającego.
- 5.5.1.27. Zacisk probierczy uziomowy powinien mieć obciążalność prądową nie mniejszą niż przewód uziemiający, powinien odznaczać się należyłą wytrzymałością mechaniczną i powinien być zabezpieczony przed korozją.
- 5.5.1.28. Zacisk probierczy uziomowy powinien znajdować się w miejscu łatwo dostępnym, na wysokości nie mniejszej niż 0,30 m od powierzchni ziemi lub stanowiska i nie większej niż 1,80 m.
- 5.5.1.29. Urządzenia ochrony przed przepięciami powinny być łączone z uziomem przewodem uziemiającym z zachowaniem jak największego promienia gięcia i bez jakichkolwiek pętli.

5.5.2. Rezystancja uziemienia

- 5.5.2.1. Rezystancja uziemienia pojedynczego słupa trakcyjnego, na którym nie są zainstalowane ograniczniki przepięć (SPD) ani ograniczniki napięcia dotykowego (VLD), nie powinna przekraczać 50 Ω .
- 5.5.2.2. Rezystancja uziemienia pojedynczego słupa trakcyjnego z zainstalowanym ogranicznikiem napięcia dotykowego VLD nie powinna być większa niż 10 Ω , jeżeli rezystywność gruntu nie przekracza 100 Ωm . W pozostałych przypadkach nie powinna być większa niż 20 Ω .
- 5.5.2.3. Wypadkowa rezystancja uziemienia jednej sekcji uszynienia grupowego na szlaku kolejowym nie powinna przekraczać 2 Ω .

- 5.5.2.4. Rezystancja uziemienia ograniczników przepięć nie powinna przekraczać 10 Ω z zastrzeżeniami przedstawionymi w pkt 5.3.2.3.
- 5.5.2.5. Rezystancja uziemienia metalowych obudów szaf rozdzielczych urządzeń technicznych umieszczonych w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej nie powinna przekraczać 10 Ω .

5.5.3. Połączenia ochronne, uszyniające i wyrównawcze

5.5.3.1. Połączenia uszyniające

- 5.5.3.1.1 Materiał i wymiary poprzeczne przewodów uszyniających powinny zapewniać ich wymaganą obciążalność prądową, odporność na spodziewane narażenia mechaniczne oraz należytą trwałość korozyjną.
- 5.5.3.1.2 Połączenie konstrukcji wsporczej z przewodem uszynienia grupowego należy wykonać przewodem AFL o przekroju nie mniejszym niż 95 mm². Dopuszcza się przewód z innego materiału o przekroju równoważnym ze względu na konduktancję elektryczną.
- 5.5.3.1.3 Przekrój przewodu uszynienia grupowego powinien być dobrany do warunków zwarciovych, ale powinien być nie mniejszy niż AFL 120 mm² lub przewód z innego materiału o przekroju równoważnym ze względu na konduktancję elektryczną.
- 5.5.3.1.4 Połączenie ogranicznika VLD z przewodem uszynienia grupowego oraz z szynami jezdnyymi powinno być wykonane przewodem AFL o przekroju co najmniej 120 mm². Dopuszcza się przewód z innego materiału o przekroju równoważnym ze względu na konduktancję elektryczną. Przewód łączący VLD z szyną jezdną powinien mieć izolację o napięciu znamionowym co najmniej 750 V.
- 5.5.3.1.5 W przypadku uszynienia otwartego indywidualnego, połączenie ogranicznika VLD z urządzeniem uszynianym oraz z szynami jezdnyymi powinno być wykonane przewodem AFL o przekroju co najmniej 120 mm². Dopuszcza się zastosowanie przewodu z innego materiału pod warunkiem zachowania przekroju równoważnego ze względu na konduktancję elektryczną. Przewód łączący VLD z szyną jezdną powinien mieć izolację o napięciu znamionowym co najmniej 750 V.

5.5.3.2. Połączenia wyrównawcze

- 5.5.3.2.1 Połączenia wyrównawcze należy tak wykonywać, aby usunięcie jednego z łączonych obiektów nie przerywało ciągłości połączenia innego obiektu.

Nie należy zatem łączyć szeregowo obiektów podlegających wyrównaniu potencjałów. Wyjątkiem są części przewodzące montowane na stalowych masztach i podobnych konstrukcjach, gdzie jako połączenie wyrównawcze można traktować przewodzącą konstrukcję masztu.

- 5.5.3.2.2 W miejscach, w których przewody gołe byłyby narażone na przyspieszoną korozję należy stosować przewody izolowane lub przewody pokryte trwałymi powłokami antykorozyjnymi.
- 5.5.3.2.3 Przewody wyrównawcze powinny być układane na podłożu stałym, wzdłuż możliwie krótkiej trasy, w miejscach, w których nie będą narażone na uszkodzenia mechaniczne.
- 5.5.3.2.4 Przewody wyrównawcze powinny być łączone z częściami przewodzącymi dostępnymi i częściami obcymi przez spawanie lub za pomocą zacisków śrubowych. Dopuszcza się łączenie przewodu wyrównawczego z częścią przewodzącą obcą za pomocą obejmy zapewniającej połączenie elektryczne nie gorsze od połączenia śrubowego.
- 5.5.3.2.5 Jako przewody wyrównawcze mogą być stosowane:
 - a) miedziane lub aluminiowe przewody jednożyłowe gołe lub izolowane,
 - b) miedziane lub aluminiowe żyły przewodów wielożyłowych,
 - c) stalowe przewody gołe lub pokryte trwałymi powłokami antykorozyjnymi.
- 5.5.3.2.6 Przekrój uziemionych przewodów wyrównawczych narażonych na przewodzenie prądu pioruna powinien być nie mniejszy od podanego w tabeli 5.5.5.

Tabela 5.5.5. Materiały i najmniejsze dopuszczalne wymiary elementów stosowanych jako połączenia wyrównawcze

Element łączący		Materiał	Przekrój mm ²
Szyiny wyrównawcze (miedź, stal miedziowana lub stal cynkowana)		Cu, Fe	50
Przewody łączące szyny wyrównawcze z układem uziemiającym lub z innymi szynami wyrównawczymi (przewodzące całkowity prąd pioruna lub znaczną jego część)		Cu Al Fe	16 25 50
Przewody łączące wewnętrzne metalowe instalacje z szynami wyrównawczymi (przewodzącymi częściowy prąd pioruna)		Cu Al Fe	6 10 16
Przewody uziemiające SPD (przewodzące całkowity prąd pioruna lub znaczną jego część)	Typu 1		16
	Typu 1+2		16
	Typu 1+2+3	Cu	16
	Typu 2		6
	Typu 3		2,5

5.5.3.3. Przewody ochronne PE

Przewody ochronne PE w instalacjach kolejowych urządzeń technicznych powinny spełniać wymagania normy PN-HD 60364-5-54.

6. Zasady układania kabli teletechnicznych i elektroenergetycznych w strefie oddziaływania górnej sieci jezdnej i obwodu powrotnego

6.1. Wymagania ogólne

- 6.1.1. Kable telekomunikacyjne i elektroenergetyczne ułożone w strefie oddziaływania sieci trakcyjnej powinny mieć zewnętrzną osłonę nieprzewodzącą.
- 6.1.2. Każda żyła powinna mieć izolację na najwyższe napięcie nominalne występujące między dowolną parą żył tego kabla.
- 6.1.3. W przypadku kabli do obwodów bezpieczeństwa i sterowania żyły nie powinny być krzyżowane.

- 6.1.4. Obwody elektryczne o dużej długości powinny być symetryczne i, w miarę możliwości, nie powinny być połączone z ziemią. Obwody instalacji bezpieczeństwa nie powinny być uszynione.
- 6.1.5. Części przewodzące instalacji wprowadzające napięcie dotykowe większe niż dopuszczalne, które nie znajdują się w zamkniętym pomieszczeniu, należy umieścić w obudowie izolacyjnej albo w obudowie metalowej uziemionej.
- 6.1.6. Urządzenia przyłączone na końcu długich obwodów i mocowane na częściach uszynionych nie powinny wynosić na zewnątrz lokalnego potencjału uszynienia.
- 6.1.7. W sąsiedztwie szlaku kolejowego kable powinny być tak układane, aby dostęp do nich nie był utrudniony. Dopuszczalne są kanały na powierzchni ziemi.
- 6.1.8. Przewodzące powłoki i pancerze kabli nie powinny mieć połączenia z szynami jezdnyymi ani z uszynionymi konstrukcjami.
- 6.1.9. Do zasilania urządzeń bezpieczeństwa i sterowania można wykorzystać żyły kabli telekomunikacyjnych, jeżeli nie zakłóca to działania urządzeń telekomunikacyjnych.

6.2. Układanie kabli wzdłuż linii kolejowej

- 6.2.1. Trasy kabli sygnałowych, teletechnicznych i elektroenergetycznych, przebiegające w ziemi wzdłuż linii kolejowej należy projektować możliwie w odległości nie mniejszej niż 2,50 m od fundamentów słupów trakcyjnych oraz szyn jezdnych. Odległości te można zmniejszyć w przypadku prowadzenia kabli w kanałach kablowych i/lub rurach izolacyjnych o napięciu przebicia izolacji nie mniejszym niż 100 kV, jednakże należy wtedy zachować minimalny odstęp 0,75 m od fundamentów i uziomów konstrukcji nośnych sieci trakcyjnej.
- 6.2.2. Należy zachować odległość co najmniej 1,50 m układanych kabli od układu uziomów konstrukcji nośnych sieci trakcyjnej z zainstalowanymi ogranicznikami przepięć sieci jezdnej i słupów sąsiadujących z nimi, przy czym jeśli ta odległość jest mniejsza od 3,0 m trasy kablów należy prowadzić w kanałach kablowych i/lub rurach izolacyjnych o napięciu przebicia izolacji nie mniejszym niż 100 kV.
- 6.2.3. Kable w ziemi należy układać na głębokości nie mniejszej niż 1,0 m w obrębie stacji i 0,8 m poza stacją.
- 6.2.4. Pod drogami i rowami odwadniającymi kable należy prowadzić w przepustach w rurach izolacyjnych HDPE lub PVC na głębokości co najmniej 1,2 m poniżej powierzchni drogi i 0,5 m poniżej dna rowu odwadniającego.

- 6.2.5. W przypadku kolejowych obiektów inżynierskich takich jak mosty, wiadukty czy tunele, kable należy prowadzić w rurach izolacyjnych. Kable powinny być usytuowane jak następuje:
- a) na mostach w ciągach przeznaczonych dla kabli lub umocowane do konstrukcji mostu,
 - b) w tunelach w kanałach kablowych, pod chodnikiem, na ścianie tunelu lub w przepustach,
 - c) na wiaduktach w kanałach kablowych, pod chodnikiem lub umocowane do konstrukcji wiaduktu.

6.3. Skrzyżowania i zbliżenia kabli

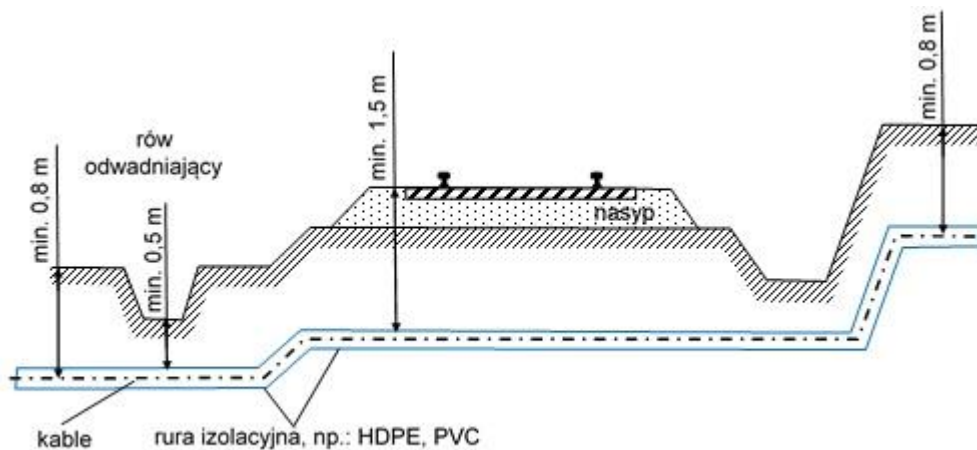
- 6.3.1. Trasy kablone należy projektować tak, aby unikać zbliżeń i skrzyżowań kabli różnego rodzaju.
- 6.3.2. Jeżeli zbliżenia lub skrzyżowania kabli nie da się uniknąć to należy zachować bezpieczne odległości między kablami w punktach skrzyżowań i na odcinkach gdzie różne kable przebiegają równolegle zgodnie z tabelą 6.3.1.
- 6.3.3. Jeżeli zachowanie odległości przedstawionych w tabeli 6.3.1. nie jest możliwe to w punktach skrzyżowań i zbliżeń kable należy umieścić w rurach izolacyjnych HDPE lub PVC tak aby najkrótsza odległość między kablami przy zakończeniach rur spełniała wymagania z tabeli 6.3.1.

Tabela 6.3.1. Minimalne odległości między kablami ułożonymi w ziemi

Lp.	Charakterystyka kabli krzyżujących się i zbliżających	Najmniejsza dopuszczalna odległość [cm]	
		pionowa na skrzyżowaniu	pozioma przy zbliżeniu
1.	Kable elektroenergetyczne o napięciu znamionowym do 1 kV z kablami tego samego rodzaju lub sygnalizacyjnymi	25	10 ^{*)}
2.	Kable sygnalizacyjne i kable przeznaczone do zasilania urządzeń oświetleniowych z kablami tego samego przeznaczenia	25	mogą się stykać
3.	Kable elektroenergetyczne o napięciu znamionowym do 1 kV z kablami elektroenergetycznymi o napięciu 1 kV $< U_N \leq 30$ kV	50	25
4.	Kable elektroenergetyczne o napięciu znamionowym $1 \text{ kV} < U_N \leq 30$ kV z kablami tego samego rodzaju	50	10
5.	Kable różnych użytkowników o napięciu znamionowym do 30 kV	50	25
6.	Kable z mufami innych kabli	nie dopuszcza się	jak lp. 1-5
7.	Kable elektroenergetyczne o napięciu znamionowym wyższym niż 30 kV z innymi kablami	50	50
8.	Kable elektroenergetyczne z kablami telekomunikacyjnymi	50	50
^{*)} dopuszcza się stykanie ze sobą na całej długości kabli: <ul style="list-style-type: none"> – sygnalizacyjnych z sygnalizacyjnymi, – sygnalizacyjnych z kablami elektroenergetycznymi do 1 kV przyłączonymi do tego samego odbiornika, – elektroenergetycznych przeznaczonych do zasilania urządzeń oświetleniowych 			

6.4. Skrzyżowania kabli z torami

- 6.4.1. Linie kablowe przecinające linię kolejową powinny krzyżować się z torami pod kątem 90°.
- 6.4.2. Kable pod torami należy prowadzić w rurach izolacyjnych HDPE lub PVC. Przepusty należy wykonywać na głębokości co najmniej 1,5 m mierząc od wierzchu rury osłonowej do stopki szyny (rys. 6.4.1.).
- 6.4.3. Przepusty pod rowami odwadniającymi powinny być umieszczone na głębokości co najmniej 0,5 m od dna rowu odwadniającego. Otwory rur powinny być uszczelnione.
- 6.4.4. Nie dopuszcza się prowadzenia kabli sygnałowych do urządzeń przytorowych bezpośrednio pod szynami po powierzchni tłucznia, np. kable do czujników koła. Jeżeli kabel musi być przeprowadzony na drugą stronę toru należy go prowadzić w izolowanych przepustach kablowych pod tłuczniem w celu zachowania bezpiecznych odstępów izolacyjnych między kablem a szynami.



Rys 6.4.1. Wykonanie przepustów kablowych pod torami

